

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
півмуфти Н06.201.010.02 шляхом структурно-параметричної  
оптимізації операції технічного контролю**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*Роман ГРИЦАЙ*

Керівник

*Артем ЄВТУХОВ*

Нормоконтроль

*Олександр ІВЧЕНКО*

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 4  |
| Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....                                  | 7  |
| 1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі.   |    |
| Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання .....                                      | 7  |
| 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....  | 18 |
| 1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт .....                                       | 21 |
| 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....  | 22 |
| 1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі .....                                       | 26 |
| 1.6 Висновок .....   | 31 |
| Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу<br>виготовлення деталі .....                    | 33 |
| 2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки.....   | 33 |
| 2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки .....  | 39 |
| 2.2.1 Аналіз методів обробки елементарних поверхонь деталі.....  | 39 |
| 2.2.2 Обґрунтування вибору раціонального маршруту технологічного<br>процесу виготовлення деталі .....      | 41 |
| 2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання.....                                      | 44 |
| 2.4 Обґрунтування вибору схем базування та закріплення заготовки .....                                     | 46 |
| 2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування .....   | 49 |
| 2.6 Обґрунтування вибору верстатного пристрою, ріжучого<br>та контрольно-вимірювального інструментів ..... | 51 |
| 2.7 Визначення режимів різання.....  | 52 |
| 2.8 Технічне нормування технологічних операцій .....   | 54 |
| 2.9 Проектування верстатного пристрою для установлення<br>й закріплення заготовки.....                     | 57 |
| 2.10 Висновок .....  | 61 |
| Розділ 3 Структурно-параметрична оптимізація операції технічного<br>контролю .....                         | 63 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....                                  | 63 |
| 3.2 | Модальний аналіз пропонуваної конструкції контрольно-<br>вимірювального пристрою ..... | 73 |
| 3.3 | Висновок .....   | 81 |
|     | Висновки .....   | 82 |
|     | Перелік джерел посилань .....  | 83 |
|     | Додаток А Робоче креслення «півмуфта Н06.201.010.02» .....                             | 85 |
|     | Додаток Б Розрахунок припусків .....   | 87 |
|     | Додаток В Пристрій верстатний спеціальний (специфікація) .....                         | 88 |
|     | Додаток Г Пристрій для контролю торцевого биття (специфікація) .....                   | 91 |
|     | Додаток Д Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....                       | 94 |

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** «Півмуфта Н06.201.010.02» входить до складу втулково-пальцевої муфти електронасосного агрегату типу Д12500-24М та (або) Д12500-10М. Зазначені агрегати мають широке призначення та використовуються для водозабору поверхневого, водопостачання гарячого, водопостачання холодного, підтримки пластового тиску, в металургії, гірничій справі тощо. У цій роботі ставиться комплексне завдання, спрямоване на підвищення ефективності існуючого технологічного процесу виготовлення «півмуфти» на прикладі оптимізації окремих технологічних операцій. При цьому вирішуються завдання обґрунтування вибору раціональних схем базування заготовок, вибору металорізального обладнання, засобів технологічного оснащення, розрахунку режимів різання і технічних норм часу. Прийняттю рішень із зазначених питань передують глибокий аналіз службового призначення виробу, технічних вимог, що пред'являють до його конструкції, типу виробництва, в умовах якого планується виготовлення виробу.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема роботи тісно пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення (тема НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «півмуфти Н06.201.010.02» шляхом структурно-параметричної оптимізації операції технічного контролю.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі **завдання**:

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі;

- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для установлення заготовки на комплексній операції з ЧПК;
- 4) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття поверхні деталі;
- 5) виконати дослідження пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою методами скінчено-елементного аналізу, зокрема методом модального аналізу. Сформулювати рекомендації щодо удосконалення як пропонованої конструкції пристрою так і вибору структури й параметрів операції технічного контролю в цілому.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення «півмуфти Н06.201.010.02», операція технічного контролю.

**Предмет дослідження** – структура та параметри операції технічного контролю, конструкція пристрою для вимірювання торцевого биття поверхні деталі.

**Методи дослідження.** Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Геометричну модель конструкції контрольного пристрою розроблено в пакеті Компас-3D. Дослідження розробленої конструкції пристрою методом модального аналізу виконано із використанням пакету математичного аналізу ANSYS Workbench (модуль Modal).

**Наукова новизна:** за результатами теоретичних та експериментальних досліджень виконаний модальний аналіз пропонованої конструкції контрольного пристрою для вимірювання торцевого биття поверхні деталі (півмуфти Н06.201.010.02), що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи в умовах зовнішніх динамічних збурень.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано рекомендації щодо вдосконалення конструкції контрольного пристрою для вимірювання

торцевого биття поверхні деталі на операції технічного контролю з забезпечення його стійкої роботи в умовах зовнішніх динамічних збурень.

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

**Особистий внесок автора.** Автором виявлені недоліки існуючої технології виготовлення деталі, запропоновані рішення, спрямовані на підвищення продуктивності оброблення заготовки та зниження собівартості виготовлення деталі. Спроектвані конструкції верстатного та контрольно-вимірювального пристроїв. Виконано дослідження конструкції контрольного пристрою методом модального аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції розробленого контрольного пристрою.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 84 сторінок основного тексту, 18 рисунків та 10 таблиць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

«Півмуфта Н06.201.010.02» (див. додаток А) входить до складу муфти пружної втулково-пальцевої Н06.201.010.00 СБ.

Пружна втулково-пальцева муфта призначена для передачі крутного моменту від електродвигуна до насоса через сполучні вали. Вона є складальною одиницею виробів – Д12500-24М, Д12500-10М – агрегатів електронасосного типу.

Насос призначений для перекачування води та рідин, що мають подібні до води властивості за в'язкістю та хімічною активністю.

Насос у складі агрегату відноситься до виробів конкретного призначення (ІКН), виду І (відновлюваних) за ГОСТ 27.003-90.

Агрегат виготовлений у кліматичному виконанні УХЛІ для експлуатації у приміщеннях категорії розміщення 4, в атмосфері типу ІІ згідно ГОСТ 15150-69.

Допускається експлуатація агрегату в макрокліматичних районах з помірним кліматом при категорії розміщення 3 за нижнього значення температури навколишнього повітря мінус 10°C.

Агрегат не призначений для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах відповідно до «Правил пристрою електроустановок» (ПУЕ).

Насос (агрегат) виготовлений у сейсмостійкому виконанні для районів із сейсмічністю до 8 балів за шкалою MSK-64 включно.

Приклад умовного позначення агрегату з урахуванням насоса Д 12500-24 М2.

В умовному позначенні агрегату цифри та літери означають: А – відмінний індекс позначення агрегату; Д – тип насоса: насос двостороннього входу; 12500 –

подача у номінальному режимі,  $Q$ , м<sup>3</sup>/год.; 10–24 – напір у номінальному режимі,  $H$ , м;  $M$  – модифікація насоса; 1 – всі елементи потокової частини насоса виготовлені із сірого чавуну; 2 – робоче колесо та кільця ущільнювачів виготовлені зі зносостійкого матеріалу; П – насос правого обертання; Л – насос лівого обертання (базове виконання насоса – відмінний індекс в умовне позначення не вноситься).

Шумова технічна характеристика агрегату – середній рівень звуку з відривом 1 м від контуру агрегату – трохи більше 96 дБА на номінальній ( $\pm 10\%$ ) подачі.

Для забезпечення роботи без присутності обслуговуючого персоналу, керування у всіх режимах експлуатації агрегат оснащується системою автоматичного керування, яка розробляється згідно з технічними вимогами на автоматику та КВП Н06.201.000.00 ДЗ та передбачає контроль за найбільш важливими технологічними параметрами насоса та електродвигуна.

Агрегат складається з насоса, двигуна, вали яких з'єднані за допомогою пружної втулково-пальцевої муфти, закритої огорожею. Насос та двигун монтуються на окремих закладних частинах.

У комплект постачання агрегату повинні входити:

- а) насос у зібраному вигляді (з відповідними фланцями, кріпильними виробами та прокладками);
- б) двигун та його комплектуючі вироби;
- в) закладні частини під насос та двигун;
- г) муфта пружна втулково-пальцева;
- д) огороження муфти;
- е) болти фундаментні (анкерні) з шайбами, гайками, гвинти установчі з гайками;
- ж) підкладки монтажні;
- з) запасні частини;
- і) пристосування та інструмент;
- к) контрольно-вимірювальні прилади та арматура;



л) технічна та експлуатаційна документація.

Насос у складі агрегату – відцентровий одноступеневий горизонтальний з робочим колесом двостороннього входу.

Корпус насоса – литий, внутрішні порожнини якого утворюють вхідний патрубок, що переходить у два півспіральні підводи та спіральний відвід, що переходить у напірний патрубок.

Принцип роботи насоса полягає в перетворенні механічної енергії, що підводиться до нього, від зовнішнього джерела (двигуна) в гідравлічну енергію рідини.

Робоча рідина через вхідний патрубок та півспіральні підводи надходить до робочого колеса. В результаті взаємодії лопат робочого колеса з потоком рідини відбувається перетворення енергії приводу в енергію потоку. З робочого колеса рідина надходить у спіральне відведення і через напірний патрубок – трубопровід.

Базовою складальною одиницею насоса є корпус із горизонтальною площиною роз'єму, якою він розділений на дві частини – корпус та кришку.

Горизонтальний роз'єм між нижньою частиною (корпусом 1) та верхньою частиною (кришкою) ущільнюється прокладками товщиною 1 мм і стягується за допомогою шпильок та гайок із встановленням шайб.

З'єднання патрубків насоса із трубопроводами – фланцеве. Відповідні фланці насоса (які входять у комплект поставки агрегату) виконані під приварювання до трубопроводів і спрямовані горизонтально в протилежні сторони перпендикулярно до поздовжньої осі насоса.

З метою підвищення зносостійкості на внутрішні поверхні кришки та корпусу нанесено протиерозійне епоксидне покриття Інерта 250.

Крім того в зносостійкому виконанні насоса (Д 12500-10 М2, Д 12500-10 М2П, Д 12500-24 М2) матеріал робочого колеса (чавун FC 250) і щілинних кілець (чавун СЧ20) застосований більш зносостійкий – чавун.

Ротор насоса являє собою складальну одиницю, яка включає робоче колесо, гільзи, прокладки, кільця гумові, закріплені на валу за допомогою шпонок, стопорних шайб і круглих гайок. Крім того, ротор включає елементи кріплення

півмуфти, а також елементи кріплення на валу підшипників. Перед установкою в корпус насоса на ротор встановлюють кільця щілинні та кільця.

Напрямок обертання ротора може бути як лівим (проти годинникової стрілки, якщо дивитися з боку півмуфти).

Напрямок обертання вказано стрілкою, що відлита на кришці корпусу насоса.

Ротор у зборі спільно з деталями кріплення підшипників на валу, а також півмуфтою динамічно балансується.

Опорами ротора є підшипники кочення з пластичним мастилом.

Підшипник з боку муфти призначений для сприйняття тільки радіального навантаження, підшипник з протилежного боку ротора призначений для сприйняття радіального та невірноваженого осьового навантаження.

На корпусах підшипників передбачені ділянки для вимірювання вібрації насоса під час випробувань та експлуатації.

Кінцеві ущільнення насоса призначені для обмеження витоку рідини, що перекачується в місцях виходу валу з корпусу насоса і являють собою подвійні сальникові ущільнення з підведенням затворного середовища з напірної порожнини насоса.

Як сальникова застосована набивка, рекомендована фірмою-виробником для герметизації насосів, що перекачують забруднені середовища з високим вмістом твердих частинок.

Для перекачування чистої води (виконання насосів М1) кільце гідрозатворне встановлюється між кільцями сальникового набивання і вода, що подається з напірної порожнини, крім виконання функцій змащувального та охолоджуючого середовища при роботі насоса з вакуумом на вході є затворним середовищем.

При перекачуванні насосом води з вмістом твердих включень більше 0,05% по масі (виконання насосів М2) гідрозатворне кільце необхідно встановлювати першим з боку проточної частини насоса і вода, що подається в камеру ущільнення, в цьому випадку, будучи змащувальною, охолоджувальною і затворною середовищем попереджує попаданню твердих частинок у сальник.

Для збільшення терміну служби захисної гільзи валу і сальникового набивання при роботі насоса на середовищі, що перекачується, з концентрацією твердих включень більшою 0,05% по масі рекомендується забезпечити до ущільнень підведення чистої холодної води від стороннього джерела з тиском на величину від 0,05 до 0,20 МПа (від 0,5 до 2,0 кгс/см<sup>2</sup>) більшим, ніж тиск на вході в насос.

Для очищення від домішок води, що перекачується, можуть бути використані гідроциклони, фільтри, відстійники, після очищення в яких вода за допомогою спеціального насоса може подаватися в сальники групи насосів, встановлених на даній насосній станції.

Як привод насосів застосовані асинхронні трифазні з короткозамкненим ротором двигуни.

Спосіб охолодження двигунів – повітряний із самовентиляцією.

Насос та двигун встановлюються на окремих закладних частинах. Балки, на яких встановлюється насос і двигун, кріпляться до фундаменту за допомогою фундаментних шпильок, що встановлюють в колодязі.

У нижній частині балок виконані отвори для гвинтів, за допомогою яких вони виставляються при монтажі.

До балок, що встановлюються під двигун, приварені упори з отворами під установку гвинтів, призначених для переміщення двигуна горизонтальною площиною при centruванні агрегату.

Експлуатація агрегату не потребує постійної присутності обслуговуючого персоналу. Керування агрегатом здійснюється дистанційно або зі щита, встановленого за місцем.

При роботі та обслуговуванні насосного агрегату небезпечними та шкідливими виробничими факторами за ГОСТ 12.0.003-74 можуть бути:

- а) обертові поверхні сполучної муфти;
- б) підвищена (понад 45°С) температура поверхні устаткування;
- в) підвищений рівень шуму та вібрації на робочому місці;

г) електрична напруга в ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини.

Джерела небезпеки:

а) відкриті ділянки сполучної муфти;

б) нагріті понад 45°C поверхні агрегату (мають бути теплоізольовані за місцем експлуатації чи огорожені);

в) шум і вібрація, що збуджуються працюючим агрегатом;

г) електричний струм, що підводиться для живлення двигуна.

У разі виникнення аварійних ситуацій агрегат необхідно зупинити.

Передача крутного моменту від двигуна до насоса здійснюється за допомогою пружної втулково-пальцевої муфти (див. рисунок 1.1).

Службове призначення та умови роботи вузла «Муфта пружна втулково-пальцева Н06.201.010.00 СБ» та деталі «півмуфта Н06.201.010.02».

Призначення муфти – зниження динамічного (ударного) навантаження та запобігання небезпечним коливанням. Крім того, вона припускає деяку компенсацію взаємного положення валів.

Пружна втулково-пальцева муфта складається з двох півмуфт та пружних елементів. «Півмуфта» Н06.201.010.02 є півмуфтою двигуна і служить для передачі крутного моменту з валу двигуна до півмуфти насоса. При динамічних навантаженнях муфта акумулює та частково розсіює енергію. За допомогою пружної втулково-пальцевої муфти можна запобігти виникненню резонансних коливань.

Крім цього муфта характеризується:

а) податливістю;

б) демпфуючою здатністю.

Під демпфуючою здатністю муфти розуміють її здатність розсіювати, тобто. перетворювати на тепло, енергію при деформуванні.

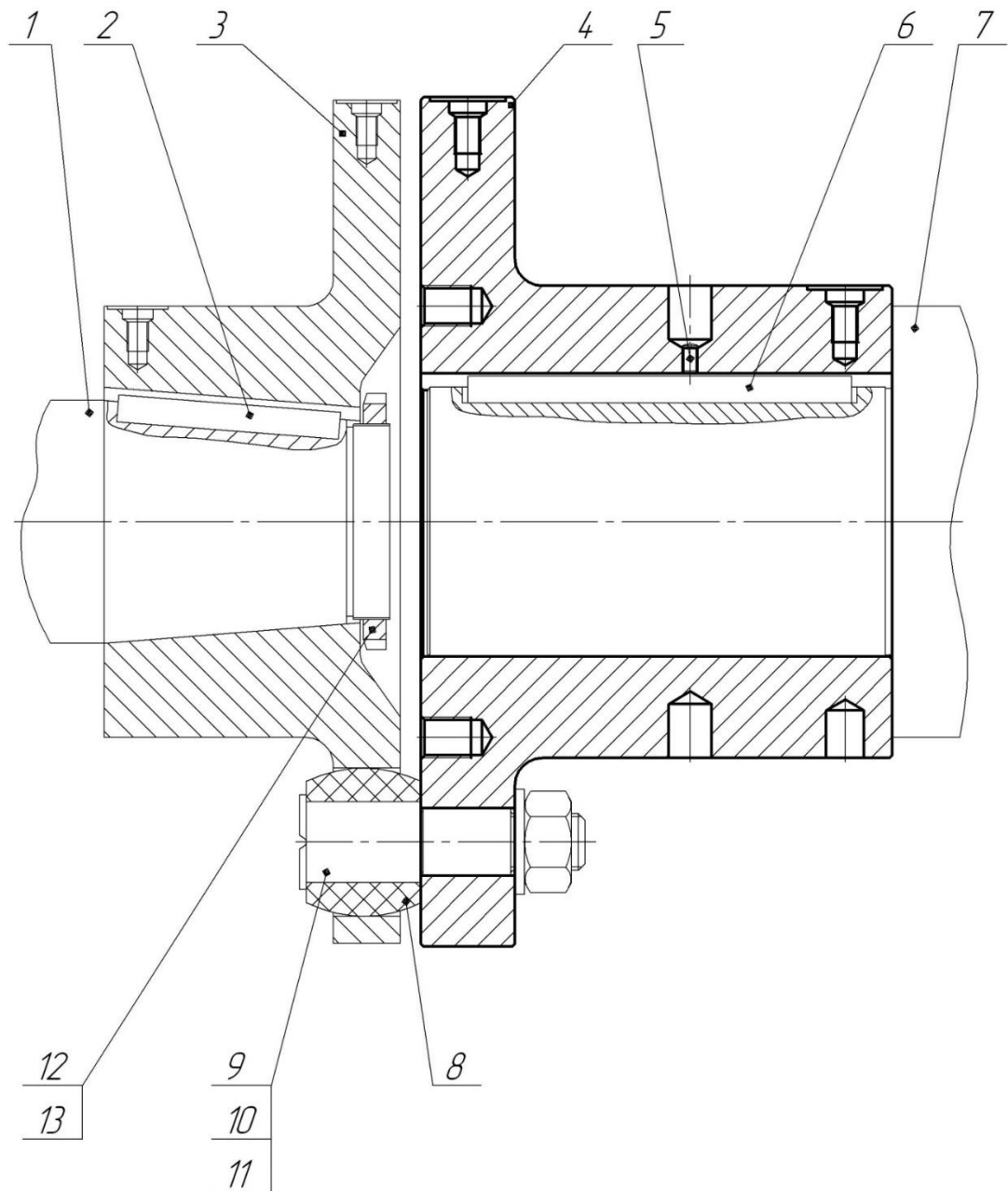


Рисунок 1.1 – Муфта пружна втулково-пальцева:

1 – вал насоса; 2 – шпонка; 3 – півмуфта насоса; 4 – півмуфта двигуна; 5 – гвинт;  
 6 – шпонка; 7 – вал двигуна; 8 – амортизатор муфтовий; 9 – палець; 10 – гайка;  
 11 – шайба; 12 – гайка кругла; 13 – шайба стопорна.

Еластомери (гума, поліуретан) володіють як пружні елементи муфт такими істотними перевагами:

а) здатністю акумулювати більше енергії на одиницю маси, ніж пружинна сталь, до 10 разів;

б) значною демпфуючою здатністю; у муфті з гумовими пружними елементами (0,3 – 0,8);

в) електроізолюючою здатністю.

Муфта пружна втулково-пальцева (МУВП). У цій муфті момент передається через пальці і пружні елементи, що сидять на них – муфтові амортизатори. Муфтові амортизатори піддаються безперервному стисканню. Форма їх забезпечує підвищення податливості та деяке вирівнювання напружень. Пальці закріплені своїми хвостами в одній півмуфті і входять до циліндричних отворів іншої півмуфти. Число пальців у цій муфті дорівнює 10. Габаритні розміри: зовнішній діаметр муфти  $D = 630$  мм; внутрішні діаметри  $d_1 = 179$  мм;  $d_2 = 200$  мм; довжина муфти  $L = 655\text{--}660$  мм.

Матеріал муфти – чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85. Матеріал пальців по міцності не нижче, ніж сталь 45. Матеріал муфтових амортизаторів – гума з тимчасовим опором при розтягуванні  $\sigma_b \geq 8$  МПа.

Частоту обертання муфти обмежують окружною швидкістю 30 м/с.

Муфта допускає осьові зміщення в межах осьового монтажного зазору, що змінюється в межах 1–5 мм, а радіальні не більше 0,1 мм на кожні 100 мм діаметра муфти. Радіальні та кутові зміщення валів суттєво знижують термін служби пружних елементів та підвищують навантаження на вали та опори. Для зручності монтажу радіальні зміщення валів повинні бути меншими за радіальні зазори між пружними елементами і отворами в півмуфтах. Кути перекосу валів повинні бути не більше ніж  $1^\circ$ .

Муфти з пружними елементами з еластомерів більш технологічні, ніж зі сталевими. Натомість ресурс неметалевих пружних елементів менший, ніж сталевих. Гума внаслідок структурних змін, що прискорюються зовнішніми впливами, поступово змінює свої пружні властивості.

Муфти з неметалевими пружними елементами є основними для середніх і малих моментів.

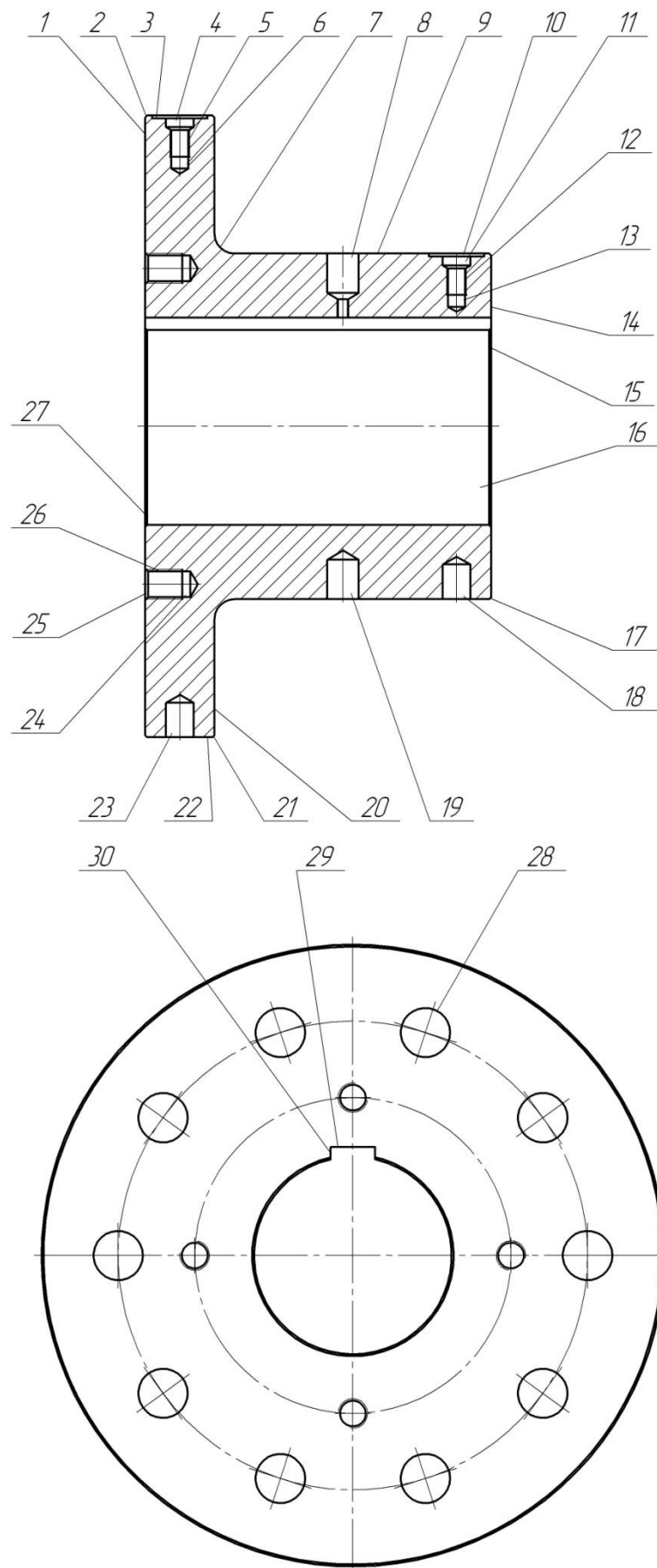


Рисунок 1.2 – Нумерація поверхонь деталі

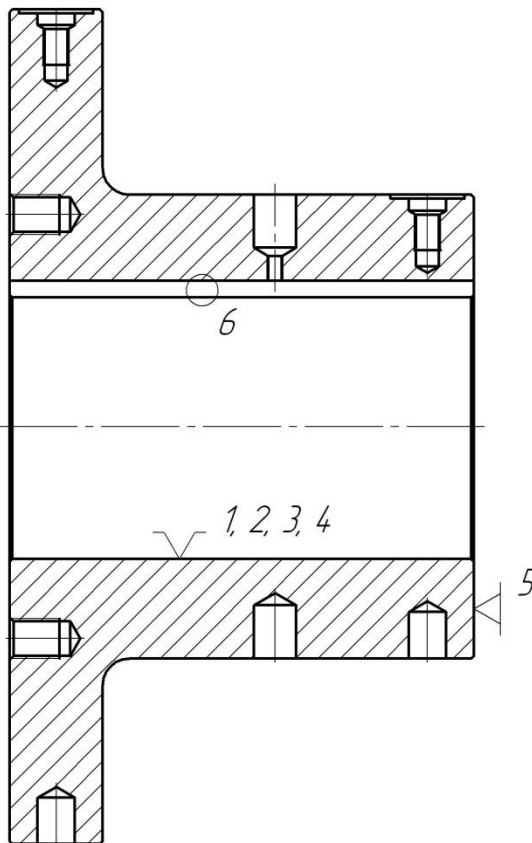
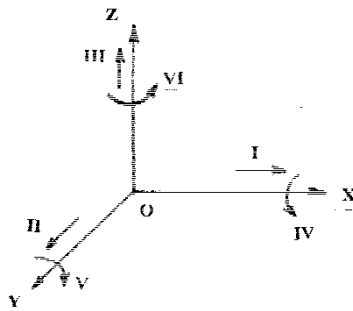


Рисунок 1.3 – Схема базування деталі у вузлі

Таблиця 1.1 – Класифікація поверхонь деталі за призначенням

| Вид поверхні                   | Номери поверхонь    |
|--------------------------------|---------------------|
| Виконавчі                      | 28, 30              |
| Основні конструкторські бази   | 14, 16, 30          |
| Допоміжні конструкторські бази | 1, 3, 5, 10, 12, 26 |
| Вільні                         | усі інші            |



Виконавчі поверхні – поверхні, що забезпечують виконання деталю її безпосереднього службового призначення. Поверхні 28, 30 забезпечують передачу крутного моменту з півмуфти двигуна на півмуфту насоса за допомогою шпонки і пальця.

Конструкторські бази – бази, що визначають положення деталі у виробі вищого рівня (основні конструкторські бази) чи інших деталей, які приєднуються щодо нього (допоміжні конструкторські бази). Основні конструкторські бази 14, 16, 30 визначають положення півмуфти двигуна з валом двигуна (див. рисунок 1.3, таблиці 1.2 та 1.3).

Допоміжні конструкторські бази 1, 3, 5, 10, 12, 26 слугують для установлення допоміжного кріплення (рим-болтів для транспортування півмуфти, кронштейна для установлення та зняття півмуфти на вал, установки гвинта, що фіксує шпонку, див. рисунки 1.1, 1.2, 1.3).

Вільні поверхні – поверхні, які не контактують з іншими виробами (деталлями), і визначають конфігурацію деталі (усі інші поверхні).

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

| Зв'язки    | Ступені вільності | Бази                 |
|------------|-------------------|----------------------|
| 1, 2, 3, 4 | II, III, V, VI    | Подвійна направляюча |
| 5          | I                 | Опорна               |
| 6          | IV                | Опорна               |

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

| Переміщення | X | Y  | Z  | Бази                 |
|-------------|---|----|----|----------------------|
| L           | 0 | 1  | 1  | Подвійна направляюча |
| $\alpha$    | 0 | 1  | 1  |                      |
| L           | 1 | 0  | 0  | Опорна               |
| $\alpha$    | 0 | 0  | 0  |                      |
| L           | 0 | 0  | 0  | Опорна               |
| $\alpha$    | 1 | 0  | 0  |                      |
|             | 2 | +2 | +2 | =6                   |

## 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Півмуфта Н06.201.010.02 за своєю формою відноситься до тіл обертання з явно вираженою фланцевою частиною діаметром 630 мм і маточиною діаметром 350 мм. Діаметр центрального отвору – 200Н8. Деталь має досить жорстку конструкцію.

Матеріал деталі – СЧ 20 ГОСТ 1412-85. Спосіб отримання вихідної заготовки – лиття в піщано-глинисті форми.

Сірий чавун позначають початковими літерами СЧ та значеннями тимчасового опору при розтягуванні (СЧ20 – сірий чавун з тимчасовим опором при розтягуванні 20 кгс/мм<sup>2</sup> (200 МПа)).

Таблиця 1.4 – Хімічні властивості СЧ20 ГОСТ 1412-85, у відсотках

| C       | Si      | Mn      | P                | S                 |
|---------|---------|---------|------------------|-------------------|
| 3,3–3,5 | 1,4–2,4 | 0,7–1,0 | не більше<br>0,2 | не більше<br>0,15 |

Примітка. Допускається низьке легування чавуну різними елементами (хром, нікель, мідь, фосфор).

Фізичні властивості чавуну з пластинчастим графітом:

- а) щільність  $\rho=7,1 \cdot 10^3 \text{кг/м}^3$ ;
- б) лінійна усадка  $\varepsilon= 1,2\%$ ;
- в) модуль пружності під час розтягування,  $(850–1100) \cdot 10^{-2} \text{МПа}$ ;
- г) питома теплоємність при температурі від 20 до 200°C,  $C=480 \text{ Дж (кг} \cdot \text{K)}$ ;
- д) коефіцієнт лінійного розширення при температурі від 20 до 200°C,  $\alpha = 9,5 \cdot 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ ;
- е) теплопровідність при 20°C,  $\lambda= 54 \text{ Вт (м} \cdot \text{K)}$ .

Аналіз креслення деталі дозволив виявити ряд поверхонь, до яких пред'являють досить жорсткі технічні вимоги щодо точності розмірів, допусків

форми, взаємного розташування, чистоти: переважно це поверхні, що виконують функції основних і допоміжних конструкторських баз, виконавчі поверхні.

Центральний отвір  $\varnothing 200H8$ , Ra 1,6 мкм. Поверхня отвору виконує функції ОКБ, є достатньо точною та чистою, що дозволяє забезпечити по валу посадку із зазором. Ця поверхня є базовою стосовно інших поверхонь деталі (база «Г»). Таким чином, регламентується точність взаємного розташування інших поверхонь деталі між собою та центральним отвором. Водночас допуск форми центрального отвору спеціально не регламентується, тобто знаходиться в межах допуску на розмір  $\varnothing 200H8$ . Відсутність допуску форми у вигляді відхилення від циліндричності на поверхні центрального отвору слід вважати недоліком і може призвести до проблем під час встановлення півмуфти на вал і передчасної поломки виробу.

До правого торця деталі (торця маточини) пред'являється вимога з допуском торцевого биття 0,06 мм щодо центрального отвору, що цілком обґрунтовано, так як ця поверхня входить у комплект ОКБ. Виконання даної вимоги дозволяє забезпечити щільне прилягання торцевої поверхні до поверхні валу, що сполучається, і рівномірне розподілення контактних напружень, що є однією з умов якісної експлуатації вузла і виробу в цілому.

Обґрунтовано регламентується точність взаємного розташування бокових поверхонь шпонкового паза: задані допуск симетричності – 0,1 мм та відхилення від паралельності – не більше 0,05 мм щодо центрального отвору. Зазначені поверхні деталі є замикальними в силовому ланцюгу при передачі крутного моменту від валу електродвигуна до півмуфти ротора насоса. Щільне прилягання поверхонь деталей, що сполучаються в шпонковому з'єднанні дозволяє забезпечити рівномірне розподілення навантаження по перерізу паза, уникнути зминання поверхонь паза, їх передчасного зношення тощо.

Допуск торцевого биття у розмірі 0,05 мм, що висувається до зовнішнього торця фланця півмуфти, дозволяє забезпечити рівномірний зазор між півмуфтою з боку валу електродвигуна та півмуфтою з боку ротора насоса. Забезпечення такого рівномірного зазору між півмуфтами на етапі складання дозволяє

забезпечити високі динамічні характеристики з'єднання під час експлуатації виробу.

Поверхні отворів  $\varnothing 50H7$  є замикальними в силовому ланцюгу при передачі крутного моменту від валу електродвигуна до півмуфти ротора насоса. Щільний контакт між поверхнями передавальних обертальний момент пальців і поверхнями зазначених отворів, забезпечення посадки з мінімальним гарантованим зазором  $H7/g6$  дозволяє рівномірно розподілити навантаження, що передається. Таким чином, задана розмірна точність IT7, шорсткість поверхонь отворів  $50H7 Ra 1,6$  мкм, задані цілком обґрунтовано. Також обґрунтовано задані вимоги щодо допуску позиціонування отворів у розмірі  $0,06$  мм та відхилення від паралельності у розмірі  $0,15$  мм щодо центрального отвору півмуфти. Зазначені вимоги дозволяють забезпечити якість складання вузла, нормальні умови передачі крутного моменту між півмуфтами під час експлуатації агрегату.

Кресленням деталі регламентовані допуски радіального та торцевого биття  $0,05$  мм та торцевого биття поверхонь фланця, радіального биття  $0,2$  мм поверхні маточини щодо центрального отвору. Ці поверхні є вільними. У той же час зазначені допуски взаємного розташування поверхонь дозволяють забезпечити необхідний баланс півмуфти, що дуже важливо за високої швидкості обертання деталі, вузла в цілому. У зв'язку з цим, до недоліків креслення слід віднести відсутність технічних вимог, що регламентують допустимий дебаланс деталі окремо та у зборі з валом електродвигуна, а також спосіб усунення надлишкового дебалансу півмуфти.

Інші поверхні деталі – вільні, функціонального призначення не мають, визначаючи лише зовнішні обриси деталі, і виконуються за IT14 з шорсткістю  $6,3$  мкм Ra, що цілком обґрунтовано.

Таким чином, усі раніше перелічені досить жорсткі технічні вимоги до деталі задані цілком обґрунтовано та відповідають сучасному рівню насособудування.

У цілому креслення деталі оформлено якісно, кількість наведених видів, розрізів, перерізів є достатньою для розуміння конфігурації деталі, її

конструктивних особливостей. Вказані на кресленні технічні вимоги відповідають чинним стандартам.

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

Проектування оптимального технологічного процесу виготовлення виробу має відбуватися з урахуванням типу виробництва. Згідно з ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о}$ , що свідчить про відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом впродовж місяця, до кількості робочих місць [1].

З урахуванням заданої програми випуску деталей 100 шт. та витрат штучного часу за операціями існуючого технологічного процесу виготовлення деталі розрахункове значення коефіцієнта закріплення операцій  $K_{з.о} = 31,83$ , що входить у діапазон значень 20–40. Таким чином маємо дрібносерійний тип виробництва [1].

Серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом [1]. При серійному виробництві вироби виготовляють партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією та однакових за розмірами виробів, що запускаються у виробництво одночасно. Основним принципом цього виду виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком як при обробці деталей, так і при складанні виробів.

Поняття «партія» відноситься до кількості деталей, а поняття «серія» – до кількості машин, що запускаються у виробництво одночасно. Кількість деталей у партії та кількість машин у серії можуть бути різними [1].

У серійному виробництві технологічний процес є переважно диференційованим, тобто розчленованим на окремі операції, які закріплені за певними верстатами.

Верстати тут застосовуються різноманітних видів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані. Верстатний парк повинен бути

спеціалізований такою мірою, щоб був можливий перехід від виробництва однієї серії машин до виробництва іншої, що дещо відрізняється від першої конструктивно.

При використанні універсальних верстатів повинні широко застосовуватися спеціалізовані та спеціальні пристрої, спеціалізований та спеціальний різальний інструмент і, нарешті, вимірювальний інструмент у вигляді граничних (стандартних та спеціальних) калібрів та шаблонів, що забезпечують взаємозамінність оброблених деталей. Все це обладнання та оснащення в серійному виробництві можна застосовувати досить широко, так як при повторюваності процесів виготовлення тих самих деталей зазначені засоби виробництва дають техніко-економічний ефект, який з великою вигодою окупає витрати на них.

Середня кваліфікація основних виробничих робітників вища, ніж у масовому виробництві, але нижча, ніж у одиничному і становить 3, 4 та 5 розряди. Для допоміжних робітників – це розряди 3–5.

Серійне виробництво значно економніше, ніж одиничне, оскільки краще використання устаткування, спеціалізація робітників, збільшення продуктивності праці забезпечують зменшення собівартості продукції.

Серійне виробництво є найпоширенішим видом виробництва у загальному та середньому машинобудуванні.

З існуючих форм організації робіт приймаємо типову для дрібносерійного типу – групову.

Виробнича партія запуску згідно з результатами попередніх розрахунків становить 12 деталей.

#### **1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі**

Заготовка «півмуфти Н06.201.010.02» в умовах діючого виробництва виготовляється литтям у піщано-глинисті форми. Заготовка має просту

конфігурацію, але передбачає наявність центрального стрижня. Так, форма вилівка є досить близькою до форми готової деталі, що підвищує продуктивність праці за рахунок зменшення припусків на механічне оброблення і відповідно сприяє зменшенню часу, необхідного на зняття припусків і напусків.

Матеріал заготовки – сірий чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85. Замінники матеріалу кресленням деталі не передбачені. Але використання цього матеріалу обґрунтовано габаритами деталі (при масі 265 кг деталь можна вважати досить важкою, масивною) та умов використання виробу. Значна маса деталі передбачає використання транспортних механізованих засобів для транспортування та установлення заготовки, що є нетехнологічною ознакою. Жорсткість деталі достатня для використання багатоінструментального оброблення із застосуванням форсованих режимів різання.

До цієї деталі пред'явлені жорсткі вимоги до точності розмірів окремих поверхонь. Циліндричні отвори D200 (центральный отвір) та D30 (10 отворів) виконуються за 8 та 7-м квалітетом з допусками 0,072 мм та 0,025 мм відповідно. Шорсткість отворів за критерієм Ra = 1,6 мкм. Крім цього, підвищені вимоги щодо точності та чистоти поверхонь пред'явлені до різьбових отворів M30-7H, M20-7H та M12-7H (шорсткість різьбових отворів за критерієм Ra = 3,2 мкм). Так, технологічний процес виготовлення деталі вимагатиме використання багатоетапного оброблення та обладнання підвищеної точності, що також є нетехнологічним.

До ряду поверхонь деталі пред'являють підвищені вимоги щодо точності розташування та форми. До торців деталі подано допуск торцевого биття. Кожен із них становить 0,05 мм і 0,06 мм. Крім того, до поверхонь 10 отворів D50H7 пред'явлені допуски розташування: позиційний допуск, який становить 0,6 мм і допуск прямолінійності, що становить 0,15 мм відповідно. Наявність цих допусків є нетехнологічною ознакою, оскільки потребує контролю з використанням спеціальних КВП. З інших нетехнологічних конструктивних елементів слід зазначити: різьбові отвори M20-7H та M12-7H, які розташовуються на зовнішніх циліндричних поверхнях деталі перпендикулярно центральній осі; шпонковий паз

шириною 45D10 (шорсткість бічних поверхонь паза – Ra = 3,2 мкм, допуск симетричності – 0,1 мм, допуск непаралельності – 0,05 мм).

У цілому деталь має просту конфігурацію. Усі поверхні розташовуються одна відносно під прямим кутом, або паралельно. Більшість поверхонь можна обробити напрохід стандартним різальним інструментом.

В рамках кількісного аналізу технологічності конструкції визначимо коефіцієнт використання матеріалу  $K_{в.м.}$ :

$$K_{в.м.} = \frac{M_d}{M_3} = \frac{325,5}{265} \approx 1,23,$$

де  $M_3 = 325,5$  кг – маса заготовки (за базовим варіантом);

$M_d = 265$  кг – маса деталі.

Рівень технологічності деталі за точністю оброблюваних поверхонь визначають за формулою [2]:

$$K_m = 1 - \frac{1}{T_{cp}},$$

де  $T_{cp}$  – середній квалітет розмірної точності оброблюваних поверхонь деталі.

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де  $T_i$  – квалітет розмірної точності;

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

$$T_{cp} = \frac{14 \cdot 40 + 11 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 7 \cdot 17}{61} \approx 11,77.$$

В результаті маємо



$$K_m = 1 - \frac{1}{11,77} \approx 0,92 > [0,8].$$

Коефіцієнт розмірної точності перевищує нормативний показник 0,8, тобто деталь можна вважати технологічною за цією ознакою [2].

Рівень технологічності деталі за шорсткістю оброблюваних поверхонь визначимо за формулою [2]:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}},$$

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

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш_i \cdot n_i}{\sum n_i},$$

де  $Ш_i$  – рівень шорсткості поверхні;

$n_i$  – кількість поверхонь з  $Ш_i$  рівнем шорсткості.

$$Ш_{cp} = \frac{12,5 \cdot 4 + 6,3 \cdot 34 + 3,2 \cdot 12 + 1,6 \cdot 11}{61} \approx 5,59.$$

В результаті маємо

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{5,59} \approx 0,82 > [0,8].$$

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

Кількісна оцінка, як і якісна, показує, що технологічність конструкції деталі можна вважати задовільною.

## 1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Відповідно до завдання виконаємо аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі з пропозицією нововведень щодо обладнання, що використовується, технологічного оснащення, структури операцій і маршруту оброблення заготовки. Для зручності аналізу представимо базовий технологічний процес виготовлення деталі у вигляді таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Короткий опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

| Номер операції | Найменування операції | Короткий зміст операції  | Устаткування                             | Базування, верстатний пристрій   |
|----------------|-----------------------|--|--|--|
| 005            | Заготовча             | Лиття металів та сплавів   | Машина для лиття                         |  |
| 010            | Термічна              | Відпалювання для зняття внутрішніх напружень   | Термопіч                                 |  |
| 015            | Токарно-карусельна    | Попередня обробка зовнішніх циліндричних та торцевих поверхонь заготовки, попереднє розточування центрального отвору | Токарний карусельний верстат моделі 1512 | По зовнішній циліндричній поверхні фланця з упором у торець (установ А), по зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець (установ Б), установка в планшайбі з вивіркою |
| 020            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь  | На робочому місці                        |  |

Продовження таблиці 1.5

| Номер операції | Найменування операції | Короткий зміст операції   | Устаткування                             | Базування, верстатний пристрій   |
|----------------|-----------------------|---|--|--|
| 025            | Токарно-карусельна    | Півчистове оброблення зовнішніх циліндричних та торцевих поверхонь заготовки, півчистове розточування центрального отвору, обточування та розточування фасок, галтелей. | Токарний карусельний верстат моделі 1512 | По зовнішній циліндричній поверхні фланця з упором у торець (установ А), по зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець (установ Б), установка в планшайбі з вивіркою |
| 030            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь   | На робочому місці                        |  |
| 035            | Токарно-карусельна    | Чистове оброблення зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь заготовки, чистове розточування центрального отвору, тонке розточування центрального отвору              | Токарний карусельний верстат моделі 1512 | По зовнішній циліндричній поверхні фланця з упором у торець (установ А), по зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець (установ Б), установка в планшайбі з вивіркою |
| 040            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь   | На робочому місці                        |  |
| 045            | Маркування            | Маркувати номер креслення   | Робоче місце маркувальника               |  |
| 050            | Розмічування          | Розмічування під оброблення паза й отворів (гладких й різьбових)  | Плита для розмічування                   |  |

Продовження таблиці 1.5

| Номер операції | Найменування операції | Короткий зміст операції   | Устаткування                               | Базування, верстатний пристрій  |
|----------------|-----------------------|---|--|---|
| 055            | Довбальна             | Довбання паза за розмічуванням (чорнове й чистове)  | Довбальний півавтомат моделі 7410          | По зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець, установка в планшайбі з вивіркою |
| 060            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь   | На робочому місці                          |   |
| 065            | Радіально-свердлильна | Свердління, розсвердлювання, зенкерування та розгортання 10 отв. Ø50H7, свердління, зенкування, нарізання різьблення в 10 отв. M30-7H   | Радіально-свердлильний верстат моделі 2M55 | По центральному отвору з упором у торець з боку маточини, УСП                                   |
| 070            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь   | На робочому місці                          |   |
| 075            | Радіально-свердлильна | Свердління та розсвердлювання 2-х отв. Ø28H14, свердління та розсвердлювання отвору Ø32H14, свердління, зенкерування, нарізування різьблення M20-7H (2 відп.), свердління, розсвердлювання отвору Ø32H14, свердління, нарізування різьблення M12-7H | Радіально-свердлильний верстат моделі 2M55 | По зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець, УСП                              |
| 080            | Технічний контроль    | Проміжний контроль точності та якості поверхонь   | На робочому місці                          |   |
| 085            | Слюсарна              | Калібрування різбових отворів, зняття задирок, гострих притуплення гострих кромок   | Верстак слюсарний                          |   |

Продовження таблиці 1.5

| Номер операції | Найменування операції | Короткий зміст операції   | Устаткування               | Базування, верстатний пристрій |
|----------------|-----------------------|---|----------------------------|--------------------------------|
| 090            | Технічний контроль    | Підсумковий контроль точності розмірів, чистоти поверхонь, допусків форми й взаємного розташування поверхонь згідно з кресленням деталі | Стіл ВТК                   |                                |
| 095            | Маркування            | Клеймити знак ВТК   | Робоче місце маркувальника |                                |

На діючому виробництві під час виготовлення півмуфти Н06.201.010.02 використовують маршрутний опис технологічного процесу, без операційних ескізів і без вказівки режимів різання. Оформлення маршрутних карток не відповідає діючим нормам та правилам, що знижує рівень технологічного забезпечення механічної обробки заготовки, а значить і якість виробництва деталей в цілому. У технологічному процесі не вказують операційні розміри заготовки, припуски, що знімаються, немає допусків на оброблювані розміри, не вказані моделі верстатів, особливості базування заготовки, не на всіх операціях вказують зміст операції і технологічне оснащення. У зв'язку з цим, при складанні таблиці 1.5 використовувалася уся доступна інформація безпосередньо з робочих місць з діючого виробництва деталі.

Аналіз існуючого технологічного процесу механічної обробки півмуфти показує, що поверхні деталі обробляються чорновим, півчистовим та чистовим точінням. Центральний отвір деталі 200Н8 додатково оброблюють тонким розточуванням. Так, для забезпечення розмірної точності та чистоти поверхні центрального отвору  $\varnothing 200\text{H}8$  по IT8 ( $R_a 1,6 \text{ мкм}$ ) застосовується 4-х кратне оброблювання розточуванням, при цьому реалізується чорновий, півчистовий, чистовий та фінішний етапи оброблення, що на нашу думку є надлишковим. При цьому ці етапи обробки реалізуються на трьох різних токарних операціях технологічного процесу. Вважаю, що для обробки центрального отвору  $\varnothing 200\text{H}8$

цілком достатньо використання 2-х токарних операцій, на яких будуть реалізовані три етапи обробки: на 1-й операції – чорновий етап, на 2-й операції – півчистовий та чистовий етапи (за один установа).

Обробка отворів  $\varnothing 50H7$  (Ra 1,6 мкм) виконується в 3 етапи: свердління, зенкерування та розгортання, що на нашу думку є раціональним рішенням.

З точки зору правильності побудови маршруту технологічного процесу див. таблицю 1.5, слід зазначити деякі порушення у дотриманні принципу поетапності.

Наприклад, після остаточної обробки центрального отвору  $\varnothing 200H8$  виконується обробка паза довбанням по IT10, проте це рішення слід вважати обґрунтованим, так як обробка переривчастої поверхні розточуванням вкрай небажана.

У технологічному процесі широко використовується ручна праця на операціях розмічування і слюсарних операціях з нарізування різьблення в отворах, що є резервом вдосконалення в проектованому технологічному процесі. Застосування спеціальних пристроїв та сучасних верстатів з ЧПК, обробних центрів, дозволить відмовитися від операцій розмічування та малопродуктивного універсального обладнання з ручним керуванням.

З погляду аналізу заготівельної операції у технологічному процесі використовується метод отримання заготовки – лиття в піщано-глинисті форми. Для умов діючого виробництва даний спосіб отримання заготовки є малопродуктивним, при цьому мають місце великі припуски та напуски, точність поверхонь заготовки – низька. Остаточний висновок про раціональність методу отримання заготовки можна буде дати тільки після техніко-економічного обґрунтування.

Практично на всіх операціях існуючого технологічного процесу використовується універсальне обладнання та технологічне оснащення. На радіально-свердлильних операціях, довбання для закріплення заготовки застосовуються прихвати з болтами (елементи УСП). На токарних операціях використовуються планшайби з гвинтовим ручним приводом, що входять до складу постачання обладнання (установка заготовки виконується з вивіркою за

індикатором). У цілому, у технологічному процесі дотримується принцип постійності технологічних баз: обробка всіх циліндричних поверхонь здійснюється в планшайбі по зовнішній циліндричній поверхні маточини (фланця) з упором у торець.

Таким чином, базування, використовуване обладнання та оснащення в цілому відповідають заданій програмі випуску та прийнятій формі організації дрібносерійного виробництва. Верстати розміщуються за видами обладнання. Заготовки встановлюють на верстати та транспортуються між операціями за допомогою мостового крана та електрокари. Необхідно відзначити, що застосовуване на операціях механічного оброблення «півмуфти» обладнання виготовлено у 70-80 роки минулого століття і є морально й фізично застарілим, що створює об'єктивні труднощі щодо забезпечення необхідної якості оброблюваних поверхонь.

базовому технологічному процесі використовують прохідні, підрізні та розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву ВК8 за ГОСТ 3882-74, довбальні різці, спіральні свердла, зенківки, зенкери, розгортки та мітчики зі швидкорізальної сталі Р6М5 по ГОСТ 19265-73. Як вимірювальний інструмент використовують штангенциркулі, індикатори, шаблони, скоби, пробки та різьбові калібри, зразки шорсткості. Все це дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь як за точністю розмірів, точністю форми, так і за їхньою шорсткістю.

## **1.6 Висновок**

Під час аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі виявлені такі його недоліки:

- 1) надлишкова диференціація токарних операцій;
- 2) використання малопродуктивної ручної праці на операції розмічування;

- 3) використання під час закріплення заготовки малопродуктивних ручних приводів;
- 4) використання морально та фізично застарілого металорізального устаткування та технологічної оснастки;
- 5) під час реалізації технологічного процесу виготовлення деталі не використовуються засоби автоматизації;
- 6) здійснення контрольних операцій безпосередньо на робочому місці.



## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

#### 2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки

Від правильності вибору способу отримання заготовки залежить собівартість деталі, що отримується. Вибір способу залежить від багатьох чинників: типу виробництва, маси деталі, складності її форми, технічних вимог на її виготовлення. При цьому необхідно враховувати новітні тенденції в технології машинобудування щодо скорочення витрат матеріалу, зменшення обсягу механічної обробки, «жорсткості» допусків, тому що для обробки деталей все частіше застосовуються верстати з ЧПК, верстати-автомати та автоматичні лінії. Остаточний вибір варіанта проводять порівнянням собівартості деталі після різних методів одержання заготовки. Собівартість деталі визначається підсумовуванням собівартості заготовки та вартості її подальшої механічної обробки.

Щоб вибрати метод отримання заготовки, запропонуємо кілька альтернативних методів і проаналізуємо їх.

У базовому варіанті технологічного процесу методом отримання заготівлі було лиття в піщано-глинисті форми. Альтернативним методом отримання вихідної заготівлі, на нашу думку, можна вважати лиття в кокіль.

Коротка характеристика методів отримання заготовки.

Лиття в піщано-глинисті форми – найбільш універсальний та поширений спосіб отримання заготовок. Він застосовується у одиничному, серійному і навіть у масовому виробництві. Литтям у «земляні» форми зазвичай виготовляють габаритні та середньогабаритні заготовки простої та складної форми в одиничному та дрібносерійному виробництві [3].

Розрізняють такі способи виготовлення форм для лиття заготовок: у двох, трьох та більше опоках; за роз'ємними та нероз'ємними моделями; за моделями з

відокремленими частинами; з перекидною колодою; за шаблонами; за скелетною моделлю; у ґрунті, у шишках.

Форми за станом перед їх заливкою бувають сирі, півсухі, хімічно тверді та самотвердні. Останні забезпечують можливість автоматизованого та екологічно чистого виробництва.

Лиття в кокіль. Форми (кокілі) для отримання заготовок бувають повністю металевими або комбінованими із застосуванням неметалевих шишок. Основні переваги цього методу виготовлення виливків: можливість багаторазового використання ливарної форми; висока точність форми та її розмірів, якісна поверхня заготівлі; дрібнозерниста структура матеріалу; порівняно висока продуктивність; низька трудомісткість та вартість заготовок; відсутність необхідності в модельному, опоковому спорядженні та формувальних сумішах; гарні умови праці; економічність у серійному виробництві; не потребує високої кваліфікації робітників; потрібні порівняно невеликі виробничі площі; відсутні операції очищення виливків від суміші, ливарної системи; придатність до механізації та автоматизації.

До недоліків цього способу виготовлення виливків відносяться: висока вартість спорядження, можливість утворення тріщин у виливках; неможливість виготовлення тонкостінних виливків через підвищену швидкість їх охолодження та виливків зі значною масою. Тому лиття в кокіль, як правило, застосовують для отримання нескладних за конфігурацією виливків із чавуну, сталі та кольорових металів у серійному та масовому виробництві.

Кокілі дають можливість отримувати виливки з точними розмірами поверхонь (12 квалітет розмірної точності) та шорсткістю їх до 4 мкм за параметром Ra.

Порівнюючи два запропоновані способи отримання заготовки раціонально вибрати лиття в кокіль. Для деталі типу півмуфта, масою 265 кг, з річним випуском продукції 100 штук (що характерно дрібносерійному виробництву) можна застосувати обидва способи. Але основною умовою раціональної технології є максимальне наближення форм та точності заготовок до форми готової деталі.

Найбільш точно цій умові задовольняє метод отримання заготовлі литтям у кокіль. Вибраний метод має менші припуски на механічну обробку заготовлі. Це значно зменшить витрату матеріалу та час на подальшу механічну обробку заготовки, а отже зменшить собівартість деталі та збільшить продуктивність загалом.

На заводі деталь виготовлялася за умов дрібносерійного виробництва. Метод отримання заготовки – лиття в «землю» при ручному формуванні за дерев'яними моделями або шаблонами в опоках.

Остаточний вибір способу отримання заготовки виконаємо за результатами економічного обґрунтування з визначенням собівартості заготовок за варіантами.

Розрахунок вартості заготовлі, одержуваної литтям у піщано-глинисті форми.

Вартість заготовки визначаємо за формулою [2]:

$$S_{згi} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q_i \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q_i - q) \cdot \frac{S_{одxi}}{1000}, \quad (2.1)$$

де  $C$  – ціна 1 т матеріалу заготовки, отримуваної литтям в «землю». Беремо  $C = 16500$  грн;

$Q$  – маса заготовки (вилівок литтям в «землю», за базовим технологічним процесом),  $Q = 325,5$  кг;

$k_T$  – коефіцієнт, що залежить від точності заготовки. Беремо  $k_T = 1,0$ ;

$k_M$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу. Беремо  $k_M = 1,12$  (для чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85);

$k_C$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності. Беремо  $k_C = 1,0$  (для 3-ї групи складності);

$k_B$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки. Беремо  $k_B = 0,67$ ;

$k_{II}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок. Беремо  $k_{II} = 1$ ;

$q$  – маса готової деталі,  $q = 265$  кг;

$S_{\text{вдх}}$  – ціна 1 т відходів за умови лиття в «землю». Беремо вартість відходів  $S_{\text{вдх}} = 2200$  грн.

$$S_{\text{заГ1}} = \left( \frac{16500}{1000} \cdot 325,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1,12 \cdot 1 \right) - (325,5 - 265) \cdot \frac{2200}{1000} \approx 3885 \text{ грн.}$$

В такому разі коефіцієнт використання матеріалу становить

$$K_{M1} = \frac{265}{325,5} \approx 0,8.$$

Розрахуємо собівартість заготовки, що отримується литтям у кокіль:

$C$  – ціна 1 т матеріалу заготовки, отримуваної литтям у кокіль. Беремо  $C = 17200$  грн;

$Q$  – маса заготовки згідно з запропонованим технологічним процесом.  $Q=294,5$  кг (за результатами попереднього розрахунку);

$k_T$  – коефіцієнт, що залежить від точності заготовки. Беремо  $k_T=1$ ;

$k_M$  – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу. Беремо  $k_M=1,12$  (для чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85);

$k_C$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності. Беремо  $k_C=1,0$  (для 3-ї групи складності);

$k_B$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу заготовки. Беремо  $k_B=0,67$ ;

$k_{II}$  – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок. Беремо  $k_{II}=1$ ;

$q$  – маса готової деталі,  $q = 265$  кг;

$S_{\text{вдх}}$  – ціна 1 т відходів. Беремо вартість відходів  $S_{\text{вдх}} = 2200$  грн.

$$S_{\text{заГ2}} = \left( \frac{17200}{1000} \cdot 294,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1,12 \cdot 1 \right) - (294,5 - 265) \cdot \frac{2200}{1000} = 3704 \text{ грн.}$$

$$K_{M2} = \frac{260,458}{294,5} \approx 0,9.$$

Таким чином, заготовка, що отримується литтям у кокіль, вигідніша економічно. Крім того, вона має меншу масу, припуски та напуски, тому собівартість механічної обробки такої заготовки також буде меншою.

Розрахунок собівартості двох заготовок підтвердив раціональність вибору методу одержання виливки литтям у кокіль.

Проектування заготовки «півмуфти Н06.201.010.02», що виготовляється литтям у кокіль.

Зробимо розрахунок припусків та допусків заготовки відповідно до ГОСТ 26645-85 [4]:

- 1) встановлюємо спосіб лиття – лиття у кокіль;
- 2) встановлюємо бази першої операції механічної обробки заготовки – циліндрична поверхня фланця 2 (див. рисунок 1.2)  $\varnothing 630$  мм, зовнішній торець фланця 1;
- 3) положення виливка у формі – вертикальне, площина роз'єму проходить через центральну вісь деталі;
- 4) встановлюємо клас розмірної точності – 8 ... 13т, беремо 12;
- 5) встановлюємо ступінь короблення елементів виливка – 1 ... 4, беремо 3;
- 6) встановлюємо ступінь точності поверхонь виливка – 11 ... 18, беремо 16;
- 7) визначаємо шорсткість поверхонь виливка за критерієм  $Ra = 50$  мкм;
- 8) встановлюємо клас точності мас залежно від способу отримання виливка – 7т ... 14, беремо 13;
- 9) встановлюємо допуск зміщення виливка по площині роз'єму виливка, який дорівнює допуску розмірної точності найтоншої стінки виливка, що виходить на роз'єм – 5,6 мм;
- 10) визначаємо ряд припусків на обробку виливків – 7 ... 10, беремо 9.

Позначивши оброблювані поверхні виливка відповідно до рисунка 1.2 складемо таблицю 2.1 визначення розмірів заготовки.

Таблиця 2.1 – Визначення розмірів заготовки, у міліметрах

| № поверхні<br>(рисунок 1.2) | Середній розмір<br>елемента деталі | Основний допуск<br>на розмір елемента<br>випівка | Допуск форми,<br>розташування<br>елементів випівка | Загальний допуск<br>на розмір елемента<br>випівка | Вид механічного<br>оброблення | Половина<br>загального допуску | Ряд припусків | Величина припуску | Розмір елемента<br>випівка |
|-----------------------------|------------------------------------|--|--|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|----------------------------|
| 1                           | 2                                  | 3  | 4  | 5   | 6                             | 7                              | 8             | 9                 | 10                         |
| 22                          | 629,125                            | 10,0   | 0,2  | 10,0  | Півчистове                    | 5,0                            | 9             | 5,5               | 640,125<br>(640)           |
| 9                           | 349,3                              | 8,0  | 0,5  | 8,0   | Півчистове                    | 4,0                            | 9             | 4,9               | 359,1 (360)                |
| 16                          | 200,036                            | 7,0  | 0,64   | 8,0   | Тонке                         | 4,0                            | 9             | 4,9               | 190,236<br>(190)           |
| 1                           | 69,63                              | 5,6  | 1,2  | 6,4   | Чистове                       | 3,2                            | 10            | 5,1               | 80,23 (80)                 |
| 20                          |                                    |  | 1,2  |   | Чистове                       |                                | 9             | 4,6               |                            |
| 1                           | 349,3                              | 8,0  | 1,2  | 8,0   | Чистове                       | 4,0                            | 10            | 6,0               | 360,8 (361)                |
| 14                          |                                    |  | 0,64   |   | Чистове                       |                                | 9             | 5,5               |                            |

За результатами складання таблиці 2.1 оформлюємо ескіз випівка (див. рисунок 2.1) та креслення заготовки.

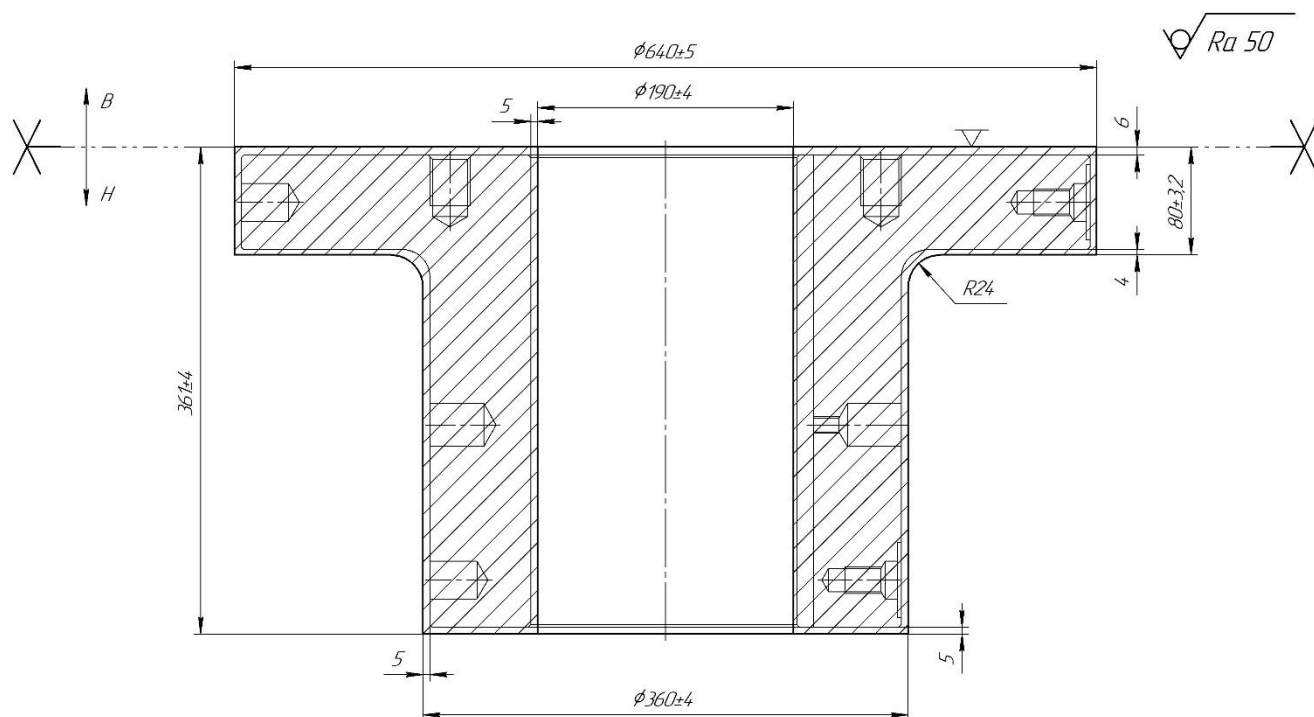


Рисунок 2.1 – Ескіз випівка

## **2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки**

### **2.2.1 Аналіз методів обробки елементарних поверхонь деталі**

Проектування технологічного процесу механічної обробки деталі ґрунтується на аналізі службового призначення всіх її поверхонь, аналізі технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі, та умов її подальшої експлуатації. При цьому враховується принцип поетапності, коли спочатку виконують усі чорнові операції, потім чистові, дозволяючи в умовах економічно досяжної точності обробки забезпечити задану якість оброблюваних поверхонь [1].

Попередній аналіз можливих методів обробки елементарних поверхонь (МОЕП) півмуфти, зокрема, центрального циліндричного отвору  $\varnothing 200H8$  показує, що для отримання точності поверхні по IT8 достатньо 3-х кратної обробки: бажано проводити обробку в 3 етапи, виконуючи чорнове, півчистове та чистове розточування. При цьому чорнова обробка буде реалізована на першій з двох операцій, а півчистова та чистова обробка буде реалізована на другій з двох операцій. Для обробки отворів 50H7 недостатньо 2-х кратної обробки. Для отримання розмірної точності IT7 (Ra 1,6 мкм) бажано проводити обробку в 3 етапи, виконуючи, наприклад, свердління, зенкерування і розгортання. Усі 3-и переходи оптимально виконувати на одній механічній операції.

У заводському технологічному процесі, в основному, дотримується принципу поетапності і ми дотримуватимемося такої ж послідовності операцій.

Як зазначалося раніше, у заводському технологічному процесі використовується застаріле устаткування. У проектуваному технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» слід ширше використовувати верстати з ЧПК, що усуне попереднє ручне розмічування, слюсарну операцію з нарізування різьблення, в результаті підвищиться продуктивність обробки, знизиться її собівартість.

З урахуванням висловлених пропозицій проєктований технологічний процес механічної обробки «півмуфти» складається з 5 укрупнених операцій.

Аналіз укрупнених операцій, зокрема, півчистої першої (Е4), показує, що цю операцію не можна реалізувати на одному верстаті через відмінності в методах обробки – свердління, точіння, довбання та фрезерування. Тому розділяємо цю укрупнену операцію на три: токарну, що виконується на токарному верстаті, свердлильну, що виконується на верстаті типу обробний центр, що дозволить також виконувати фрезерування, зенкерування тощо, довбання, що виконується на довбальному верстаті. При цьому, чорнове довбання об'єднуємо в одну операцію з аналогічною чистою операцією з етапу півчистого другого (Е6).

Подальший аналіз показує, що етап Е6, зокрема, можна розбити на три операції: токарну – для попередньої обробки поверхонь точінням та розточуванням, підрізування торців та зняття фасок; довбальну – для попередньої обробки поверхонь паза; свердлильну – для свердління, зенкерування, зенкування отворів. Аналіз чистого етапу (Е8) дозволяє виділити з нього дві операції: токарну – для чистого розточування отвору  $\varnothing 200\text{H}8$ , свердлильну – для чистої обробки отворів  $\varnothing 50\text{H}7$  та нарізування різьблень з точністю по 7Н.

Обробка отвору  $\varnothing 50\text{H}7$  буде реалізована в три етапи (Е4, Е6, Е8) на одній механічній операції: свердління (розсвердлювання, розточування), зенкерування, розгортання.

На відміну від заводського технологічного процесу, з метою механізації ручних операцій, зокрема відмови від розмічування, при обробці кріпильних та інших отворів, пропонується використовувати верстат з ЧПК типу обробний центр, що дозволяє також відмовитися і від нарізування різьблення вручну. Токарні операції виконаємо також на верстатах з ЧПК. Багатоетапність обробки поверхонь буде реалізована за рахунок багатопрхідного точіння (розточування) різним інструментом на різних режимах різання, але в межах однієї операції. Деталь має розвинені, відкриті поверхні, що у повною мірою дозволяє дотриматися принципів постійності та суміщення баз, що у свою чергу сприяє стабілізації точності оброблюваних поверхонь.



Базовий технологічний процес перевантажений контрольними операціями. Слід ширше використовувати контроль за виконавцем робіт. З іншого боку контроль точності та якості поверхонь на «робочому місці» має суттєві недоліки, що негативно впливають на якість контрольної операції.

### 2.2.2 Обґрунтування вибору раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі

В результаті проведеного аналізу пропонується такий маршрут технологічного процесу виготовлення півмуфти, див. таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Опис пропонованого технологічного процесу виготовлення деталі

| Номер операції | Найменування операції    | Короткий зміст операції   | Устаткування  | Базування, верстатний пристрій   |
|----------------|--------------------------|---|---|--|
| 005            | Лиття металів та сплавів | Лиття   | Машина для лиття                                    |  |
| 010            | Термічна                 | Відпалювання для зняття внутрішніх напружень  | Термопіч  |  |
| 015            | Токарна з ЧПК            | Попередня обробка зовнішніх циліндричних та торцевих поверхонь заготовки, попереднє розточування центрального отвору. | Вертикальний токарний верстат з ЧПК моделі VL-750HR | По зовнішній циліндричній поверхні фланця з упором у торець (установ А), по зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором в торець (установ Б), установка в планшайбі з вивірянням |

Продовження таблиці 2.2

| Номер операції | Найменування операції                | Короткий зміст операції  | Устаткування   | Базування, верстатний пристрій   |
|----------------|--------------------------------------|--|--|--|
| 020            | Токарна з ЧПК                        | Півчистова обробка зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь заготовки, півчистове розточування центрального отвору, обточування та розточування фасок, галтелей, чистове розточування центрального отвору | Вертикальний токарний верстат з ЧПК моделі VL-750HR          | По зовнішній циліндричній поверхні фланця з упором у торець (установ А), по зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором в торець (установ Б), установка в планшайбі з вивірянням |
| 025            | Технічний контроль                   | Проміжний контроль точності та якості поверхонь  | На робочому місці  |  |
| 030            | Маркування                           | Маркувати номер креслення  | Робоче місце маркувальника                                   |  |
| 035            | Довбальна                            | Довбання паза (чорнове й чистове)  | Довбальний верстат моделі ГД-500                             | По зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець, установка в самоцентруючому патроні   |
| 040            | Технічний контроль                   | Проміжний контроль точності та якості поверхонь  | На робочому місці  |  |
| 045            | Комплексна на обробному центрі з ЧПК | Свердління, розсвердлювання, зенкерування й розгортання 10 отв. Ø50H7, свердління, зенкування, нарізання різі в 10 отв. М30-7H   | Вертикальний обробний центр з ЧПК моделі LX-1080 (Leaderway) | По центральному отвору з упором в торець з боку маточини, спеціальне пристосування з самоцентруючою оправкою   |
| 050            | Технічний контроль                   | Проміжний контроль точності та якості поверхонь  | На робочому місці  |  |

Продовження таблиці 2.2

| Номер операції | Найменування операції                | Короткий зміст операції  | Устаткування   | Базування, верстатний пристрій  |
|----------------|--------------------------------------|--|--|---|
| 055            | Комплексна на обробному центрі з ЧПК | Свердління й розсвердлювання 2-х отв. Ø28H14, свердління й розсвердлювання отв. Ø32H14, свердління, зенкерування, нарізання різі M20-7H (2 отв.), свердління, розсвердлювання отв. Ø32H14, свердління, нарізання різі M12-7H | Горизонтальний обробний центр з ЧПК моделі EC-630 HAAS | По зовнішній циліндричній поверхні маточини з упором у торець, спеціальне пристосування з самоцентруючою оправкою |
| 060            | Технічний контроль                   | Проміжний контроль точності та якості поверхонь  | На робочому місці                                      |   |
| 065            | Слюсарна                             | Калібрування різьбових отворів, зняття задирок, гострих притуплення гострих кромок   | Верстак слюсарний                                      |   |
| 070            | Технічний контроль                   | Підсумковий контроль точності розмірів, чистоти поверхонь, допусків форми й взаємного розташування поверхонь згідно з кресленням деталі  | Стіл ВТК   |   |
| 075            | Маркування                           | Клеймити знак ВТК  | Робоче місце маркувальника                             |   |

Таким чином, запропонований технологічний процес механічної обробки «півмуфти» складається з 5 механічних операцій, що виконуються на верстатах з ЧПК. Наприкінці маршруту обробки передбачено слюсарну операцію, на якій проводиться ручне калібрування різьблення в отворах, зняття задирок. Маршрут обробки відповідає принципу поетапності та правил побудови технологічних процесів для типових деталей, коли на перших етапах попередньо і остаточно обробляються основні зовнішні поверхні та отвори, потім додаткові поверхні,

наприкінці технологічного процесу обробляються дрібні гладкі та різьбові отвори. На відміну від базового технологічного процесу скорочено кількість токарних операцій. Усунені операції розмічування. Передбачено комплексні з ЧПК операції, що дає змогу використовувати спеціальні механізовані верстатні пристрої та підвищити продуктивність обробки отворів, у тому числі різьбових, за рахунок скорочення допоміжних складових норм часу.

### 2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку поверхні обертання

Відповідно до завдання на розмір отвору  $\varnothing 200H8$  необхідно визначити припуски, допуски та міжопераційні розміри розрахунково-аналітичним методом проф. Кована В.М. [2] з допомогою ЕОМ.

Виходячи з пропонованого маршруту механічної обробки поверхні, що розглядається, останню обробляємо в три етапи: чорнове, півчистове і чистове розточування. Вихідні дані до розрахунку на ЕОМ та результати розрахунку наведені в таблицях додатку Б. Тут значені елементи мінімального припуску на оброблення в рамках поточного  $i$ -го переходу (етапу) оброблення поверхні. Як відомо до складу припуску на поточному переході входять шорсткість  $Rz_{i-1}$  та величина дефектного шару  $H_{i-1}$ , утворені на попередньому переході. Їх величини визначалися згідно з рекомендаціями [2, 5], а величини просторових відхилень  $\rho_{i-1}$  розраховувалися за формулою:

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

де  $\rho_{зм}$  – величина зміщення поверхні отвору щодо зовнішніх поверхонь вилівка, мкм;

$\rho_{кор}$  – величина короблення заготовки, мкм.

В свою чергу величину короблення визначають за формулою

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot L,$$

де  $\Delta_k$  – питома величина короблення заготовки, мкм/мм;

$L$  – довжина заготовки на розглянутому перетині, мм.

$$\rho_{\text{кор}} = 1 \cdot 350 = 350 \text{ мкм.}$$

Величина зміщення елементів виливка  $\rho_{\text{зм}} = 3,0$  мм, в результаті маємо

$$\rho_{i-1} = \sqrt{350^2 + 3000^2} = 3020 \text{ мкм.}$$

Залишкові значення величин просторових відхилень визначалися з урахуванням коефіцієнта уточнення  $K_y$  за виразом

$$\rho_{\text{ост}} = \rho_{i-1} \cdot K_y,$$

де  $K_{y1} = 0,06$  – для чернового растачивания:

$$\rho_1 = 3020 \cdot 0,06 \approx 182 \text{ мкм.}$$

Для півчистового розточування маємо  $K_{y2} = 0,05$ . В такому разі

$$\rho_2 = 3020 \cdot 0,05 \approx 151 \text{ мкм.}$$

Так як розточування отвору проводиться на токарних карусельних операціях з використанням вивіряння, то похибку закріплення (як елемент мінімального припуску) для всіх переходів беремо рівною нулю, а похибку базування (як елемент мінімального припуску) беремо такою, що дорівнює похибці засобу

вимірювання, що використовується при вивірянні, тобто 0,5 мм для чорнового розточування та 0,01 мм – півчистового розточування.

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

Операція 015 токарна з ЧПК. Відповідно до завдання виконаємо аналіз токарної карусельної операції 015, на якій виконується попередня обробка зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь заготовки з розточуванням центрального отвору в 2 установи, див. рисунок 2.2.

При базуванні заготовки (див. рисунок 2.2) по зовнішньому торцю фланця реалізується установча база (заготівля позбавляється 3-х ступенів свободи: поступального переміщення вздовж осі Z, обертань навколо осей X і Y), по зовнішній циліндричній поверхні фланця реалізується подвійна опорна база, заготовка позбавляється 2-х ступенів свободи: поступальних переміщень вздовж осей X та Y). Обертання навколо осі Z – вакансія. Вибір зовнішнього торця фланця як чорнову базу цілком обґрунтований, так як ця поверхня є найбільш розвиненою для заготовки у стані виливки.

Операція 035 довбальна. На операції виконується обробка шпонкового паза 45D10 в розмір  $210,4^{+0,3}$  мм напрохід.

Обробка шпонкового паза, розташованого в центральному отворі заготівлі на довбальному верстаті передбачає вертикальне розташування заготовки. При встановленні заготівлі на вертикальному довбальному верстаті як верстатний пристрій використовується 3-х кулачковий самоцентруючий патрон (див. малюнок 2.3). При цьому по крайньому торцю заготовки реалізується установча база (заготівля позбавляється 3-х ступенів свободи: поступального переміщення вздовж осі Z, обертань навколо осей X і Y), по зовнішній циліндричній поверхні маточини реалізується подвійна опорна база (заготовка позбавляється 2-х поступальних переміщень вздовж осей X та Y). Обертання навколо осі Z – вакансія.

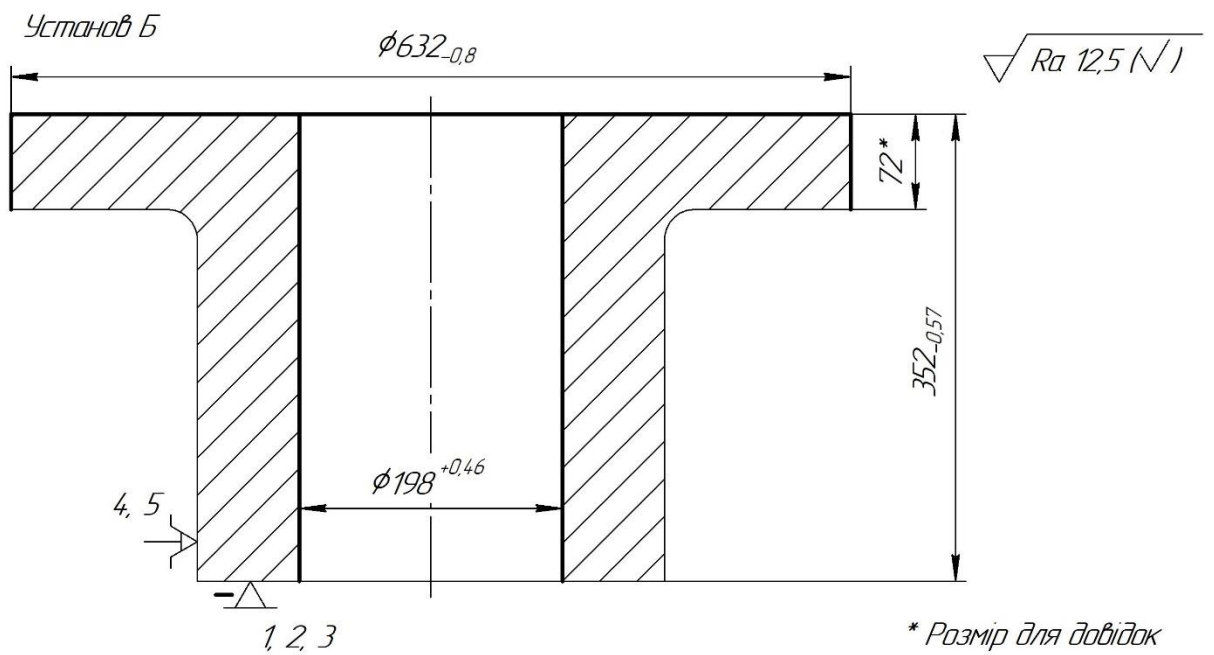
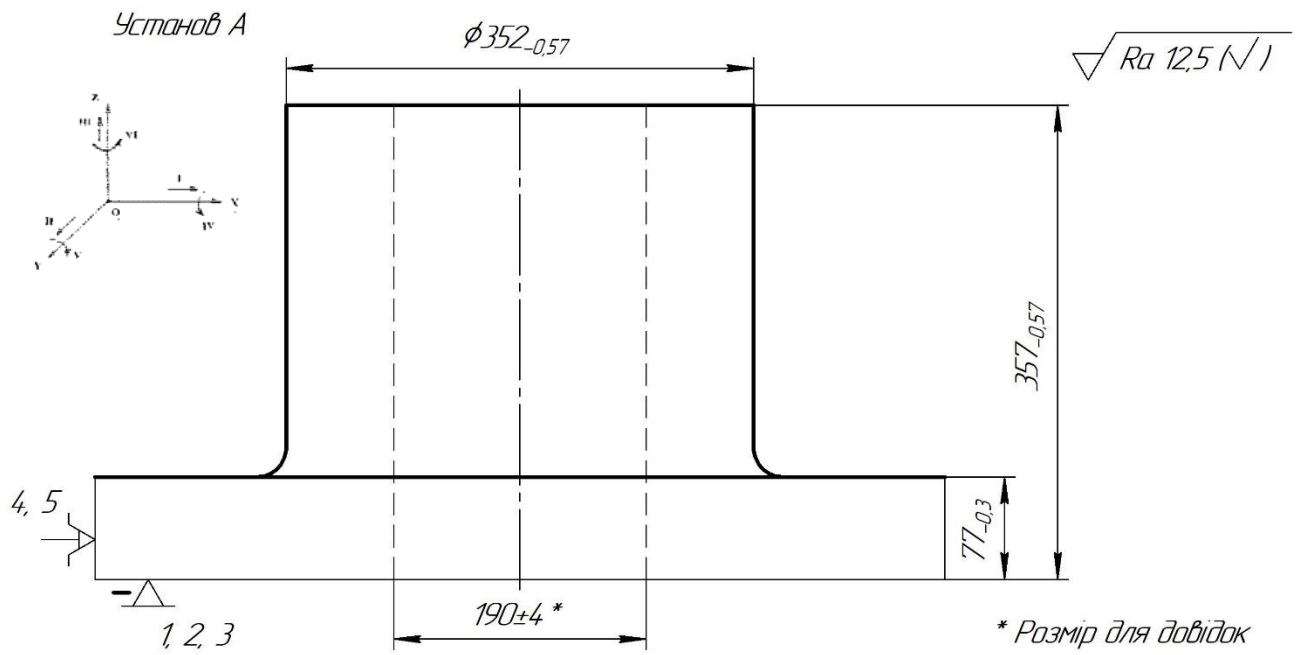


Рисунок 2.2 – Схема базування й закріплення заготовки на операції 015 токарній з ЧПК (установи А і Б)

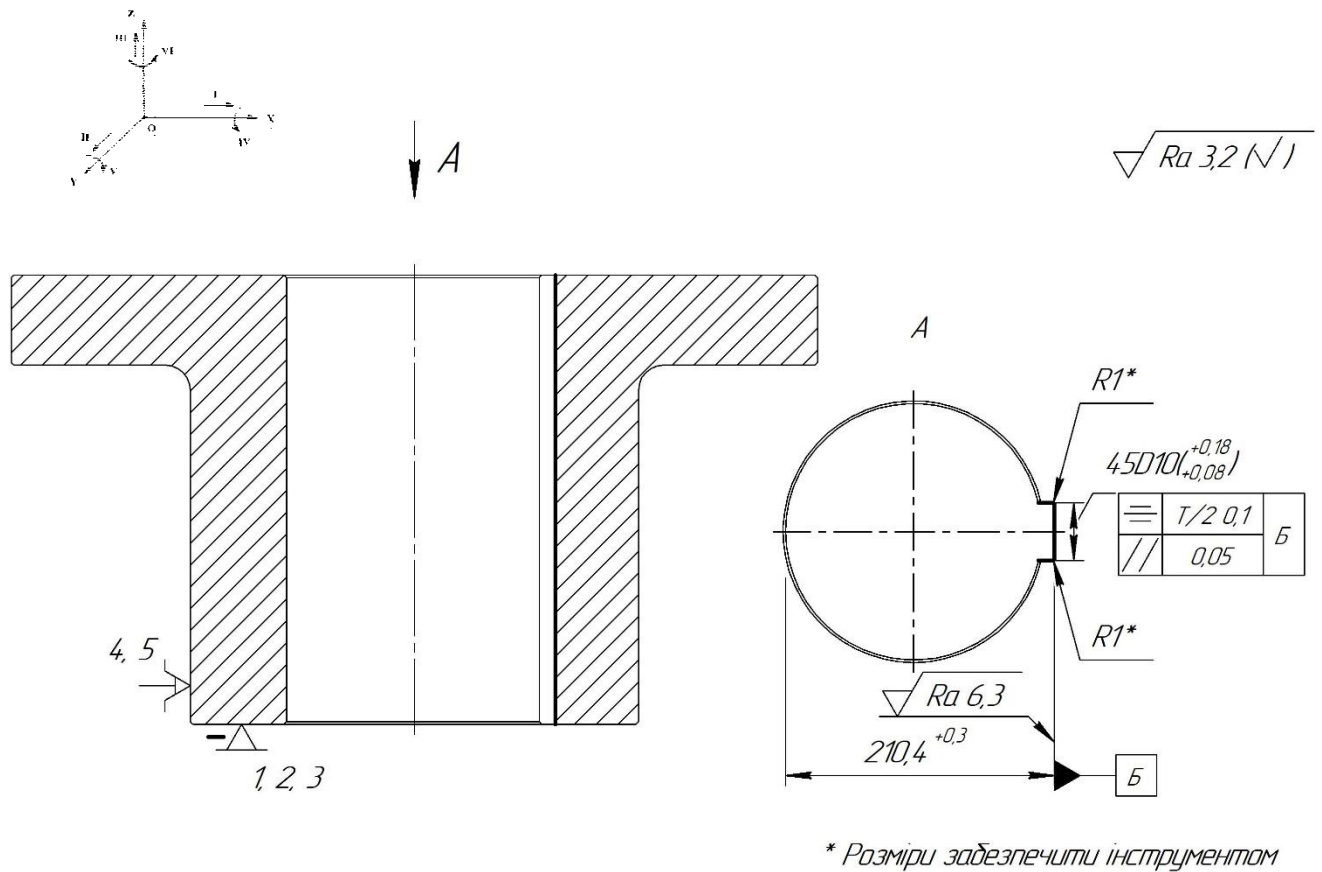


Рисунок 2.3 – Схема базування й закріплення заготовки на операції довбальній 035

Під час базування заготовки у самоцентрувальному патроні центральна вісь заготовки автоматично суміщається з віссю патрона. Похибка базування на розмір  $210,4^{+0,3}$  мм у такому разі дорівнює половині допуску на розмір центрального отвору  $\varnothing 200H8$ , тобто  $E_{B210,4} = 0,072 \text{ мм} / 2 = 0,036 \text{ мм}$ . Так як виконується умова  $E_{B210,4} < T_{210,4} = 0,3 \text{ мм}$ , представлена схема базування дозволяє забезпечити необхідну розмірну точність оброблюваної поверхні.

Похибка базування на розмір  $45D10$  дорівнює нулю, так як у радіальному напрямку заготовка центрується автоматично.

Таким чином, представлена схема базування дозволяє забезпечити розмірну точність оброблюваних поверхонь паза.

Як альтернативна може бути представлена схема базування з установчою базою по внутрішній поверхні фланця півмуфти. З погляду забезпечення розмірної



точності дана схема рівноцінна попередньої, але, з погляду технічної реалізації – нерациональна. Перевагу віддаємо схемою базування заготівлі рисунку 2.3.

## 2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

*Операція 015 токарна з ЧПК.* У базовому технологічному процесі на операції карусельній токарній використовується універсальний токарний карусельний верстат моделі 1512, що цілком обґрунтовано габаритами заготовки, її масою, необхідною потужністю обладнання, умовами діючого виробництва. Дана модель обладнання за своїми технічними характеристиками цілком підходить для реалізації чорнового етапу пропонованого технологічного процесу виготовлення деталі в умовах дрібносерійного виробництва, але є морально застарілим на сьогоднішній день. Аналіз каталогів сучасного верстатного обладнання показав, що найбільш підходящим у цьому випадку верстатом вважатимуться вертикальний токарний верстат з ЧПК моделі VL-750HR, характеристики якого наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики вертикального токарного верстата з ЧПК моделі VL-750HR, у міліметрах

| Найменування характеристики                     | Величина               |
|---|------------------------|
| Зона обробки:                                   |                        |
| - найбільший діаметр оброблюваної заготовки     | 750                    |
| - найбільший діаметр установлюваної заготовки   | 780                    |
| - діаметр 3-х кулачкового гідравлічного патрона | 375 (450,<br>525, 600) |
| - найбільша висота оброблюваної заготовки       | 800                    |
| Планшайба:                                      |                        |
| - діапазони обертання шпинделя, об/хв           | 20 - 2000              |
| - потужність головного двигуна, кВт             | 18,5/22                |
| Робоча зона:                                    |                        |
| - переміщення супорта по горизонталі            | 500                    |
| - переміщення повзуна по вертикалі              | 800                    |

### Продовження таблиці 2.3

| Найменування характеристики  | Величина                      |
|--|-------------------------------|
| Подачі:<br>- діапазон робочих подач, мм/об<br>- прискорене переміщення по осі X, м/хв.<br>- прискорене переміщення по осі Z, м/хв. | 0,01–500<br>16<br>16          |
| Револьверна головка:<br>- кількість місць<br>- перетин інструмента   | 8 (10, 12)<br>32×32, Ø50      |
| Габарити й маса:<br>- довжина<br>- ширина<br>- висота<br>- маса, кг  | 3400<br>1780<br>3855<br>11000 |

*Операція 035 довбальна.* Для виконання операції 035 довбальної в заводському технологічному процесі використовується верстат довбальний 7410, який на сьогодні є морально та фізично застарілим. Сучасним аналогом верстата 7410 за даними каталогів можна вважати довбальний верстат моделі ГД-500 (див. таблицю 2.4).

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики довбання верстата моделі ГД-500, у міліметрах

| Найменування характеристики   | Величина   |
|---|--|
| Робочий хід довбача   | 120–500  |
| Відстань від площини столу до нижньої поверхні направляючих довбача               | 710  |
| Відстань від зовнішньої поверхні різцевої головки до внутрішньої поверхні станини | 710  |
| Найбільша висота заготовки  | 650 (зовнішня поверхня),<br>325 (внутрішня поверхня) |
| Швидкість довбача під навантаженням, пдв. ходів в хв.                             | 3–38   |
| Діаметр столу   | 940  |
| Найбільше поздовжнє переміщення столу   | 800  |

Продовження таблиці 2.4

| Найменування характеристики                                   | Величина           |
|---|--------------------|
| Найбільше поперечне переміщення столу                         | 650                |
| Найбільший кут повороту столу в горизонтальній площині, град. | 360                |
| Межі поздовжніх подач столу на один пдв. хід довбача          | 0,1 - 2,5          |
| Межа робочих подач поперечного переміщення столу, мм/хід      | 0,1 - 2,5          |
| Межі кругових подач столу на один пдв. хід довбача, град.     | 0,1 - 1,4          |
| Потужність привода головного руху, кВт                        | 11                 |
| Номінальна напруга живлення, В                                | 380                |
| Габаритні розміри (L × B × H)                                 | 3440 × 2760 × 3465 |
| Маса, кг  | 8160               |

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

*Операція 015 токарна з ЧПК.* Базування та закріплення заготовлі на операції токарній карусельної відповідно до базової технології проводиться у 4-х кулачковій планшайбі, яка входить до складу постачання обладнання (до верстата 1512). У верстаті моделі VL-750HR як верстатний пристрій для закріплення заготовки використовується 3-х кулачковий самоцентруючий патрон з механізованим приводом.

Торцеві та циліндричні зовнішні поверхні заготовки, що обробляють на даній операції, можуть бути отримані точінням прохідним, підрізним різцем MWLNR2525M10 BK8 ТУ 2-035-892-82 [6]. Різець оснащений тригранною твердосплавною пластиною, що не переточується, з механічним кріпленням.

Попереднє розточування центрального отвору виконуватимемо різцем розточувальним К.01.4981.000-10 BK8 ТУ 2-035-1040-86 (з квадратною пластиною, що не переточується).

Для контролю розмірної точності поверхонь скористаємось універсальним стандартним шкальним інструментом: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89, штангенциркуль ШЦ-II-400-0,05 ГОСТ 166-89. Для контролю чистоти поверхонь скористаємося зразками шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75.

*Операція 035 довбальна.* Базування та закріплення заготовлі на операції довбальній проводиться у 3-х кулачковому самоцентруючому токарному патроні 7100-0017 ГОСТ 2675-80.

Шпонковий паз 45D10 обробляється довбальним різцем із швидкорізальної сталі типу 1, перерізом  $H \times B = 40 \times 40$  мм – Різець 2184-0577 ГОСТ 10046-72 (ширина ріжучої пластини – 20 мм, тип 3, для шпонкових пазів).

Для контролю розмірів шпонкового паза застосовуються такі вимірювальні інструменти: штангенциркуль TESA IP67 (ціна поділу 0,01 мм, цифровий індикатор) – для контролю ширини паза 45D10, пристосування спеціальне для контролю симетричності та паралельності бічних поверхонь паза, зразки шорсткості згідно з ГОСТ 9378-75 для контролю чистоти поверхонь паза.

## **2.7 Визначення режимів різання**

*Операція 015 токарна з ЧПК.* Режими різання на 2 перехід установа А операції визначимо згідно з рекомендаціями методики [7].

Вихідні дані для визначення режимів різання.

Зміст переходу: точіння поверхні в розмір  $\varnothing 354h12$  (оброблення поверхні здійснюється за один прохід).

Оброблювана поверхня: зовнішня циліндрична поверхня  $\varnothing 354h12$ .

Матеріал заготовки – чавун сірий СЧ20, HB 190,  $\sigma_B = 200$  МПа. Довжина поверхні – 284 мм. Шорсткість поверхні –  $Ra = 6,3$  мкм.

Устаткування: вертикальний токарний верстат з ЧПК моделі VL-750HR, потужність електродвигуна привода головного руху – 18,5 кВт, КПД електродвигуна привода – 0,8.

Верстатний пристрій: патрон 3-х кулачковий самоцентрувальний.

Ріжучий інструмент: різець MWLNR2525M10 TY2-035-892-82, BK8.

В результаті попередніх розрахунків маємо: глибина різання  $t = 3$  мм, величина подачі за умови чорнового точіння  $S_o = 0,8$  мм, величина допустимої умовами різання швидкості різання  $V = 89,0$  м/хв., частота обертання шпинделя  $n = 80$  об/хв., тангенціальна складова сили різання  $P_z = 2335$  Н, потужність різання  $N = 3,4$  кВт, основний час на виконання переходу  $T_{o2} = 4,46$  хв.

Режими різання на інші переходи операції визначалися згідно з рекомендаціями [8] та наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Режими різання на операцію 015 токарну з ЧПК

| Номер та зміст переходу                  | D, мм | L, мм | t, мм | i | $S_o$ , мм/об | n, об/хв. | V, м/хв. | $T_o$ , хв. |
|--|-------|-------|-------|---|---------------|-----------|----------|-------------|
| А.1 Підрізати торець в розмір 357h12     | 354   | 88    | 4     | 1 | 0,6           | 80        | 88,9     | 1,83        |
| А.2 Точити поверхню $\varnothing 354h12$ | 354   | 285   | 3     | 1 | 0,8           | 80        | 88,9     | 4,46        |
| А.3 Підрізати торець в розмір 77h12      | 640   | 147   | 3     | 1 | 0,8           | 44        | 88,4     | 4,18        |
| Б.1 Підрізати торець в розмір 352h12     | 632   | 220   | 5     | 1 | 0,6           | 44        | 87,3     | 8,33        |
| Б.2 Точити поверхню $\varnothing 632h12$ | 632   | 74    | 4     | 1 | 0,6           | 44        | 87,3     | 2,8         |
| Б.3 Розточити отвір $\varnothing 198H12$ | 198   | 354   | 4     | 1 | 0,6           | 100       | 62,2     | 5,9         |
| Сума:                                    |       |       |       |   |               |           |          | 27,5        |

*Операція 035 довбальна.* Розрахунок режимів різання для довбання шпонкового паза шириною 45D10 напрохід виконаємо згідно з аналітичною методикою [7]. При цьому обробка паза здійснюється в два переходи: чорнове та чистове довбання. Виходячи з цього, визначимо режими різання більш навантажений чорновий перехід.

Вихідні дані для визначення режимів різання.

Оброблювана поверхня: шпонковий паз шириною 45 мм, виконується напрохід з дотриманням розміру по глибині паза  $210,4^{+0,3}$  мм.

Матеріал заготовки – чавун сірий СЧ20, HB 190,  $\sigma_B = 200$  МПа. Довжина обробки – 350 мм. Шорсткість поверхні – Ra = 3,2 мкм.

Устаткування: довбальний верстат моделі ГД-500, потужність електродвигуна привода головного руху – 11 кВт, КПД електродвигуна – 0,75.

Верстатний пристрій: патрон самоцентрувальний 3-х кулачковий токарний 7100-0017 ГОСТ 2675-80.

Ріжучий інструмент: різець довбальний 2184-0577 ГОСТ 10046-72 (ширина ріжучої пластини – 20 мм, тип 3, для шпонкових пазів), Р6М5.

Глибина різання дорівнює ширині різця  $t = 20$  мм, величина подачі  $S_{II} = 0,6$  мм/пдв.хід., величина допустимої умовами різання швидкості різання  $V = 3,98$  м/хв., кількість подвійних ходів різця  $n = 6$  пдв.хід./хв., сила різання  $P_z = 17820$  Н, потужність різання  $N_p = 1,158$  кВт, основний час на перехід  $T_{o1} = 11,17$  хв.

Для чистового довбання паза в розмір 45D10 беремо такі елементи режимів різання:  $t = 2$  мм;  $S_n = 0,2$  мм/пдв.хід.;  $i = 2$ ,  $V = 5,2$  м/мин;  $n = 8$  пдв.хід/хв.;  $T_{o2} = 16,75$  хв.

Тож сумарний основний час на операцію становить  $T_o = 27,92$  хв.

## 2.8 Технічне нормування технологічних операцій

*Операція 015 токарна з ЧПК.*

Норму штучно-калькуляційного часу на операцію визначають за формулою [9]:

$$t_{um.k} = t_{um} + t_{n.z}/n, \quad (2.2)$$

де  $t_{um}$  – норма штучного часу, хв.;  
 $t_{n.з}$  – підготовчо-заключний час, хв.;  
 $n$  – кількість деталей в партії, шт.

В свою чергу, штучний час визначають за формулою

$$t_{um} = t_o + t_\delta + t_{обс} + t_{вдпн}, \quad (2.3)$$

де  $t_o$  – основний час на операцію, хв.;  
 $t_\delta$  – допоміжний час на операцію, хв.;  
 $t_{обс}$  – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, хв.;  
 $t_{вдпн}$  – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.

У п. 2.7 визначено основний час на операцію  $T_o = 27,5$  хв. З урахуванням машинно-допоміжного часу  $T_{м.д}$ , який витрачається на зміну інструменту, прискорені переміщення супорта в автоматичному режимі, час автоматичного циклу  $T_{ц.а}$  становитиме 31,94 хв.

Допоміжний час на операцію визначають за формулою [8]:

$$t_\delta = t_{уст} + t_{np} + t_{вим}, \quad (2.4)$$

де  $t_{уст}$  – час на установку, закріплення й зняття заготовки з верстата;  
 $t_{np}$  – час, що витрачається на керування верстатом, хв.;  
 $t_{вим}$  – час на контрольні вимірювання, хв.

За попередніми розрахунками маємо  $t_\delta = 12,44$  хв.

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робітника визначається за формулою [8]:

$$t_{обс} + t_{вдпн} = (t_o + t_\delta) \frac{\alpha + \beta}{100}, \quad (2.5)$$

де  $\alpha, \beta$  – відповідно, норми часу на обслуговування робочого місця та відпочинок робітника у % від оперативного часу;

$$t_{обс}+t_{вдн} = (31,94 + 12,44) \frac{12}{100} = 5,33 \text{ хв.}$$

Так, штучний час на операцію становить

$$t_{ум} = (31,94+12,44) \cdot (1+0,12) = 49,7 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час на цю операцію становить  $t_{н.з} = 44,12$  хв.

Штучно-калькуляційний час на операцію становить:

$$t_{ум.к} = 49,7+44,12/12 \approx 53,38 \text{ хв.}$$

*Операція 035 довбальна.* У п. 2.7 визначено основний час на довбання шпонкового паза  $T_o = 27,92$  хв.

Допоміжний час на операцію згідно з формулою (2.4) дорівнює  $t_d = 8,42$  хв.

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робітника згідно з формулою (2.5) дорівнює:

$$t_{обс}+t_{вдн} = (27,92 + 8,42) \frac{9}{100} = 3,27 \text{ хв.}$$

Таким чином, штучний час згідно з формулою (2.3) становить

$$t_{ум} = (27,92+8,42) \cdot (1+0,09) = 39,61 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час на цю операцію дорівнює  $t_{н.з} = 27,22$  хв. В такому разі штучно-калькуляційний час на операцію дорівнює:

$$t_{ум.к} = 39,61+27,22/12 = 42,33 \text{ хв.}$$



## **2.9 Проектування верстатного пристрою для установлення й закріплення заготовки**

Завдання на проектування: спроектувати верстатний пристрій для установлення та закріплення заготовки на комплексній операції 045.

Обґрунтування необхідності створення пристосування. У серійному виробництві завдання підвищення продуктивності та полегшення праці робітників є головним, тому тут пристрої повинні бути швидкодіючими, зокрема це завдання розв'язується через оснащеність пристрою механізованими силовими приводами.

Поряд із цим у серійному виробництві до конструкцій пристроїв пред'являється ряд додаткових вимог, що впливають із специфіки цього виробництва:

- 1) скорочення термінів та вартості підготовки виробництва, що в умовах великої номенклатури та частотої зміни об'єктів виробництва має вирішальне значення;
- 2) скорочення часу на переналадження обладнання, що дуже важливо під час впровадження групових технологічних процесів;
- 3) економічність пристроїв.

Виходячи з існуючого технологічного процесу виготовлення півмуфти, заготовка обробляється з використанням універсального налагоджувального пристосування з ручним приводом. Застосування спеціального пристрою дозволить знизити трудомісткість обробки, зменшити допоміжний час на операції, підвищити стабільність параметрів якості, що забезпечуються на операції.

Розробка та обґрунтування схеми базування. При виборі раціональної схеми базування заготовки на операції 045 слід враховувати вертикальне компонування верстатного обладнання (вертикального обробного центру обробки з ЧПК моделі LX-1080). Також слід враховувати можливість доступу різального інструменту до оброблюваних поверхонь заготовки (на операції 045 обробляють 10 гладких отворів 50H7 і 4 різьбових отвори M30-7H, розташованих із зовнішнього боку

фланця деталі). З урахуванням сказаного перевагу віддамо схемі базування наведеній на рисунку 2.4.

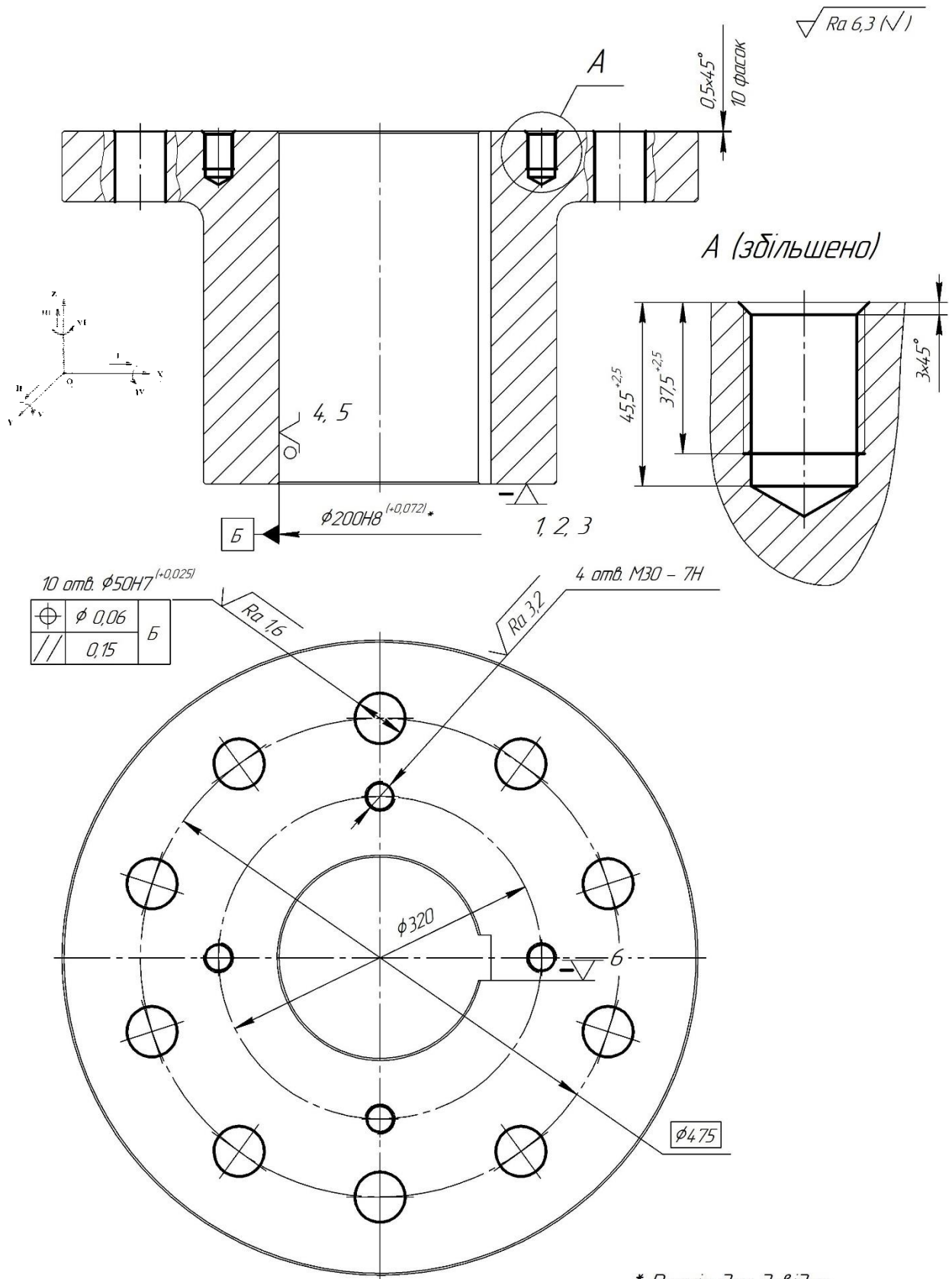


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 045

Так, для обробки заготовки на комплексній операції запропоновано схему базування (див. малюнок 2.4) з використанням подвійної опорної бази – по отвору  $\varnothing 200H8$  та установчої бази – по прилеглому до отвору торцю маточини. При цьому заготовка позбавляється поступального переміщення вздовж центральної осі (вісь  $Z$ ) та обертань навколо осей  $X$  та  $Y$  (установча база), а також поступальних переміщень вздовж осей  $X$  та  $Y$  (подвійна опорна база). Обертання навколо центральної осі заготовки (вісь  $Z$ ) також блокується через опорну базу по бічній поверхні шпонкового паза.

Попередній аналіз схеми базування показує, що на заготовку накладено 11 односторонніх зв'язків, що врівноважує систему під час обробки у всіх напрямках, крім поступального переміщення вздовж центральної осі  $Z$  вгору. У зв'язку з цим до заготовки необхідно докласти додаткових зусиль закріплення, яке притискатиме її вниз.

Розробка та обґрунтування схеми закріплення. Попередній аналіз структурних полів збурювальних сил у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування показав, що сила закріплення  $P_z$  має діяти на заготовку зверху вниз. Закріплення заготовки є скоріш формальним, так як вона притискатиметься до опорної поверхні пристосування осьовою складовою сили різання, що має місце під час оброблення отворів осьовим інструментом (свердлом, зенкером тощо). У тому ж напрямку, зверху вниз, діятиме сила ваги 2600 Н, що забезпечується значною масою заготівлі (понад 265 кг).

Так, як силовий привод має сенс використовувати пневмокамеру двосторонньої дії з мінімальним стандартним діаметром камери  $D_k = 125$  мм, яка дозволяє у положенні близькому до вихідного розвинути зусилля на штоку  $Q = 3500$  Н.

Розрахунок пристосування на точність.

Визначимо параметри точності пристосування, тобто параметри, які більшою мірою впливають на досягнення заданих допусків оброблюваної деталі. У нашому випадку до розрахункових параметрів слід віднести точність взаємного розташування основних та допоміжних конструкторських баз пристосування, а

саме: паралельність опорної поверхні установчого елемента пристосування щодо основи пристосування. Як обмежуючий фактор розглянемо відхилення від перпендикулярності осі оброблюваного отвору  $\varnothing 50H7$  щодо торцевої базової поверхні заготовлі діаметром  $\varnothing 350$  мм. Це відхилення робочим кресленням деталі не обумовлюється і його допустима величина повинна бути в межах 60% від допуску на розмір  $\varnothing 50H7$  (нормальна відносна точність):

$$T_{\perp} = 0,6 \cdot 0,025 = 0,015 \text{ мм.}$$

Визначимо припустиму похибку виготовлення пристосування:

$$E_{np //} = T_{\perp} - K \sqrt{(K_1 \cdot E_{\sigma})^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_u^2 + E_n^2 + (K_2 \cdot \omega)^2},$$

де  $K = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального закону розподілення окремих складових рівняння;

$K_1 = 0,8$  – для випадків, коли  $E_{\sigma} \neq 0$ ;

$E_{\sigma}$  – похибка базування заготовки, в нашому випадку  $E_{\sigma} = 0$ ;

$E_3$  – похибка закріплення, в нашому випадку напрямок дії сили закріплення не впливає на параметр, що дотримується: беремо  $E_3 = 0$ ;

$E_y$  – похибка установлення пристрою на верстаті, беремо  $E_y = 0$  мкм;

$E_u$  – похибка від зношення установчих елементів пристрою, беремо  $E_u = 0$  мкм;

$E_n$  – похибка установлення й прекосу інструменту на верстаті, беремо  $E_n = 0$  мкм;

$K_2 = 0,6$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення;

$\omega = 10$  мкм – середня економічна точність оброблення отвору.

Для оговорених умов маємо:

$$E_{np //} = 15 - 1,2 \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 10)^2} \approx 8 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних беремо допуск на відхилення від паралельності опорної поверхні установчого елемента пристрою щодо його основи таким, що дорівнює 0,005 мм. Позначимо його в технічних вимогах на складальному кресленні верстатного пристрою.

*Опис будови пристрою та принципу його дії* (специфікацію пристрою наведено у додатку В).

Заготовка, що обробляється, встановлюється за отвором діаметром 200H8 торцем маточини на опору 3 з центруючим пояском діаметром 200g7. Одночасно заготовка встановлюється за шпонковим пазом щодо шпонки 7. Так заготовка позбавляється усіх шести ступенів свободи. Прихват 4 встановлюється оператором на тягу 5 під гайку 11 і шайби 14, 15 і фіксується швидкознімною шайбою 6. Потім за допомогою крана керування (входить у складальну одиницю 1) у верхню порожнину пневмокамери подається повітря, що переміщає мембрану з тарілками, штоком, тягою 5 прихватом 4 вниз, у результаті відбувається закріплення заготовки. Після обробки отворів у зворотній послідовності відбувається розкріплення заготовки. Краном керування перекривається подача повітря у верхню порожнину і відкривається подача повітря в нижню порожнину камери, внаслідок чого мембрана з тарілками, штоком, тягою 5 і прихватом 4 переміщуються вгору, звільняючи заготовку від сил закріплення.

## **2.10 Висновок**

В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі спроектовано перспективний маршрут механічного оброблення заготовки, що враховує останні досягнення науки та техніки:

1. Шляхом техніко-економічного аналізу обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки – лиття в кокіль.

2. Розроблено раціональний маршрут оброблення заготовки, який враховує принципи поетапності, суміщення та постійності технологічних баз.

3. З використанням аналітичного методу проф. В.М. Кована уточнено операційні припуски та розміри на оброблення циліндричного отвору діаметром 200H8.

4. Обґрунтовано вибір схем базування, металорізальних верстатів та оснастки на комплексну та довбальну технологічні операції. Для зазначених операцій визначені раціональні режими різання та технічні норми часу.

5. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій для установаження заготовки на комплексній операції.

6. Аналіз операцій технічного контролю показав, що контрольні вимірювання точності та якості поверхонь деталі зазвичай виконуються безпосередньо на робочих місцях, що не сприяє підвищенню якості контролю (робочі місця характеризуються недостатнім рівнем освітлення, запиленістю, налипанням на контрольовані поверхні стружки тощо). Контроль точності та якості поверхонь (зокрема радіального та торцевого биттів) деталі із її установаженням на верстаті копіює похибки верстата, що дає неактуальну інформацію про контрольовану поверхню. У зв'язку з цим пропонується здійснити проектування спеціального контрольно-вимірювального пристрою для контролю торцевого биття зовнішньої поверхні фланцевої частини півмуфти та його оптимізацію шляхом динамічного дослідження пропонованої конструкції.

## РОЗДІЛ 3

### СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ

#### 3.1 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Відповідно до завдання, необхідно спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю торцевого биття зовнішньої торцевої поверхні фланця «півмуфти»  $\varnothing 630h12$  з допуском 0,05 мм щодо центрального отвору  $\varnothing 200H8$ .

Допуск торцевого биття в розмірі 50 мкм для поверхні  $\varnothing 630h12$  відповідає 9 ступеня точності згідно СТ РЕВ 636-77 [10]. Шорсткість контрольованої поверхні –  $R_a = 3,2$  мкм.

В даний час контроль торцевого биття поверхні деталі здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема патрона токарного верстата та магнітної індикаторної стійки. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка проводиться по черзі по кожному з биттів, із залученням верстатного обладнання, розташованого на механічній ділянці далеко від робочого місця ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу обробки та якості виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку мають суб'єктивні особливості оператора, у зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25% і навіть більше [11].

В цілому контроль торцевого биття деталі не викликає будь-яких труднощів, оскільки проставляння відхилень розташування поверхонь вірна і є досить розвинені та точні базові поверхні. Є можливість дотриматися принцип суміщення баз.

Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю ГОСТ 20736-75 (СТ РЕВ 1672-79). Встановимо такі показники операції контролю:

за обсягом – суцільний контроль; у часі – постійний; за структурою – одноразовий [10, 11].

Торцеве биття поверхні чисельно дорівнює різниці найбільшого та найменшого відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини перпендикулярної базової осі [12].

Виходячи з вищевказаного визначення, при контролі торцевого биття, останнє визначатимемо по площині зовнішнього торця фланця деталі 630h12 на радіусі (270...310) мм.

Визначимо кількісно параметри якості контрольованої поверхні.

Плоска поверхня уступу 630h12 виконана в розмір з допуском 0,23 мм, що відповідає розмірній точності за IT10 ГОСТ 25347-82 (СТ РЕВ 144-85) [12]. Номінальний розмір – 350 мм. Верхнє відхилення  $es = 0$  мм; нижнє відхилення  $ei = -0,23$  мм. Шорсткість поверхні – 3,2 мкм за критерієм  $Ra$ .

Точність форми контрольованої поверхні на кресленні деталі не обумовлено. Тому розглянемо відхилення від площинності розглянутої поверхні. Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, ми приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. У цьому випадку для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск площинності становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{350} = 0,6 \cdot 0,23 = 0,138 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,12 мм за 11-м ступенем точності згідно зі СТ РЕВ 636-77 [12].

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, на роль базових претендують дві: торцева поверхня 350h12 і поверхня центрального отвору 200H8, щодо якої і заданий контроль торцевого биття. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та вимірювальної баз, що визначають контроль заданого параметра. Визначимо кількісно параметри точності зазначених поверхонь.



Отвір  $\varnothing 200H8$  виконано з точністю за  $IT8$  та допуском  $0,072$  мм. Номінальний розмір –  $200$  мм. Верхнє відхилення  $ES = +0,072$  мм; нижнє –  $EI = 0$  мм. Шорсткість поверхні –  $1,6$  мкм за критерієм  $Ra$ .

Точність форми поверхні  $\varnothing 130H9$  кресленням деталі не обумовлена. Оскільки аналізованою поверхнею є отвір з  $L > D$ , як параметр, що характеризує точність форми, має сенс розглянути відхилення від циліндричності цієї поверхні. Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, ми приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» відхилення від циліндричності, що допускається, становить  $30\%$  від допуску на розмір:

$$T_{f/c} = 0,3 \cdot T_{200H8} = 0,3 \cdot 0,072 = 0,0216 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в  $0,02$  мм за 8-м ступенем точності 10.

Плоска поверхня торця  $\varnothing 350h12$  виконана в розмір з допуском  $0,23$  мм, що відповідає розмірній точності  $IT10$  [12]. Номінальний розмір –  $350$  мм. Верхнє відхилення  $es = 0$  мм; нижнє відхилення  $ei = -0,23$  мм. Шорсткість поверхні –  $3,2$  мкм за критерієм  $Ra$ .

Точність форми розглянутої поверхні кресленням деталі не обумовлено. Розглянемо відхилення від площинності розглянутої поверхні. Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, ми приймаємо його в межах допуску на відповідний розмір. У цьому випадку для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск площинності становить  $60\%$  від допуску на розмір  $T_{\square} = 0,138$  мм, що відповідає найближчому стандартному допуску в  $0,1$  мм за 11-м ступенем точності [12].

Аналізуючи параметри точності, зокрема, отвори  $\varnothing 200H8$  можна дійти висновку про придатність поверхні, що розглядається на роль базової.

При базуванні по отвору  $\varnothing 200H8$  та торцю  $\varnothing 350h12$  деталь буде позбавлена 5-ти ступенів свободи. Базування по отвору на розтискній оправці реалізує

подвійну опорну базу (поступальні переміщення вздовж осі  $X$  та  $Y$ ). Базування по торцю – установча база (поступальне переміщення вздовж осі  $Z$  та обертання навколо осі  $X$  та  $Y$ ). Вакантним залишається обертання навколо центральної осі  $Z$ , див. рисунок 3.1.

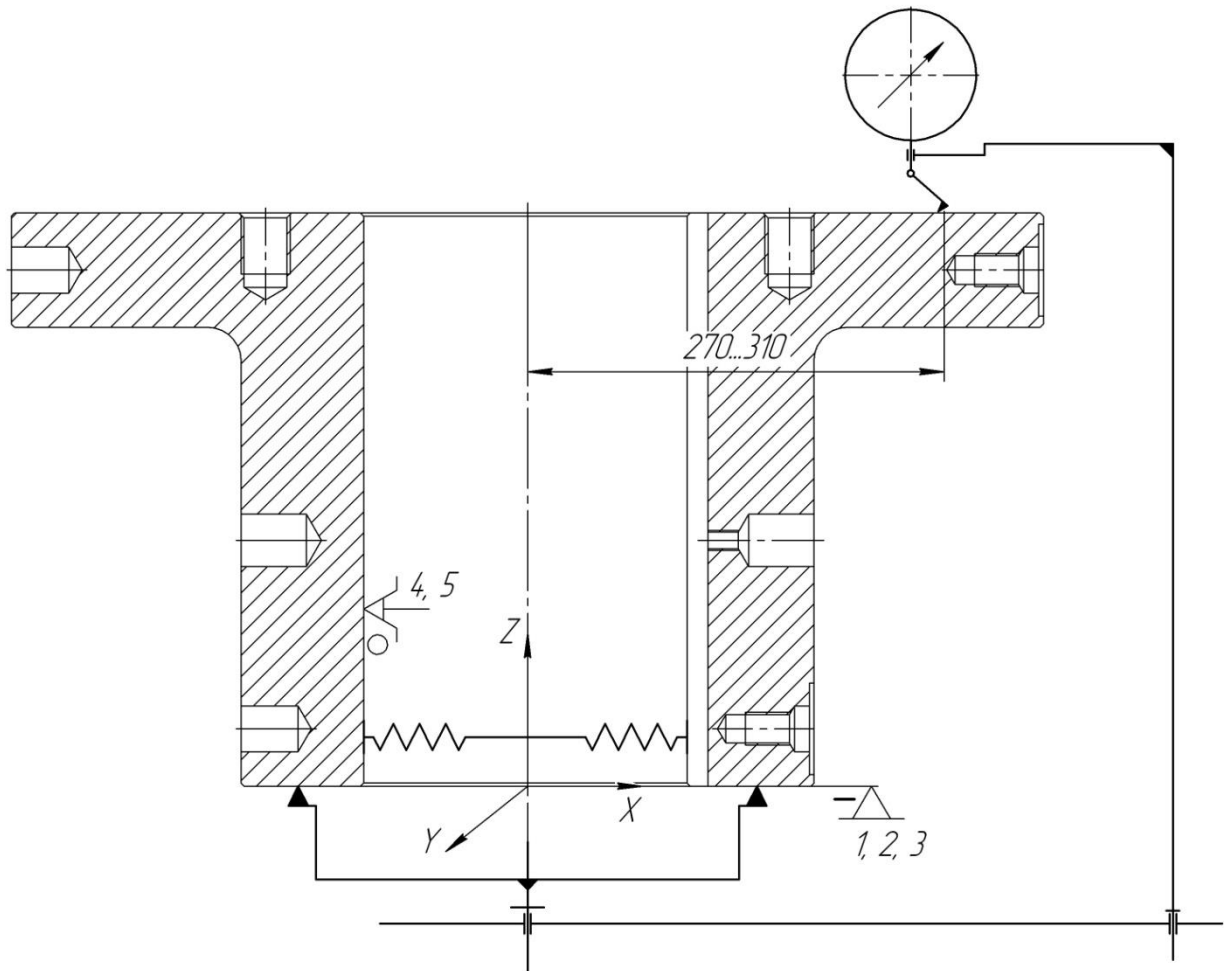


Рисунок 3.1 – Схема базування й контролю деталі

Під час контролю торцевого биття поверхні, вісь деталі буде розташовуватися вертикально, у зв'язку з чим сили гравітації притискатимуть деталь до опорних поверхонь знизу. Вісь самоцентруючої гідропластової оправки, яка буде використовуватися в пристосуванні, що проектується, буде самовстановлюватися по осі отвору  $\varnothing 200H8$ . При установці деталі поверхні гільзи

оправки необхідно передати незначне зусилля розтискання, що дозволить вибрати гарантований зазор між зовнішньою поверхнею гільзи та отвором деталі. В осьовому напрямку похибка закріплення деталі  $E_z = 0$ , що є позитивним фактором під час контролю торцевого биття.

Контроль заданого параметра проводитиметься безпосередньо на столі ВТК, розташованому поруч із механічною дільницею. Звідси можна зробити висновки про не зовсім сприятливі умови експлуатації КВП. Температура в робочій зоні –  $t = 20^\circ \pm 5^\circ \text{C}$  (ГОСТ 12.01.005-88). Відносна вологість повітря –  $\varphi_n = 80\%$ . Атмосферний тиск –  $P_{am} = (86-106)$  кПа; швидкість руху повітря –  $V = 0,5$  м/с. Частота вібрацій, що викликається верстатами,  $f = 20-30$  Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітленість. Тому поряд із загальним передбачаємо місцеве освітлення з  $E_\phi = 1000$  люкс.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому, оскільки його простіше здійснити під час контролю торцевого биття контрольованої поверхні. При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованих параметрів і точність, що отримується, цілком достатня для перевірених допусків.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це зумовлено тим, що характеристики матеріалу деталі досить високі і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля.

Задля забезпечення точкового контакту беремо наконечник сферичної форми при радіусі сфери щонайменше 1 мм.

Враховуючи значну твердість контрольованої поверхні та геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5 Н). У цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за такою формулою:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta_{зус}$  – величина похибки за рахунок контактної деформації, мкм;  
 $K$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу вимірювального наконечника.

Для твердого сплаву  $K = 0,81$ ;

$P_{зус}$  – вимірювальне зусилля, Н;

$r$  – радіус сфери наконечника, мм;

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

Деталь контролюється під час повороту на  $360^\circ$ , що характерно для динамічного методу контролю.

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

Налаштування КВП проводитиметься по контрольованих поверхнях без використання еталона.

Виходячи з передбачуваної структури потоку функцій, що реалізуються КВП, встановлюємо час на контрольну операцію 2,0 хв. Така тривалість контролю не потребує високого рівня механізації, оскільки може бути здійснена вручну на простому вимірювальному пристрої.

КВП повинен мати шкільний відліковий пристрій, який забезпечує достатню точність відліку без надмірної напруги зору.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлено значною мірою контактним методом контролю. На його користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну апробацію на точність та надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

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

Сумарна похибка вимірювання КВП, що допускається, знаходиться як частина допуску  $IT$  контрольованого параметра, зокрема, торцевого биття контрольованої поверхні [10, 11]:

$$[\delta_{вим}] = K \cdot IT, \quad (3.2)$$

де  $K$  – залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра і може набувати значення від 0,2 до 0,35.

В результаті маємо

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

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) за формулою [10]:

$$[\Delta_{ин}] = 0,7 \cdot [\delta_{вим}], \quad (3.3)$$

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

Ціна поділки ЗВ розраховується залежно від величини припустимої інструментальної похибки ЗВ. Беремо  $[C] = [\Delta_{ин}] = 10,5 \text{ мкм.}$

Інтервал між штрихами шкали ( $a$ ) беремо 1 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Тут необхідно враховувати умови, в яких працюватиме КВП, і насамперед освітленість.

Межа вимірювання за шкалою ( $A$ ) має перевищувати допуск  $IT$ , щоб зняття показань не викликало труднощів. Беремо [10]:

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мкм} = 0,2 \text{ мм.}$$

Межа вимірювання ЗВ (діапазон вимірів) визначається умовами експлуатації. Приймаємо  $B = 0,5$  мм.

Вимірювальне зусилля  $P_{зус}$  обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску параметра, що вимірюється. Оскільки обмеження з його величини відсутні, приймаємо  $P_{зус} = 500$  сН.

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

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання  $t(P)$  до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи  $P$ . Відповідно до РД 50-650-87 обмовимо кількість циклів вимірювань, що забезпечують задану кількість контрольних операцій:  $t(P) = 4000$  циклів.

Виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування, приймаємо ймовірність безвідмовної роботи  $P = 0,85$ .

Згідно з цінами на вимірювальні засоби, що встановилися, встановимо витрати на придбання ЗВ:  $\Pi = 2400$  грн.

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

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів та таблиць технічних характеристик важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близькими за показниками для контролю торцевого биття є чутлива важільно-вимірювальна головка ТЕЗАТАСТ 01810013 виконання «Латераль», яка має такі метрологічні характеристики:

- ціна поділки шкали – 2 мкм;
- модель (номінальний діаметр циферблата) – 28 мм;

- діапазон індикації – 0,2 мм;
- відстань між штрихами шкали – 1,5 мм;
- вимірювальне зусилля – 0,15 Н;
- діапазон загальної похибки – 3,5 мкм максимум.

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

$$\begin{aligned} \Delta_{ин} &= 0,0035 < 0,0105 = [\Delta_{ин}]; & C &= 0,002 < 0,0105 = [C]; \\ P_{yc} &= 0,15 \text{ Н} < 500 \text{ сН} = [P_{yc}]; & \Delta P_{yc} &= 2 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = [\Delta P_{yc}]; \\ a &= 1,5 \text{ мм} < 2 \text{ мм} = [a]; & A &= 0,2 \text{ мм} = 0,2 \text{ мм} = [A]; \\ B &= 1 \text{ мм} > 0,5 \text{ мм} = [B]; & P &= 0,9 > 0,85 = [P]; \\ t(P) &= 100000 > 4000 = [t(P)]; & Ц &= 1960 \text{ грн} < 2400 \text{ грн} = [Ц]. \end{aligned}$$

Інші ЗВ мають надмірну точність і меншу надійність. Тому для нашого КВП найбільш підходящим вважаємо чутливу важільно-вимірювальну головку ТЕЗАТАСТ 01810013 виконання «Латераль».

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

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_{\sigma}^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{ин}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{зус}^2}, \quad (3.4)$$

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

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\sigma}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (3.5)$$

$\varepsilon_0 = 0$  мкм – похибка базування;

$\varepsilon_3 = 0$  мкм – похибка закріплення;

$\varepsilon_{np}$  – неточність виготовлення елементів пристрою, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів впливатиме неточність виготовлення підшипників кочення, що використовуються в механізмі обертання деталі. Останні можна виготовляти при селективному складанні з точністю до 5 мкм, тобто  $\varepsilon_{np} = 5$  мкм:

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 0^2 + 5^2} = 5 \text{ мкм};$$

$\Delta_6$  – похибка передаточного пристрою. Оскільки в конструкції нашого КВП передаточні пристрої відсутні, беремо  $\Delta_6 = 0$ ;

$\Delta_e$  – похибка виготовлення еталонної деталі. Оскільки для контролю заданих параметрів еталон не потрібний, беремо  $\Delta_e = 0$ ;

$\Delta_{in}$  – похибка вибраного засобу вимірювання,  $\Delta_{in} = 3,5$  мкм;

$\Delta_{зус}$  – похибка, викликана вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації поверхні деталі:  $\Delta_{зус} = 0,098$  мкм (для  $P_{зус} = 0,15$  Н й  $r = 1$  мм);

$\Delta_t$  – похибка, викликана зміненням температури навколишнього середовища. Оскільки контроль здійснюється на столі ВТК, після вирівнювання температур контрольованої деталі й КВП, беремо  $\Delta_t = 0$ .

В результаті маємо

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 3,5^2 + 0,098^2 + 0^2} \approx 6,1 \text{ мкм} < 10,5 \text{ мкм} = [\delta_{вим}],$$

отже, спроектований КВП з контролю торцевого биття є працездатним.

*Опис будови пристрою та принципу його дії* (специфікацію пристрою наведено у додатку Г).

Спроектований пристрій складається з корпусу 8, в центральній частині якого на радіально-упорних підшипниках 17 і 18 встановлений збірний шпиндель



4. У верхній частині шпинделя 4 розташована гідропластова оправка і опорна шайба. У верхній частині оправки розташований гвинт під ключ, призначений для створення тиску в гідропласті та розтискання гільзи оправки. У правій частині корпусу 8 за допомогою чотирьох гвинтів 14 закріплена індикаторна стійка 3 з індикатором 23.

Контрольована деталь посадковим отвором  $\varnothing 200H8$  до упору в нижній торець встановлюється на гідропластову оправку шпинделя 4. Після закріплення деталі на оправці за рахунок загвинчування ключем спеціального гвинта у верхній частині оправки, вісь останньої самовстановлюється по осі отвору  $\varnothing 200H8$ . Потім до контрольованої поверхні деталі підводиться вимірювальний наконечник індикатора 23. Після повороту деталі на  $360^\circ$  за різницею найбільшого і найменшого показань індикатора 23 судять про величину торцевого биття контрольованої поверхні.

### **3.2 Модальний аналіз пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою**

З метою удосконалення (оптимізації) пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою планується виконати її модальний аналіз. Як відомо, модальний аналіз дозволяє отримати інформацію про так звані моди, тобто форми власних коливань досліджуваної конструкції, та частоти, що відповідають кожній з цих форм. Визначені частоти власних форм коливань опосередковано інформують нас про слабкі місця досліджуваної конструкції, про ті її елементи, які мають незначну жорсткість при певному співвідношенні з їх масою. Як відомо, форми власних коливань та їх частоти є унікальними властивостями досліджуваної конструкції та обумовлені властивостями її матеріалу, її конфігурацією тощо. небезпечними є такі форми власних коливань конструкції, що мають низькі частоти, що можуть співпадати з частотами коливань, викликаними зовнішніми джерелами (вимушені коливання). За умови такого

співпадіння частот коливань виникає так зване явище «резонансу». В умовах резонансу елементи досліджуваної конструкції починають «розгойдуватися», тобто амплітуда їх коливань різко збільшується (за «нормальних» умов елементи конструкції здійснюють коливання, але з незначними (некритичними) амплітудами коливань. Річ у тім, що ймовірність наявності джерела вимушених коливань з низькою частотою в умовах виробничої ділянки є досить високою.

Також слід пам'ятати, що під час проектування нової конструкції інженер часто приймає рішення спираючись на своє інтуїтивне бачення питання. Дуже часто такі рішення не можливо перевірити через використання аналітичних методик. Модальний аналіз базується на використанні методу скінчено-елементного аналізу, який реалізується шляхом проведення чисельного моделювання на ЕОМ.

Для дослідження конструкції контрольно-вимірювального пристрою в рамках цієї роботи для реалізації модального аналізу пропонується використання програмного пакету Ansys Workbench (модуль Modal). Цей програмний пакет є широко розповсюдженим у світі та гарно зарекомендував себе для розв'язання завдань такого класу.

Початковими даними для виконання модального аналізу досліджуваної конструкції є її тривимірна твердотільна модель в системі із контрольованою деталлю. Побудову такої моделі зручно виконати з використанням графічного пакету Компас-3D. Загальний вигляд моделі наведено на рисунку 3.2. До складу моделі увійшли основні елементи КВП (не слід перенавантажувати модель великою кількістю дрібних незначущих елементів).

Для підвищення адекватності результатів розрахунку моделі необхідно задавати характеристики сполучення контактуючих поверхонь елементів конструкції. В досліджуваній моделі зокрема були задані характеристики сполучень в системах «деталь-оправка» (рисунок 3.3), «деталь-опорна шайба» (рисунок 3.4), «стійка-опора» (рисунок 3.5). Усі ці сполучення характеризуються як тертя ковзання (Friction) з коефіцієнтом тертя 0,16 (така величина характерна для тертя чисто оброблених сталевих поверхонь).

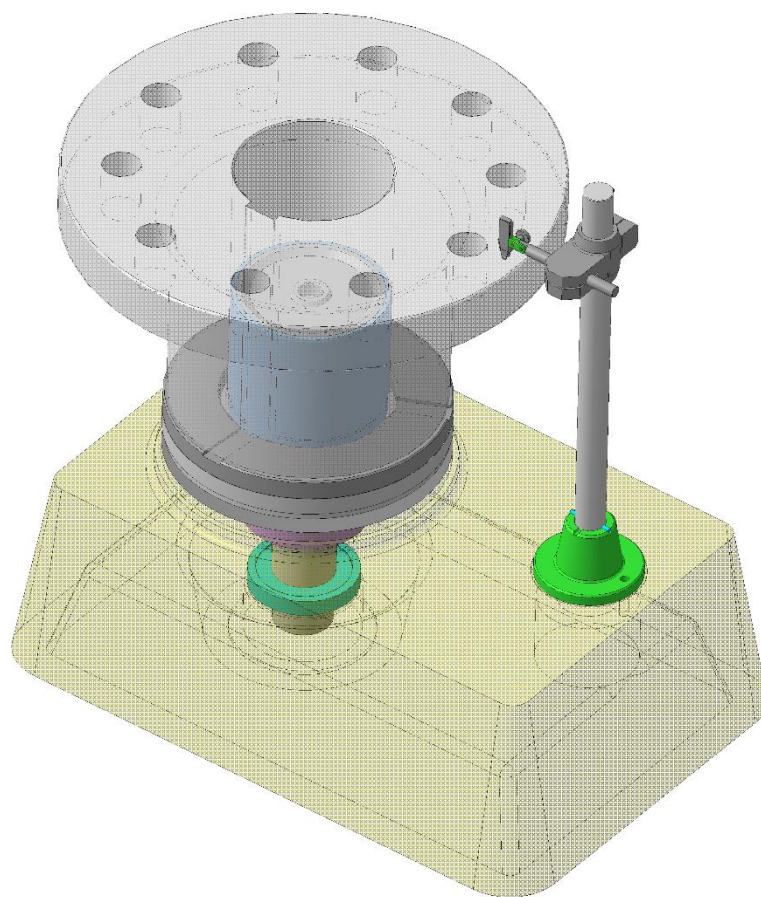


Рисунок 3.2 – Твердотільна модель системи «КВП-деталь»

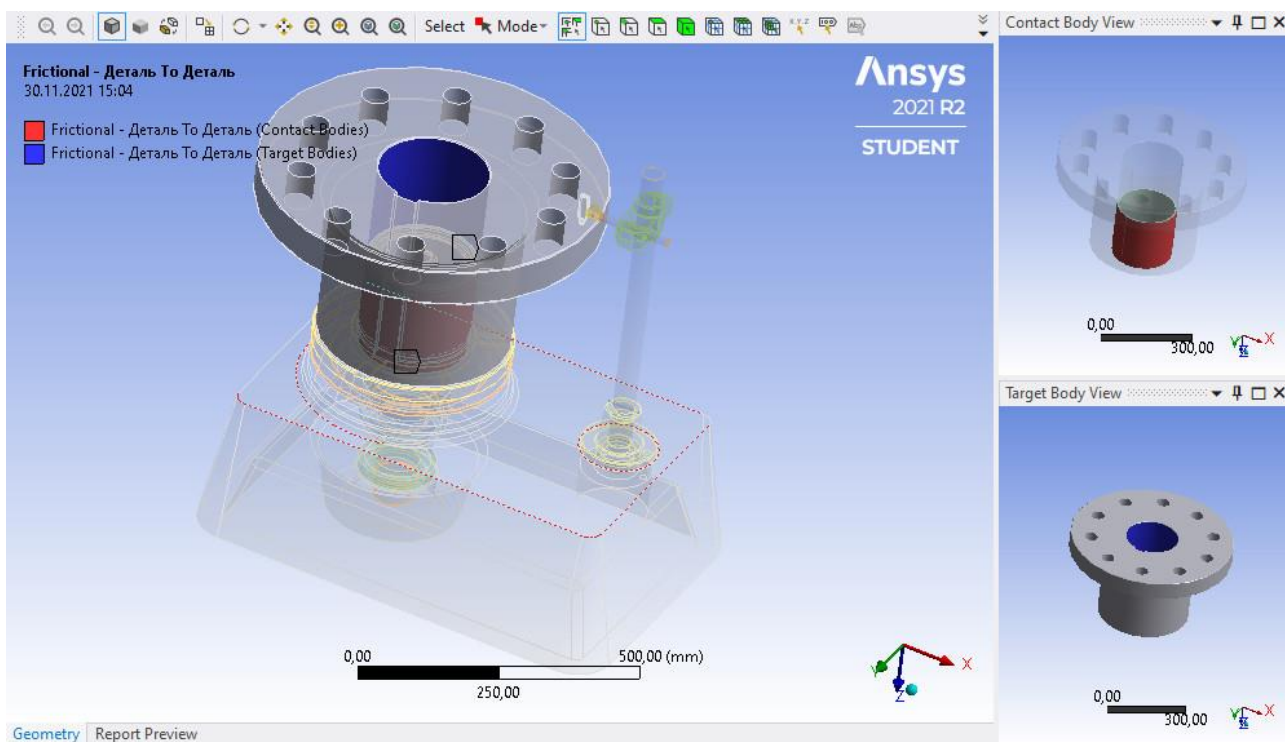


Рисунок 3.3 – Сполучення поверхонь в системі «деталь-оправка»

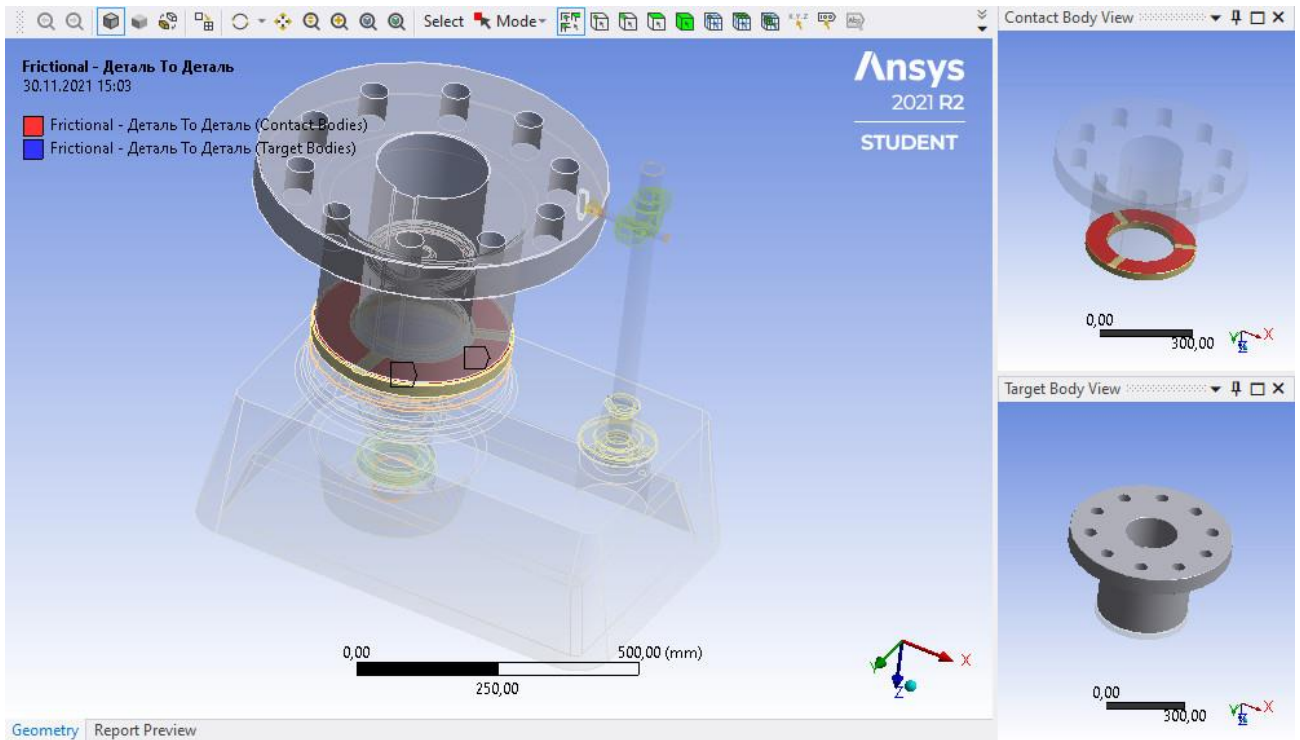


Рисунок 3.4 – Сполучення поверхонь в системі «деталь-опорна шайба»

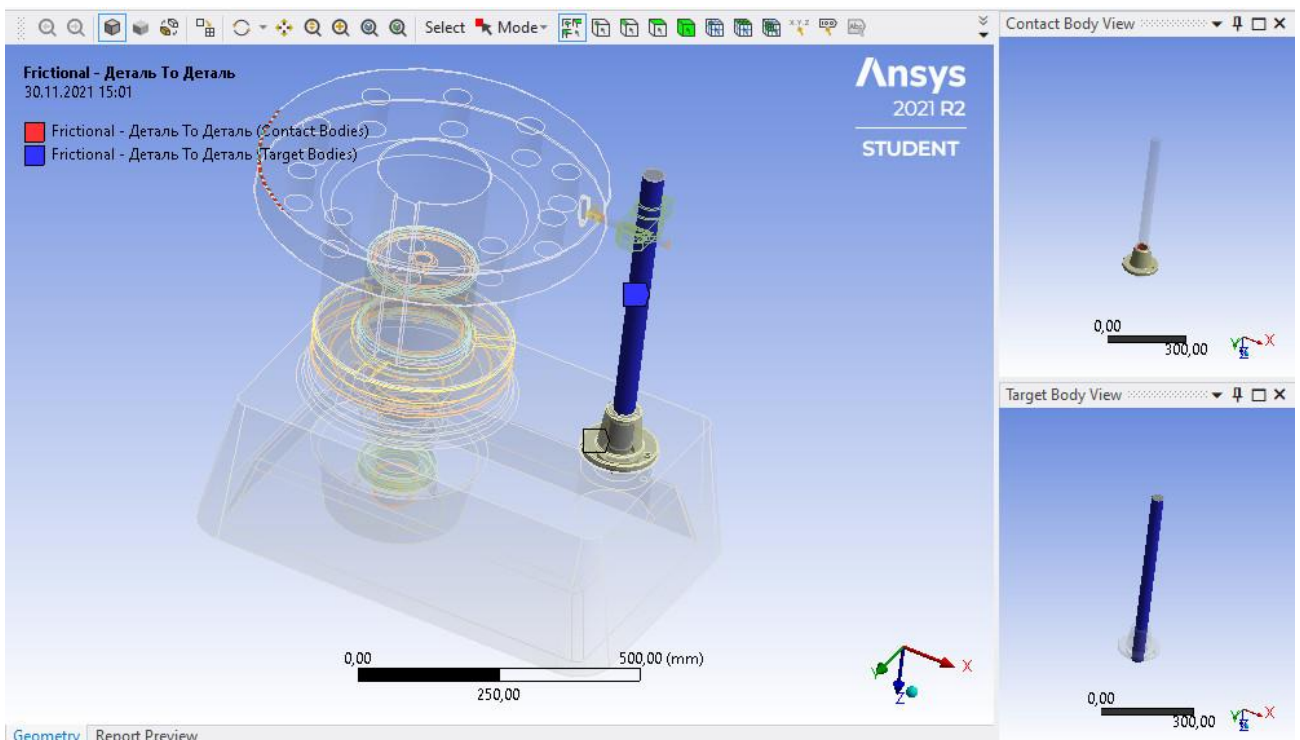


Рисунок 3.5 – Сполучення поверхонь в системі «стійка-опора»

Характеристики матеріалів елементів моделі беремо за замовчуванням, як для аналогу середньовуглецевої сталі 40 ГОСТ 1050-88 (межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга –  $2 \cdot 10^5$  МПа).

Побудова скінчено-елементної сітки, див. рисунок 3.6 здійснюється в автоматичному режимі. Параметри сітки: мінімальна довжина елемента – 0,86612 мм, загальна кількість скінчених елементів – 59185.

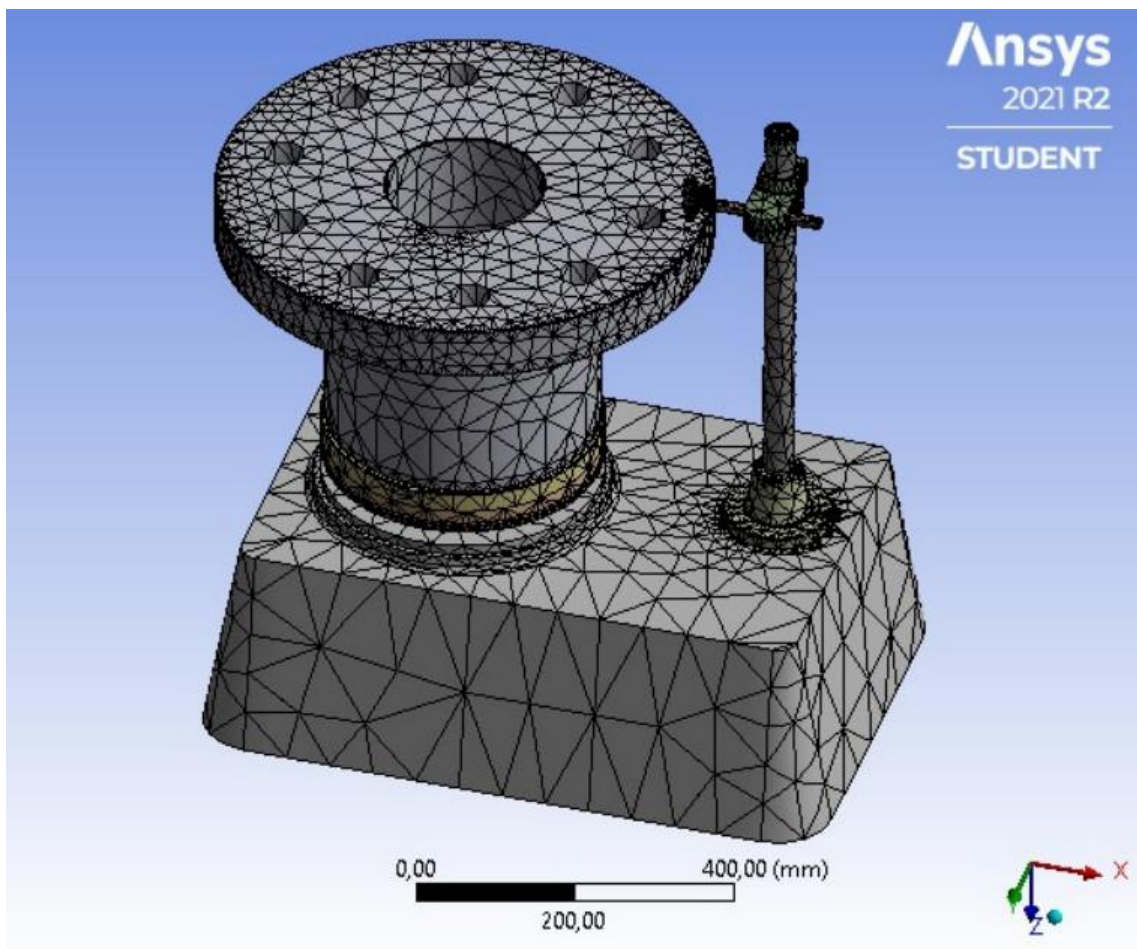


Рисунок 3.7 – Скінчено-елементна сітка досліджуваної моделі

В результаті розрахунку моделі було отримано епюри 3-х перших форм власних коливань досліджуваної конструкції виконання 1 (рисунки 3.7–3.9): частота власних коливань 1-ї форми – 90,719 Гц, 2-ї форми – 93,973 Гц, 3-ї форми – 94,406 Гц.



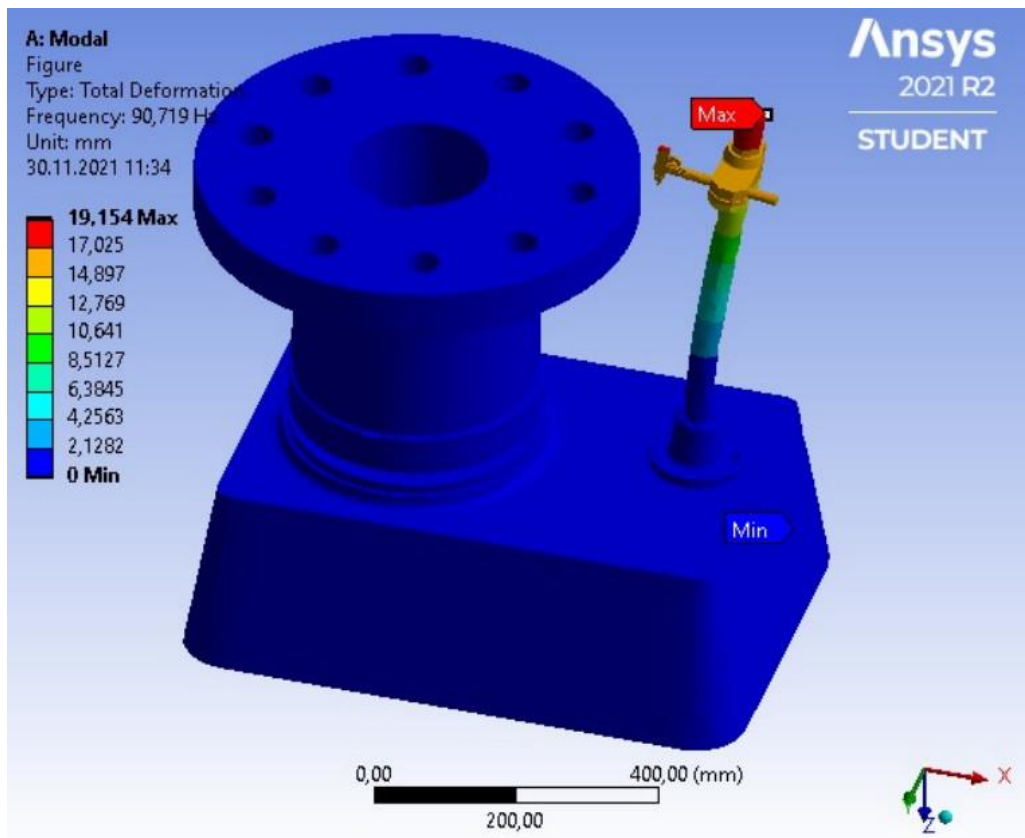


Рисунок 3.7 – Епюра 1-ї форми власних коливань (виконання 1)

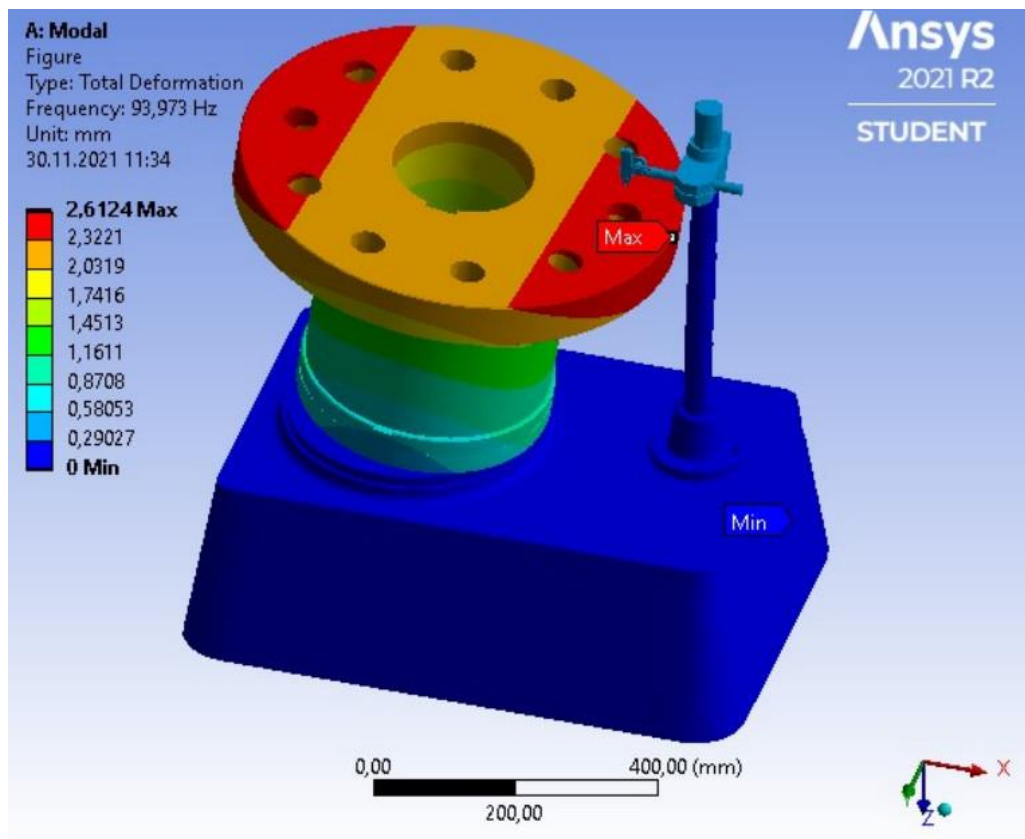


Рисунок 3.8 – Епюра 2-ї форми власних коливань (виконання 1)

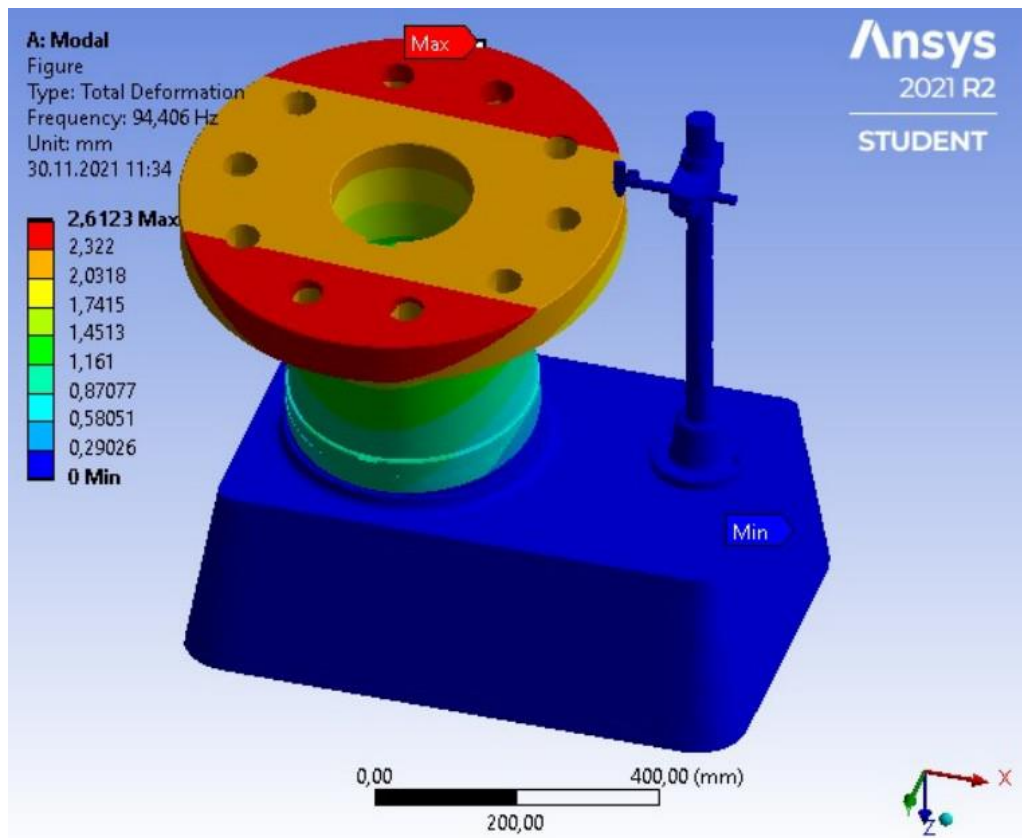


Рисунок 3.9 – Епюра 3-ї форми власних коливань (виконання 1)

Аналіз рисунка 3.7 показав, що 1-ша форма коливань досліджуваної конструкції відповідає коливанням індикаторної стійки, що є цілком логічним. Експертне оцінювання показало, що консольно закріплена стійка дійсно є слабким місцем пропонованої конструкції КВП (діаметр стійки – 40 мм, виліт консольної частини у виконанні 1 – 520 мм).

Згідно з рисунками 3.8 та 3.9 маємо 2-гу та 3-тю форми власних коливань, яким відповідає коливання шпинделя в системі з контрольованою деталлю у взаємно перпендикулярних напрямках.

Як бачимо, усі три перші частоти власних коливань є досить високими – більше 90 Гц. За умови виникнення резонансу в першу чергу стійка разом з індикатором збільшить амплітуду своїх коливань, що може негативно вплинути на результати контрольної операції. Однак, для виникнення резонансу в конструкції КВП необхідно, щоб в безпосередній близькості від місця його розташування було розміщено джерело вимушених коливань з частотою, близькою до 90 Гц ( $5400 \text{ хв}^{-1}$ ). Джерелом таких вимушених коливань на

механічній дільниці може бути процес різання (оброблення), двигуни приводів верстатів тощо. Аналіз режимів різання згідно з прийнятою технологією виготовлення деталі показав, що під час оброблення заготовки процес різання реалізується зі значно меншими частотами (від 40 до 1000  $\text{хв}^{-1}$ ). Таким чином, ймовірність виникнення резонансу практично відсутня.

Тим не менш, модальний аналіз досліджуваної конструкції дозволив виявити резерви підвищення її динамічної якості. В результаті збільшення висоти опори індикаторної стійки на 10 мм та відповідного зменшення її консолі за результатами розрахунку моделі дає збільшення частоти власних коливань з 90,719 Гц до 93,391 Гц (див. рисунок 3.10). Подальше зменшення консолі на 10 мм завдяки збільшенню висоти опори індикаторної стійки призводить до збільшення власної частоти коливань 95,79 Гц (див. рисунок 3.11). Все це опосередковано говорить про збільшення жорсткості конструкції та виходу власних частот коливань з діапазону небезпечних низьких величин.

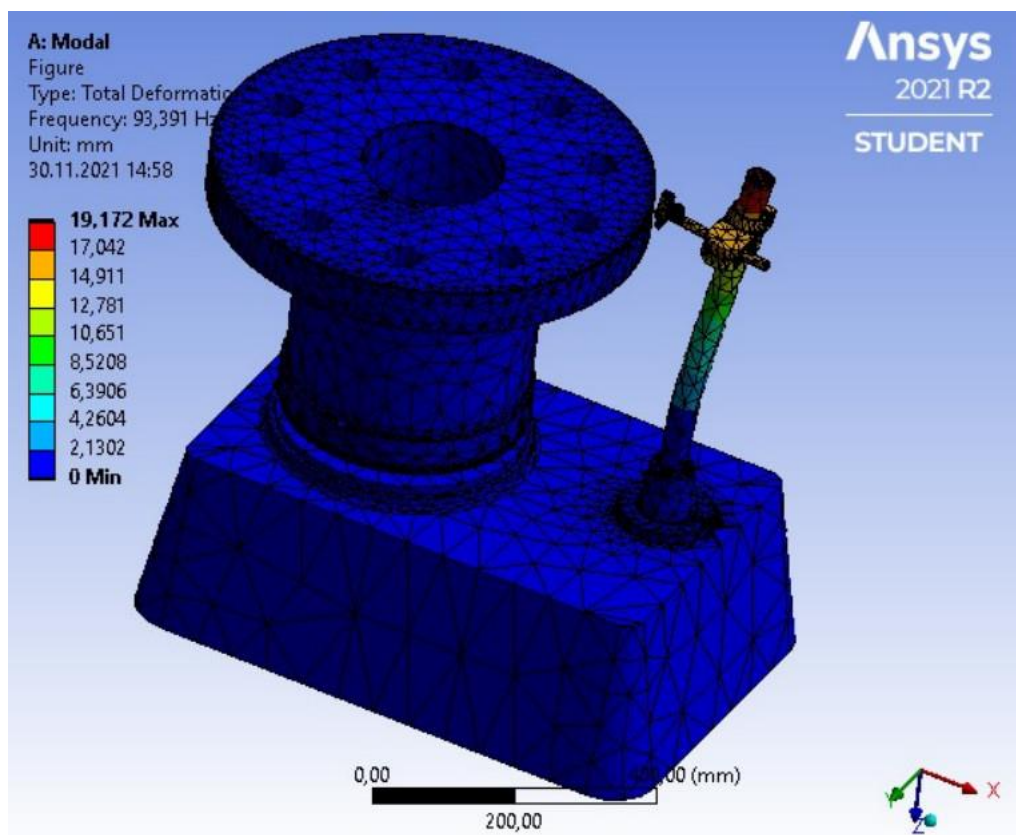


Рисунок 3.10 – Епюра 1-ї форми власних коливань (виконання 2)



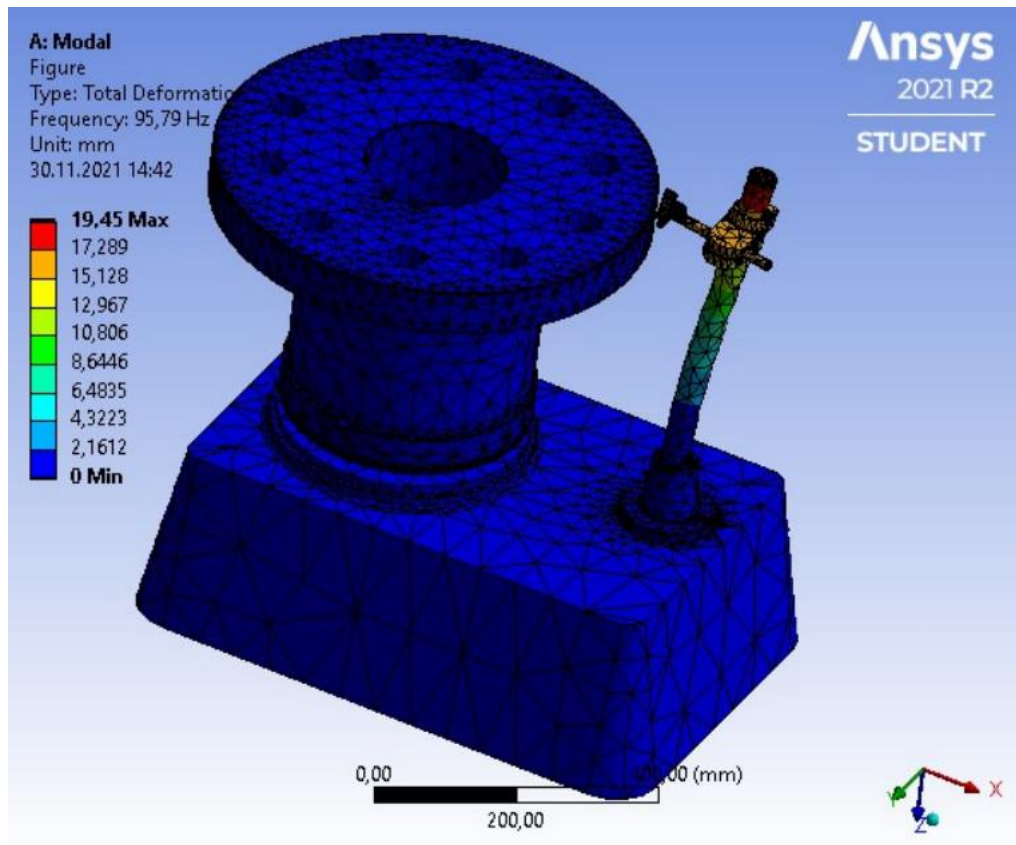


Рисунок 3.11 – Епюра 3-ї форми власних коливань (виконання 3)

### 3.3 Висновок

В результаті дослідження моделі пропонованого контрольно-вимірювального пристрою методом модального аналізу встановлено, що його конструкція є стійкою до впливу динамічних збурень, джерелами яких в межах механічної дільниці зокрема може бути процес оброблення, що реалізується на верстатах в безпосередній близькості від місця контролю. Частоти перших трьох форм власних коливань досліджуваної конструкції є досить високими (більше 90 Гц), що опосередковано говорить про достатньо високу жорсткість елементів КВП. Так, можна зробити висновок, що пропонована конструкція КВП за своїми динамічними характеристиками є перспективною для практичного використання.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу функціонального призначення виробу (півмуфти Н06.201.010.02), технічних вимог, що пред'являють на його виготовлення, характеристик типу виробництва, в умовах якого передбачено виготовлення виробу, базового технологічного процесу виготовлення виробу, встановлено недоліки останнього та сформульовані зауваження та рекомендації щодо його удосконалення.

2. Розроблено перспективний технологічний процес виготовлення виробу, що враховує принципи поетапності оброблення поверхонь заготовки, принципи постійності та суміщення технологічних баз, принцип концентрації технологічних операцій. На відміну від базового технологічного процесу в перспективному широко використовуються сучасні верстати з ЧПК, обробні центри з ЧПК, механізовані верстатні пристрої.

3. В дослідницькій частині роботи спроектовано спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для вимірювання торцевого биття виробу. В результаті дослідження моделі КВП методом модального аналізу підтверджено перспективність його використання та запропоновані можливі шляхи оптимізації конструкції для підвищення її динамічних характеристик.

4. В роботі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях, результати представлено в додатку Д.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Андерс, А. А. Проектирование заводов и механических цехов в автотракторной промышленности / А. А. Андерс, Н. М. Потапов, А. В. Шулешкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 256 с.
2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая шк., 1983. – 256 с.
3. Руденко, П. А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении : учеб. пос. / П. А. Руденко, Ю. А. Харламов, В. М. Плескач ; Под общ. ред. В. М. Плескача. – К. : Вища шк., 1991. – 247 с.
4. ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М. : Изд-во стандартов, 1994. – 38 с.
5. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
6. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Б. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т. 2 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.1: Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1974. – 416 с.
9. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для

технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – 2-е изд., уточн. и доп. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

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

11. Дунаев, И. М. Организация проектирования системы технического контроля / И. М. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – М. : Машиностроение, 1981. – 191 с.

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