

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
шестерні 1412.1820.1334 редуктора Ц2У-100  
шляхом структурно-параметричної оптимізації  
зубофрезерної операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*В. С. Кудряшов*

Керівник

*А. В. Євтухов*

Консультант з охорони праці

та безпеки у надзвичайних ситуаціях

*В. В. Фалько*

Нормоконтроль

*О. В. Івченко*

## ЗМІСТ

	с.
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації .....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....	11
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт .....	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	19
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....	26
1.6 Висновок .....	30
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....	31
2.1 Розробка раціонального технологічного процесу виготовлення деталі.....	31
2.2 Обґрунтування вибору способу отримання вихідної заготовки .....	35
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку .....	42
2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки .....	45
2.5 Обґрунтування вибору металорізального обладнання .....	49
2.6 Обґрунтування вибору засобів технологічного оснащення .....	53
2.7 Розрахунок режимів різання .....	54
2.8 Технічне нормування операції .....	70
2.9 Проектування верстатного пристрою .....	74
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....	82
2.11 Висновок .....	88

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ НА ЗУБОФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ МЕТОДАМИ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ .....	89
3.1 Актуальність, мета та методи дослідження .....	89
3.2 Аналіз результатів статичного дослідження системи «пристрій- заготовка» .....	93
3.3 Аналіз результатів динамічного дослідження системи «пристрій- заготовка» .....	96
3.4 Висновок .....	99
ВИСНОВКИ .....	101
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ .....	102

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У зв'язку з поширенням енергоефективних систем першочерговою задачею є прискорення науково-технічного прогресу. Технічний процес вимагає вдосконалення, модернізації та розробки нових типів машин або їх окремих деталей. «Шестерня 1412.1820.1334» входить до коробки передач «редуктора Ц2У-100», призначеного для передачі крутного моменту. Попередній аналіз показав, що існуюча технологія виготовлення «шестерні» відпрацьована на застарілому низькопродуктивному верстатному устаткуванні та засобах технологічної оснастки. Отже, актуальною є розробка більш досконалої технології виготовлення «шестерні» з використанням сучасних зубофрезерних верстатів, багатоцільових верстатних комплексів, впровадження спеціальних верстатних пристосувань для фрезерування зубів тощо.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ для підвищення ефективності механічної обробки (тема держбюджетної 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 викладення технічних дисциплін» (0116U000933)).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «шестерні 1412.1820.1334» шляхом структурно-параметричної оптимізації зубофрезерної операції.

Для розв'язання зазначеної мети в роботі були поставлені наступні задачі:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;

3) спроектувати спеціальну конструкцію пристосування для фрезерування зубів;

4) спроектувати спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального та торцевого биття поверхонь деталі;

5) виконати дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення «шестерні 1412.1820.1334», зубофрезерна операція.

**Предмет дослідження** – структурно-параметрична оптимізація зубофрезерної операції, конструкція пристосування для фрезерування зубів.

**Методи дослідження.** Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель конструкції пристосування для фрезерування зубів розроблено у пакеті Компас-графік 3D. Статичний і динамічний аналіз конструкції пристосування виконано у пакеті ANSYS Workbench.

**Наукова новизна:** в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконані статичний і динамічний аналіз запропонованої конструкції пристосування для фрезерування зубів «шестерні 1412.1820.1334», що дозволило сформулювати пропозиції й рекомендації, спрямовані на вдосконалення конструкції, забезпечення її стійкої роботи і підвищення ефективності зубофрезерної операції в цілому.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у тому, що на підставі теоретичних та експериментальних досліджень визначені рекомендації та пропозиції, спрямовані на вдосконалення запропонованої конструкції пристосування для фрезерування зубів технологічного процесу виготовлення «шестерні 1412.1820.1334».

**Апробація роботи.** Немає.

**Публікації.** Опубліковані тези доповідей до конференції.

**Особистий внесок автора.** Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані нововведення спрямовані на вдосконалення існуючої технології. Спроектовані конструкції пристосування та контрольно-вимірювального пристроїв. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 23 найменувань, 104 сторінок основного тексту, 20 рисунків та 20 таблиць.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Деталь «шестерня 1412.1820.1334» входить до коробки передач циліндричного редуктору типу Ц2У-100.

Редуктор – це пристрій, призначений для перетворення високої кутової швидкості обертання швидкохідного валу в низьку швидкість тихохідного валу. В результаті чого зменшується швидкість обертання тим самим збільшуючи крутний момент на тихохідному валу.

До складу редукторів входять вали, зубчасті колеса, шестерні, підшипники тощо. Вище перелічені деталі розташовані в корпусі, призначеному для забезпечення безпечної роботи, гарного змащення тощо.

Циліндричний редуктор – найпоширеніший тип редукторів за рахунок простоти передачі і максимального ККД [18]. Основу редуктора складають зубчасті передачі див. рисунок 1.1.

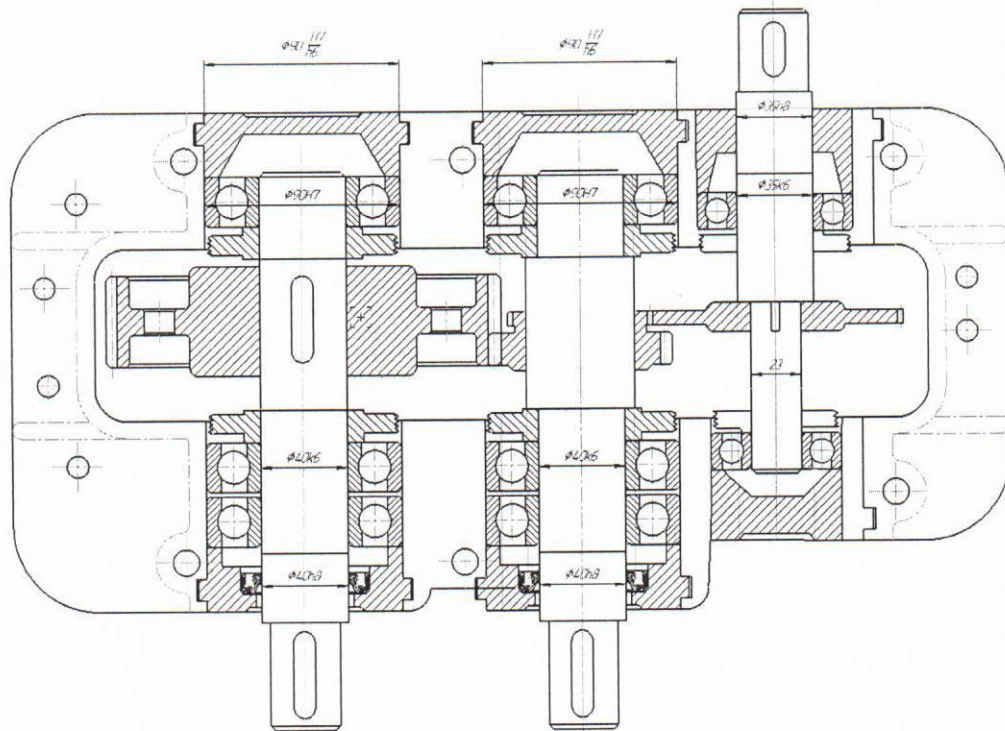


Рисунок 1.1 – Ескіз вузла

Циліндричні прямозубі редуктори є найбільш прості у виготовленні, але в порівнянні з косозубими і шевронними вони є найбільш гучними. На додаток, через постійні удари при контакті пар зубів створюється вібрація, яка є причиною підвищеного зносу. Більшість циліндричних редукторів мають паралельне розташування валів.

Для широкого застосування циліндричних редукторів є наступні переваги:

- високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Такі редуктори дозволяють передавати зусилля з високою ефективністю, що забезпечує їх ККД приблизно 98-99%, що обумовлюється незначними силами тертя, які виникають в процесі роботи;
- низьке виділення тепла. Високий ККД призводить до безповоротної втрати малої частини енергії, що передається, так як на нагрів деталей передачі йде мала частина енергії. Це дозволяє не застосовувати додаткові системи охолодження та підвищує експлуатаційну надійність редуктора;



- можливість передавати високі потужності. Циліндричні редуктори не схильні до заїдання, мають незначне тепловиділення, тим самим підходять для передачі великих потужностей;

- надійність роботи в умовах тривалих періодів з частими пусками-зупинками. Це зумовлено малим тертям ковзання в циліндричній передачі, тим самим забезпечується малий знос робочих деталей. Похожий режим не призводить до надмірного збільшення швидкості зносу;

- малий люфт вихідного валу. Циліндричні редуктори мають досить малий люфт вихідного валу, чим досягається висока кінематична точність у порівнянні до інших типів редукторів. Це дозволяє застосовувати циліндричні редуктори в системах, до яких потрібні надаватися підвищені вимоги до точності, а саме приводи пристроїв позиціонування;

- можливість обертання валів в будь-яку сторону.

Дана особливість циліндричних редукторів належить як до переваг, так і до недоліків в залежності від умов використання редуктора. Повне обертання може бути як корисним, при провертанні вихідного валу, так і небажаним, при виникненні в підйомному механізмі необхідності додаткового встановлювання гальмівного механізму.

Циліндричні редуктори мають наступні недоліки:

- обмеження по передавальному числу. Передавальне відношення не рекомендується робити більше 6,3. Якщо від редуктора потрібне більше передавальне число, то доведеться ввести додаткові ступені, що призведе до надмірного збільшення габаритів редуктора і його недоцільності;

- підвищена шумність. При роботі редуктора лінія контакту непостійна, а виникає знову при входженні в контакт чергової пари зубів. Це призводить до того, що показники шумності виявляються вищими, ніж в інших.

Циліндричні редуктори є одним з найбільш поширених типів редукторів. Область застосування редукторів: конвеєри, транспортери, елеватори,

птахофабрики, пакувальне обладнання, харчове обладнання, мішалки, деревообробне обладнання, важкі умови експлуатації тощо. Така поширеність пояснюється тим, що циліндричні редуктори найчастіше застосовуються в електроприводах машин або входять до складу моторів-редукторів. Однією з основних причин такого поширення є високий ККД циліндричних редукторів, що робить його застосування більш економічно вигідним.

Деталь «шестерня 1412.1820.1334» див. рисунок 1.2 входить до коробки передач циліндричного редуктора Ц2У-100 і призначена для передачі крутного моменту [6]. Деталь має такі поверхні див. таблицю 1.1:

- основна поверхня, за допомогою якої визначається положення шестерні у виробі (основна конструкторська база);
- допоміжна поверхня, визначає положення деталей, що приєднуються відносно даної (допоміжна конструкторська база);
- виконавча поверхня, яка виконує службове призначення даного виробу;
- вільні поверхні, не торкаються поверхонь інших деталей, та призначені для з'єднання основних, допоміжних та виконавчих поверхонь між собою.

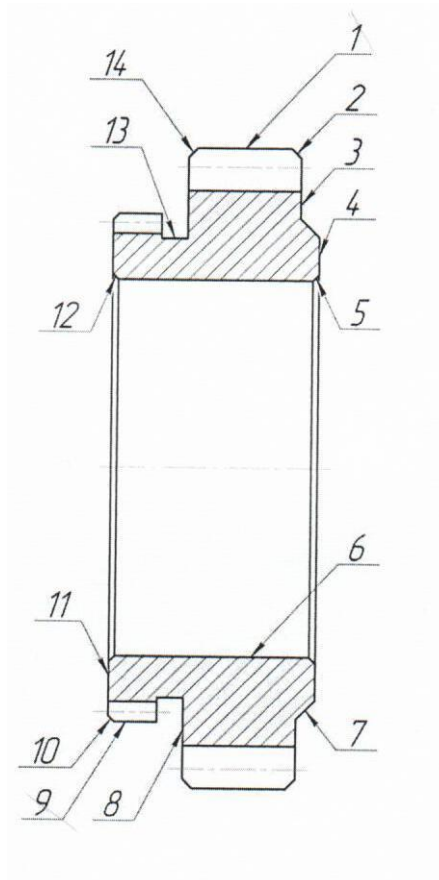


Рисунок 1.2 – Поверхні деталі

Таблиця 1.1 – Поверхні деталі

Вид поверхні	Номер поверхні
Робочі поверхні	1, 4, 11
ОКБ	6
ДКБ	9
Вільні поверхні	2, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14

## 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Деталь «шестерня 1412.1820.1334» відноситься до класу «зубчасті колеса». Входить до циліндричного редуктора Ц2У-100 і призначена для передачі крутного моменту.

Аналіз робочого креслення деталі «шестерня 1412.1820.1334» показав, що креслення деталі має необхідну кількість видів та перерізів, що дає повне уявлення про конструктивні особливості деталі. Їх розташування відповідає вимогам ГОСТ 2.305-2008 [16].

Розміри, граничні відхилення, шорсткість та допуски форми та розташування всіх поверхонь проставлені відповідно до вимог ГОСТ 2.307-2011 [17], ГОСТ 2.309-73 [18], ГОСТ 2.308-2011 [19]. Це дає змогу виготовити деталь необхідної точності відповідно до її службового призначення.

Надані технічні вимоги на виготовлення деталі, їх нанесення відповідає ГОСТ 2.316-2008 [20]. Дотриманий порядок заповнення основного напису згідно вимог ГОСТ 2.104-2006 [21].

Креслення виконане за допомогою інтерактивного графічного редактора «Компас-3D» і відповідає вимогам ГОСТ 2.052-2006 [22]. Отже, креслення виконане згідно вимог ЄСКД за ГОСТ 2.109-73 [23].

Для зниження маси та зменшення габаритних розмірів редукторів застосовують великий асортимент марок сталей та приймають різноманітні методи термічної обробки. Сталі для зубчастих коліс, що підлягають термообробці до нарізання зубців, мають межу твердості від 250 до 330 одиниць по Брінеллю. Верхня межа твердості встановлюється можливостями механічної обробки при зубців. Необхідно враховувати глибину прокаливаної сталі, що важливо для згибаючої міцності зубців. ГОСТ 4543-71 визначає марки легованих конструкційних сталей та технічні вимоги по хімічному складу.

По механічним властивостям сталі поковки розділяються на категорії міцності (КМ) по ГОСТ 8479-70. Категорії міцності визначаються межею текучості, а також встановлюється тимчасовий опір, відносне подовження, відносне звужування та ударна в'язкість в залежності від діаметра поковки, а також і твердості по Брінеллю.

Для забезпечення необхідних робочих параметрів в якості матеріалу використовується сталь 20ХНЗА ГОСТ 4543-71. Це конструкційна легована хромонікелева сталь, яка використовується для виготовлення деталей з високою міцністю, пластичністю, в'язкістю серцевини, твердістю поверхні. Поверхня деталей з такого матеріалу підлягає цементації. Цементация та наступне термічне закалювання поверхні зубців є одним із основних методів хіміко-термічної обробки металів, котрі дають можливість підвищувати контактну-усталосну міцність в 3...4 рази, в порівнянні із загальною термообробкою, та збільшує згибаєму міцність в 1,5 рази при отриманні поверхневої твердості 55...60 HRC та твердості серцевини 30...45 HRC.

Аналізуючи деталь за матеріалом, потрібно відзначити, що сталь 20ХНЗА має гарну лезвійну оброблюваність. Застосування дешевшого матеріалу недоцільно тому, що це неодмінно призведе до зниження фізичних і механічних властивостей матеріалу, а отже виникає ймовірність деформації робочих поверхонь деталі, утворення руйнувань та тріщин деталі. Основним фактором руйнування матеріалу для даного типу деталей є вібрації та знакоперемінні циклічні навантаження, отже, використаний матеріал сталь 20ХНЗА є обґрунтованим для даних умов експлуатації.

Хімічний склад та механічні властивості сталі 20ХНЗА ГОСТ 4345-71 наведені в таблицях 1.2 – 1.3 [7].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 20ХНЗА ГОСТ 4543-71

C	Cr	Ni	Mn	Si	P	S
0,17-0,24	0,60-0,90	2,75-3,15	0,30-0,60	0,17-0,37	0,025	0,025

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 20ХНЗА ГОСТ 4543-71

$\sigma_B$ (МПа)	$\sigma_T$ (МПа)	$\delta$ (%)	$a_n$ (Дж/см <sup>2</sup> )	НВ
950	750	12	110	255

Основні вимоги, запропоновані конструктором до деталі, полягають у наступному: торцеве биття поверхні 55 мм не більше 0,05 мм відносно бази А. Недотримання цих вимог призведе до неточності базування заданої деталі у вузлі та деталей, що приєднуються відносно неї.

Аналіз технічних вимог, що пред'являються конструктором до деталі [1]:

- серцевина та вінець Б 229...285 НВ. Так як деталь працює під дією динамічних навантажень, сприймає вібрації та ривки при пуску механізму, то механічні властивості матеріалу повинні задовольняти вимогам її функціонального використання, тому одержання відповідної твердості матеріалу дозволить мати відповідні механічні показники деталі і надійну роботу деталі у вузлі;

- зубчаста поверхня підлягає цементації на глибину  $h$  1,0...1,4 мм до HRC 57...65. Це дозволяє зменшити крихкість, підвищити стійкість і надійність деталі, підвищити довговічність з'єднання;

- не вказані граничні відхилення розмірів H14, h14,  $\pm IT14/2$ . Це стосується вільних поверхонь, які не є відповідальними і призначені для утворення конфігурації деталі. Дана вимога дозволяє проставляти розміри без захащення креслення.

### 1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Відповідно до завдання на проектування обробка «шестерні» відбуватиметься в умовах середньосерійного виробництва, річний обсяг виробництва при цьому складає 6400 деталей.

За ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о}$  [3], який визначається за формулою:

$$K_{3.0} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (1.1)$$

де  $\sum O$  – сумарна кількість операцій;

$\sum P$  – сумарна кількість робочих місць.

Визначаємо кількість верстатів за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{um}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot n_3}, \text{ шт.}, \quad (1.2)$$

де  $N$  – річна програма випуску, шт.;  $N = 6400$  шт.;

$T_{um}$  – норма штучного часу, хв.;

$F_{\delta}$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.;

$n_3$  – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$$m_{p005} = \frac{6400 \cdot 3,61}{60 \cdot 3900 \cdot 0,80} = 0,12 \text{ шт.},$$

Приймаємо  $P = 1$  верстат.

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$n_{зф} = \frac{m_p}{P}, \quad (1.3)$$

$$n_{зф} = \frac{0,12}{1} = 0,12$$

Визначаємо кількість операцій, які виконуються на робочому місці за формулою:

$$O = \frac{n_z}{n_{zf}}, \text{ шт.}, \quad (1.4)$$

$$O = \frac{0,80}{0,12} = 6,48 \text{ шт.}$$

Аналогічні розрахунки виконуємо для решти операцій, результати заносимо до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Визначення типу виробництва

№ Операції	Операція	$T_{ш-к}$	$m_p$	P	$n_{zf}$	O
005	Токарна з ЧПК	3,61	0,12	1	0,12	7
010	Токарна з ЧПК	3,19	0,11	1	0,11	8
015	Зубодовбальна	6,13	0,21	1	0,21	4
020	Зубофрезерна	24,67	0,84	1	0,84	1
025	Внутрішліфувальна	1,302	0,04	1	0,04	18
030	Плоскошліфувальна	0,76	0,03	1	0,03	31
035	Зубошліфувальна	15,83	0,54	1	0,54	2
	Разом	55,5	-	7	-	71

Визначаємо сумарну кількість операцій і робочих місць відповідно.

$$\sum O_i = 7 + 8 + 4 + 1 + 18 + 31 + 2 = 71$$



$$\sum P_i = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7$$

$$K_{30} = \frac{71}{7} = 10,14$$

Отже, тип виробництва середньосерійний, так як  $10 < K_{30} = 10,14 < 20$ .

Середньосерійний тип виробництва характеризується виготовленням деталей партіями, що періодично повторюються, обмеженої номенклатури та невеликого обсягу, які складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами деталей. Коефіцієнт закріплення операцій складає 10 – 20 операцій на робоче місце.

Використовуються різноманітні типи верстатів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегатні, з ЧПК тощо. Значна частина устаткування оснащена як спеціальними, так і універсально-налагоджувальними (УНП), і універсально-збірними (УЗП) пристосуваннями. Це дозволяє знизити трудомісткість і здешевити виробництво. Також застосовуються універсальні і спеціальні різальний, вимірвальний і контрольний інструменти. Серійне виробництво є економічно вигідним, так як устаткування застосовується ефективніше, сучасніше, тим самим збільшуючи продуктивність праці, та зменшуючи собівартість продукції [5].

Визначаємо добовий випуск деталей за формулою:

$$N_{\text{доб}} = \frac{N_{\text{річ}}}{D_p}, \text{ шт.} \quad (1.5)$$

де  $D_p$  – кількість робочих днів у році, дні;  $D_p = 253$  дня.

$$N_{\text{доб}} = \frac{6400}{253} = 25 \text{ шт.}$$

Визначаємо добовий фонд часу роботи обладнання за формулою:

$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot F_{\text{д}}}{D_p}, \text{ хв.} \quad (1.6)$$

$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot 3900}{253} = 925 \text{ хв.}$$

Визначаємо середню трудомісткість механічних операцій за формулою:

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_{\text{ш-к}}}{n}, \text{ хв.} \quad (1.7)$$

де  $n$  – число механічних операцій, шт.;  $n = 7$  шт.;

$$T_{\text{ср}} = \frac{55,5}{7} = 7,9 \text{ хв.}$$

Добова потужність потокової лінії при її завантаженні на 60% розраховується за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{F_{\text{доб}}}{T_{\text{ср}}} \cdot 0,6, \text{ шт.} \quad (1.8)$$

$$Q_{\text{ср}} = \frac{925}{7,9} \cdot 0,6 = 70 \text{ шт.}$$

При порівнянні добового випуску деталей  $N_{доб} = 25$  добової потужності потокової лінії  $Q_{доб} = 70$  шт. видно, що добовий випуск деталей набагато менший ніж добова потужність потокової лінії при її завантаженні на 60%, тобто використання однономенклатурної потокової лінії в серійному виробництві не раціонально, тому приймаємо групову форму організації праці.

Визначаємо кількість деталей в партії за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{253}, \text{ шт.} \quad (1.9)$$

де  $a$  – періодичність запуску в днях,  $a = 6$  днів;

$$n = \frac{6400 \cdot 6}{253} = 152 \text{ шт.}$$

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Відпрацювання деталі представляє собою одну з найбільш складних функцій технологічної підготовки виробництва. Воно обумовлене тісним взаємозв'язком між конструкцією деталі та технологією його виробництва.

Кожна деталь повинна виготовлятися з мінімальними трудовими та матеріальними витратами. Ці витрати можливо скоротити в значній мірі від правильного вибору варіанту технологічного процесу, його оснащення, механізації та автоматизації, застосування оптимальних режимів обробки та правильної підготовки виробництва. На трудомісткість виготовлення деталі впливає особливий вплив її конструкція і технічні вимоги.

Деталь «шестерня 1412.1820.1334» представляє собою тіло обертання і призначена для передачі крутного моменту. Деталь має центральний рівний отвір. Цей отвір є основною конструкторською базою. Деталь має зубчасті вінці з модулем  $m = 5$  і числом зубців  $z = 32$  та з модулем  $m = 5$  і числом шліців  $z = 26$ . Зубці піддаються цементації. Цементация — процес насичення вуглецем поверхневого шару вуглецевої сталі, нагрітої до температури вищої критичної точки, в результаті чого відбувається зміцнення. Зазвичай цементують деталі, що піддаються спрацюванню в умовах ударних навантажень. Після цементації деталь набуває крупнозернистої структури. Тому після її піддають термообробці – гартуванню і відпусканню, в результаті чого внутрішні шари стають дрібнозернистими і пластичними, а зовнішній шар залишається твердим.

Аналізуючи технологічність деталі за матеріалом сталь 20ХНЗА ГОСТ 4543-71, можна сказати, що дана марка сталі підібрана вдало, так як під час роботи на деталь діють як вібрації, так і динамічні навантаження, які руйнують структуру матеріалу. Застосування дешевих сталей недоцільно, тому що це призведе до зменшення показників механічних властивостей матеріалу та руйнування деталі під дією робочих навантажень. Отже, за використаним матеріалом, вважатимемо деталь технологічною.

На теперішній час обробка металів тиском є найбільш розповсюдженим та технічно обґрунтованим методом отримання заготовок, іменованих поковками, які в подальшому піддаються механічній обробці для досягнення вимагаємих розмірів та конфігурації деталі.

Поковка – це проміжна заготовка, отримана методом пластичної деформації металу, особливість якої є її схожість з майбутньою деталлю за габаритними розмірами та формі.

Метод, що використовуються для виготовлення поковки для деталі це штампування – процес деформації сталеві вихідної заготовки під тиском, що протікає із застосуванням додаткової оснастки (спеціального штампу). Ударним

елементом, що здійснює навантаження, є пуансон. Штампування має достатньо високу продуктивність, воно не вимагає високої кваліфікації працюючих, а на виході поковка має більш високу точність розмірів та малу шорсткість поверхневого шару.

Заготовка отримується з поковки, що є досить обґрунтовано з точки зору типу виробництва, матеріалу, форми, розмірів та конфігурації деталі та відповідності технічним вимогам креслення. Отже, за способом отримання заготовки - деталь є технологічною.

Аналіз форми деталі показав, що задана деталь складається з простих поверхонь. Найскладнішим являється одержання зубчастої поверхні, що досить не технологічно та потребує залучення спеціального пристосування. Але, роблячи загальний аналіз, можемо визнати, що деталь технологічна за формою поверхонь.

Конструктивна форма деталі дозволяє виконувати наступні вимоги до технологічності механічної обробки:

- можливість простого та надійного закріплення деталі на верстаті;
- форма поверхонь та їх розміри дозволяють виконувати обробку на існуючих моделях верстатів.

Найвідповідальнішими поверхнями, до яких пред'являються підвищені вимоги, є: отвір  $\varnothing 100H7$  та торці 55 мм, які мають шорсткість  $Ra 1,0$  мкм і призначені для встановлення деталі у вузол.

На кресленні деталі є такі вимоги: зубчаста поверхня підлягає цементації на глибину  $h = 1,0 \dots 1,4$  мм до HRC 57...65. Це дозволяє зменшити крихкість, підвищити стійкість і надійність деталі, підвищити довговічність з'єднання.

Деталь шестерня є досить жорсткою в осьовому та радіальному напрямках. При виготовленні деталі можливе застосування нормативних режимів різання, без їх зменшення.

Деталь має гарні базові поверхні: центральний отвір та торці, що дозволяє використовувати порівняно нескладні верстатні пристрої на операціях механічної обробки.

Допуск торцевого биття поверхні 55 мм визначений конструктором не більше 0,05 мм відносно бази А. Деталь має достатню жорсткість. Всі розміри деталі в основному стандартизовані і не потребують різноманітної номенклатури ріжучого інструменту для обробки.

Спрощення вимог креслення, запропонованих конструктором, у відношенні точності та якості поверхонь не має можливості, так як деталь відповідальна.

Визначені конструктором вимоги є обґрунтованими для забезпечення виконання службового призначення деталі. Таким чином, дану деталь можна вважати технологічною.

Для розрахунку коефіцієнтів точності і шорсткості, складемо таблицю 1.5, в якій наведемо характеристики усіх поверхонь деталі.

Таблиця 1.5 – Характеристика поверхонь деталі

Найменування поверхні	Кількість	Параметр шорсткості Ra, мкм	Квалітет точності
Зовнішні:			
Ø170	1	6,3	14
Ø135	1	6,3	10
Ø123	1	12,5	14
Ø124,3	1	6,3	14
Внутрішні:			
Ø100	1	1,0	7

Продовження таблиці 1.5

Найменування поверхні	Кількість	Параметр шорсткості Ra, мкм	Квалітет точності
Лінійні:			
<u>зубчастий вінець В:</u>			
висота 30	1	12,5	14
<u>зубчастий вінець Б:</u>			
висота 13	1	12,5	14
Інші:			
фаска 1,6x45°	3	1,0	7
фаска 2,5x45°	2	12,5	14
фаска 5x45°	1	12,5	14
кільцева проточка між вінцями Ø122 ширина 7	1	12,5	14
Всього	14	95,9	136

Коефіцієнт шорсткості визначимо за формулою:

$$K_{ш} = \frac{I}{A_{cp}} < 0,32 \quad (1.10)$$

де  $A_{cp} = 95,9/14 = 6,85$  мкм – середнє арифметичне значення шорсткості за таблицею 1.5;

$$K_{ш} = \frac{1}{6,85} = 0,15 < 0,32$$

Оскільки коефіцієнт шорсткості не перевищує допустиму величину (0,32), можна сказати, що деталь за даним критерієм є технологічною.

Коефіцієнт точності обробки визначаємо за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{I}{B_{cp}} > 0,8 \quad (1.11)$$

де  $B_{cp} = 136/14 = 9,71$  – середнє арифметичне значення квалітету точності, за таблицею 1.5.

$$K_T = 1 - \frac{1}{9,71} = 0,9 > 0,8$$

Оскільки коефіцієнт точності перевищує допустиму величину (0,8), можна сказати, що деталь за даним критерієм технологічна.

Аналіз деталі за якісними і кількісними показниками показав, що в цілому конструкція деталі технологічна.

Кількісний аналіз технологічності конструкції. Коефіцієнт використання матеріалу  $K_{в.м}$ :

$$K_{в.м} = \frac{M_d}{M_3} = \frac{3,56}{6,08} \approx 0,6 < 0,32$$

де  $M_3 = 6,05$  кг – маса заготовки (за базовим варіантом технологічного процесу);  
 $M_d = 3,56$  кг – маса деталі.

Рівень технологічності деталі за точністю обробки визначимо за формулою [5]:



$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \quad (1.12)$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет точності розмірів оброблюваних поверхонь деталі:

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i} \quad (1.13)$$

де  $T_i$  – квалітет точності розмірів;

$n_i$  – кількість розмірів з  $T_i$  квалітетом точності.

$$T_{cp} = (7 \cdot 2 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 8) / 11 = 12,36.$$

Тоді коефіцієнт точності розмірів дорівнюватиме

$$K_m = 1 - 1/12,36 \approx 0,92 > [0,8].$$

Коефіцієнт точності розмірів перевищує нормативний показник 0,8, тобто деталь можна вважати технологічною.

Рівень технологічності деталі за шорсткістю оброблюваних поверхонь визначимо за формулою [5]:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}} \quad (1.14)$$

де  $Ш_{cp}$  – середній рівень шорсткості оброблюваних поверхонь деталі.

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i n_i}{\sum n_i} \quad (1.15)$$

де  $Ш_i$  – рівень шорсткості поверхні;  
 $n_i$  – кількість поверхонь з  $Ш_i$  рівнем шорсткості.

$$Ш_{cp} = (1,0 \cdot 2 + 6,3 \cdot 3 + 12,5 \cdot 6) / 11 = 8,71.$$

Тоді коефіцієнт шорсткості дорівнюватиме

$$K_T = 1 - 1/8,71 = 0,89 > [0,8].$$

Коефіцієнт шорсткості перевищує нормативний показник 0,8, тобто деталь можна вважати технологічною.

Аналіз деталі за якісними і кількісними показниками показав, що в цілому конструкція деталі технологічна.

### 1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

З метою побудови оптимального маршруту механічної обробки деталі «шестерня 1412.1820.1334» виконаємо аналіз її заводського технологічного процесу механічної обробки. Для цього складемо таблицю 1.6 з відображенням номеру, найменування, короткого змісту виконуваних операцій базового технологічного процесу, особливостей базування заготовки, а також застосованого металорізального обладнання.

Таблиця 1.6 – Опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

№ операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
005	Заготівельна	Штапування на пресі	-	Прес К8544
010	Токарна з ЧПК	Точити поверхні 1, 3, 4, 7 начорно; Точити поверхні 1, 2, 3, 4, 7 начисто; Розточити отвір 6	Поверхня заготовки Ø 139 мм з упором торець	Верстат токарний 16К20Т1 з ЧПК
015	Токарна з ЧПК	Точити поверхні 8, 9, 11 начорно; Точити поверхні 8-12 начисто; Точити канавку 13	Поверхня заготовки Ø 170 мм з упором торець	Верстат токарний 16К20Т1 з ЧПК
020	Зубофрезерна	Фрезерувати зуби на поверхні 9	Отвір Ø 100 мм з упором торець	Зубофрезерний верстат 5В312
025	Зубофрезерна	Фрезерувати зуби на поверхні 1	Отвір Ø 100 мм з упором торець	Зубофрезерний верстат 5В312
030	Термічна	-	-	Установка СВЧ
035	Зубошліфувальна	Шліфувати зуби на поверхні 1	Отвір Ø 100 мм з упором торець	Зубошліфувальний верстат 5841
040	Внутрішньошліфувальна	Шліфувати отвір 6	Поверхня заготовки Ø 135 мм з упором торець	Верстат внутрішньошліфувальний 3К228В
045	Плоскошліфувальна	Установ А Шліфувати торці 4; Установ Б Шліфувати торець 11	Торці заготовки	Плоскошліфувальний верстат 3Д723

Продовження таблиці 1.6

№ операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
050	Технічний контроль	Контроль точності розмірів	-	Стіл ВТК

Технологічний процес виготовлення деталі «шестерня 1412.1820.1334» в запропонованому варіанті виконаний як маршрутний, який відповідає середньосерійному типу виробництва. До технологічного процесу входять 10 операцій, з яких 8 операцій з механічної обробки, решта — заготівельна та контрольна.

Аналізуючи заводський технологічний процес можна зазначити, що операції з механічної обробки обрані правильно. Але є незначні недоліки, які скоріше за все викликані вимогами конструктора.

Йдучи в ногу з часом, сьогоденними умовами та конкуренцією на ринку потрібно максимально застосовувати та впроваджувати більш сучасні, модернізовані верстати, які б дозволяли обробляти деталь на високих швидкостях різання, були б жорсткими за конструкцією, були б більш точними, тим самим збільшуючи виробництво, кількість виготовлюваної продукції, зменшуючи витрати на ремонт.

Цим вимогам відповідають верстати нових моделей: для операції токарної з ЧПК — верстат токарний з ЧПК TOP TURN S30, для операції зубофрезерної — верстат зубофрезерний BCH-350NC2, для операції внутрішньо-шліфувальної — верстат внутрішньо-шліфувальний PM150NC.

На всіх операціях заводського технологічного процесу застосовується універсальне устаткування і технологічне оснащення.

Аналіз базування показує, що принцип сталості баз дотримується: лезова обробка всіх циліндричних поверхонь виконується по зовнішнім поверхням в патроні з упором в торець. При фрезеруванні зубів шестерні заготовка закріплюється в горизонтальному положенні по отвору  $\varnothing 100$  мм з упором в торець. Для закріплення деталі для шліфування отвору  $\varnothing 100H7$  застосовують трьохкулачковий патрон з упором в зубчасту поверхню  $\varnothing 135$  мм.

Базування, застосовуване устаткування та оснастка відповідають заданій програмі випуску і прийнятій формі середньосерійного виробництва. Верстати розташовані за видами обладнання. Заготовки встановлюють на верстати і транспортують між операціями дотримуючись вимог діючої нормативної документації.

У заводському технологічному процесі застосовується універсальний різальний інструмент: прохідні відігнуті та упорні різці зі сплаву твердого спеченого T15K6, фрези черв'ячні з швидкорізальної сталі, круги шліфувальні з білого якісного електрокорунду Э9А.

Як вимірювальний інструмент застосовується калібр-скоби для контролю отриманих циліндричних поверхонь, штангенциркулі, тангенційні зубоміри, калібр-пробки, зразки шорсткості.

Загалом, все вище перелічене дозволяє забезпечити достатню якість оброблюваних поверхонь деталі «шестерня»: за точністю розмірів, форми, взаємному розташуванні поверхонь. Але зробивши аналіз заводського технологічного процесу механічної обробки деталі «шестерня», робимо висновок, що є потенціал щодо його вдосконалення при проектуванні раціонального технологічного процесу даної деталі.

## 1.6 Висновок

Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «шестерня» показав, що маршрут обробки заготовки складений в цілому раціонально, з дотриманням етапів обробки від чорнових до чистових. При установці заготовки забезпечується принцип сталості та суміщення баз.

Технологічний процес достатньо адаптований під реальне виробництво, за виключенням застосування морально та фізично застарілих моделей верстатного устаткування.

## РОЗДІЛ 2

### УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Розробка раціонального технологічного процесу виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення деталі - це послідовна зміна форми, розмірів, стану поверхонь і властивостей матеріалу з метою виготовлення деталі, що відповідає технічним вимогам.

На розробку технологічного процесу впливають наступні фактори:

- тип виробництва, форми організації технологічного процесу;
- характер устаткування і технологічного оснащення, що застосовуються;
- конструктивні форми, розміри і технологічність виробу;
- вид матеріалу та його властивості;
- форми, розміри і точність виготовлення заготовок;
- вимоги до точності і шорсткості оброблюваних поверхонь;
- особливі вимоги до фізико-хімічних властивостей виконавчих поверхонь: твердість, корозійна стійкість, жаростійкість, антифрикційні властивості та інше;
- вимоги до продуктивності та економічності виробництва.

В загальному виді технологічний процес виготовлення деталей представляє собою комплекс операцій, пов'язаних з виробництвом заготовок, їх механічної і зміцнювальної обробки, контролю якості і, при необхідності, оздоблення і упакування. Предметом досліджень і нових розробок в технології машинобудування на даний час є створення нових матеріалів і розробка нових технологічних методів, процесів і видів обробки та устаткування, виробництво

заготовок, якість поверхонь і точність їх обробки, процеси складання і питання механізації і автоматизації.

ТП складається з окремих частин і операцій. Частини відрізняються методами виконання, фізико-хімічними процесами і застосовуваним обладнанням. ГОСТ 3.1109-82 встановлює термінологію, яка використовується при проектуванні ТП.

Для вдосконалення базового технологічного процесу необхідно заміна фізично (матеріально) та морально (економічно) застарілого обладнання.

Розрізняють два види зносу:

- фізичний знос. Під фізичним зносом розуміють поступову втрату своєї первісної споживчої вартості, яка відбувається не тільки в процесі їх функціонування, але і при їх бездіяльності (руйнування від зовнішніх впливів, атмосферного впливу, корозії). Фізичний знос викликається зміною фізичних властивостей машини - накопиченням втоми металу, з якого вона зроблена, зносом деталей, що труться тощо, що неминуче призводить до зростання простоїв на ремонтах, зниження продуктивності, збільшення витрати палива, погіршення економічності. Процес зносу є незворотнім і, хоча можливо скоротити його розміри за допомогою ремонтних робіт, це є економічно виправданим лише до певної межі. Наявність фізично застарілих основних фондів виробничого призначення, по-перше, гальмує виробництво сучасної продукції; по-друге, зношеність призводить до частих поломок і зупинки обладнання, по-третє, знижує комфортність умов роботи. Як наслідок збільшується час перебування устаткування в ремонті. В результаті знижується якість продукції і збільшуються витрати на її виробництво, що в свою чергу, веде до її подорожчання і зниження на неї попиту. Внаслідок швидкої зміни поколінь техніки завдяки технічному прогресу обладнання морально застаріває. На підприємствах може зібратися значна частина обладнання, що не пройшла повного терміну експлуатації, фізично не зношеного, що не переніс повністю свою вартість на виготовлену з його допомогою продукцію і не окупить себе;



- моральний знос. Подальша експлуатація морально застарілого обладнання не дозволяє освоювати і виготовляти сучасну продукцію, що користується попитом. Тому важливо враховувати значимість морального зносу. Моральний знос - це знецінення елементів основного капіталу, внаслідок появи або більш дешевого устаткування тієї ж продуктивності, або більш продуктивного обладнання колишньої вартості. Причиною морального зносу є зміна суспільних умов виробництва. Матеріальною основою морального зносу є технічний прогрес. Моральний знос означає втрату частини вартості обладнання без відповідного фізичного зносу, а в силу здешевлення виробництва подібного обладнання.

В результаті проведеного аналізу пропонується наступний маршрут технологічний процес механічної обробки деталі «шестерня 1412.1820.1334», див. таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Опис запропонованого технологічного процесу виготовлення деталі

№ операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
005	Заготівельна	Штапування на пресі	-	Прес K8544
010	Токарна з ЧПК	Точити поверхні 1, 3, 4, 7 начорно; Точити поверхні 1, 2, 3, 4, 7 начисто; Розточити отвір 6	Поверхня заготовки Ø 139 мм з упором в торець	Верстат токарний з ЧПК TOP-TURN S30
015	Токарна з ЧПК	Точити поверхні 8, 9, 11 начорно; Точити поверхні 8-12 начисто; Точити канавку 13	Поверхня заготовки Ø 170 мм з упором в торець	Верстат токарний з ЧПК TOP-TURN S30
020	Зубофрезерна	Фрезерувати зуби на поверхні 9	Отвір Ø 100 мм з упором в торець	Зубофрезерний верстат BCN-350NC2

## Продовження таблиці 2.1

№ операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Базування	Обладнання
025	Зубофрезерна	Фрезерувати зуби на поверхні 1	Отвір Ø 100 мм з упором в торець	Зубофрезерний верстат VCN-350NC2
030	Термічна	-	-	Установка СВЧ
035	Зубошліфувальна	Шліфувати зуби на поверхні 1	Отвір Ø 100 мм з упором в торець	Зубошліфувальний верстат 5841
040	Внутрішньошліфувальна	Шліфувати отвір 6	Поверхня заготовки Ø 135 мм з упором в торець	Верстат внутрішньошліфувальний PM150NC
045	Плоскошліфувальна	Установ А Шліфувати торці 4; Установ Б Шліфувати торець 11	Торці заготовки	Плоскошліфувальний верстат 3Д723
050	Технічний контроль	Контроль точності розмірів	-	Стіл ВТК

Як видно з таблиці 2.1, в запропонованому варіанті технологічного процесу механічної обробки деталі «шестерня» було замінено старе фізично та морально застаріле обладнання на більш сучасне з метою підвищення якості продукції та її конкурентоспроможності, заощадження всіх видів ресурсів.

## 2.2 Обґрунтування вибору способу отримання вихідної заготовки

Враховуючи геометричні параметри деталі «шестерня», умови виробництва та матеріал, для одержання заготовки можна застосовувати штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП) або трубний прокат.

Застосування трубного прокату нераціональне у середньосерійному виробництві тому, що деталь «шестерня» має досить великий наскрізний отвір, а отже, багато матеріалу піде в стружку.

Кривошипні гарячештемпувальні преси доцільно використовувати для виготовлення виробів типу фланці, короткі вали з отворами, до яких належить деталь «шестерня». КГШП відрізняються високою собівартістю, але пристосовані для високомеханізованого та автоматизованого виробництва поковок. КГШП складається з двох частин, які називаються верхнім і нижнім штампами (виштовхувачами). Застосування виштовхувачів в обох частинах штампів дає змогу зменшити штампувальні ухили, припуски на обробку різанням [5]. При штампуванні в штампах для видавлювання витрата металу знижується до 30%, продуктивність праці при механічній обробці деталей збільшується вдвічі.

Остаточний висновок зробимо після техніко-економічних розрахунків собівартості заготовки.

За ГОСТ 7505-89 головними ознаками штамповок є: точність виготовлення; група сталі; конфігурація поверхні роз'єму штампу; ступінь складності [19]. Отже, клас точності даної заготовки – Т3 (закрите штампування). Група сталі заготовки визначається за вмістом вуглецю та легуючих елементів. Для сталі 20ХНЗА група сталі – М1.

Ступінь складності заготовки визначається з відношення:

$$C = \frac{M_n}{M_\phi} \quad (2.1)$$

де  $M_u$  – орієнтовна маса штамповки, кг;

$M_\phi$  – маса фігури, в яку можна вписати штамповану заготовку, кг.

Орієнтовна маса заготовки-штамповки визначається за формулою:

$$M_u = M_\partial \cdot K_p, \text{ кг} \quad (2.2)$$

де  $K_p$  – коефіцієнт для визначення орієнтованої маси штамповки;  $K_p = 1,5$ .

$$M_u = 3,56 \cdot 1,5 = 5,34 \text{ кг}$$

Масу фігури, в яку можливо вписати заготовку, визначаємо, за розмірами деталі, збільшеними на 1,05.

Масу фігури визначаємо за формулою:

$$M_\phi = V_\phi \cdot \gamma, \text{ кг} \quad (2.3)$$

де  $V_{заг}$  – загальний об'єм;

$\gamma$  – густина сталі;  $\gamma = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{мм}^3$ ;

$$V_\phi = \frac{\pi D_\phi^2 l_\phi}{4}, \text{ мм}^3 \quad (2.4)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 178,5^2 \cdot 57,75}{4} = 1444435 \text{ мм}^3$$

$$M_{\phi} = 1444435 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 11,34 \text{ кг}$$

$$\frac{5,34}{11,34} = 0,47$$

Так, як  $0,32 < 0,47 < 0,63$ , то приймаємо ступінь складності С2.

На основі отриманих показників визначаємо вихідний індекс – 11, потрібний для подальшого визначення припусків та допусків штамповки.

Розраховуємо розміри заготовки. Дані заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок розмірів заготовки

Розмір деталі	Клас точності	Шорсткість	Припуск	Додатковий припуск	Допуск	Розмір заготовки
Ø135	10	6,3	1,7×2	0,3	+1,4 -0,8	Ø139 <sup>+1,4</sup> <sub>-0,8</sub>
Ø170	14	6,3	1,8×2	0,3	+1,6 -0,9	Ø174,5 <sup>+1,6</sup> <sub>-0,9</sub>
Ø100	7	1,0	2,2×2	0,3	+0,7 -1,3	Ø95,3 <sup>+0,7</sup> <sub>-1,3</sub>
55	14	1,0	1,8×2	0,4	+1,3 -0,7	59,5 <sup>+1,3</sup> <sub>-0,7</sub>
30	14	12,5	1,2×2	0,4	+1,1 -0,5	33,5 <sup>+1,1</sup> <sub>-0,5</sub>

Виконуємо ескіз заготовки, див. рисунок 2.1.

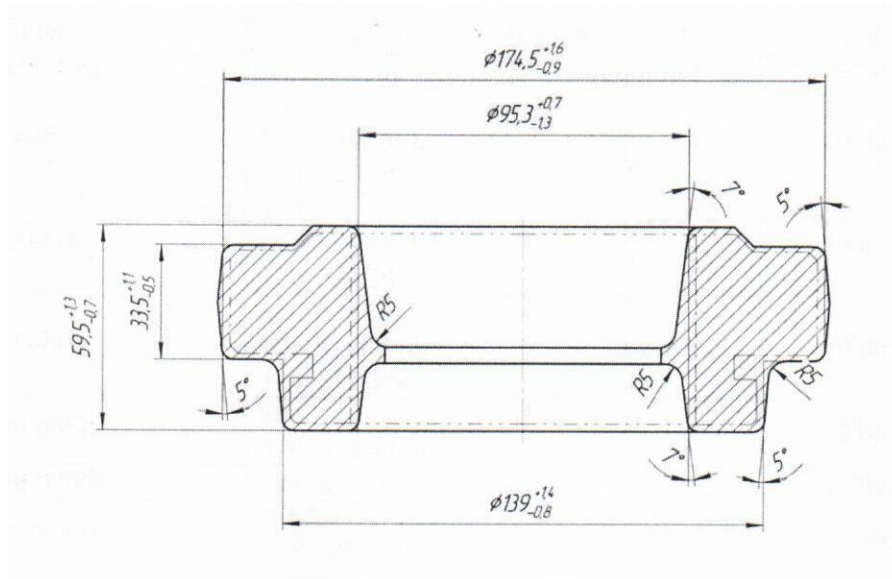


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Визначаємо об'єм заготовки за формулою:

$$M_3 = V_3 \cdot \gamma, \text{ кг} \quad (2.5)$$

де  $V_3$  – об'єм заготовки,  $\text{мм}^3$ .

Визначаємо об'єм заготовки за формулою:

$$V_3 = \frac{\pi D_1^2 l_1}{4} + \frac{\pi D_2^2 l_2}{4} + \frac{\pi D_3^2 l_3}{4} + \frac{\pi D_4^2 l_4}{4} + \frac{\pi D_5^2 l_5}{4}, \text{ мм}^3 \quad (2.6)$$

$$V_{\text{заг}} = \frac{3,14 \cdot 174,5^2 \cdot 33,5}{4} + \frac{3,14 \cdot 139^2 \cdot 26}{4} - \frac{3,14 \cdot 95,3^2 \cdot 59,5}{4} = 770905 \text{ мм}^3$$

$$M_3 = 770905 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 6,05 \text{ кг}$$

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_{\text{з}}}, \quad (2.7)$$

де  $M_{\text{д}}$  – маса деталі, кг;  
 $M_{\text{з}}$  – маса заготовки, кг.

$$K_{\text{вм}} = \frac{3,56}{6,05} = 0,60$$

Визначаємо собівартість заготовки-штамповки за формулою [3], с.31:

$$S_{\text{заг}} = (S_{\text{м}} \cdot M_{\text{з}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{н}}) - (M_{\text{з}} - M_{\text{д}}) \cdot S_{\text{відх}}, \text{ грн.} \quad (2.8)$$

де  $S_{\text{м}}$  – базова вартість 1 кг заготовки,  $S_{\text{м}} = 56$  грн./кг;  
 $S_{\text{відх}}$  – вартість відходів,  $S_{\text{відх}} = 5,6$  грн.;  
 $K_{\text{т}}$  – коефіцієнт, що залежить від точності;  $K_{\text{т}} = 1,0$ ;  
 $K_{\text{с}}$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності;  $K_{\text{с}} = 0,87$ ;  
 $K_{\text{в}}$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу;  $K_{\text{в}} = 0,89$ ;  
 $K_{\text{м}}$  – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки;  $K_{\text{м}} = 1,13$ ;  
 $K_{\text{н}}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовки,  $K_{\text{н}} = 1,0$ ;

$$S_{\text{заг}} = (56 \cdot 6,05 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 0,89 \cdot 1,13 \cdot 1,0) - (6,05 - 3,56) \cdot 5,6 = 282,5 \text{ грн.}$$

Розглянемо другий спосіб. Для проектування заготовки використовуємо ГОСТ 8732-78. Найближче більше значення діаметра  $D_{\text{д}} = 180$  мм з товщиною стінки 40 мм. Дані заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахунок розмірів заготовки з прокату

Розмір деталі	Клас точності	Шорсткість	Припуск	Допуск	Розмір заготовки
Ø170	14	6,3	5×2	+0,9 -2,5	Ø180 <sup>+0,9</sup> <sub>-2,5</sub>
Ø100	7	1,0	2,5×2	+0,5 -1,3	Ø95 <sup>+0,5</sup> <sub>-1,3</sub>
55	14	1,0	3×2	±1,2	308±1,2

Виконуємо ескіз заготовки, див. рисунок 2.2.

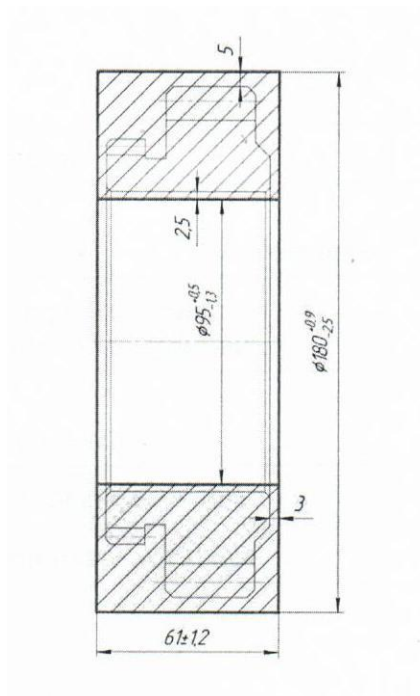


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки з прокату

За формулами (2.5) – (2.7) визначаємо масу заготовки та коефіцієнт використання матеріалу:

$$V_{заг} = \frac{3,14 \cdot 180^2 \cdot 61}{4} - \frac{3,14 \cdot 95^2 \cdot 61}{4} = 1119312 \text{ мм}^3$$



$$M_3 = 1119312 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 8,8 \text{ кг}$$

Тоді коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{в.м}} = \frac{3,56}{8,8} = 0,41$$

Витрати на матеріал заготовки визначаємо за формулою [3]:

$$M = QS - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \quad (2.9)$$

де  $S$  – базова вартість 1 тони матеріалу заготовки, грн. Базова вартість матеріалу складає 19000...124000. Приймаємо  $S = 40000$  грн.;

$S_{\text{відх}}$  – вартість 1 тони відходів, грн.; вартість відходів приймаємо як 10% від вартості матеріалу.

$$M = 8,8 \cdot 40 - (8,8 - 3,56) \cdot 4 = 331 \text{ грн.}$$

Отже, для отримання заготовки варто застосовувати штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі.

До заготовки ставляться наступні технічні вимоги:

- 229...285 НВ;
- за ГОСТ 7505-89 вихідний індекс становить 11 (клас точності – Т3; степінь складності – С2; група сталі – М1);
- допустиме зміщення по поверхні роз'єму штампу 0,3 мм;
- допустима величина залишкового облою 0,8 мм;
- допустима величина заусенців 3 мм;

- невказані радіуси 3...5 мм;
- невказані ухили: зовнішні - 5°; внутрішні - 7°

### 2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку

Для найточнішої поверхні, якою є отвір  $\varnothing 100H7$  мм розрахунок припусків проводимо [3] за допомогою ЕОМ.

Величину розрахункового мінімального припуску на операцію визначаємо за формулою:

$$2z_{min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \text{ мкм} \quad (2.10)$$

де  $R_{zi-1}$  – висота мікронерівностей, яка залишається після попередньої операції або переходу, мкм;

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару, яка залишається після попередньої операції або переходу, мкм;

$\rho_{i-1}$  – сумарне значення просторових відхилень, яке залишається після попередньої операції або переходу, мкм.

Сумарне відхилення розташування заготовки визначаємо за формулою:

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{екс}^2}, \text{ мкм} \quad (2.11)$$

де  $\rho_{зм}$  – величина зміщення заготовки, мкм;  $\rho_{зм} = 700$  мкм за ГОСТ 7505-74;

$\rho_{екс}$  – величина неспіввісності (ексцентричності), мкм;  $\rho_{зм} = 1000$  мкм;

$$\rho = \sqrt{700^2 + 1000^2} = 1221 \text{ мкм}$$

Для решти операцій величину просторових відхилень визначаємо за формулою:

$$\rho_{зал} = k_y \cdot \rho_{заг}, \text{ мкм} \quad (2.12)$$

де  $k_y$  – коефіцієнт уточнення форми, залежить від виду обробки. Для розточування чорного  $k_y = 0,05$ ; для розточування чистого  $k_y = 0,04$  для попереднього шліфування  $k_y = 0,03$ ; для остаточного шліфування  $k_y = 0,02$ .

$$\rho_{розтчорн} = 0,05 \cdot 1221 = 61 \text{ мкм}$$

$$\rho_{розтчист} = 0,04 \cdot 1221 = 49 \text{ мкм}$$

$$\rho_{шлпоп} = 0,03 \cdot 1221 = 37 \text{ мкм}$$

$$\rho_{шлост} = 0,02 \cdot 1221 = 24 \text{ мкм}$$

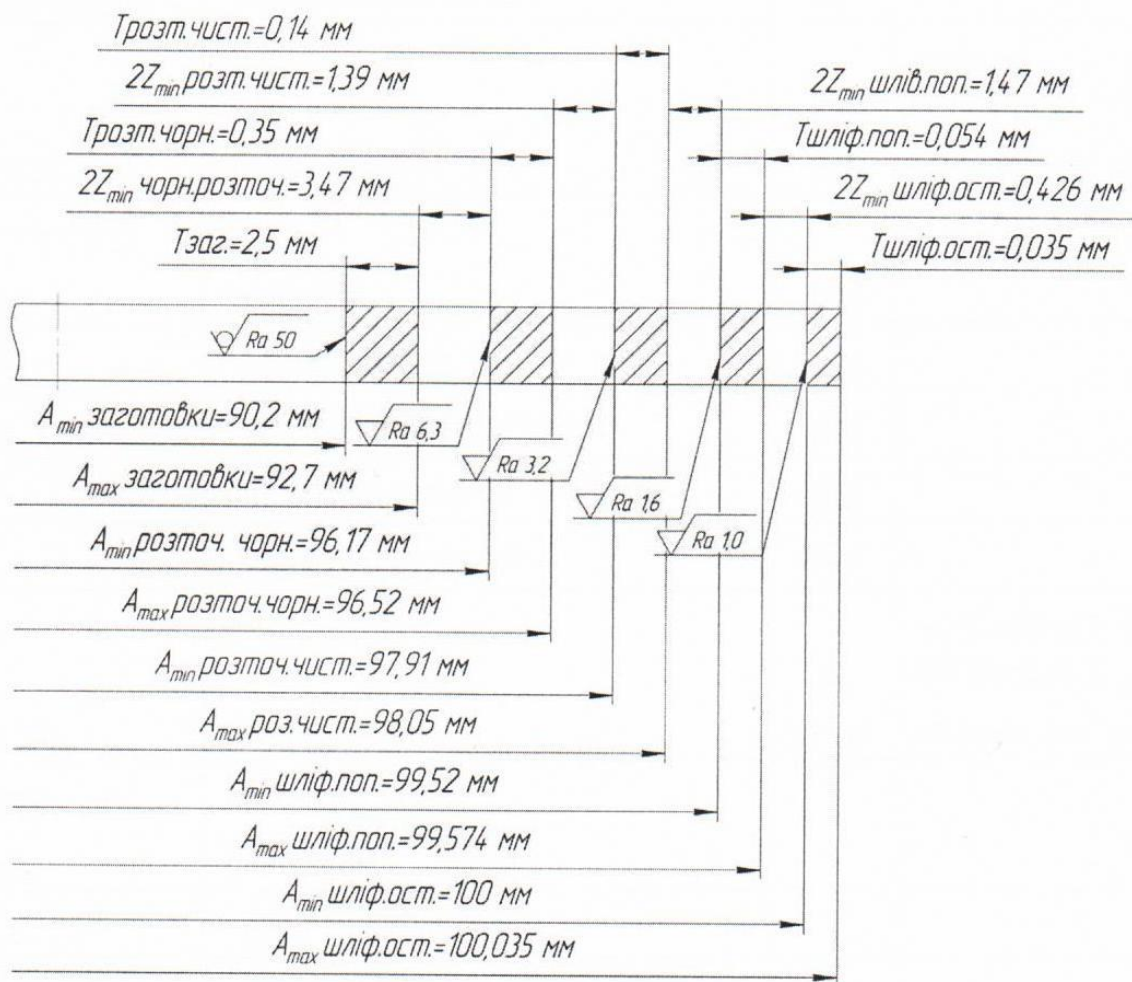
Вихідні дані для розрахунку припусків на ЕОМ див. в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку припусків на ЕОМ

Найменування переходу	Точність	Граничні відхилення	Елементи припуску, мкм		
			R <sub>z</sub>	T	ρ
Заготовка	16	+2,2 0	150	250	1221
Розточування чорнове	12	+0,87 0	50	50	61
Розточування чистове	10	+0,22 0	30	30	49
Шліфування попереднє	8	+0,087 0	10	20	37
Шліфування остаточне	7	+0,035 0	5	15	24

Расчетные значения		Принятые значения, мм								
припуск, мкм		расчетный размер, мм	расчетный размер	номинальный размер с предельными отклонениями		предельный размер		припуск, мкм		
миним	расч.					минимальный	максимальный	миним	расч.	макс
-	-	90.226	90.2	91.1	+1.600	90.2	92.7	-	-	-
3444	5944	96.177	96.17	96.17	-0.900	96.17	96.52	3470	5970	6320
1383	1733	97.91	97.91	97.91	+0.350	97.91	98.05	1390	1740	1880
1470	1610	99.52	99.52	99.52	+0.140	99.52	99.574	1470	1610	1664
426	480	100	100	100	+0.054	100	100.035	426	480	515
					0					
					0					
					0					

Рисунок 2.3 – Розрахунок припусків

Рисунок 2.4 – Схема розміщення припусків на обробку поверхні  $\varnothing 100H7$  мм

## 2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки

Операція 015 токарна з ЧПУ. На даній операції виконується чорнове точіння поверхонь 8, 9, 11, чистове точіння поверхонь 8-12 та точіння канавки 13 див. рисунок 1.2.

Спосіб базування заготовки: по зовнішній поверхні  $\varnothing 170$  мм з упором в торець (в трикулачковому патроні) з упором в торець. За установчу базу обираємо торець заготовки, який позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а зовнішня циліндрична поверхня  $\varnothing 170$  мм є напрямною базою і позбавляє заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється див. таблиці 2.5 та 2.6. Похибка базування  $\epsilon = 0$ .

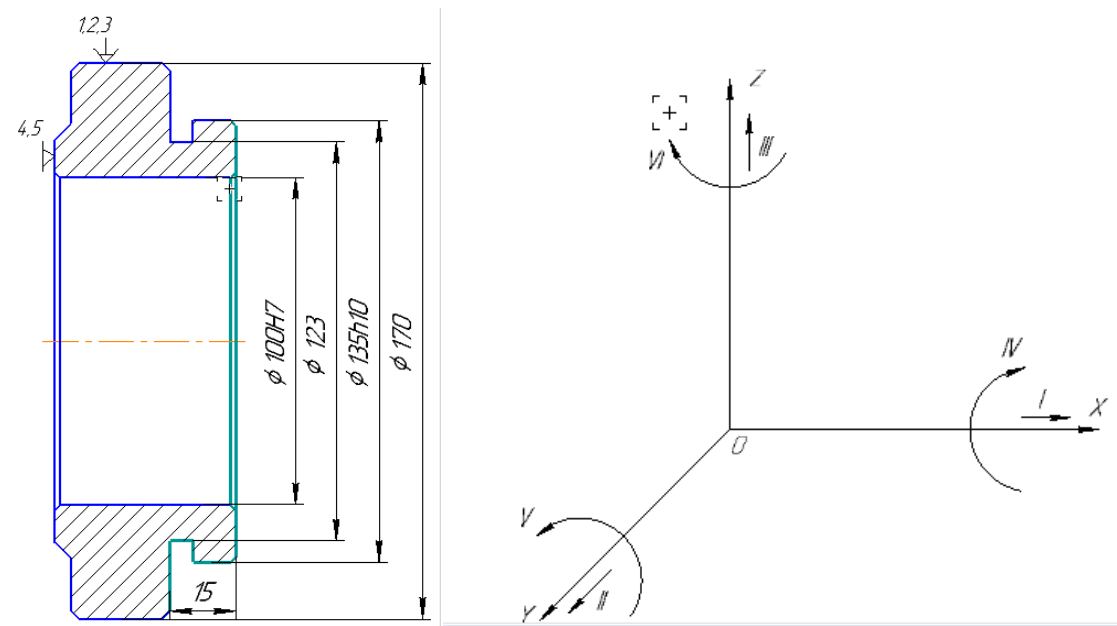


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки в трикулачковому патроні

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1,2,3	I, III, V	Напрямна база
4, 5	II, IV	Опорна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
НБ	L	1	1	1
	$\alpha$	0	0	0
ОБ	L	0	0	0
	$\alpha$	1	1	0
Вакансія	L	0	0	0
	$\alpha$	0	0	1

Операція 025 зубофрезерна. На даній операції фрезеруються зуби шестерні. Заготовку закріплюємо в горизонтальному положенні по отвору  $\varnothing 100$  мм з упором в торець.

Спосіб базування заготовки див. рисунок 2.6. За установчу базу приймаємо торець шестерні, який позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а отвір є прямою базою і позбавляє заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється див. таблиці 2.7 та 2.8. У такий спосіб похибка буде дорівнювати половині допуску на діаметр отвору, по якому базується заготовка:  $\varepsilon = \delta_{\varnothing 99,4} = 0,14/2 = 0,7$  мм.

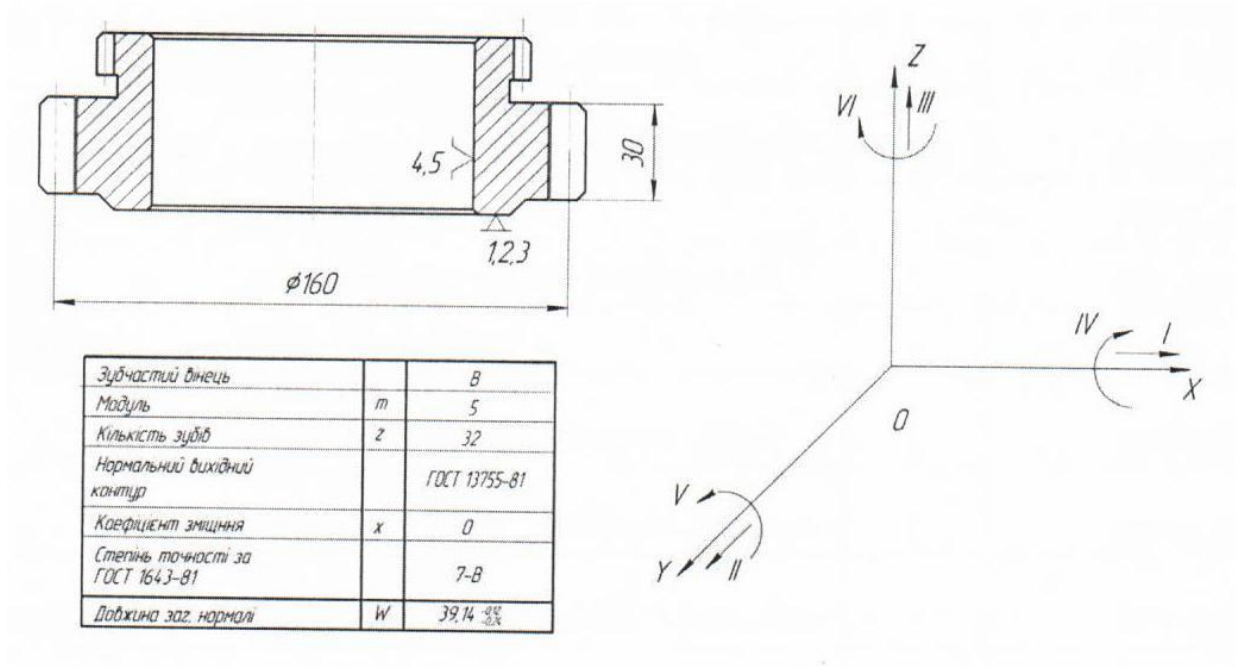


Рисунок 2.6 – Схема базування для обробки на вертикально-фрезерному верстаті

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1, 2, 3	II, III, V	Установча база
4, 5	I, V	Напрямна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
УБ	L	0	1	1
	$\alpha$	0	1	0
НБ	L	1	0	0
	$\alpha$	1	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	$\alpha$	0	0	1

Операція 040 внутрішньо-шліфувальна. На даній операції шліфується отвір. Для закріплення деталі застосовується трикулачковий патрон з упором в зубчасту

поверхню  $\varnothing 135$  мм див. рисунок 2.7.

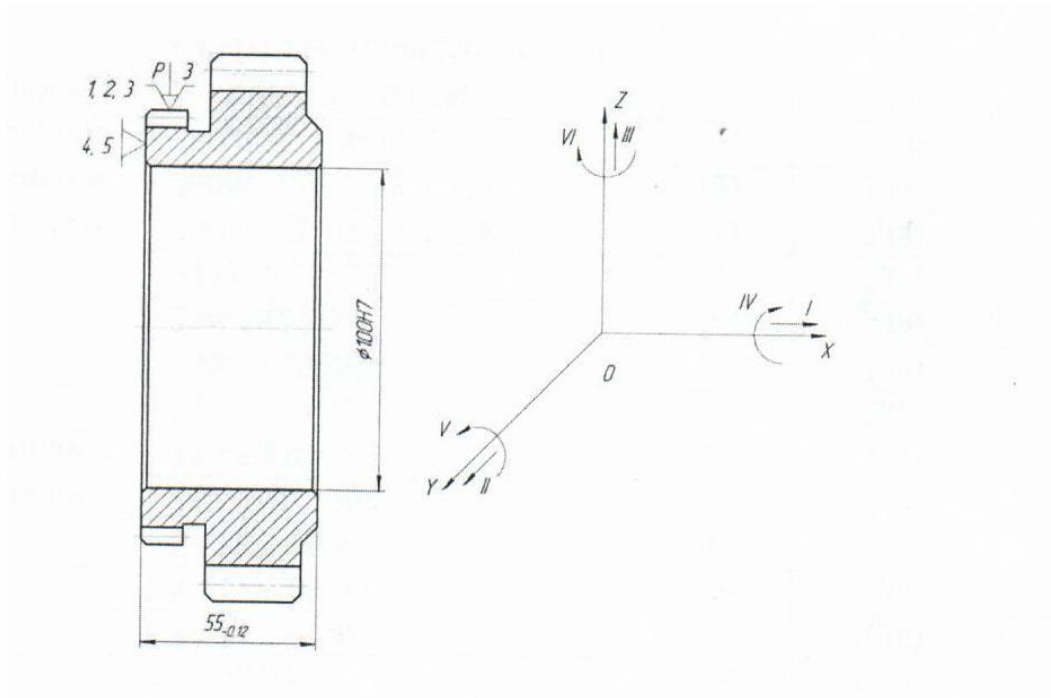


Рисунок 2.7 – Схема базування заготовки шліфування на внутрішньо-шліфувальному верстаті

За установчу базу приймаємо зубчасту поверхню  $\varnothing 135$  мм, яка позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а торець заготовки є подвійною опорною базою і позбавляє заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється див. таблиці 2.9 та 2.10. Похибка базування буде  $\varepsilon = 0$ .

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідностей

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



Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
УБ	L	1	0	0
	$\alpha$	0	1	1
ПОБ	L	0	1	1
	$\alpha$	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	$\alpha$	1	0	0

## 2.5 Обґрунтування вибору металорізального обладнання

Порівнюючи верстати, обираємо обладнання, яке підходить за такими технологічними ознаками:

- потужність двигуна, необхідна для обробки заданої поверхні;
- габарити робочого столу;
- тип виробництва.

Операція 015 токарна з ЧПК. Технологічне обладнання обираємо враховуючи наступні фактори: метод обробки – точіння, габарити заготовки –  $\varnothing 174,5 \times 59,5$ . На операції відбувається чорнове та чистове точіння поверхонь, а також точіння канавки, відповідно вимоги до точіння даної операції – якість та висока точність забезпечуваних розмірів. Тому, замінюємо існуюче обладнання, а саме верстат токарний патронно-центровий з оперативною системою управління 16K20T1 на більш сучасний верстат TOP-TURN S30 (Тайвань).

Токарний верстат серії CNC-S30 розроблений фірмою TOP-TURN (Тайвань) призначений для виконання різноманітних токарних робіт. Має безступеневий жорсткий та точний шпindel, що дозволяє виконувати як чорнову, так і більш точну чистову обробку на високій швидкості. Напрямні станини мають загартованість та відшліфування. На верстаті можливі наступні методи обробки: точіння, підрізання торця, нарізання різі, розточування, прорізання канавок тощо.

Збільшення швидкості обертання шпинделя та оброблюваних діаметрів виробу над станиною та над супортом тощо, роблять ці верстати привабливими для вітчизняного замовника.

Технічні характеристики верстата TOP-TURN S30 наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Основні технічні характеристики верстата TOP-TURN S30

Показник, одиниця виміру	Параметри
Клас точності	П
Вид кліматичного виконання	УХЛ4
Тип системи ЧПУ	Fanuc Oi-TC
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над станиною, мм	780
Найбільший діаметр виробу, що обробляється над супортом, мм	500
Максимальна довжина обробки, мм	700
Відстань між центрами, мм	750
Діаметр гідравлічного патрона, мм	10"
Кількість робочих швидкостей шпинделя	Безступеневий
Максимальна частота обертання шпинделя, об./хв.	3200
Торець шпинделя	A2-8
Привод шпинделя, кВт	Air 30 15/18.5
Кількість електродвигунів на станку	5
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	13
Сумарна потужність станка, кВт	16
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	6
Габарити верстата	4100×1880×1950
Маса верстата, кг	6100

Операція 025 зубофрезерна. На операції 025 виконується фрезерування зубів на глибину 11 мм, витримуючи розміри Ø160 та 30. Для більш якісного та точного

виконання зубофрезерних робіт замінюємо існуюче обладнання, а саме зубофрезерний верстат 5B312 на більш сучасний верстат BCH-350NC2.

Зубофрезерний напівавтомат з синхронним електронним кінематичним зв'язком моделі BCH-350NC2 призначений для обробки прямозубих та косозубих циліндричних зубчатих коліс, шліцьових валів, зірочок та черв'ячних коліс методом обкату та одиничного ділення в умовах середньосерійного виробництва.

Програмно-математичне забезпечення дозволяє керувати напівавтоматом в діалоговому режимі із забезпеченням багато прохідного циклу обробки з тангенційною, радіальною та осьюовою подачами.

Напівавтомат з шістьма керуємими осями оснащений системою ЧПК моделі Sinumerik 840D і приводами фірми SIEMENS.

Основні технічні характеристики верстата BCH-350NC2 наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Основні технічні характеристики верстата BCH-350NC2

Показник, одиниця виміру	Параметри
Найбільший діаметр обробки, мм	500
Найбільший модуль зубчатих коліс, мм	10
Найбільший кут нахилу зубів, зо нарізуються, град.	45
Найбільше вертикальне переміщення супорту, мм	450
Найбільші розміри встановлюємих черв'ячних фрез, мм	
- діаметр	180
- довжина	350
Відстань між осями інструмента та стола, мм	70...400
Найбільше тангенційне переміщення фрези, мм	300
Частота обертання шпинделя фрези, хв. <sup>-1</sup>	75...600
Діапазон робочих подач, мм/хв.	1...1000
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	18,5

Продовження таблиці 2.12

Показник, одиниця виміру	Параметри
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	7,5
Габаритні розміри напівавтомата, мм	3485×2160×2335
Маса напівавтомата, кг	9500

Операція 040 внутрішньо-шліфувальна. На операції 040 виконується шліфування отвору попередньо та остаточно на довжину 55<sub>-0,12</sub>, витримуючи відповідно розміри Ø99,8 та Ø100H7 (Ra=1,0 мкм). Для даної операції оновлюємо верстат внутрішньо-шліфувальний моделі 3K228B на сучасніший моделі PM150NC.

Внутрішньо-шліфувальний верстат моделі PM150NC призначений для шліфування циліндричних та конічних (з кутом при вершині до 60°) крізних та глухих отворів. Верстат дає змогу обробляти отвори діаметром від 6 до 150 мм. Оброблювана заготовка затискається в патроні шпинделя передньої бабки і обертається. Частота обертання внутрішньо-шліфувальної безступеневої головки 8-12000 хв<sup>-1</sup>. Шліфувальна бабка має зворотно-поступальних рух по напрямних станини для шліфування отвору на встановлену довжину (максимальна довжина – 150 мм), а також радіальне переміщення разом з поперечними санчатами для установки на глибину шліфування. Шліфувальний шпиндель приводиться в рух від окремого електродвигуна потужністю 2,0 кВт та має постійну швидкість. Внутрішньо-шліфувальний верстат має напівавтоматичний цикл роботи.

Основні технічні характеристики внутрішньо-шліфувального верстату моделі PM150NC наведені в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Основні технічні характеристики верстата PM150NC

Показник, одиниця виміру	Параметри
Клас точності по ГОСТ 8-82	П
Найбільший діаметр виробу, мм	320
Найменший і найбільший діаметр отвору, що шліфується, мм	6...150
Найбільша довжина, мм	150
Частота обертання безступеневих внутрішньо-шліфувальних головок, хв <sup>-1</sup>	безступеневе 8...12000
Переміщення на один поділ лімба, мм	0,001
Частота обертання виробу (безступеневе регулювання), об./хв	безступеневе 20...1000
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	2,0
Габаритні розміри верстата, мм	2900×1900×2100
Маса верстата, кг	6300

## 2.6 Обґрунтування вибору засобів технологічного оснащення

В умовах серійного типу виробництва можуть використовуватися універсальні та спеціальні пристосування, різальний та вимірювальний інструмент.

Операція 015 токарна з ЧПУ. Враховуючи модель обраного верстата, тип виробництва, схему базування заготовки, вибираємо наступні засоби оснащення:

- верстатне пристосування: патрон трикулачковий самоцентруючий 7100-0009 ГОСТ 2675-80;
- різальний інструмент: різець прохідний відігнутий 2101-0057 Т15К6 ГОСТ 18879-73; різець упорний 2140-0030 Т15К6 ГОСТ 18882-73;
- вимірювальний інструмент: калібр-скоба 8221-3030 ГОСТ 17758-72 – для контролю отриманих циліндричних поверхонь; штангенциркуль ШЦ-I-200-0,01 ГОСТ166-80, точність і діапазон вимірювання яких є цілком достатньою для

забезпечення потрібних розмірів.

Операція 025 зубофрезерна. Враховуючи модель обраного верстата, тип виробництва, схему базування заготовки, вибираємо наступні засоби оснащення:

- верстатне пристосування: спеціальне ТМ 16090025-07 СК;
  - різальний інструмент: фреза черв'ячна 2510-4095 АА ГОСТ 9324-80;
  - вимірювальний: тангенційний зубомір НЦ-1 (М2 – М10) ГОСТ 4446-81,
- точність і діапазон вимірювання яких є цілком достатньою для забезпечення потрібних розмірів.

Операція 040 внутрішньо-шліфувальна. Враховуючи модель обраного верстата, тип виробництва, схему базування заготовки, вибираємо наступні засоби оснащення:

- верстатне пристосування: патрон трикулачковий самоцентруючий пневматичний 7100-0007 ГОСТ 2675-80;
  - різальний інструмент: круг шліфувальний 80x50x20 Э9А 40 СМ1 7 К 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83;
  - вимірювальний інструмент: калібр-пробка 8136-0221 ГОСТ 14819-69;
- зразок шорсткості 1,0 Т ГОСТ 9738-93.

## 2.7 Розрахунки режимів різання

Операція 015 токарна з ЧПУ. На токарному верстаті з ЧПУ серії CNC-S30 (див. таблицю 2.11) виконується чорнове точіння поверхонь 8, 9, 11, чистове точіння поверхонь 8-12 та точіння канавки 13 (див. рисунок 1.2). Розраховуємо режими різання аналітичним методом, дані заносимо в таблицю 2.14.

Чорнове точіння.

Визначаємо глибину різання:

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм} \quad (2.13)$$

де  $D$  – діаметр заготовки, мм;

$d$  – діаметр деталі, мм.

$$t = \frac{139 - 136}{2} = 1,5 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу для умов чорнового точіння конструкційної сталі згідно з [8].  $S_o = 0,8$  мм/об. Коригуємо за паспортними даними верстата. Приймаємо  $S_o = 0,8$  мм/об.

Визначаємо період стійкості різця. Період стійкості токарного різця приймаємо  $T = 45$  хв.

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_V, \text{ м/хв.} \quad (2.14)$$

де  $C_V$  – постійний коефіцієнт для даного виду обробки,

$K_V$  – поправочний коефіцієнт.

$$K_V = K_{iV} \cdot K_{mV} \cdot K_{nV} \quad (2.15)$$

де  $K_{iV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу інструмента,

$K_{mV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу, який обробляють [8],

$K_{nV}$  – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні.

Для обробки сталі маємо:

$$K_{mV} = K_z \cdot \left( \frac{750}{\sigma_s} \right)^{nV} \quad (2.16)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт, що характеризує групу сталі за оброблюваністю [8],

$nV$  – показник ступеню швидкості на швидкість [8]. При обробці сталі  $nV = 1,0$ .

$$K_{mV} = 0,8 \cdot \left( \frac{750}{950} \right)^1 = 0,63$$

$K_{iV} = 1,0$ ;  $K_{nV} = 0,8$ ;  $K_V = 1,0 \cdot 0,63 \cdot 0,8 = 0,5$ ;  $C_V = 340$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,45$ ;  $m = 0,2$

$$V = \frac{340}{45^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,5 = 83 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделю за формулою:

$$n = \frac{100 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв.} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 170} = 155 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата частоту обертання  $n_{np} = 150$  об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість різання за формулою:



$$V_{\partial} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \cdot n_p, \text{ м/хв.} \quad (2.18)$$

$$V_{\partial} = \frac{3,14 \cdot 170 \cdot 150}{1000} = 80 \text{ м/хв.}$$

Силу різання розраховуємо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \text{ Н} \quad (2.19)$$

де  $C_p$  – постійний коефіцієнт,  
 $x, y, n$  – показники ступеню.

$$K_p = K_{MP} \cdot K_{\varphi P} \cdot K_{\gamma P} \cdot K_{\lambda P} \cdot K_{rP}, \quad (2.20)$$

де  $K_{MP}$  – поправочний коефіцієнт на якість матеріалу, що обробляється,  
 $K_{\varphi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P}, K_{rP}$  - коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструмента.

$$K_{MP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \text{ м/хв.} \quad (2.21)$$

$$K_{MP} = \left( \frac{950}{750} \right)^{0,75} = 1,19$$

$$K_P = 1,19 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,06$$

$$C_P = 300; x = 1; y = 0,75; n = -0,15.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 80^{-0,15} \cdot 1,06 = 2108 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою:

$$N = \frac{P \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (2.22)$$

$$N = \frac{2108 \cdot 80}{1020 \cdot 60} = 2,8 \text{ кВт}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу головного руху верстата.  
Необхідно, щоб виконувалася умова:

$$N_e \leq N_{\text{шп}} \quad (2.23)$$

$$N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (2.24)$$

де  $N_d$  – поправочний коефіцієнт на якість матеріалу, що обробляється,  
 $\eta$  – коефіцієнт корисної дії;  $\eta = 0,85$ .

$$N_{\text{шт.}} = 12,9 \cdot 0,85 = 11 \text{ кВт}$$

Умова виконується ( $2,8 < 11$ ), отже обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{Li}{nS_o}, \text{ хв} \quad (2.25)$$

де  $L$  – довжина робочого ходу різця, мм;

$$L = l + y + \Delta, \text{ мм} \quad (2.26)$$

де  $l$  – довжина обробки, мм;

$y$  – величина врізання, мм;

$\Delta$  – величина перебігу, мм;  $\Delta = 0$  мм

Величину врізання визначаємо за формулою:

$$y = t \cdot \text{ctg} 90^\circ, \text{ мм} \quad (2.27)$$

$$y = 1,5 \cdot \text{ctg} 90^\circ = 0 \text{ мм}$$

$$L = 19,5 + 0 = 19,5 \text{ мм}$$

$$T_1 = \frac{19,5 \cdot 1}{150 \cdot 0,8} = 0,16 \text{ хв.}$$

Дані заносимо в таблицю 2.14.

Операція 025 зубофрезерна. На даній операції фрезеруються зуби шестерні на глибину 11 мм, витримуючи розміри  $\varnothing 160$  та 30 на зубофрезерному верстаті ВСН-

350NC2 (див. таблицю 2.12). Розраховуємо режими різання на зубофрезерну операцію [10, 12, 14, 16].

Визначаємо глибину різання. Нарізаємо зуби на один робочий хід. Тому глибина різання буде рівною висоті:

$$t = h = 2,2 \cdot m, \text{ мм} \quad (2.28)$$

$$t = 2,2 \cdot 5 = 11 \text{ мм}$$

Визначаємо величину подачі [12]. При обробці сталі приймаємо осьову подачу  $S_{о\text{табл}} = 2,5$  мм/об. Уточнюємо величину подачі, враховуючи поправні коефіцієнти [14] за формулою:

$$S_o = S_{о\text{табл}} \cdot K_{MS} \cdot K_{\beta S} \cdot K_{z1S} \cdot K_{zS} \cdot K_{FS}, \text{ мм/об.} \quad (2.29)$$

де  $K_{MS}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал; при обробці сталі 40X  $K_{MS} = 1,0$ ;

$K_{\beta S}$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при  $\beta = 30^\circ$   $K_{\beta S} = 0,65$ ;

$K_{z1S}$  – коефіцієнт, що враховує число заходів фрези; при одному заході  $K_{z1S} = 1,0$ ;

$K_{zS}$  – коефіцієнт, що враховує число зубів сателіту; при  $z = 32$   $K_{zS} = 0,8$ ;

$K_{FS}$  – коефіцієнт, що враховує направлення подачі; при попутній подачі  $K_{FS} = 1,2$ .

$$S_o = 2,5 \cdot 1,0 \cdot 0,65 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 1,56 \text{ мм/об.}$$

Коригуємо подачу за паспортними даними верстата:  $S_o = 2,5$  мм/об.

Визначаємо період стійкості фрези [12]:  $T = 360$  хв.

Розраховуємо швидкість головного руху різання [2]. Приймаємо  $V_{\text{табл}} =$

30 м/хв. Визначаємо величину швидкості різання із врахуванням поправних коефіцієнтів [12] за формулою:

$$V = V_{\text{мабл}} \cdot K_{MV} \cdot K_{\beta V} \cdot K_{zIV} \cdot K_V \cdot K_{IV} \cdot K_{TV} \cdot K_{\Delta V}, \text{ м/хв.} \quad (2.30)$$

де  $K_{MV}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал; при обробці сталі 40Х  $K_{MV} = 1,0$ ;

$K_{\beta V}$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при  $\beta = 30^\circ$   $K_{\beta V} = 0,8$ ;

$K_{zIV}$  – коефіцієнт, що враховує число заходів фрези; при одному заході  $K_{zIV} = 1,0$ ;

$K_V$  – коефіцієнт, що враховує число проходів фрези; обробка виконується за один прохід, тому  $K_V = 1,0$ ;

$K_{IV}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези; матеріал фрези – швидкорізальна сталь Р6М5, тому  $K_{IV} = 1,0$ ;

$K_{TV}$  – коефіцієнт, що враховує період стійкості фрези; при  $T = 360$  хв.  $K_{TV} = 1,17$ ;

$K_{\Delta V}$  – коефіцієнт, що враховує клас точності фрези;  $K_{\Delta V} = 1,0$ .

$$V = 30 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,17 \cdot 1,0 = 28,08 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання фрези за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв.} \quad (2.31)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 28,08}{3,14 \cdot 140} = 64 \text{ об/хв}$$

Коригуємо за паспортними даними верстата:  $n_d = 100$  об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість головного руху різання за формулою:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.32)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 140 \cdot 100}{1000} = 44 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо потужність, що витрачається на різання [12].

Приймаємо  $N_{табл} = 1,4$  кВт. Розраховуємо величину потужності різання з врахуванням поправочного коефіцієнту [12] за формулою:

$$N_{різ} = N_{табл} \cdot K_{\beta N}, \text{ кВт} \quad (2.33)$$

де  $K_{\beta N}$  – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при  $\beta = 30^\circ$   $K_{\beta N} = 0,95$ .

$$N_{різ} = 1,4 \cdot 0,95 = 1,33 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність привода верстата  $N_{пв}$  за умовою:

$$N_{різ} < N_{пв} \quad (2.34)$$

$$N_{пв} = N_{\delta} \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (2.35)$$

де  $N_{\delta}$  – потужність верстата за паспортними даними;  $N_{\delta} = 7,5$  кВт;

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії;  $\eta = 0,85$ .

$$N_{пв} = 7,5 \cdot 0,85 = 4,25 \text{ кВт}$$

$$1,33 < 4,25$$

Отже, обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{Lz}{nS K}, \text{ хв.} \quad (2.36)$$

де  $L$  – довжина робочого ходу фрези;

$K$  – число заходів фрези;  $K = 1$ .

$$L = b + l_1, \text{ мм} \quad (2.37)$$

де  $b$  – довжина обробки, мм;  $b = 30$  мм;

$l_1$  – врізання та перебіг фрези, мм; при модулі  $m = 5$  мм, для обробки за один робочий хід  $l_1 = 37$  мм.

$$L = 30 + 37 = 67 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{67 \cdot 32}{100 \cdot 2,5 \cdot 1} = 8,58 \text{ хв.}$$

Операція 040 внутрішньо-шліфувальна. На даній операції шліфується отвір попередньо на довжину  $55_{-0,12}$ , витримуючи розмір  $\varnothing 99,8$  та шліфується отвір остаточно на довжину  $55_{-0,12}$ , витримуючи розмір  $\varnothing 100H7$  ( $Ra = 1,0$  мкм). Устаткування – внутрішньо-шліфувальний верстат високої точності PM150NC (див. таблицю 2.13). Розраховуємо режими різання на внутрішньо-шліфувальну операцію

[10, 13, 14, 16]. Встановлюємо діаметр  $D_\kappa$  та ширину  $B_\kappa$  круга. При внутрішньому шліфуванні рекомендується:

$$\frac{D_\kappa}{D_3} = 0,8 \dots 0,9 \quad (2.38)$$

де  $D_3$  – діаметр отвору заготовки. Приймаємо це співвідношення 0,85. Тоді:

$$D_\kappa = 0,85 \cdot 100 = 85 \text{ мм}$$

За стандартним рядом основних розмірів кругів приймаємо  $D_\kappa = 80$  мм.

Висоту круга  $B_\kappa$  для оброблюваних отворів довжиною  $l = 25 \dots 75$  мм, приймаємо менше на 10...15 мм, тобто:

$$B_\kappa = 60 - 10 = 50 \text{ мм.}$$

Визначаємо частоту обертання шліфувального круга при прийнятій швидкості  $V_\kappa = 35$  м/с:

$$n_\kappa = \frac{1000 \cdot 60V_\kappa}{\pi D_\kappa}, \text{ об/хв} \quad (2.39)$$

$$n_\kappa = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 80} = 8360 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортними даними верстата  $n_\kappa = 9000$  об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість різання за формулою:



$$V_{\kappa} = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.40)$$

$$V_{\kappa} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 9000}{1000 \cdot 60} = 38 \text{ м/с.}$$

Визначаємо поперечну подачу [13]. Призначаємо за кожен хід стола  $S_x$ . Для попереднього шліфування приймаємо  $S_{non n} = t = 0,005$  мм/хід; для остаточного шліфування приймаємо  $S_{non o} = t = 0,0025$  мм/хід. Коригуємо знайдені величини за паспортними даними верстата:  $S_{поп п} = 0,002$  мм/подв.хід,  $S_{поп о} = 0,006$  мм/подв.хід.

Визначаємо повздовжню подачу за формулою:

$$S_{новз non} = (0,4 \dots 0,75)B, \text{ мм/об} \quad (2.41)$$

$$S_{новз o} = (0,25 \dots 0,4)B, \text{ мм/об} \quad (2.42)$$

$$S_{новз non} = 0,50 \cdot 50 = 25 \text{ мм/об}$$

$$S_{новз o} = 0,30 \cdot 50 = 15 \text{ мм/об}$$

Отримане значення поздовжньої подачі переводимо в м/хв за формулою:

$$S_{xв} = \frac{S_{новз} \cdot n}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.43)$$

де  $n_3$  – число обертів заготовки, об/хв.

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3^3}, \text{ м/хв.} \quad (2.44)$$

де  $V_3$  – швидкість обертання заготовки, м/хв;

$D_3$  – діаметр заготовки, мм.

Визначаємо подачу по-колу [13]. Для попереднього шліфування при діаметрі оброблюваного отвору  $D_3 = 100$  мм і  $\beta = 0,5$  приймаємо  $V_{табл\text{нон}} = 32,8$  м/хв. Для остаточного шліфування при діаметрі оброблюваного отвору  $D_3 = 100$  мм і  $\beta = 0,25$  приймаємо  $V_{табло} = 97,5$  м/хв. Розраховуємо величину швидкості різання, враховуючи поправні коефіцієнти [13] за формулою:

$$V_3 = V_{3\text{ табл}} \cdot K_{MV} \cdot K_n, \text{ м/хв} \quad (2.45)$$

де  $K_{MV}$  – коефіцієнт, що враховує якість поверхні (для чистової обробки);

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує якість поверхні (для чистової обробки);  $K_n = 0,75$ ;

$$V_{3\text{ нон}} = 32,8 \cdot 0,9 = 29,52 \text{ м/хв}$$

$$V_{3\text{ о}} = 97,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 65,81 \text{ м/хв}$$

$$n_{3\text{ нон}} = \frac{1000 \cdot 29,52}{3,14 \cdot 170} = 55 \text{ об/хв}$$

$$n_{3\text{ о}} = \frac{1000 \cdot 65,81}{3,14 \cdot 170} = 123 \text{ об/хв}$$

Отримані значення частоти обертання коригуємо за паспортними даними

верстата:  $n_{зпн} = 60$  об/хв,  $n_{зо} = 120$  об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість обертання заготовки за формулою:

$$V_3 = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/хв.} \quad (2.46)$$

$$V_{зпн} = \frac{3,14 \cdot 170 \cdot 60}{1000} = 32 \text{ м/хв}$$

$$V_{зо} = \frac{3,14 \cdot 170 \cdot 120}{1000} = 64 \text{ м/хв}$$

$$S_{хвпн} = \frac{25 \cdot 60}{1000} = 1,5 \text{ м/хв}$$

$$S_{хво} = \frac{15 \cdot 120}{1000} = 1,8 \text{ м/хв}$$

Скориговуємо знайдені значення хвилинної подачі за паспортними даними верстата:  $S_{хвпн} = 1,5$  м/хв,  $S_{хво} = 1,8$  м/хв.

Визначаємо дійсне значення подачі за формулою:

$$S = \frac{1000 \cdot S_{повз}}{n_3}, \text{ мм/об} \quad (2.47)$$

$$S_{пн} = \frac{1000 \cdot 25}{60} = 417 \text{ мм/об}$$

$$S_o = \frac{1000 \cdot 15}{120} = 125 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо потужність, що витрачається на різання за формулою:

$$N_{\text{риз}} = C_N \cdot V_z^\gamma \cdot t^x \cdot S^y \cdot D_z^q, \text{ кВт} \quad (2.48)$$

де  $C_N, \gamma, x, y, q$  – коефіцієнт та показники степеню для шліфування, відповідно до [16];  $C_N = 0,27, \gamma = 0,5, x = 0,4, y = 0,4, q = 0,3$ .

$$N_{\text{риз}} = 0,27 \cdot 69,08^{0,5} \cdot 0,006^{0,4} \cdot 0,00066^{0,4} \cdot 100^{0,3} = 0,062 \text{ кВт}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність привода верстата  $N_{\text{прв}}$  за умовою (2.21) та (2.22):

$$N_{\text{прв}} = 9,9 \cdot 0,85 = 8,42 \text{ кВт}$$

$$0,062 < 8,42$$

Отже, обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{2L \cdot h}{n \cdot S \cdot S_{2x}} \cdot K, \text{ хв} \quad (2.49)$$

де  $L$  – довжина ходу стола або довжина оброблюваної поверхні з перебігом

шліфувального круга в кожну сторону на півширини круга, мм:

$h$  – припуск на обробку (припуск на сторону);

$K$  – коефіцієнт виходжування: для попереднього шліфування  $K = 1,2$ ; для чистового шліфування  $K = 1,4$ .

$$L = L_z + B_k, \text{ мм} \quad (2.50)$$

$$L = 55 + 50 = 105, \text{ мм}$$

$$T_{\text{опон}} = \frac{2 \cdot 105 \cdot 0,2}{60 \cdot 417 \cdot 0,002} \cdot 1,2 = 1,0 \text{ хв}$$

$$T_{\text{оо}} = \frac{2 \cdot 105 \cdot 0,1}{120 \cdot 125 \cdot 0,006} \cdot 1,4 = 0,33 \text{ хв}$$

Розраховуємо загальний основний час на операції за формулою:

$$T_o = T_{\text{опон}} + T_{\text{оо}}, \text{ хв} \quad (2.51)$$

$$T_o = 1,0 + 0,33 = 1,33 \text{ хв}$$

Дані заносимо до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Режими різання

Назва операції/ Зміст переходу	Параметри режимів обробки				L, мм	T <sub>о</sub> , хв	Вид режиму
	t, мм	S <sub>о</sub> , мм/об	n, хв <sup>-1</sup>	V, м/хв			
015 Токарна з ЧПК							
Для підрізання торцю	2,25	0,8	80	150	22	1,01	табличний
Точити поверхню попередньо	1,5	0,8	150	80	19,5		аналітичний
Точити поверхню остаточно	0,5	0,12	425	227	19,5		табличний
Точити канавку	7,0	0,18	250	133	6		табличний
025 Зубофрезерна	11,0	2,5	100	44	67	8,58	аналітичний
040 Внутрішньо-шліфувальна							
Шліфувати отвір попередньо	0,002	25	9000	38	105	1,33	аналітичний
Шліфувати отвір остаточно	0,006	15	9000	38	105		

## 2.8 Технічне нормування операцій

В серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу розрахунково-аналітичним методом в наступній послідовності [11, 15].

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{шт-шк} = \frac{T_{пз}}{n} + T_{шт}, \text{ хв} \quad (2.52)$$

де  $T_{пз}$  – підготовчо-заклучний час, хв.;

$n$  – розмір партії деталі, що запускається у виробництво, шт.;

$T_{шт}$  – штучний час на операції, хв.

Підготовчо-заключний час визначаємо з урахуванням часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту та додаткові прийоми.

Розраховуємо штучний час на операцію за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} \cdot \left(1 + \frac{a_{орг} + a_{відп}}{100}\right), \text{ хв} \quad (2.53)$$

де  $T_{оп}$  – операційний час, хв.;

$a_{орг}$  – витрати часу на технічне обслуговування робочого місця, %;

$a_{відп}$  – витрати часу на відпочинок та особисті потреби, %.

$$T_{оп} = T_o + T_{\partial}, \text{ хв} \quad (2.54)$$

де  $T_o$  – основний час на операцію, хв.;

$T_{\partial}$  – допоміжний час на операцію, хв.

$$T_{\partial} = T_{уст} + T_{нк} + T_{вим}, \text{ хв} \quad (2.55)$$

де  $T_{уст}$  – час на установку та зняття деталі, хв.;

$T_{нк}$  – час на прийоми керування, хв.;

$T_{вим}$  – час на вимірювання, хв.

Операція 015 токарна з ЧПК. Технічне нормування операції виконаємо за нормативами [10].

Визначаємо допоміжний час:

$$T_{\partial} = 0,1 + 0,035 + 0,55 = 0,69 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{on} = 1,01 + 0,69 = 1,7 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 1,7 \cdot \left(1 + \frac{0,1 + 3,8}{100}\right) = 1,77 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час розраховуємо з урахуванням часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту та додаткові прийоми,  $T_{пз} = 22$  хв.

Визначаємо штучно-кулькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{22}{152} + 1,77 = 1,91 \text{ хв}$$

Операція 025 зубофрезерна. Технічне нормування операції виконуємо за нормативами [10].

Визначаємо допоміжний час:

$$T_{\delta} = 0,26 + 0,18 + 0,07 = 0,51 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{on} = 8,58 + 0,51 = 9,1 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:



$$T_{шт} = 9,1 \cdot \left(1 + \frac{4+4}{100}\right) = 9,72 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо з урахуванням часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту та додаткові прийоми,  $T_{нз} = 18$  хв.

Визначаємо штучно-кулькуляційний час:

$$T_{шт-ук} = \frac{18}{152} + 9,72 = 9,84 \text{ хв}$$

Операція 040 внутрішньо-шліфувальна. Технічне нормування операція виконуємо за нормами [10].

Визначаємо допоміжний час:

$$T_d = 0,12 + 0,06 + 0,15 = 0,33 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{он} = 1,33 + 0,33 = 1,66 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 1,66 \cdot \left(1 + \frac{5+8}{100}\right) = 1,88 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо з урахуванням часу на налагодження верстата, пристосування, інструменту та додаткові прийоми,  $T_{нз} = 10$  хв.

Визначаємо штучно-кулькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{10}{152} + 1,88 = 1,95 \text{ хв}$$

## 2.9 Проектування верстатного пристрою

З метою скорочення часу на установку та закріплення деталі для нарізання зубів на зубофрезерній операції спроектовано спеціальне пристосування. З його застосуванням забезпечується задана точність поверхні.

Умовою досягнення точності оброблюваної деталі є необхідність точного базування деталі в пристосуванні, при тому, що точність верстата повинна задовольняти отримані параметри [2, 4].

Відповідно до вимог креслення на заданій операції необхідно отримати зубчастий вінець з модулем  $m = 6$  мм, кількістю зубів  $z = 32$  зуби, точністю 7-В за ГОСТ 1643-81.

Точність форми.

Конструктором не зазначена точність форми отриманих поверхонь, тому призначаємо їх відповідно до нормальної відносної геометричної точності – А згідно з ГОСТ 24643-81.

Точність розміщення поверхонь.

Конструктором не задана точність розміщення поверхонь, тому виконуємо обробку відповідно ГОСТ 24643-81.

Шорсткість зубчастого вінця  $Ra = 6,3$  мкм.

Виявлення кількісних та якісних даних про заготовку.

Попередньо заготовка оброблювалась на токарному верстаті для підготовки чистих баз – торця та отвору.

Точність розмірів:

- торець виконаний в розмір 55 мм. Допуск складає  $T = 0,12$  мм, що відповідає 14 квалітету точності;

- отвір виконаний в розмір  $\varnothing 99,4$  мм. Допуск складає  $T = 0,14$  мм, що відповідає 10 квалітету точності.

Точність форми.

Конструктором не зазначена точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо їх відповідно до нормальної відносної геометричної точності – А згідно з ГОСТ 24643-81.

Точність розміщення поверхонь.

Конструктором заданий допуск торцевого биття відносно бази А - не більше 0,05 мм.

Шорсткість базових поверхонь: торця –  $R_a = 3,2$  мкм; отвору відповідно  $R_a = 3,2$  мкм.

Верстат має систему охолодження. Стружка видаляється з зони різання, стола верстата при виключеному обладнанні. Захисний кожух не дозволяє в процесі обробки розлітатись стружці та охолоджуючій рідині.

Робоча температура навколишнього середовища  $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ , відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск  $P_{ат} = 86 \dots 106$  кПа, швидкість руху повітря – 0,5 м/с, частота вібрації, що виникли в процесі роботи обладнання в цеху  $f = 20-30$  Гц, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс [2].

Складання переліку виконуваних функцій.

Даний перелік функцій дозволяє попередньо ознайомитись з обсягом робіт щодо використання пристосування та зробити аналіз функцій.

0 – Переміщення та попередня орієнтація пристосування.

1 – Базування заготовки.

2 – Закріплення заготовки.

3 – Базування пристосування на верстаті.

- 4 – Закріплення пристосування на верстаті.
- 5 – Підвід та відвід енергоносіїв.
- 6 – Утворення сили для закріплення.
- 7 – Управління енергоносіями.
- 8 – Обробка заготовки.
- 9 – Дотримання безпечних умов праці.
- 10 – Об'єднання функціональних вузлів.

Похибка базування в пристосуванні визначається за формулою [2, 4]:

$$\varepsilon_{\delta} = S_{\max} = TD + Td + S_{\min}, \text{ мм} \quad (2.56)$$

- де  $TD$  – допуск на отвір, мм;  $TD = 0,035$  мм;  
 $Td$  – допуск на вал, мм;  $Td = 0,022$  мм;  
 $S_{\min}$  – мінімальний зазор, мм;  $S_{\min} = 0,069$  мм;

$$\varepsilon_{\delta} = 0,035 + 0,022 + 0,069 = 0,126 \text{ мм}$$

Похибка базування визначається за формулою:

$$[\varepsilon_{\delta}] = T + \omega \cdot K, \text{ мм} \quad (2.57)$$

- де  $T$  – допуск на розмір, що отримується, мм;  $T = 0,25$  мм;  
 $\omega$  – середня економічна точність обробки деталі на заданій операції;  
 $\omega = 0,125$  мм;  
 $K$  – коефіцієнт серійності;  $K = 0,6$  мм;

$$[\varepsilon_{\delta}] = 0,25 + 0,125 \cdot 0,6 = 0,175 \text{ мм}$$

Розрахункова похибка базування порівнюється з допустимою. Потрібне виконання умови:

$$\varepsilon_{\delta} \leq [\varepsilon_{\delta}] \quad (2.58)$$

$$0,126 \leq 0,175$$

Похибка базування не перевищує гранично допустиму.

Силовий розрахунок пристосування.

Визначаємо зусилля затиску заготовки за формулою:

$$W = K \frac{a \sqrt{P_z^2 + P_o^2}}{\frac{1}{3} \cdot f \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}}, \text{ Н} \quad (2.59)$$

де  $K$  – коефіцієнт запасу;  $K = 2$  [4];

$f$  – коефіцієнт тертя;  $f = 0,25$  [4];

$P_o$  – вила по-колу;  $P_o = 124,4$  Н [4].

Сила затиску визначається за формулою:

$$P_z = \frac{1020 \cdot 60 \cdot N}{V}, \text{ Н} \quad (2.60)$$

де  $N$  – потужність різання, кВт;

$V$  – швидкість різання, м/хв.

Потужність різання визначається за формулою [5]:

$$N = 10^{-3} \cdot C_N \cdot S^y \cdot m^x \cdot D^u \cdot z^q \cdot V \cdot K_N, \text{ кВт} \quad (2.61)$$

де  $S$  – подача на один оберт деталі, мм/хв.;  $S = 2,5$  мм/об;

$m$  – модуль колеса,  $m = 3$ ;

$z$  – кількість зубів,  $z = 32$ ;

$D$  – діаметр інструменту, мм;  $D = 140$  мм;

$V$  – швидкість різання, м/хв.;  $V = 44$  м/хв.;

$K_N$  – поправний коефіцієнт на потужність, враховуючий зміну умов експлуатації;  $K_N = 1,804$ ;

$C_N, y, x, u, q$  – поправні коефіцієнти на потужність;  $C_N = 124$ ;  $y = 0,9$ ;  $x = 1,7$ ;  $u = -1$ ;  $q = 0$  [16].

$$N = 10^{-3} \cdot 124 \cdot 2,5^{0,9} \cdot 3^{1,7} \cdot 140^{-1} \cdot 32^0 \cdot 44 \cdot 1,804 = 0,33 \text{ кВт}$$

$$P_z = \frac{1020 \cdot 60 \cdot 0,33}{20} = 1010 \text{ Н}$$

$$W = 2 \cdot \frac{120 \cdot \sqrt{1010^2 + 124,4^2}}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \frac{132^3 - 82^3}{132^2 - 82^2}} = 16309 \text{ Н}$$

Розраховуємо зусилля на шток для поршневого пневмоциліндра односторонньої дії за формулою [2]:

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta, \text{ Н} \quad (2.62)$$

де  $Q$  ( $W$ ) – зусилля затиску заготовки в пристосуванні, Н;

$D$  – діаметр пневмоциліндра, мм;

$d$  – діаметр штока, мм;

$p$  – тиск стиснутого повітря, МПа;  $p = 0,4$  МПа.

Отже, діаметр пневмоциліндра розраховується за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi p \eta}}, \text{ мм} \quad (2.63)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 16309}{3,14 \cdot 0,96 \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 244 \text{ мм}$$

Приймаємо  $D = 250$  мм [2].

Діаметр штоку визначаємо за формулою:

$$d = 0,2 \cdot D, \text{ мм} \quad (2.64)$$

$$d = 0,2 \cdot 250 = 50 \text{ мм}$$

$$Q = \frac{3,14}{4} \cdot (250^2 - 50^2) \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 17064 \text{ Н}$$

Порівнюємо зусилля на штоку з допустимим. Для цього потрібне виконання умови:

$$W \leq [W] \quad (2.65)$$

$$16309 \leq 17064$$

Сили затиску даного пневмоциліндра більша ніж розрахункова сила затиску, таким чином, надійне закріплення деталі забезпечується.

Розрахунок пристосування на міцність.

Виконаємо розрахунок різьбового з'єднання штока на міцність [2, 4].

Для цього необхідно, щоб виконувалася умова:

$$\delta \leq [\delta] \quad (2.66)$$

де  $\delta$  – напруга, що виникає в небезпечному перерізі, МПа;

$[\delta]$  – допустима напруга при стисканні та розтягуванні, МПа.

Напруга, що виникає в небезпечному перерізі визначається за формулою:

$$\delta = \frac{Q}{A}, \text{ МПа} \quad (2.67)$$

де  $A$  – площа небезпечного поперечного перерізу, мм<sup>2</sup>.

Площа небезпечного поперечного перерізу визначається за формулою:

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ мм}^2 \quad (2.68)$$

$$A = \frac{3,14 \cdot 20^2}{4} = 314 \text{ мм}^2$$

$$\delta = \frac{16906}{314} = 53,8 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження розраховуємо за формулою:



$$[\delta] = \frac{\delta_T}{[S]}, \text{ МПа} \quad (2.69)$$

де  $\delta_m$  – межа текучості матеріалу;  $\delta_m = 340$  МПа;  
 $[S]$  – коефіцієнт запасу міцності.

$$[\delta] = \frac{340}{2} = 170 \text{ МПа}$$

$$53,8 \leq 170$$

Таким чином, умова міцності виконується.

Пристрій складається з корпусу, на який монтується втулка і пневмоциліндр. Пристосування базується на стіл верстата за допомогою спеціальних болтів, для яких передбачені пази в корпусі пристосування. Для обробки заготовки потрібне її встановлення на шліцьову оправку і закріплення швидкоз'ємною шайбою, притиск якої до заготовки здійснюється за допомогою штока з накрученою на ньому гайкою. Вся ця система працює за допомогою пневмоциліндра, що вмонтований в корпус пристосування. При потраплянні повітря в штокову порожнину пневмоциліндра, заготовка притискається до корпусу пристосування за допомогою швидкоз'ємної шайби. При потраплянні повітря в безштокову порожнину, поршень зі штоком піднімаються вгору і відбувається розтискання заготовки.

Обертання заготовки відбувається разом зі столом при її повороті на один опрацьований зуб.

Пристосування зберігати в дерев'яній тарі законсервованим, потраплення вологи не припустиме.

## 2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Відповідно до завдання проектуємо контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю торцевого биття поверхонь  $\varnothing 135h10$  та  $\varnothing 123$  деталі «шестерня 1412.1820.1334» з допуском 0,05 мм відносно циліндричного отвору  $\varnothing 100H7$  (база «А»).

Допуск торцевого биття в розмірі 50 мкм для поверхонь  $\varnothing 135h10$  та  $\varnothing 123$  відповідає 6-7 ступеню точності відповідно до [12] (найближчі значення допуску торцевого биття для зазначених номінальних розмірів відповідають 30 і 80 мкм). Шорсткість контрольованих торців поверхонь –  $Ra = 1,0$  мкм.

На даний момент контроль торцевого биття поверхонь деталі здійснюється за допомогою мікрометра МК 50-75 0,01 ГОСТ 6507-80. Мікрометр – універсальний інструмент, призначений для вимірювання лінійних розмірів в області малих розмірів з низькою похибкою (від 2 мкм до 50 мкм в залежності від вимірювальних діапазонів і класу точності), перетворювальним механізмом котрого є мікропара гвинт-гайка. Даний контроль не дає необхідної інформації про стан процесу обробки і якості виробів. На якість виконання контролю впливає людський фактор, можлива похибка 25%.

Відповідно до ГОСТ 20736-75 обираємо нормальний режим контролю.

Радіальне биття – різниця найбільшого та найменшого відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової вісі. Радіальне биття є результатом сумісного виявлення відхилення від круглості профілю розглядаемого перерізу та відхилення його центру відносно базової вісі.

Виходячи з вищезазначеного, контроль радіального биття визначаємо по колу циліндричної поверхні  $\varnothing 123$  на відстані 12-23 мм від зовнішнього торця деталі.

За контрольовану поверхню приймаємо циліндричну поверхню  $\varnothing 123$ .

Торцева поверхня  $\varnothing 123$  виконана з допуском 0,1 мм, що відповідає точності розмірів по ІТ9 [12]. Номінальний розмір – 123 мм. Шорсткість поверхні  $R_a = 1,0$  мкм.

Точність форми контрольованої поверхні на кресленні деталі не регламентований. Отже, відхилення від круглості циліндричної поверхні не зазначене, приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. Для нормальної геометричної точності «А» допуск круглості становить 25% від допуску на розмір:

$$T_o = 0,25 \cdot T_{\varnothing 123} = 0,25 \cdot 0,1 = 0,025 \text{ мм,}$$

що відповідає найближчому стандартному допуску 0,020 мм по 7-ому ступеню точності згідно з [12].

Циліндрична поверхня  $\varnothing 100H7$  виконана з точністю по ІТ7 і допуском 0,05 мм, ГОСТ 25347-82 [12]. Номінальний розмір – 100 мм. Верхнє відхилення  $ES = +0,035$  мм; нижнє відхилення  $EI = 0$  мм. Шорсткість поверхні  $R_a = 1,0$  мкм.

Торцева поверхня  $\varnothing 135h10$  виконана з точністю розмірів по ІТ10, ГОСТ 25347-82 [12]. Верхнє відхилення  $ES = 0$  мм; нижнє відхилення  $EI = -0,016$  мм. Шорсткість поверхні  $R_a = 6,3$  мкм.

Для підвищення якості виконання вимірювальної операції, скорочення трудовитрат, зменшення кількості браку та забезпечення зручності роботи контролера проектуємо контрольню-вимірювальне пристосування (КВП) для вимірювання радіального биття деталі «шестерня».

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП визначається як частина допуску ІТ параметру, що піддається контролю, зокрема, радіального биття контрольованої поверхні:

$$[\delta_{\text{вим}}] = K \cdot \text{ІТ,}$$

де  $K$  – залежить від квалітету або ступеню точності параметру, що піддається контролю і дорівнює величинам у межах  $0,2 - 0,35$ .

Отже:

$$[\delta_{\text{вим}}] = 0,3 \cdot 50 = 15 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 [14] рекомендують брати  $[\delta_{\text{вим}}] = 15 \text{ мкм.}$

Визначаємо допустиму похибку КВП (інструментальну похибку) [14]:

$$[\Delta_{\text{ін}}] = 0,7 \cdot [\delta_{\text{вим}}] = 0,7 \cdot 15 = 10,5 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки засобу вимірювання розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки КВП. Приймаємо на  $C = [\Delta_{\text{ін}}] = 10,5 \text{ мкм.}$

Інтервал поділки шкали ( $a$ ) приймаємо  $1 \text{ мм}$ , тому що менша відстань між двома сусідніми штрихами може утруднити зчитування показників засобів вимірювання. Потрібне врахування умов, при яких працюватиме КВП, насамперед, освітленість.

Межа вимірювання за шкалою ( $A$ ) повинна перевищувати допуск ІТ параметра, що контролюється, для того, щоб зняття показників не викликало проблем:

$$A = 4 \cdot \text{ІТ} = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мкм} = 0,20 \text{ мм.}$$

Межа вимірювання (діапазон вимірювання) засобу вимірювання визначається враховуючи умови експлуатації. Приймаємо  $B = 0,1 \text{ мм.}$

Вимірювальне зусилля  $P_{\text{зус}}$  приладу — це сила, що створюється приладом при контакті з виробом і діє по лінії вимірювання. Воно, зазвичай, викликається пружиною, яка забезпечує контакт чутливого елемента приладу, наприклад,

вимірювального наконечника (індикатора), з поверхнею вимірюваного об'єкта. При деформації пружини має місце зміна зусилля: різниця між найбільшим та найменшим значеннями — це максимальне коливання вимірювального зусилля. Оскільки обмеження на вимірювальне зусилля відсутні, беремо  $P_{зус} = 500$  сН.

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

Пристосування для вимірювання радіального биття див. креслення пристосування (додаток \_\_\_) деталі «шестерня» складається з наступних деталей та вузлів:

- контролюємий диск 2;
- основа 3;
- втулка 4;
- штурвал 5;
- індикатор 6;
- стійка 7;
- шарнірний важіль 8.

Контролюємий диск призначений для встановлення на рівну жорстку поверхню контролюємої шестерні 1. Основа слугує для установки і закріплення пристосування на контролюємий диск. Втулка слугує для забезпечення обертання контролюємої шестерні навколо центру вісі в горизонтальній площині. Штурвал призначений для дозволеного оберту шестерні вручну на певний кут, повне обертання шестерні відносно рухомого стрижню індикатора.

Для контролю радіального биття торців деталі застосовуємо засіб вимірювання – індикатор годинникового типу (поз. 6) з ціною ділення 0,01 мм ІЧ 10 МН. Індикатор призначений для вимірювань лінійних розмірів абсолютним та відносним методами, визначення величини відхилень від заданої геометричної форми та взаємного розташування поверхонь.

Позначення індикатора 0 класу точності: Індикатор ІЧ 10 МН кл.0 ГОСТ 577.

Технічні характеристики:

- 1) ціна ділення – 0,01 мм;
- 2) межі вимірювань – 0-10 мм;
- 3) клас точності – 0; 1;
- 4) основна похибка, що допускається, в межах, не більше:
  - 0,1 мм на любій ділянці шкали:
    - 0 кл. – 4 мкм;
    - 1 кл. – 6 мкм;
  - 1 мм на любій ділянці шкали:
    - 0 кл. – 8 мкм;
    - 1 кл. – 10 мкм;
  - всієї межі вимірювання:
    - 0 кл. – 15 мкм;
    - 1 кл. – 20 мкм;
- 5) похибка зворотного ходу, не більше:
  - 0 кл. – 2 мкм;
  - 1 кл. – 3 мкм;
- 6) розмах показань, не більше – 3 мкм;
- 7) найбільше вимірювальне зусилля – 1,5 Н;
- 8) коливання вимірювального зусилля при прямому та зворотному ході, не більше – 0,6 Н;
- 9) коливання вимірювального зусилля при зміні напрямлення руху вимірювального стрижню, не більше – 0,5 Н;
- 10) зміна показань індикатора при натиску на вимірювальному стрижні в напрямку, перпендикулярному його осі, з зусиллям, що дорівнює 2-2,5Н не більше 0,5 ділення шкали.

Порядок роботи індикатора ИЧ 10 МН:

1) Перевірте нульову установку. Для цього надайте вимірювальному стрижню натяг 20-25 поділів та вирівняйте нульовий штрих шкали зі стрілкою. Для перевірки сталості показів підійміть вимірювальний стрижень 2-3 рази на висоту 1-2 мм та опустіть його. Якщо стрілка відхилиться від нульового положення, знову вирівняйте з нею нульовий штрих шкали.

2) Протріть вимірювальну деталь чистою м'якою тканиною, оскільки найменша присутність води, мастила тощо призведе до спотворення показів.

3) Слідкуйте за тим, щоб вимірювальний стрижень переміщувався без ударів наприкінці ходу, оскільки це може призвести до викришування зубців механізму та збільшення похибки індикатора.

4) Не допускається потрапляння на індикатор емульсії та мастила.

5) Не повертайте індикатор, коли він закріплений в державці за гільзу.

6) У випадку виявлення несправності ходу допускається часткова промивка механізму без повного розбирання індикатора. Для цього потрібно зняти кришку та занурити механізм індикатора в чистий авіаційний бензин, слідкуючи за тим, щоб бензин не потрапив на шкалу індикатора. Після промивки механізму цапфи осей змастіть годинниковим мастилом.

Стійка призначена для закріплення на певній висоті від торця шестерні індикатора ИЧ 10 МН. Шарнірний важіль дозволяє виконувати нахил стійки 7 та швидко виводити індикатор із зони вимірювання.

При вимірюванні радіального биття деталь повертають відносно бази під наконечником вимірювальної головки. Величина радіального биття визначається як різниця між найбільшим та найменшим відліками по шкалі на один оберт деталі.

Вимірювальний пристрій встановлюють на центрах, насаджують на точну конічну, циліндричну або розтискну оправку або укладають базовою поверхнею на призму.

## 2.11 Висновок

В результаті роботи з вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «шестерня» було впроваджено наступне:

1. Розробка перспективного технологічного процесу виготовлення деталі «шестерня» реалізується заміною в базовому технологічному процесу морально та фізично застарілого устаткування на більш сучасні та модернізовані верстати.
2. Обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки – штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі, а також вимоги на її виготовлення.
3. Проектування спеціального пристосування для нарізання зубів на зубофрезерній операції на сучасному верстаті ВСН-350NC2, з його застосуванням забезпечується задана точність поверхні.
4. Проектування спеціальної конструкції контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального биття поверхонь деталі.



### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ НА ЗУБОФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ МЕТОДАМИ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ

### 3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

В сучасних технологічних процесах для підвищення точності та продуктивності обробки заготовки застосовується прогресивна оснастка, а саме верстатні затискні пристрої. Для розробки раціональної конструкції пристрою, її економічного обґрунтування конструктор, використовуючи теоретичні знання та практичний досвід, вибирає з багатьох варіантів, найкращий. Під час проектування пристрою повинні враховуватися статичні та динамічні навантаження.

З метою скорочення часу на установку та закріплення заготовки «шестерня» для нарізання зубів на зубофрезерній операції спроектований спеціальний верстатний пристрій (див. п. 2.9 цієї роботи), який є складовою частиною замкнутої технологічної оброблюваної системи. Процес фрезерування зубів відбувається при значному силовому навантаженні. Тому, при дослідженні конструкції верстатного пристрою, скоріш за все, будуть виявлені неточності в деяких окремих деталях та вузлах. Статичний аналіз дозволить визначити рівень деформації конструкції системи «пристрій-заготовка» під дією сили тертя-ковзання. Динамічний аналіз дозволить визначити спроможність забезпечення конструкцію системи «пристрій-заготовка» стабільними умовами роботи.

Для статичного та динамічного аналізу конструкції системи «пристрій-заготовка» застосуємо пакет математичного аналізу Ansys Workbench. Статичний аналіз конструкції виконаємо із застосуванням модуля Static Structural, динамічний аналіз відповідно модуля Modal. Основа роботи вищезазначених модулів та пакету математичного аналізу в цілому – це метод скінчених елементів.

Для дослідження статичного та динамічного аналізу конструкції системи «пристрій-заготовка» потрібна розробка її твердотільної моделі. Для цього використовуємо пакет «Компас-График 3D», максимально її спрощуючи. Отже, до складу зазначеної моделі вводимо наступні елементи: корпус, кришка, шток, оправка, швидкознімна шайба, гвинт спеціальний та заготовка.

Загальний вид твердотільної моделі системи «пристрій-заготовка», що був імпортований до пакету математичного аналізу Ansys Workbench, див. рисунок 3.1.

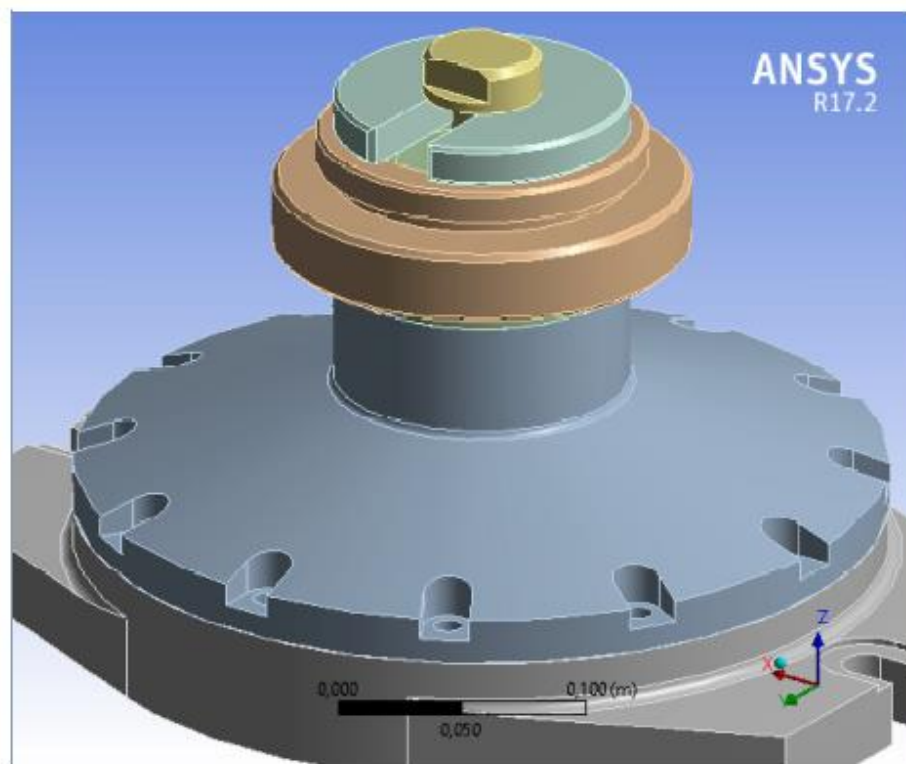


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка»

Характеристики матеріалів елементів системи «пристрій-заготовка» берем за замовчуванням, як для середньовуглецевої сталі: модуль Юнга -  $2 \cdot 10^5$  МПа, межа міцності – 460 МПа.

Характеристики контакту спряжених поверхонь пар «шток-корпус», «гвинт-швидкознімна шайба» - коефіцієнт тертя 0, тертя відсутнє, «заготовка-оправка» задаємо як тертя-ковзання – відповідно з коефіцієнтом 0,16, див. рисунок 3.2.

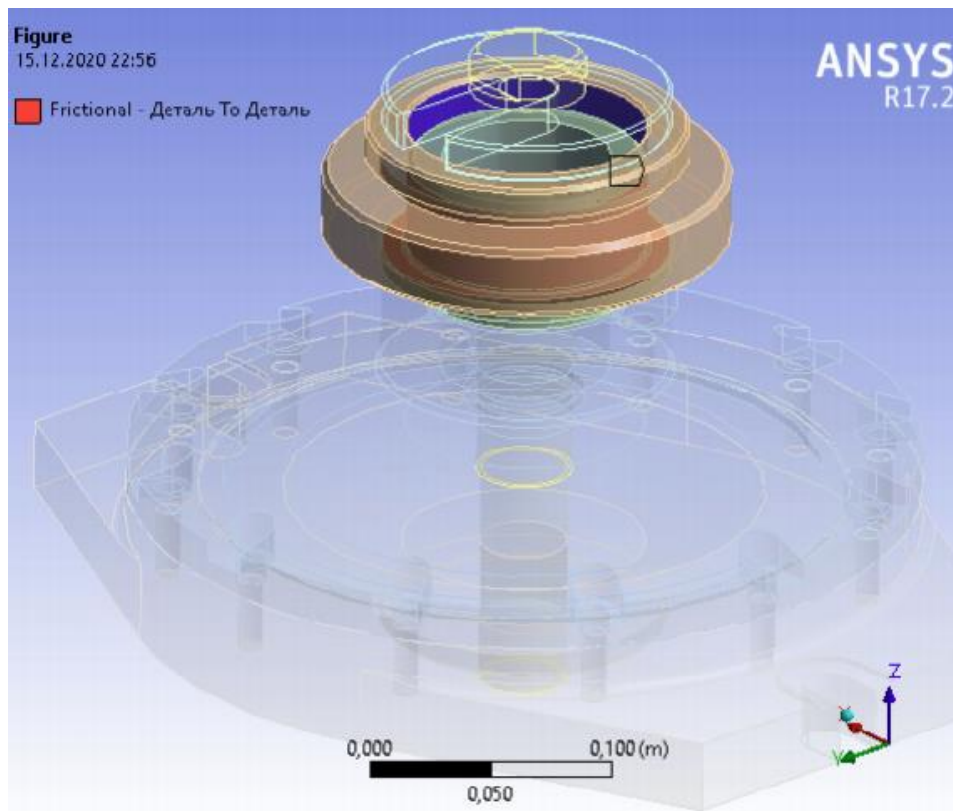


Рисунок 3.2 – Характеристики контакту спряжених поверхонь «заготовка-оправка»

Для обробки заготовки потрібне її встановлення на шліцьову оправку – контактну поверхню з коефіцієнтом тертя 0,16.

Наступний крок з підготовки моделі для проведення статичного та динамічного аналізу – це побудова сітки скінчених елементів, див. рисунок 3.3. Параметри сітки: кількість елементів 17305, мінімальна довжина грані – 1 мм.

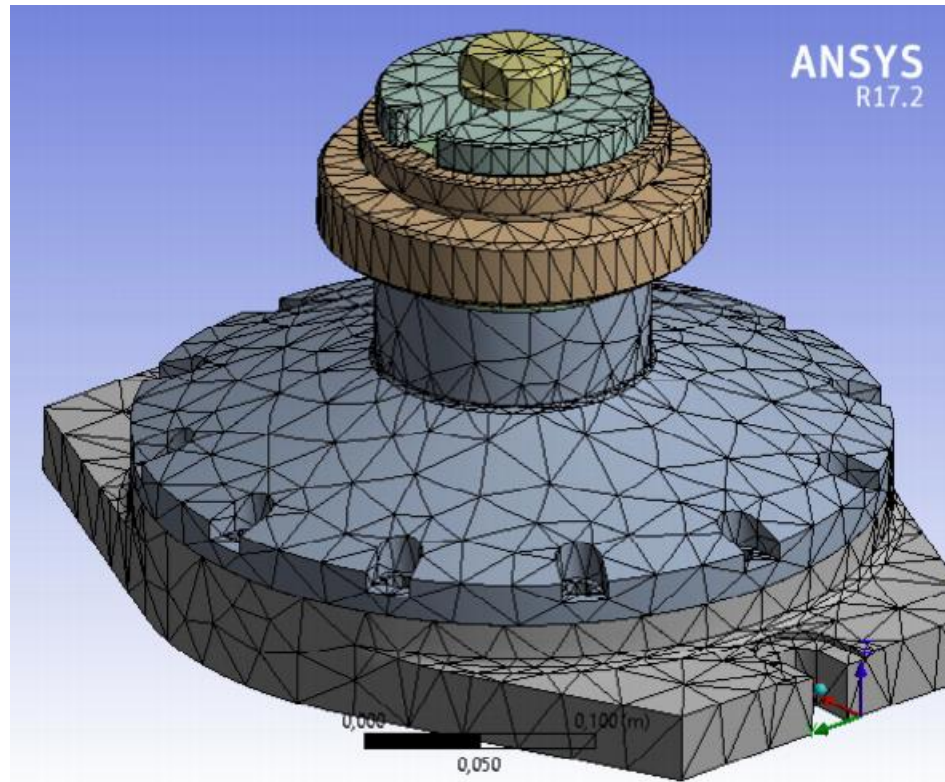


Рисунок 3.3 – Побудова сітки скінчених елементів

Граничними умовами для проведення статичного аналізу системи будуть: зусилля на штоці пневмокамери та напрямки сили та моменту, що виникають при фрезеруванні, див. рисунок 3.4.

З п. 2.9 маємо величину моменту різання, якій має місце під час фрезерування зубів –  $M = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Фреза при обертанні притискає заготовку із силою затиску  $P_z = 1010 \text{ Н}$ . Зусилля, що діє на шток пневмокамери дорівнює  $Q = 8500 \text{ Н}$ .

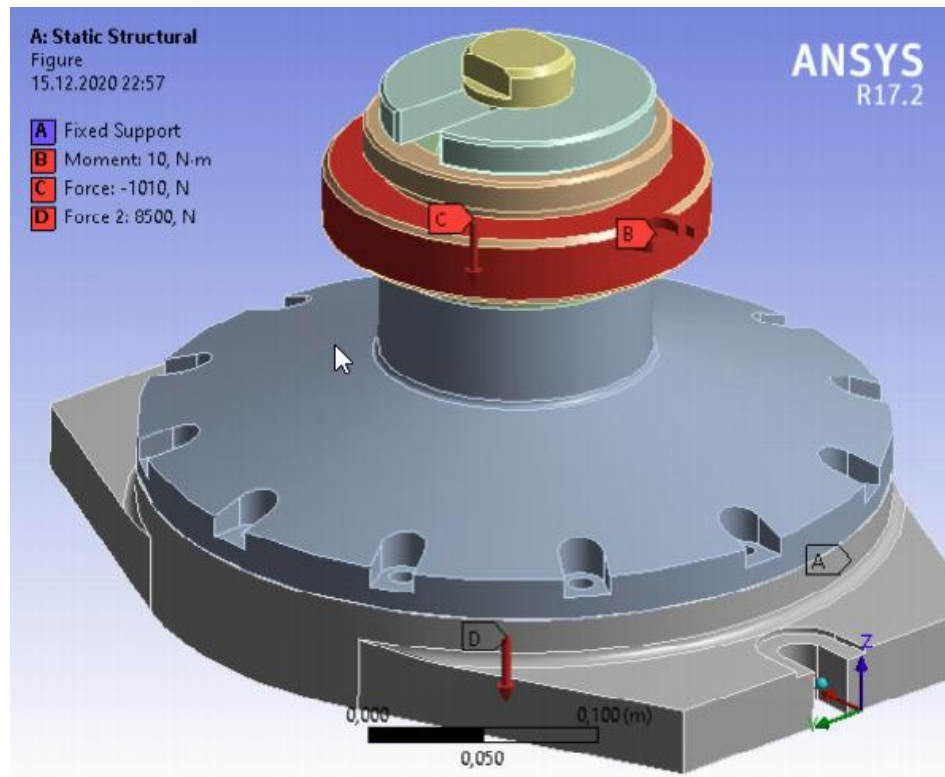


Рисунок 3.4 – Визначення граничних умов

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

В результаті проведення статичного аналізу конструкції системи «пристрій-заготовка» були отримані епюри деформацій (Total Deformation) та напружень (Equivalent Stress), див. рисунки 3.5 та 3.6 відповідно.

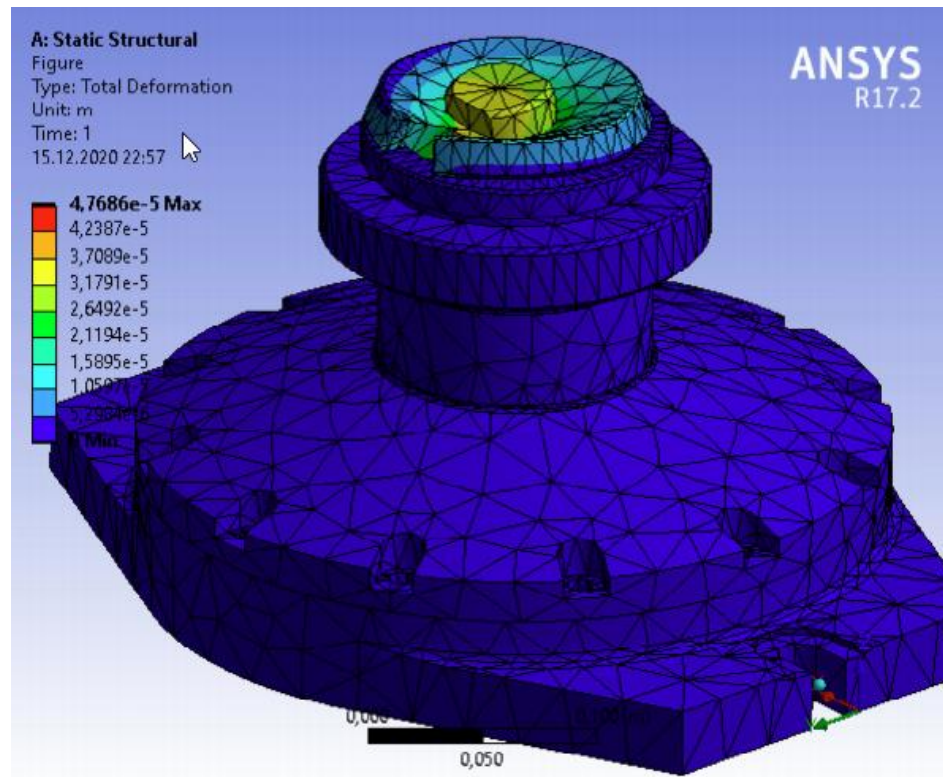


Рисунок 3.5 – Епюра деформацій конструкції системи «пристрій-заготовка»

Отже, з рисунка 3.5 видно, що найвищий рівень пружних деформацій (0,031 – 0,037 мм) характерний для головки гвинта спеціального. Шток здійснює осьове переміщення, тож його деформація характеризується, як кінематична (0,047 мм, на епюрі не показано). Під час фрезерування поверхонь заготовки її поверхні залишаються без деформації. Інші елементи досліджуваної системи (окрім штоку та шайби) також залишаються недеформованими. В цілому, рівень деформацій зазначених елементів верстатного пристрою є прийнятним, точність оброблюваних поверхонь заготовки буде забезпечено.

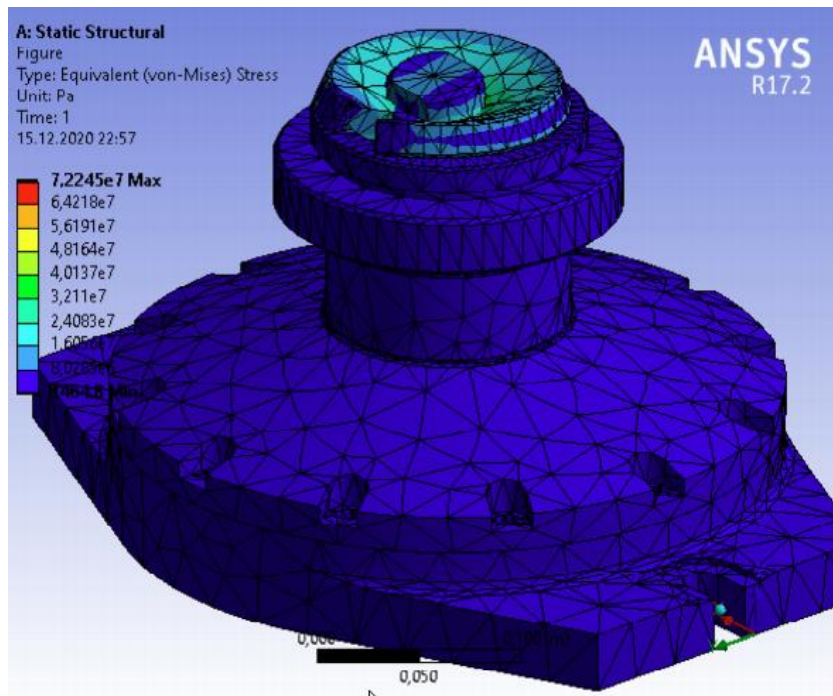


Рисунок 3.6 – Епюра напружень конструкції системи «пристрій-заготовка»

Епюра напружень, див. рисунок 3.6 показала максимальний рівень у 72 МПа, що є прийнятним (межа міцності сталі – 460 МПа). Детальний аналіз окремих елементів конструкції системи дозволив визначити, що найбільший рівень напружень характерний для кришки, див. рисунок 3.7.

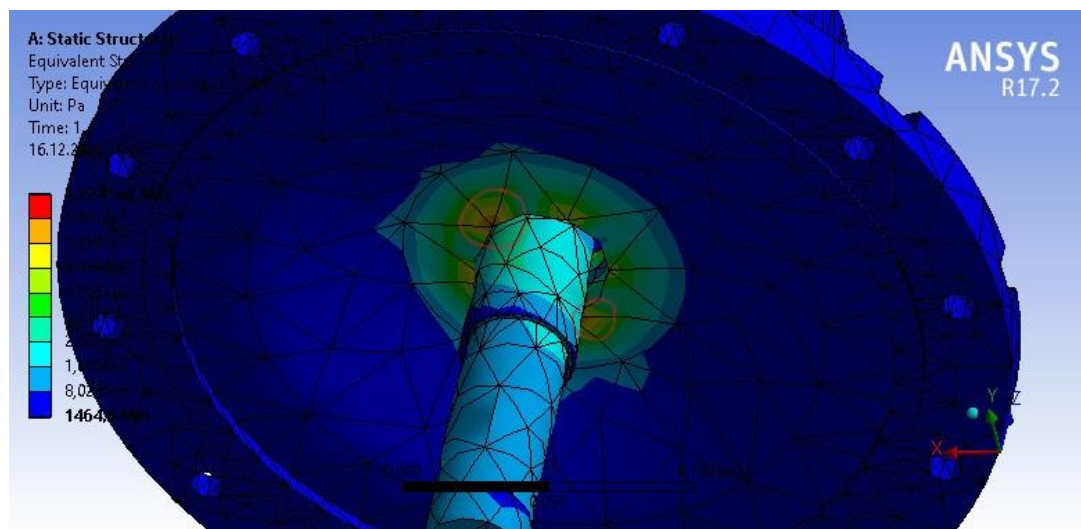


Рисунок 3.7 – Епюра напружень кришки

Під час закріплення заготовки відбувається деформація штоку верстатного пристрою. Гвинт, що розташований у верхній частині штоку також деформується. Деформація системи гвинт-шток відбувається в радіальному напрямку, в напрямку прорізі у шайбі. Під час деформації системи гвинт-шток останній тисне на стінки отвору, розташованого у кришці. На кромках отвору утворюються напруження до 72 МПа. В цілому такі напруження можна вважати прийнятними, бо вони не перевищують межу міцності сталі (460 МПа). Однак, за необхідності можна рекомендувати збільшення діаметру гвинта-штока, що призведе до зменшення поперечних деформацій останнього та сприятиме зменшенню напружень на кромках отвору кришки.

### 3.3 Аналіз результатів динамічного дослідження системи «пристрій-заготовка»

В результаті проведення динамічного аналізу системи «пристрій-заготовка» було виявлено ряд вільних коливань системи та їх частоти (див. рисунки 3.8, 3.9, 3.10, 3.11).



Mode	Frequency [Hz]
1.	1515.7
2.	1718.7
3.	1725.5
4.	2058.5
5.	3249.
6.	3577.9

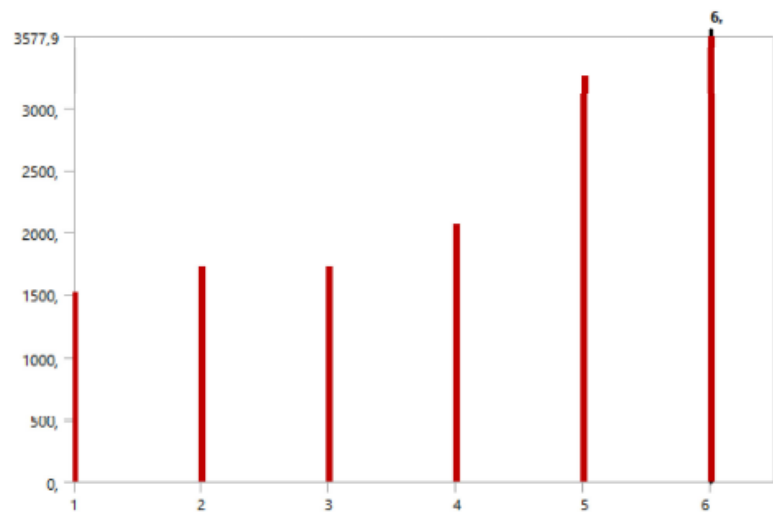


Рисунок 3.8 – Ряд частот 1-6 форм вільних коливань системи «пристрій-заготовка»

Керуючись досвідом, найбільш небезпечними слід вважати частоти перших форм вільних коливань досліджуваної конструкції. Є дуже велика ймовірність виникнення явища резонансу, а саме подібність величин цих частот з частотами вимушених коливань. Отже, для першої форми вільних коливань характерною частотою є частота 1515,7 Гц, для другої та третьої відповідно 1718,7 Гц та 1725,5 Гц. Зазначені величини частот вільних коливань є досить великими, тож ймовірність виникнення явища резонансу під час використання пропонованої конструкції верстатного пристрою є дуже малою.

Шкідливі прояви резонансу у технологічній оброблюваній системі долають униканням режимів різання, коливань від інструменту й оброблюваної деталі, а також інших верстатів.

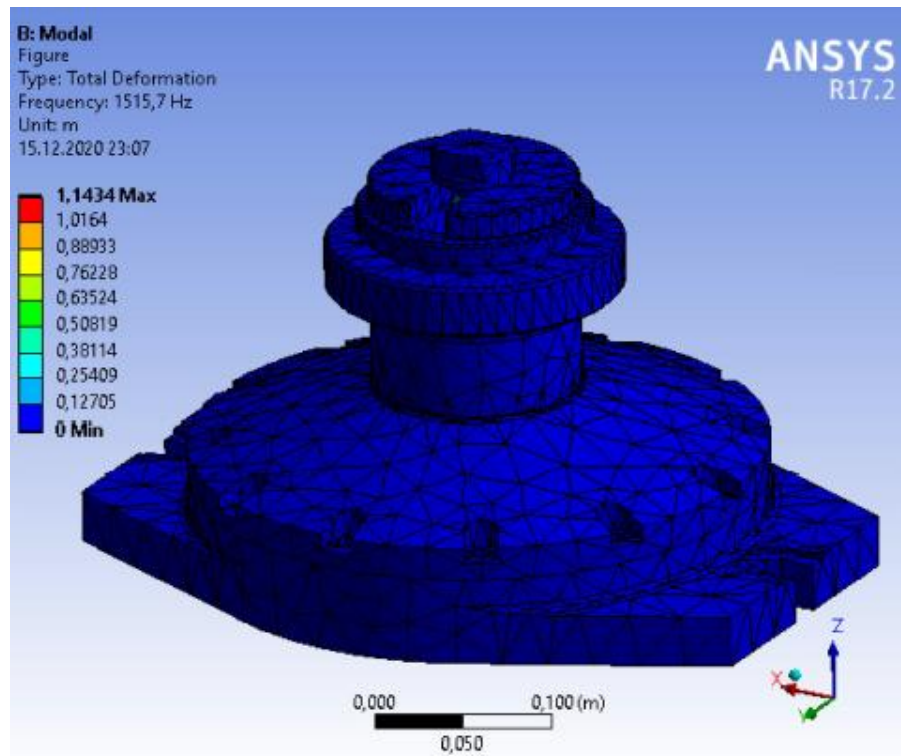


Рисунок 3.9 – Епюра першої форми вільних коливань досліджуваної системи

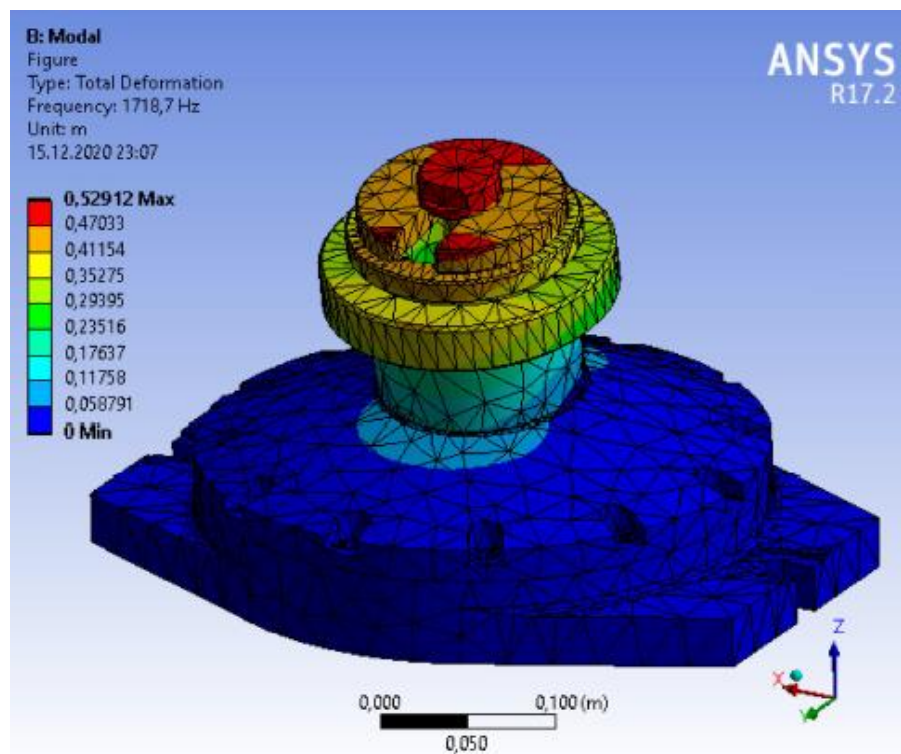


Рисунок 3.10 – Епюра другої форми вільних коливань досліджуваної системи

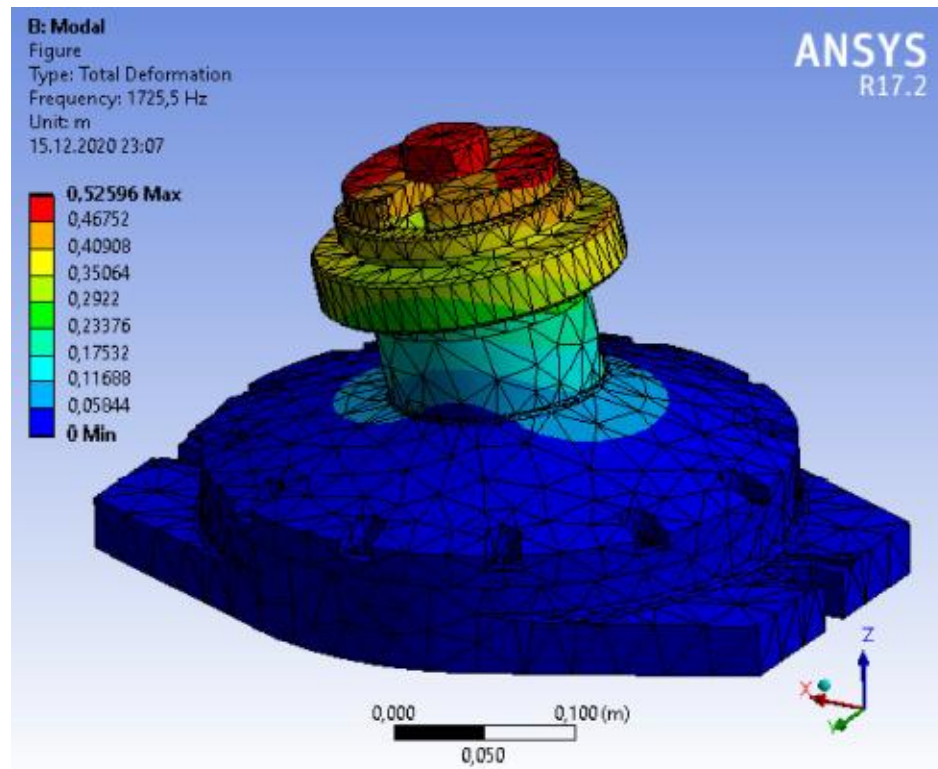


Рисунок 3.11 – Епюра третьої форми вільних коливань досліджуваної системи

Аналіз епюр форм вільних коливань системи «пристрій-заготовка» показав, в якому напрямленні можуть виникнути деформації, скручування. Також аналіз виявив найбільш слабе місце нашої конструкції – це шток. В цілому, усі елементи системи, які входять до складу розглядаємого верстатного пристосування мають достатню стійкість до динамічних навантажень.

### 3.4 Висновок

Статичний та динамічний аналіз спроектованого спеціального верстатного пристрою, що застосовується для закріплення заготовки «шестерня» для фрезерування зубів на зубофрезерній операції, підтвердив її достатню стійкість до

зовнішніх навантажень. Спроектвана конструкція характеризується високою жорсткістю та міцністю, здатна забезпечити необхідну точність та продуктивність та визнана бути спроможною щодо забезпечення її стабільними умовами роботи.

За необхідності можна рекомендувати збільшення діаметру гвинта-штока, що призведе до зменшення поперечних деформацій останнього та сприятиме зменшенню напружень на кромках отвору кришки.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі “шестерня” були виявлені основні недоліки існуючого виробництва, які перш за все полягають у використанні морально та фізично застарілого верстатного устаткування та засобів технологічного оснащення.

2. Аналіз недоліків існуючої технології виготовлення деталі дозволив запропонувати проектування спеціального пристосування для нарізання зубів на зубофрезерній операції на сучасному верстаті VCH-350NC2. З його застосуванням забезпечується задана точність поверхні. Для контролю радіального биття поверхонь деталі спроектовано спеціальне контрольно-вимірвальне пристосування.

3. Виконано дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу, яке підтвердило її високі характеристики щодо здатності забезпечення високої точності та продуктивності фрезерування зубів.

4. Питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при виготовленні “шестерні” розглянуті у додатку Е цієї роботи.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Літвінов І.М. Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного і динамічного аналізу / І.М. Літвінов, А.С. Осадчий, С.В. Коломійченко, А.В. Євтухов // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 16-19 квітня 2019 р.) / редкол.: О.Г. Гусак, І.В. Павленко. - Суми : Сумський державний університет, 2019. - с.39, 40.
2. Марочник сталей и сплавов: справочник / Под. ред.В.Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
3. ГОСТ 25054-81. Поковки из коррозионностойких сталей и сплавов. Общие технические условия. - М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1985. - 14с.
4. Андерс А.А. Проектирование заводов и механосборочных цехов в автотракторной промышленности: учеб. пос. / А.А. Андерс, Н.М. Потапов, А.В. Шулешкин. - М.: Машиностроение, 1982. - 271 с.
5. Горбачевич А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пособ. / А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. - 4-е изд., перераб. и доп. - Минск: Высшая школа, 1983. - 256 с.
6. Егоров М.Е. Технология машиностроения: учеб. / Егоров М.Е., В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев; Под ред. М.Е. Егорова. - 2-е изд., доп. - М.: Высш. шк., 1976. - 534 с.
7. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 39 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя: справочник в 2-х томах. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - 496 м.
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на шлифовальных станках. Серийное

производство: Серийное производство. - М.: Машгиз. - 192 с.

10. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. - М.: Машиностроение, 1974. - 421 с.

11. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Ч.1: Нормативы времени. - М.: Экономика, 1990. - 206 с.

12. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1 / В.И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 2001. - 920 с.

13. Белоусов А.П. проектирование станочных приспособлений: учеб. пос. / Белоусов А.П. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1980. - 240 с.

14. Дунаев И.М. Организация проектирования системы технического контроля / Дунаев И.М., Скворцова Т.П., Чупырин В.Н. - М.: Машиностроение, 1981. - 191 с.

15. Виноградова А.Н. Справочник контролера машиностроительного завода: Допуски, посадки, линейные измерения / Виноградова А.Н.; Под ред. А.И. Якушева. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1980. - 527 с.

16. ГОСТ 2.305-2008 Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения. - М.: Стандартинформ, 2009. - 28 с.

17. ГОСТ 2.307-2011 Единая система конструкторской документации. Нанесение размеров и предельных отклонений. – М.: Стандартинформ, 2012 – 39 с.

18. ГОСТ 2.309-73 Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 1973 – 9 с.

19. ГОСТ 2.308-2011 Единая система конструкторской документации. Указания допусков формы и расположения поверхностей. - М.: Стандартинформ, 2012 – 27 с.

20. ГОСТ 2.316-2008 Единая система конструкторской документации.

Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах. Общие положения (с Поправкой). – М.: Стандартиформ, 2009 – 11 с.

21. ГОСТ 2.104-2006 Единая система конструкторской документации. Основные надписи (с Поправками). – М.: Стандартиформ, 2006 – 17 с.

22. ГОСТ 2.052-2006 Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения. – М.: Стандартиформ, 2006 – 15 с.

23. ГОСТ 2.109-73 Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. – М.: Изд-во стандартов, 1973 – 29 с.