

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«_____» _____ 2022 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ПІВМУФТИ Н80.54.556.02 ШЛЯХОМ
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
ОПЕРАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Андрій ПАВЛЕНКО

Керівник

Артем ЄВТУХОВ

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

Суми – 2022

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	13
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт	19
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	20
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	25
Висновок	31
Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі	33
2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки.....	33
2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки	37
2.2.1 Аналіз методів оброблення елементарних поверхонь деталі.....	37
2.2.2 Вибір та обґрунтування раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі	39
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	43
2.4 Обґрунтування вибору схеми базування й закріплення заготовки	45
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування.....	53
2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки	55
2.7 Визначення режимів різання.....	57
2.8 Технічне нормування операцій.....	60
2.9 Проектування верстатного пристрою	65
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	71
2.11 Висновок	87
Розділ 3 Дослідження пропонованої конструкції контрольно- вимірювального пристрою з використанням методу модального аналізу.....	88
3.1 Мета, задачі, методика дослідження.....	88
3.2 Результати дослідження	93

3.3 Висновок	98
Висновки	99
Перелік джерел посилань	100

ВСТУП

Актуальність роботи. «Півмуфта Н80.54.556.02» входить до складу муфти електронасосного агрегату ВА 4500-50А, призначеного для застосування у складі системи технічного водопостачання відповідальних споживачів блоків АЕС для відведення тепла перекачуваною водою від теплообмінників промконтурів охолодження відповідальних споживачів. Зазначені агрегати вочевидь мають відповідальне призначення, тому в роботі ставиться актуальне комплексне завдання, спрямоване на підвищення ефективності існуючого технологічного процесу виготовлення «півмуфти» на прикладі оптимізації окремих технологічних операцій. Водночас вирішуються завдання обґрунтування вибору раціональних схем базування заготовки, вибору металорізального устаткування, засобів технологічного оснащення, визначення режимів різання і технічних норм часу для механічних операцій. 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 пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ щодо підвищення ефективності технологічного устаткування та оснащення (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 Н80.54.556.02» шляхом структурно-параметричної оптимізації операції технічного контролю.

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

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі;

- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для установлення заготовки на фрезерній 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 Н80.54.556.02», 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. Модальний аналіз пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою виконано із використанням пакету математичного аналізу ANSYS Workbench (модуль Modal).

Наукова новизна: за результатами теоретичних та експериментальних досліджень виконаний модальний аналіз пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою для вимірювання торцевого биття поверхні деталі (півмуфти Н80.54.556.02), 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 контрольно-вимірювального 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 модальний аналіз конструкції контрольно-вимірювального пристрою. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції розробленого КВП.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 15 найменувань, 101 сторінки основного тексту, 21 рисунка та 17 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

Агрегат електронасосний ВА 4500-50А (далі «агрегат») призначений для застосування у складі системи технічного водопостачання відповідальних споживачів блоків АЕС для відведення тепла водою, що перекачується, від теплообмінників промконтурів охолодження відповідальних споживачів.

Агрегат встановлюється в приміщенні, режим роботи – постійний. Агрегат повинен допускати 2000 пусків протягом терміну служби.

Насос у складі агрегату – вертикальний, відцентровий, одноступінчастий з колесом одностороннього входу.

Як привод насоса застосовується трифазний асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором ВАНЗ-5А-1250-10ТМЗ, АШГА 528825.003ТУ.

Агрегат повинен бути виготовлений для експлуатації в кліматичному виконанні ТМ категорії розміщення 4 (при нижньому значенні температури навколишнього повітря $+5^{\circ}\text{C}$ і верхньому $+45^{\circ}\text{C}$), в атмосфері типу ІІІ за ГОСТ 15150-69.

Агрегат не призначений для експлуатації у вибухонебезпечних та пожежонебезпечних виробництвах.

Умовні позначення насоса та агрегату:

ВА 4500-50А,

де В – вертикальний;

А – для застосування у системах технічного водопостачання АЕС;

4500 – подача базового насоса, м/год;

50 – напір базового насоса, м;

А – з подовженим промвалом.

Показники призначення насоса за параметрами в номінальному режимі роботи при частоті струму мережі 49 Гц і при частоті 50 Гц у відповідному режимі номінальному, повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри насоса при номінальному режимі роботи

Найменування показника	Величина показника при частоті струму мережі, Гц	
	49	50
Подача, м ³ /с (м ³ /ч)	1,239(4460)	1,264(4552)
Напір, м	56,8	59,2
Частота обертання, с ⁻¹ (об/хв)	9,7(582)	9,9(594)
Потужність ($\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$), кВт	836	889

Показники технічної та енергетичної ефективності насоса повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Показники технічної та енергетичної ефективності насоса

Найменування показника	Величина показника
Коефіцієнт корисної дії (к.к.д.), %	85
Допустимий кавітаційний запас (Δh_d), м	10
Зовнішні утіки через кільцеве ущільнення вала, м ³ /с (л/ч), не більше	0,014 10^{-3} (50)

Надійність насоса в умовах та режимах експлуатації повинна характеризуватись значеннями показників, наведених у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники надійності насоса

Найменування показника	Величина показника
Коефіцієнт готовності, (не менше)	0,98
Середнє напрацювання на відмову, год. (не менше)	10000
Середній ресурс до капітального ремонту, год., (не менше)	28000
Середній повний термін служби корпусних деталей, років (не менше)	30
Середній час поновлення працездатного стану, год. (не більше)	200

Показники призначення за середовищем, що перекачується, повинні відповідати зазначеним у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Показники призначення насоса за середовищем, що перекачується

Найменування середовища	Найменування показника	Величина показника
Вода морська	Робоча температура на вході в насос, °С	21–32
	Розрахункова температура, °С	35
	Щільність, кг/м ³ , не більше	1030
	Величина рН	7,7–8,0
	Тиск на вході в насос, МПа	0,044–0,110
	Зміст зважених часток	0,05

В комплект агрегата насосного входять:

- насос у зібраному вигляді – 1 шт.;
- двигун з технічними характеристиками та його комплектуючі вироби – 1 компл.;
- проміжні вали – 1 компл.;
- підшипникові опори для промвалів – 2 шт.;
- коліно підвідне – 1 шт.;
- патрубков перехідний – 1 шт.;
- пристрій гідроциклонний – 1 шт.;
- огороження (відкритих ділянок валу двигуна та промвалів) – 1 шт.;
- плити фундаментні для насоса та кріпильні вироби для кріплення плит – 1 компл.;
- інші вироби, кріпильні деталі та прокладки для з'єднання складових частин агрегату між собою закріплення на фундаментах – 1 компл.;
- запасні частини для насоса;
- пристосування та інструмент.

Умови експлуатації:

- агрегат електронасосний працює у відкритому середовищі;
- частота обертання промвалу становить $n = 594$ об/хв.

Робота агрегату. Трифазний асинхронний електродвигун приводить у дію вертикальний відцентровий насос (тобто він є його приводом). При цьому здійснюється перетворення механічної енергії приводу (обертання ротора електродвигуна) в гідравлічну енергію морської води, що є робочою рідиною насоса, яка надалі надходить у теплообмінники блоків АЕС для їх охолодження.

Одним з основних вузлів електронасосного агрегату є проміжний вал, який з'єднує вал насоса і вал електродвигуна між собою. Проміжний вал утворює разом з валами насоса та двигуна валопровід насосного агрегату.

Оскільки електродвигун і насос розташовуються на різних висотах, то передача обертання з-поміж ними здійснюється за допомогою проміжного валу. Для запобігання вигинам проміжний вал спирається на підшипникову опору, що змащується робочим середовищем (морською водою).

Частота обертання проміжного валу при частоті струму 50 Гц становить $n = 594$ об/хв.

Проміжний вал працює у складних умовах. Вузол знаходиться у відкритому середовищі – це передбачає можливість потрапляння на нього морської води, пилу тощо, що може спричинити негативний вплив на поверхневий шар матеріалу вузла. При роботі виникають великі знакозмінні, інерційні навантаження, які мають місце під час пусків електронасосного агрегату.

Основною деталлю вузла проміжного валу є «півмуфта Н80.54.556.02» (див. рисунок 1.1). Півмуфта призначена для передачі моменту обертання проміжним валом (тобто при цьому здійснюється передача обертання від електродвигуна до насоса).

Півмуфта під час роботи може компенсувати похибки складання (наприклад, невеликі перекося осей).

Функціональне призначення поверхонь деталей:

- виконавчі поверхні: 8;
- базові поверхні (основні та допоміжні):

а) ОКБ: 8, 11;

Таблиця 1.6 – Матриця зв'язків

Найменування бази	Переміщення	Осі		
		X	Y	Z
ПНБ+ОБ	1	1	1	1
	α	0	1	1
ОБ	1	1	0	0
	α	0	0	0

Поверхня 11 – подвійна напрямна + опорна, яка позбавляє деталі у складальній одиниці 5 ступенів свободи. Поверхня 8 – опорна база, що позбавляє деталь одного ступеня свободи (обертання навколо осі X).

Вільні поверхні формують контур деталі, її масивність та жорсткість. Ці поверхні повинні забезпечувати необхідну міцність деталі, що працює при великих навантаженнях.

Канавка 6 призначена для виходу довбання різця в процесі обробки шпонкової канавки.

Поверхні 14, 19, 20, 21 слугують для правильної взаємної орієнтації шпильок, що з'єднують проміжний вал і півмуфту.

Поверхні канавки 13 і розточування 10 не повинні контактувати з поверхнями на проміжному валу і призначені для точного базування півмуфти поверхнею отвору конічного 11.

Базова поверхня 11 – це основна конструкторська база півмуфти, за якою вона базується на валу та представлена конусною поверхнею. Вибір конічної форми отвору необхідний для кращого центрування (порівняно з циліндричною поверхнею) і більшої міцності посадки.

Поверхня 8 є виконавчою та базовою поверхнею деталі. За допомогою цієї канавки шпонки здійснюється передача обертального моменту (виконується функціональне призначення), а також у складі вузла поверхня 8 базує деталь на валу і позбавляє її одного ступеня свободи (обертання).

Умови експлуатації:

- півмуфта знаходиться в незахищеному відкритому середовищі, що передбачає негативний вплив середовища на поверхневий шар матеріалу деталі (на поверхню деталі допускається попадання солоної води, пилу тощо);
- частота обертання деталі становить $n = 594$ об/хв;
- переданий обертальний момент $M = 14$ кН м.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

На кресленні присутні всі необхідні та допоміжні види, проекції, перерізи та розрізи, технічні вимоги до виготовлення деталі, що дає повне уявлення про геометричну форму деталі, конфігурацію всіх її конструктивних елементів.

На кресленні проставлені всі необхідні розміри, допуски розташування та шорсткість поверхонь, тобто можна дійти висновку, що у цілому креслення задовольняє вимогам діючих стандартів.

При аналізі заводського креслення деталі було виявлено низку допущених помилок (див. додаток):

- канавка шириною 4 мм накреслена у 2 рази більшою (при масштабі 1:2);
- розмір $\varnothing 410h6$ в дійсності має дорівнювати $\varnothing 413,8h9$;
- ширина шпонкових канавок 45 мм (на кресленні 40 мм);
- на кресленні в технічних вимогах немає інформації про допуск кута конусності центрального отвору;

Для виготовлення півмуфти використовується сталь 30Х13 ГОСТ 5632-72. Це корозійностійка сталь, яка в своєму складі має близько 0,3% вуглецю, 13% хрому, інше – залізо.

Хімічний склад сталі наведений у таблиці 1.7 [1].

Таблиця 1.7 – Хімічний склад сталі 30X13, у відсотках

<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>S</i>	<i>Ti</i>	<i>C</i>	<i>Cr</i>
0,8	0,8	0,30	0,6	0,025	0,2	0,26–0,35	12,0–14,0

Сталь 30X13 застосовується для деталей, що працюють на зношування в слабоагресивних середовищах. Дана сталь застосовується для виготовлення ріжучого, мірного та хірургічного інструменту, пружин, карбюраторних голок, предметів домашнього вжитку, клапанних пластин компресорів. Вибір даного матеріалу був викликаний потребою захисту від негативної дії навколишнього середовища (висока вологість і морська вода, які викликають корозію). Корозійностійкі властивості сталі 30X13 наведені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Корозійностійкі властивості сталі 30X13

Середовище	Температура випробування, °С	Термін випробування, год.	Глибина, мм/рік
Морська вода	100	93	0,01
63,4 % розчин H ₂ SO ₄	15	24	2,1
Пар-повітря	100	50	0,018

Заготовкою для деталі є поковка, до якої висуваються такі вимоги до якості поверхневого шару:

- на поверхні поковок не повинно бути механічних пошкоджень та дефектів, що знижують міцність, працездатність та погіршують зовнішній вигляд;

- на поверхні поковок не допускаються дефекти, що перевищують глибину 50% одностороннього припуску на механічну обробку.

Поковка відноситься до V групи і застосовується для виготовлення особливо відповідальних деталей, що працюють в умовах складнонапруженого стану або зазнають динамічних впливів і не піддаються впливу середовища, що

викликають міжкристалічну корозію. Поковка V групи з випробувань була прийнята оскільки деталь знаходиться в незахищеному відкритому середовищі, передає великі крутні моменти, працює в умовах знакозмінних навантажень і обертається з частотою 594 об/хв.

Для перевірки якості поковок відбирають зразки відповідно до таблиці 1.9 [2].

Таблиця 1.9 – Зразки для випробувань

Група поковки	Умови комплектування партії	Вид перевірки	Вибірка
V	Приймається індивідуально кожна поковка	Випробування на розтягування	100%
		Випробування на ударну в'язкість	
		Твердість	

Перевірку зовнішнього вигляду поковок проводять візуально без застосування збільшувальних приладів. Зразки визначення механічних властивостей для поковок групи V вирізують з припуску, передбаченого для кожної поковки.

Термічна обробка сталі 30X13: загартування 1000-1050 °С в масло, відгартовування 700–750 °С, охолодження на повітрі.

Механічні властивості металу поковок після остаточного термічного оброблення повинні відповідати таблиці 1.10 [1].

Таблиця 1.10 – Механічні властивості поковок із сталі 30X13

Клас сталі	Межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	Межа міцності σ_b , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість KCU , МПа	Твердість на поверхні поковок, НВ
Мартен-ситний	558	735	14	40	0,3	235–277

Поковку необхідно піддати ультразвуковому контролю в обсязі 100% для виявлення дефектів типу раковин, закатів, тріщин, флокенів, розшарування, неметалевих включень, які неприпустимі, так як можуть викликати руйнування деталі в процесі роботи. Група якості 2п визначає показники технічних вимог до поковки за результатами ультразвукового контролю за ГОСТ 24507-80.

Півмуфта – відповідальна деталь. Тому, крім високих вимог до матеріалу деталі, також висуваються високі вимоги до розмірів, допусків форми та розміщення поверхонь.

Поверхня 11 (див. рисунок 1.1) має більший діаметр конуса 189,5H7, так як в цьому місці починається внутрішня конусність на півмуфті, яка повинна збігатися з конусністю на проміжному валу. Висока точність розміру призначена для точного базування деталі у вузлі, для надійної роботи. Недотримання розміру може призвести до того, що прилягання півмуфти і проміжного валу по конусу відбуватиметься по меншій поверхні, що сполучається, що може викликати погіршення умов роботи вузла в цілому, виникнення в окремих місцях концентраторів напружень.

Шорсткість поверхні під конус на деталі $R_a = 1,6$ мкм, але надалі (при складанні) проводиться ще й притирання цієї поверхні для прилягання цієї конусної поверхні на площі не менше 90%. Недотримання цієї вимоги може призвести до швидкого зношування окремих ділянок контактуючих поверхонь внаслідок великих крутних моментів і напружень. До того ж є можливість появи додаткових вібрацій, шумів і напружень через нещільне прилягання конусних поверхонь обох деталей.

Поверхня 19 має допуск торцевого биття 0,05 мм щодо осі E. При недотриманні допуску можливе виникнення великого напруження при загвинчуванні болтів (може виникати перекіс шпильок). Поверхня має шорсткість $R_a = 3,2$ мкм, що забезпечує необхідне зчеплення гайок з нею (для зменшення ймовірності самовідгвинчування).

Шпонкові пази із шириною $b = 45$ мм виконані з різними посадками:

- 45Js9 – для нормальної шпонки (перехідна посадка);
- 45D10 – для вільного шпонкового з'єднання (посадка із зазором).

Це зроблено для того, щоб у процесі складання (а надалі і роботи) через можливість неточного виготовлення шпонкових пазів (зміщених осей симетрії пазів щодо один одного) виключити неточність складання вузла. У зв'язку з цим передачі обертання обома шпонками одна з канавок на муфті (45Js9) виконується більш точною, до неї пред'явлені вищі вимоги на допуски форми і розташування поверхонь. Допуск симетричності для однієї зі шпонкових канавок становить 0,06 мм (для іншої 0,1 мм) та допуск паралельності – 0,03 мм (0,05 мм) для протилежних сторін. При недотриманні допусків надалі це може спричинити неточність складання (невеликі змінання шпонкової канавки), що при роботі (через великі маси деталі та вузла викликають появу напружень) може призвести до подальшого змінання та зрізу канавки та поломки півмуфти.

Шпонкові пази виконують паралельно твірної конуса. У цьому випадку забезпечується контакт шпонки зі стінками паза по всій довжині його однаково. В іншому випадку, враховуючи складнонапружені умови роботи деталі, виникає велика ймовірність змінання ділянок шпонкового паза з меншою висотою.

Для заданої точності пазів шпонки оптимальним значенням шорсткості її поверхонь є $R_a 3,2$ мкм, що наведено на кресленні.

Сім отворів діаметром 26 мм мають позиційний допуск свого розташування рівний 0,8 мм. При невиконанні цієї вимоги, шпильки, що з'єднують провал і півмуфту, можуть при складанні неточно потрапити у відповідні отвори на проміжному валу, через це можливе виникнення додаткових концентраторів напружень, змінання поверхонь, що сполучаються. У ці отвори встановлюють болти, які повинні надійно утримувати півмуфту та проміжний вал разом. Для запобігання самовідгвинчуванню болтів їх кріплять до стопорної гайки.

3 отвори з різьбленням М20-Н7 мають позиційний допуск $\varnothing 0,6$ мм відхилення від загальної осі розташованої на $\varnothing 72$ мм. Так само як і в попередньому випадку від цієї точності залежить точність складання та надалі працездатність вузла. У цих отворах на півмуфті виконано різьблення М20-7Н, яке використовується для вкручування в неї болтів, які утримують стопорну гайку.

На розмір $\varnothing 234$ мм заданий допуск радіального биття 0,1 мм щодо базової осі Е. Цей допуск заданий у зв'язку з тим, що півмуфта має велику масу та частоту обертання. При невиконанні заданого допуску під час роботи може виникнути неврівноваженість деталі.

Поверхня 1 має найвищу шорсткість R_a 12,5 мкм. Це пов'язано з тим, що ця поверхня надалі оброблятиметься разом з проміжним валом до шорсткості R_a 6,3 мкм на діаметрі 220 мм, що забезпечить необхідне зчеплення цієї поверхні на муфті з такою ж поверхнею на промвалу.

Ухил 17 під кутом 15° забезпечує можливість загвинчування болтів на шпильках.

Отвір $\varnothing 12$ мм має відхилення розмірів та розташування за 14 квалітетом розмірної точності. Це пояснюється тим, що цей отвір використовують під час складання для встановлення вільного кінця шплінтувального дроту, тобто у цьому випадку висока точність не потрібна.

Канавки: місце Д і канавка $\varnothing 192 \times 4$ мають низьку точність, тому що це є вільні поверхні.

Найточнішим розміром є розмір фланця півмуфти $\varnothing 410h6$. Також задані дуже високі допуски на радіальне биття. Недотримання даних вимог до точності розмірів та взаємного розташування поверхонь може призвести до незбалансованості деталі у складі складальної одиниці під час роботи агрегату.

Ненаведені граничні відхилення розмірів $H14$, $h14$, $\pm IT14/2$. Усі розміри, на які не призначена точність обробки, виконують відповідно до квалітетів, вказаних у технічних вимогах.

Розміри, що забезпечуються інструментом: $\varnothing 80$, $\varnothing 12$, $R1$, 6 – дані показники обумовлені геометрією ріжучого інструменту.

Низькі вимоги до поверхонь із шорсткістю R_a $6,3$ мкм пояснюються тим, що дані поверхні не є виконавчими та відповідальними.

Технічні вимоги, проставлені на кресленні конструктором є обґрунтованими та відповідають сучасному рівню розвитку машинобудування. Їх виконання дозволить отримати деталь з якісними та точними поверхнями та забезпечить надійну та правильну роботу деталі у вузлі. За результатами проведеного аналізу можна зазначити, що технічні вимоги містять необхідні вказівки для вибору матеріалу деталі, його фізико-хімічних властивостей. Креслення деталі дає чітке уявлення про розміри та шорсткість поверхонь, необхідних для виконання придатної для експлуатації деталі.

1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Відповідно до ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризують коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, який показує «відношення усіх різних операцій, що виконуються підрозділом впродовж місяця, до кількості робочих місць» [3]. За результатами попередніх розрахунків за умови річного обсягу випуску виробів – 200 шт., технічних норм часу згідно з базовим технологічним процесом виготовлення деталі маємо дрібносерійний тип виробництва, якому відповідають $K_{з.о} = 21,89$ та партія запуску $n_{п} = 19$ шт.

Відомо [3], що в умовах дрібносерійного виробництва «вироби виготовляють партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією й типорозмірами виробів, що запускають у виробництво одночасно». Оброблення заготовок здійснюють невеликими партіями.

В умовах дрібносерійного виробництва використовують різноманітні верстати: універсальні, верстати з ЧПК, багатоопераційні обробні центри. Для оброблення поверхонь заготовки використовують стандартний ріжучий інструмент

з твердосплавною або швидкорізальною ріжучою частиною, зокрема, з нанесенням зносостійких покриттів. Для контролю параметрів точності оброблених поверхонь заготовок в основному використовують шкальний вимірювальний інструмент (лінійки, штангенциркулі, мікрометри, індикатори тощо). Для підвищення продуктивності контролю «класних» поверхонь також використовують граничні калібри-пробки та калібри-скоби. Кваліфікація робітників, що працюють за верстатами є достатньо високою: 4–6 розряди.

В умовах дрібносерійного виробництва зокрема поширена групова форма організації робіт. Це передбачає організацію предметно-замкнутої ділянки для виробництва груп деталей, подібних за своїми конструкторськими й технологічними ознаками.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Одним із факторів, що істотно впливають на характер технологічного процесу, є технологічність конструкції виробу. Деталь вважають технологічною, якщо оброблення її заготовки ведеться з максимальною продуктивністю та мінімальною собівартістю. При аналізі на технологічність потрібно прагнути до найменшої кількості нетехнологічних елементів. Аналіз деталі проводиться для того щоб дізнатися, чи є «зручною» деталь під час виготовлення, а також знайти менш трудомісткі і менш дорогі економічні методи отримання деталей.

Показники технологічності ділять на якісні та кількісні. Якісні показники характеризують технологічність конструкції узагальнено виходячи з досвіду виконавця. Якісні показники: матеріал, установка (базування та закріплення), простановлення розмірів, допуски форми та розташування, геометрична форма, можливість застосування раціонального та продуктивного способу оброблення.

Якісний аналіз технологічності деталі. Деталь «півмуфта» виготовлена з корозійностійкої сталі 30X13 ГОСТ 5632-72. Матеріал замінник – сталь 40X13. Сталь 30X13 застосовується для виготовлення ріжучого, вимірювального та

хірургічного інструменту, пружин, карбюраторних голок, предметів домашнього вжитку, клапанних пластин компресорів, штоків поршневих компресорів, деталей внутрішніх пристроїв апаратів та інших різних деталей, що працюють на зношення в слабоагресивних середовищах. Цей матеріал є дорогим, але за своїми характеристиками цілком підходить для виготовлення півмуфти.

Оброблення різанням цієї сталі проводиться при знижених режимах, що збільшує час оброблення і, отже, призводить до зниження продуктивності оброблення та збільшення собівартості готової деталі (коефіцієнти оброблюваності сталі інструментами з: твердого сплаву $T_{\text{обр.тв.спл.}} = 0,70$, швидкорізальної сталі $T_{\text{обр.шв.ст.}} = 0,45$).

Нетехнологічним є V група поковок за випробуваннями, що передбачає збільшення маси всіх заготовок за рахунок додавання напусків для зразків та проведення всіх видів випробувань (випробування на розтяг, ударну в'язкість, визначення твердості), при цьому кожна поковка приймається окремо. Нетехнологічним є проведення ультразвукового контролю в 100% обсязі для виявлення різних дефектів металу.

«Півмуфта» має відношення довжини до діаметру $L / D < 1$, що забезпечує деталі достатню жорсткість, як у процесі оброблення (тобто дозволяє проводити оброблення заготовки на підвищених режимах, застосування багатоінструментального оброблення), так і при експлуатації.

«Півмуфта» має великі розміри та масу (98 кг), що викликає певні труднощі під час її транспортування, необхідність використання спеціальних пристроїв під час установа заготовки на стіл або в патрон верстата.

Геометрична форма поверхонь.

Геометрична форма поверхонь вибрана раціонально, поверхні прості: площини, зовнішні циліндричні поверхні, внутрішня конічна поверхня, наскрізні отвори, гвинтові поверхні (різь).

Розміри проставлені правильно, під час виготовлення деталі можливе дотримання принципів єдності та поєднання баз. Значення граничних відхилень розмірів у деяких випадках не відповідають стандартним, що є нетехнологічним.

Так, розмір 10,5 мм заданий з граничним верхнім відхиленням +0,3 мм, а найближчі стандартні значення відхилень такі:

- менше – (+0,27) мм (H13);
- більше – (+0,43) мм (H14).

Слід прийняти найближче менше значення граничного відхилення, тобто. $10,5^{+0,27}$ мм.

Нетехнологічними поверхнями деталі є точні шпонкові пази (45Js9 і 45D10), які оброблюють непродуктивним методом – довбанням в декілька стадій. Ці пази повинні бути виконані паралельно твірній конуса, що передбачає застосування спеціального верстатного пристосування та (або) точного розмічування та тривалого вивіряння. Також нетехнологічні пази під вихід довбального різця ($\varnothing 806$), які вимагають для оброблення окремого обладнання, оснастки та ріжучого інструменту, збільшуючи тим самим вартість деталі.

Півмуфта має велику кількість отворів різного діаметру, що також є нетехнологічним, тому що для їх обробки потрібне застосування великої кількості різних інструментів. Також нетехнологічними елементами деталі є фаски з обох боків отворів $\varnothing 26$, що змушує вести обробку з кількох установів або застосування спеціального інструменту, що дуже здорожує оброблення. Технологічним в даному випадку є те, що всі наскрізні отвори (у тому числі різьбові), мають невисоку точність.

Нетехнологічними є точні поверхні, обробка яких ведеться в декілька етапів, а значить, вимагає більше часу, великої кількості інструментів, спеціального обладнання та оснащення, внаслідок чого собівартість їх виготовлення зростає щодо менш точних поверхонь, що не потребують додаткового оброблення. До них можна віднести поверхні $\varnothing 189,5H7$, $\varnothing 166H9$, $\varnothing 413,8h9$.

Нетехнологічним елементом конструкції деталі є протяжна (довжина $l = 233$ мм) внутрішня, точна конічна поверхня, яка має низьку шорсткість ($R_a = 1,6\text{мкм}$), оскільки вона потребує застосування спеціальних способів оброблення, спеціальних ріжучих та вимірювальних інструментів, додаткових дорогих операцій.

Нетехнологічними елементами є: допуски симетричності на шпонкові пази 45Js9 і 45D10 складові відповідно: 0,06 мм і 0,10 мм щодо осі деталі; допуски паралельності бокових стінок цих пазів: 0,03 мм та 0,05 мм щодо центральної осі деталі; допуск торцевого биття на розмір 26 мм, що становить 0,05 мм та допуск радіального биття поверхні Ø234 – 0,1 мм; позиційний допуск у діаметральному вираженні: для 3 отворів M20-7H – Ø0,6 мм; для 7 отворів Ø26 – Ø0,8 мм. Все це вимагає застосування додаткових витрат часу, точного обладнання (верстатів, різального та вимірювального інструменту).

Кількісний аналіз технологічності деталі. Коефіцієнт використання матеріалу $K_{в.м}$ визначимо за формулою

$$K_{в.м} = M_{д} / M_{з} = 98 / 225 = 0,43,$$

де $M_{з} = 225$ кг – маса заготовки;

$M_{д} = 98$ кг – маса деталі.

Рівень технологічності деталі за точністю визначають за формулою

$$K_{т} = 1 - 1/T_{ср},$$

де $T_{ср}$ – середній квалітет точності розмірів оброблюваних поверхонь деталі.

$$T_{ср} = (\sum T_i \cdot n_i) / \sum n_i,$$

де T_i – квалітет точності розмірів;

n_i – кількість розмірів з T_i квалітетом точності.

$$T_{ср} = (7 \cdot 5 + 9 \cdot 4 + 14 \cdot 21) / 30 = 12,17.$$

Тож коефіцієнт точності розмірів становить

$$K_T = 1 - 1/12,17 = 0,92.$$

Рівень технологічності деталі за шорсткістю оброблюваних поверхонь визначають за формулою

$$K_{ш} = 1 - 1/Ш_{ср},$$

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

$$Ш_{ср} = (\sum Ш_i \cdot n_i) / \sum n_i,$$

де $Ш_i$ – рівень шорсткості поверхні;

n_i – кількість поверхонь з $Ш_i$ рівнем шорсткості.

$$Ш_{ср} = (1,6 \cdot 1 + 3,2 \cdot 9 + 6,3 \cdot 18 + 12,5 \cdot 2) / 30 = 5,63.$$

Тож коефіцієнт шорсткості поверхонь становить

$$K_T = 1 - 1/5,63 = 0,82.$$

Загалом «півмуфта» є досить технологічною, має розвинені базові поверхні, достатню жорсткість і досить проста за конструкцією. Оцінка технологічності за якісними та кількісними показниками – «добре».

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Відповідно до завдання виконаємо аналіз базового технологічного процесу з пропозицією нововведень щодо обладнання, що використовується, технологічного оснащення, структури операцій і маршруту обробки. Для зручності аналізу представимо базовий технологічний процес виготовлення деталі у вигляді таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Короткий зміст базового технологічного процесу виготовлення «півмуфти Н80.54.556.02»

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Заготовча	Поковка вільним куванням на молотах	Молот	–
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень	Термопіч	–
015	Технічний контроль	Контроль стану заготовки	Центральна заводська лабораторія	–
020	Токарно-гвинторізна	Точити заготовку під УЗК з переустановленням	Токарно-гвинторізний верстат 16К25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
025	Маркування	Маркування заготовки	На робочому місці	–
030	Технічний контроль	Контролювати маркування, шорсткість поверхонь заготовки перед УЗК, основні розміри	На робочому місці	–
035	Ультразвуковий контроль	Ультразвуковий контроль	Установка УЗК	–

Продовження таблиці 1.11

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
040	Слюсарна	Зняти задирки, притупити гострі кромки	Верстак слюсарний	–
045	Токарно-гвинторізна	Відрізати кільце для виготовлення зразків	Токарно-гвинторізний верстат 16К25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець
050	Маркування	Маркувати кільце для виготовлення зразків	На робочому місці	–
055	Технічний контроль	Контролювати маркування, розміри кільця для виготовлення зразків	На робочому місці	–
060	Виготовлення зразків	Виготовлення зразків	Центральна заводська лабораторія	–
065	Випробування зразків	Випробування зразків. Подальше оброблення заготовки виконувати після отримання позитивних результатів випробування зразків	Центральна заводська лабораторія	–
070	Токарно-гвинторізна	Закруглити гострі кромки	Токарно-гвинторізний верстат 16К25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
075	Технічний контроль	Контролювати основні розміри	На робочому місці	–

Продовження таблиці 1.11

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
080	Токарно-гвинторізна	Півчистове обточування й розточування поверхонь заготовки з переустановленням, в тому числі розточити конічний отвір $\alpha 1:10$, канавку $\varnothing 170/10$ мм, розточування $\varnothing 192/4$ мм	Токарно-гвинторізний верстат 16K25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
085	Маркування	Маркувати заготовку	На робочому місці	–
090	Технічний контроль	Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–
095	Токарна з ЧПК	Чистове обточування й розточування поверхонь заготовки з переустановленням, розмір $\varnothing 410/h6$ точити з припуском в розмір $\varnothing 413,8/h9$, інші розміри оброблювати згідно кресленню деталі	Токарний верстат з ЧПК серії Max Muller Gildemeister	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
100	Маркування	Маркувати заготовку	На робочому місці	–
105	Технічний контроль	Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–
110	Розмічування	Розмічувати пази $\varnothing 80/6$ мм під подальше фрезерування, пази $45js9$ під подальше довбання	Плита для розмічування	–

Продовження таблиці 1.11

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
115	Токарна з ЧПК	Засвердлити 7 отв. Ø26 мм, 3 отв. під подальше нарізання різі M20-7H, 1 отв. Ø12 мм	Токарний верстат з ЧПК серії Max Muller Gildemeister	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
120	Технічний контроль	Контролювати розмічування, основні розміри	На робочому місці	–
125	Радіально-свердлильна	Свердлити 7 отв. Ø26H14, зенкувати фаски 1×45°, свердлити 3 отв. Ø17,5H12 під подальше нарізання різі M20-7H, зенкувати фаски 2,5×45°, свердлити отв. Ø12H14, зенкувати фаску 1×45°, нарізати різь M20-7H (3 отв.), свердлити, зенкерувати, розгортати 2 технологічних отв. Ø20H7, зенкувати фаски 1×45°	Радіально-свердлильний верстат моделі 2M57	В УСП з вивірянням: за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець
130	Технічний контроль	Контролювати основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–
135	Вертикально-фрезерна	Фрезерувати 2 пази Ø80/6 мм за розмічуванням	Вертикально-фрезерний верстат моделі 6550	В УСП з вивірянням: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець
140	Технічний контроль	Контролювати основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	

Продовження таблиці 1.11

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
145	Довбальна	Довбання пазів 45js9, 45D10 за розмічуванням начорно й начисто	Довбальний півавтомат моделі 7Д430	В спеціальному пристрої: з упором в торець фланцевої частини й за технологічними отворами на пальцях
150	Технічний контроль	Підсумковий контроль. Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь, допуски форми й взаємного розміщення поверхонь згідно з кресленням деталі	Стіл ВТК	–
155	Слюсарна	Зняти задирки, притупити гострі кромки	Верстак слюсарний	–

На діючому виробництві під час виготовлення півмуфти Н80.54.556.02 використовують маршрутний опис технологічного процесу (без операційних ескізів і без зазначення режимів різання). Крім того, оформлення маршрутних карт не відповідає встановленим стандартам, що знижує рівень технологічного забезпечення механічного оброблення заготовки, а значить і якість виробництва зазначених деталей. У технологічному процесі практично не вказуються міжопераційні розміри заготовки, припуски, що знімаються, немає допусків на операційні розміри, не вказані моделі верстатів, базування, не на всіх операціях вказуються зміст операції й технологічне оснащення. У зв'язку з цим, при складанні таблиці 1.11 використовувалася вся доступна інформація безпосередньо з робочих місць з виробництва деталі, що розглядається.

Аналіз заводського технологічного процесу механічного оброблення півмуфти показує, що поверхні деталі обробляють чорновим, півчистовим та чистовим точінням. Так, для забезпечення розмірної точності та чистоти поверхні кінцевого отвору $\varnothing 189,5H7$ за ІТ7 застосовується 4-х кратне оброблення

розточуванням, при цьому реалізується чорновий та півчистовий етапи, а також два чистові етапи. Оброблення технологічних отворів $\varnothing 20H7$ виконується в 3 етапи, свердління, зенкерування та розгортання. У цьому випадку також виконується принцип поетапного оброблення, витримується необхідна кількість етапів.

З погляду правильності побудови маршруту технологічного процесу, див. таблицю 1.11, слід зазначити відсутність порушень у виконанні принципу поточності – маршрут механічної обробки розроблено грамотно.

Так, після попереднього обточування (розточування) поверхонь заготовки під ультразвуковий контроль послідовно виконуються операції півчистового та чистового точіння, поверхні заготовки, що формуються точінням, оброблені згідно з кресленням остаточно. На обробку зовнішньої циліндричної поверхні фланця 410h6 залишають припуск на оброблення в зборі з валом. Остаточна обробка торцевих поверхонь заготовки, а також поверхонь обертання забезпечує високу якість базових поверхонь для наступних операцій (радіально-свердлильна, вертикально-фрезерна, довбальна).

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

З погляду аналізу заготівельної операції у технологічному процесі використовується метод отримання заготовки – поковка вільним куванням на молотах. Для умов діючого виробництва даний спосіб отримання заготовки є прийнятним, при цьому мають місце великі припуски та напуски. Так, центральний отвір при вільному куванні не прошивається, що вимагає додаткового механічного оброблення свердлінням і багатопрхідним розточуванням. Остаточний висновок про раціональність методу отримання заготовки можна буде дати тільки після техніко-економічного обґрунтування за варіантами.

Практично на всіх операціях заводського технологічного процесу використовують універсальне обладнання та технологічне оснащення. На

радіально-свердлильних операціях, операції довбання для закріплення заготовки застосовуються прихвати з болтами (елементи УСП). На токарних операціях з ЧПК використовують токарні самоцентрувальні патрони з механізованим приводом, які входять до складу постачання металорізального обладнання. Загалом, у технологічному процесі дотримується принцип сталості баз: оброблення всіх циліндричних поверхонь здійснюється у патроні 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 устаткування. Заготовки встановлюють на верстати та транспортують між операціями за допомогою мостового крана та електрокари. Тут необхідно зазначити, що застосовуване на операціях оброблення «півмуфти» обладнання випущено у 80-х роках минулого століття і є застарілим, що створює об'єктивні труднощі для забезпечення необхідної якості оброблюваних поверхонь.

У заводському технологічному процесі використовують прохідні, підрізні та розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву Т5К10 і Т15К6 згідно з ГОСТ 3882-74, довбальні різці, спіральні свердла, зенківки, зенкера, розгортки і мітчики зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73. Як вимірювальний інструмент використовують штангенциркулі, індикатори, шаблони, скоби, пробки та різьбові калібри, зразки шорсткості. Все це дозволяє забезпечити високу продуктивність контрольних операцій та вплинути на хід технологічного процесу виготовлення деталі, забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь як за точністю розмірів, точністю форми, так і за їхньою шорсткістю.

Висновок

В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі можна сформулювати такі висновки та пропозиції:

1) Маршрутний технологічний процес виготовлення півмуфти в цілому є раціональним, під час його реалізації виконується принцип поетапності, спостерігається дотримання принципів суміщення та постійності баз. Все це сприяє підвищенню та стабілізації якості оброблюваних поверхонь деталі.

2) В умовах базового технологічного процесу заготовка отримується вільним куванням на молотах, що в цілому відповідає умовам дрібносерійного виробництва, однак, остаточний висновок про раціональність зазначеного способу отримання заготовки, можна зробити тільки після техніко-економічного обґрунтування.

3) Аналіз змісту токарно-гвинторізних операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі показав їх надлишковий рівень диференціації. Під час проєктування перспективного технологічного процесу слід розглянути можливість збільшення кількості переходів в межах однієї операції за рахунок об'єднання операцій.

4) Аналіз свердлильної (радіально-свердлильної) та фрезерної операцій показав, що для установаження заготовок на них використовують універсальні складальні верстатні пристрої з ручними приводами закріплення, що знижує продуктивність та точність операції в цілому. Під час проєктування перспективного технологічного процесу слід розглянути можливість використання переналаджувальних пристроїв зі спеціальними установчими елементами та механізованими приводами закріплення заготовок.

5) Аналіз операцій технічного контролю показав, що більшість з них виконуються безпосередньо на робочому місці, що знижує якість та продуктивність контрольних операцій. Під час проєктування перспективного технологічного процесу слід розглянути можливість використання спеціальних контрольних-вимірювальних пристроїв, зокрема, для вимірювання торцевого биття.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки

Спосіб отримання заготовки зазвичай встановлюють на основі аналізу креслення деталі, матеріалу, що використовується, технічних вимог до виготовлення.

При виборі заготовки визначається раціональний метод її отримання, призначають припуски на механічне оброблення, виявляється комплекс технічних вимог, що характеризують геометричну точність заготовки та фізико-механічні властивості матеріалу.

На наш погляд як раціональні можна запропонувати два варіанти способів отримання вихідної заготовки – поковка штампуванням на пресах і поковка вільним куванням на молотах. Другий варіант для заданих умов виробництва, програми випуску є більш підходящим, проте остаточний вибір зробимо після техніко-економічного обґрунтування за порівнюваними варіантами. Згідно з методикою [4] собівартість отримання заготовки можна розрахувати за формулою

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{вдох}}}{1000},$$

де C_i – базова вартість однієї тони заготовок, грн;

K_t – коефіцієнт, що залежить від класа точності заготовки;

K_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності заготовки;

K_v – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки;

K_m – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу;

K_n – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

Q – маса заготовки;

q – маса деталі;

$S_{\text{вдх}}$ – вартість однієї тони відходів, грн.

Для заготовки, що отримується куванням на молотах беремо [4]:

$$C_i = 78000 \text{ грн/т,}$$

$$K_T = 1,0;$$

$$K_c = 0,89;$$

$$K_b = 0,61;$$

$$K_M = 1,62;$$

$$K_{\Pi} = 1,0;$$

$$Q = 200 \text{ кг,}$$

$$q = 98 \text{ кг;}$$

$$S_{\text{вдх}} = 35000 \text{ грн/т.}$$

Вартість поковки, що отримують вільним куванням на молотах становить

$$S_{\kappa} = \left(\frac{78000}{1000} \cdot 200 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 0,61 \cdot 1,62 \cdot 1,0 \right) - (200 - 98) \cdot \frac{35000}{1000} = 10150 \text{ грн.}$$

Для заготовки, що отримують штампуванням маємо: $C_i = 98000$ грн/т,
 $K_T = 1,0$; $K_c = 0,89$; $K_b = 0,65$; $K_M = 1,62$; $K_{\Pi} = 1,0$; $Q = 140$ кг.

Вартість поковки, що отримують штампуванням становить

$$S_{\text{ш}} = \left(\frac{98000}{1000} \cdot 140 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 0,65 \cdot 1,62 \cdot 1,0 \right) - (140 - 98) \cdot \frac{35000}{1000} = 10600 \text{ грн.}$$

Так як вартість заготовки, отриманої вільним куванням, менше вартості заготовки, отриманої штампуванням, а також з урахуванням прийнятих умов виробництва деталі, як спосіб отримання заготовки беремо вільне кування на молотах.

Куванням називають процес гарячої обробки тиском, при якому шляхом багаторазової дії універсального підкладного інструменту або бойків метал заготовки пластично деформується, поступово набуваючи заданих форм, розмірів і властивостей [4].

Куванням отримують поковки з масою від десятків грамів до сотень тонн для виготовлення деталей машин різанням. Легкі поковки з масою менше 50 кг та середні поковки з масою (50–400) кг у одиничному та дрібносерійному виробництвах виконують куванням, оскільки їх виготовлення штампуванням економічно недоцільне через високу вартість та тривалість виготовлення штампів. Для виготовлення поковок використовують зливки, блюми та сортовий прокат [4].

Розрізняють кування ручне, що використовується іноді при дрібних ремонтних роботах і виконується за допомогою ковадла і кувалди, і машинне, що здійснюється за допомогою молотів і пресів.

Припуски та допуски на розміри поковки визначимо за ГОСТ 7829-70 [5].

Встановлюємо тип поковки - втулка з суцільними уступами виготовляється в підкладних кільцях або підкладних штампах.

Додатковий припуск на відхилення від співвісності $S = 9$ мм призначаємо згідно з [5] на діаметр фланця, оскільки виконується умова

$$D_1' \cdot h' < D_2'(H' - h'),$$

$$431 \cdot 90 < 261 \cdot (345 - 90),$$

$$38790 < 66555.$$

Центральний отвір $\varnothing 38$ не прошиваємо.

Основні припуски, граничні відхилення й розміри заготовки наведемо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні припуски, граничні відхилення й розміри заготовки

Номинальний розмір деталі, мм	Основний припуск δ_i , мм	Додатковий припуск на відхилення від співвісності S , мм	Граничні відхилення на розмір $\pm \frac{\Delta_i}{2}$, мм	Розрахунок номінального розміру заготовки, мм	Розмір заготовки, мм
Ø410	21	9	±8	410+21+9	440±8
Ø234	27	-	±8	234+27	261±8
325	20	-	±7	325+20	345±7
70	20	-	±7	70+20	90±7

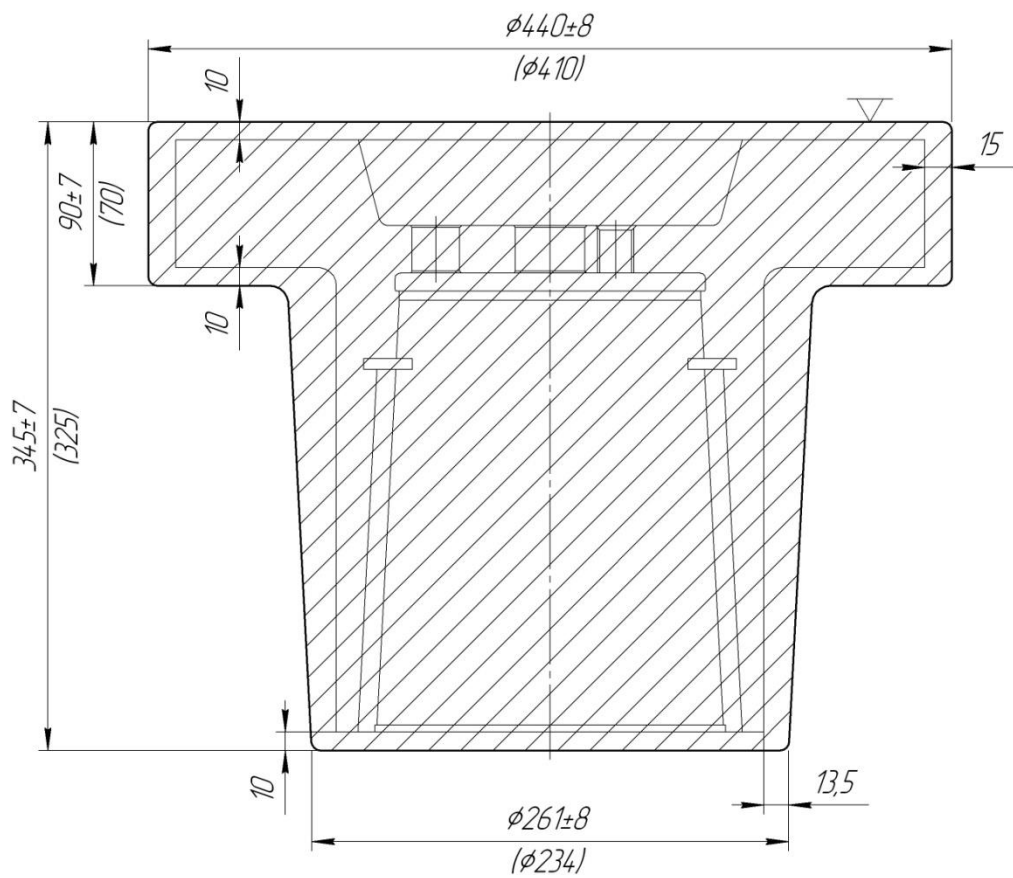


Рисунок 2.1 – Ескіз поковки

2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки

2.2.1 Аналіз методів оброблення елементарних поверхонь деталі

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

Попередній аналіз можливих методів обробки елементарних поверхонь (МОЕП) півмуфти, зокрема, конічної поверхні отвору $\varnothing 189,5H7$ та циліндричної поверхні отвору $\varnothing 20H7$ (2 технологічних отвори) показує, що для отримання точності поверхні IT7 необхідна 3-х кратна обробка. Тут бажано проводити обробку в 3 етапи, виконуючи чорнове, півчистове та чистове розточування (для отвору $\varnothing 189,5H7$) або свердління, зенкерування та розгортання (для отвору $\varnothing 20H7$).

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 проєктованому технологічному процесі механічної обробки півмуфти слід ширше використовувати верстати з ЧПК, що усуне попереднє ручне розмічування, в результаті підвищиться продуктивність механічної обробки, знизиться її собівартість.

З урахуванням висловлених пропозицій визначимо етапи обробки поверхонь з урахуванням раніше визначених МОЕП. У результаті ми й отримаємо укрупнені операції технологічного процесу, що відповідають перерахованим етапам обробки: заготівельному, термічному, півчистовому 1-му, півчистовому 2-му, чистовому 1-му, чистовому 2-му. В результаті перспективний технологічний процес механічної обробки «півмуфти» складається з 4-х укрупнених механічних операцій.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 410h6$ (поверхня 2, див. рисунок 1.1) механічна обробка включає 5 етапів. Другий чистовий етап і фінішна обробка зазначеної поверхні «півмуфти» реалізується окремим технологічним процесом, так як проводиться у зборі з валом.

Поверхня отвору 15 (див. рисунок 1.1) також обробляється окремим технологічним процесом і в даному аналізі не представлена.

Зенкування фасок, розташованих у циліндричних гладких і різьбових отворах, реалізується на 2-му одержуваному етапі (IT12, R_a 6,3 мкм).

Аналіз укрупнених операцій, зокрема, півчистої 1-ї, показує, що цю операцію не можна реалізувати на одному верстаті через відмінності в методах обробки – свердління, точіння, довбання. Тому поділяємо цю укрупнену операцію на: токарну, що виконується на токарно-гвинторізному верстаті, свердлильну, що виконується на вертикально-свердлильному або розточувальному верстаті, довбання, що виконується на довбальному верстаті.

Отриманий 2-й етап з тих же причин розбиваємо на три механічні операції: довбальну, фрезерну і токарно-гвинторізну.

Чистовий 1-й етап розбиваємо на дві механічні операції: токарно-гвинторізну та свердлильну.

Чистовий 2-й етап також розбиваємо на токарно-гвинторізну та свердлильну операції.

Чорнове (півчистовий 1-й етап) і чистове (півчистовий 2-й етап) довбання виконуємо на одній механічній операції.

Свердління, зенкерування та розгортання отворів, нарізування метричного різьблення, зенкування фасок виконуємо на одній свердлильній або розточувальній (комплексній) операції.

2.2.2 Вибір та обґрунтування раціонального маршруту технологічного процесу виготовлення деталі

Розглянута деталь має розвинені, відкриті поверхні, що у повній мірі дозволяє дотриматися як принципу сталості баз, так і принципу суміщення баз.

В результаті проведеного в п. 2.2.1 аналізу пропонується такий маршрут технологічного процесу механічного оброблення півмуфти, див. таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Короткий зміст пропонованого технологічного процесу виготовлення «півмуфти Н80.54.556.02»

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
005	Оброблення тиском	Поковка вільним куванням на молотах	Молот	–
010	Термічна	Нормалізаційне відпалювання для зняття внутрішніх напружень	Термопіч	–
015	Технічний контроль	Контроль стану заготовки	Центральна заводська лабораторія	–
020	Токарно-гвинторізна	Точити заготовку під УЗК з переустановленням	Токарно-гвинторізний верстат 16K25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
025	Маркування	Маркування заготовки	На робочому місці	–
030	Технічний контроль	Контролювати маркування, шорсткість поверхонь заготовки перед УЗК, основні розміри	На робочому місці	–
035	Ультразвуковий контроль	Ультразвуковий контроль	Установка УЗК	–

Продовження таблиці 2.2

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
040	Слюсарна	Зняти задирки, притупити гострі кромки	Верстак слюсарний	–
045	Токарно-гвинторізна	Відрізати кільце для виготовлення зразків	Токарно-гвинторізний верстат 16K25	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець
050	Маркування	Маркувати кільце для виготовлення зразків	На робочому місці	–
055	Технічний контроль	Контролювати маркування, розміри кільця для виготовлення зразків	На робочому місці	–
060	Виготовлення зразків	Виготовлення зразків	Центральна заводська лабораторія	–
065	Випробування зразків	Випробування зразків. Подальше оброблення заготовки виконувати після отримання позитивних результатів випробування зразків	Центральна заводська лабораторія	–
070	Токарна з ЧПК	Півчистове та чистове обточування й розточування поверхонь заготовки з переустановленням, в тому числі розточити конічний отвір $\alpha 1:10$, канавку $\varnothing 170/10$ мм, розточування $\varnothing 192/4$ мм, розмір $\varnothing 410h6$ точити з припуском в розмір $\varnothing 413,8h9$	Токарний верстат з ЧПК серії TL-3 (Haas)	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець (установ А), за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець (установ Б)
075	Маркування	Маркувати заготовку	На робочому місці	–
080	Технічний контроль	Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–

Продовження таблиці 2.2

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
085	Токарна з ЧПК	Чистове розточування конічного отвору $\alpha 1:10$	Токарний верстат з ЧПК серії TL-3 (Haas)	В патроні: за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця з упором в торець
090	Маркування	Маркувати заготовку	На робочому місці	–
095	Технічний контроль	Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–
100	Комплексна на обробному центрі з ЧПК	Свердлити 7 отв. $\varnothing 26H14$, зенкувати фаски $1 \times 45^\circ$, свердлити 3 отв. $\varnothing 17,5H12$ під подальше нарізання різі M20-7H, зенкувати фаски $2,5 \times 45^\circ$, свердлити отв. $\varnothing 12H14$, зенкувати фаску $1 \times 45^\circ$, нарізати різь M20-7H (3 отв.), свердлити, зенкерувати, розгорнути 2 технологічних отв. $\varnothing 20H7$, зенкувати фаски $1 \times 45^\circ$	Вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-1100	В спеціальному верстатному пристрої з механізованим приводом: за зовнішньою циліндричною поверхнею маточини з упором в торець
105	Технічний контроль	Контролювати основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–
110	Фрезерна з ЧПК	Фрезерувати 2 пази $\varnothing 80/6$ мм	Вертикально-фрезерний верстат моделі 654Ф3	В спеціальному верстатному пристрої: за торцем фланця й двом технологічним отворами
115	Технічний контроль	Контролювати основні розміри, шорсткість поверхонь	На робочому місці	–

Продовження таблиці 2.2

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст переходів	Устаткування	Базування, верстатний пристрій
120	Довбальна	Довбання пазів 45js9, 45D10 начорно й начисто	Довбальний півавтомат моделі 7Д430	В спеціальному верстатному пристрої: за торцем фланця й двом технологічним отворам
125	Технічний контроль	Підсумковий контроль. Контролювати маркування, основні розміри, шорсткість поверхонь, допуски форми й взаємного розміщення поверхонь відповідно до креслення деталі	Стіл ВТК	–
130	Слюсарна	Зняти задирки, притупити гострі кромки	Верстак слюсарний	–

Як видно з таблиці 2.2 пропонується технологічний процес виготовлення півмфти скорочено на 5 операцій. Усунено операції 070 токарно-гвинторізна, 075 технічний контроль, 110 розмічування, операція 115 токарна з ЧПК та 120 технічний контроль (див. таблицю 1.11).

Пропонуваний технологічний процес повсюдно реалізує принципи суміщення та сталості баз, що сприяє підвищенню якості продукції, що виготовляється.

На операції 085 токарної з ЧПК запропонований сучасний токарний верстат TL-3 (Haas), який за співвідношенням ціна-якість вигідно відрізняється від токарного обробного центру Max Muller (Gildemeister).

Радіально-свердлильна операція 125 (див. таблицю 1.11) замінена на комплексну на обробному центрі з ЧПК 100 (див. таблицю 2.2). Як верстатне обладнання пропонується використовувати вертикальний обробний центр Leaderway модель V-1100. Заготовка на цій операції встановлюється у спеціальному верстатному пристрої з використанням механізованого приводу

закріплення, що дозволяє усунути малопродуктивну ручну працю на операції розмічування, скоротити допоміжний час на встановлення та зняття заготовки і таким чином підвищити продуктивність обробки деталі.

У новому технологічному процесі пропонується широке застосування верстатів із ЧПК, що дозволить різко скоротити малопродуктивні методи ручного розмічування, підвищить продуктивність обробки, покращить умови праці робітників. Остаточне питання щодо вибору обладнання вирішимо після відповідного обґрунтування у пункті 2.5 цієї роботи.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Відповідно до завдання розрахунок міжопераційних припусків та розмірів виконаємо для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 413,8h9$ ($R_a = 6,3$ мкм) за методикою проф. В. М. Кована. Остаточний розмір $\varnothing 410h6$ цієї поверхні формується під час обробки деталі у зборі з валом.

В основі методики проф. В. М. Кована лежить розрахунок величини мінімального припуску на i -й перехід (етап) оброблення поверхні за формулою

$$2z_{\min i} = 2\left(Rz_{i-1} + H_{i-1} + \sqrt{\varepsilon_{y_i}^2 + \rho_{i-1}^2}\right),$$

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні, що формується на попередньому переході;

H_{i-1} – глибина дефектного шару, що формується на попередньому переході;

ε_{y_i} – похибка установа заготовки на поточному переході;

ρ_{i-1} – величина просторових відхилень, що формується на попередньому переході.

До технологічного процесу оброблення поверхні в діаметр $413,8h9$ входять такі операції:

- 1) поковка;
- 2) точіння (чорнове);

3) точіння (півчистове);

4) точіння (чистове).

Величину просторових відхилень для поковки слід розраховувати з урахуванням величини короблення поверхні $\rho_{кор}$ й зміщення $\rho_{зм}$ розглянутої поверхні щодо інших ступенів заготовки:

$$\rho_{пок} = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{зм}^2},$$

В результаті маємо

$$\rho_{пок} = \sqrt{1000^2 + 1500^2} \approx 1800 \text{ мкм.}$$

У свою чергу, залишкові значення величин просторових відхилень визначалися з урахуванням коефіцієнта уточнення K_y :

$$\rho_{ост} = \rho_{пок} \cdot K_y,$$

де $K_{y1} = 0,05$ – коефіцієнт уточнення, що відповідає чорновому етапу оброблення.

В результаті маємо

$$\rho_1 = 1800 \cdot 0,05 = 90 \text{ мкм.}$$

Розрахунок припусків здійснимо з використанням прикладної програми Prirusk на ЕОМ. Початкові дані для розрахунку та результати розрахунку наведені у додатку Б цієї роботи.

2.4 Обґрунтування вибору схеми базування й закріплення заготовки

Виконаємо аналіз *комплексної на обробному центрі з ЧПК 100* операції технологічного процесу виготовлення деталі, в ході якої виконується оброблення 7-ми отворів $\varnothing 26H14$ напрохід, 3-х отворів $\varnothing 17,5H12$ напрохід під наступне нарізування різьби M20-7H1, обробка глибини 10js14, обробка 2-х технологічних отворів $\varnothing 20H7$ напрохід (свердлінням, зенкеруванням, розгортанням), зенкування прямих і зворотних фасок $1 \times 45^\circ$, $2,5 \times 45^\circ$, нарізання різьби M20-7H. У базовому технологічному процесі заготовка обробляється на радіально-свердлильному верстаті моделі 2M57 з використанням попереднього розмічування. Як верстатний пристрій використовується комплект УСП. Заготовка встановлюється з попереднім вивірянням, закріплюється за допомогою гвинтових затискачів. При базуванні згідно з базовим технологічним процесом використовуються торцева поверхня маточини діаметром 234 мм (установча база) і зовнішня циліндрична поверхня маточини діаметром 234 мм (подвійна опорна база). Зазначені поверхні заготовки до цього етапу технологічного процесу остаточно оброблені і розвинені, тому вибір їх у ролі базових поверхонь цілком обґрунтований. Однак у даному випадку не витримується принцип суміщення баз: кресленням деталі регламентований позиційний допуск на розташування 7 отворів $\varnothing 26H14$ і 3 отворів M20-7H щодо центрального конічного отвору (база «Е», див. креслення деталі, додаток А).

У пропонованому технологічному процесі виготовлення деталі при встановленні та закріпленні заготовки пропонується використовувати спеціальний верстатний пристрій з установчим елементом у вигляді конічного пальця з пружною опорою і механізованим приводом у вигляді пневмокамери односторонньої дії. Використання спеціального пристосування разом із верстатним обладнанням, оснащеним системою автоматичної зміни інструменту (інструментальним магазином) дозволить підвищити продуктивність виготовлення деталей, реалізувати принцип концентрації операцій, прибрати операцію попереднього розмічування, скоротити кількість робочих місць, знизити кваліфікацію робочих: собівартість механічної обробки заготовок знижується.

Так, при базуванні заготовки за конічним отвором реалізується подвійна опорна база, заготовка позбавляється 2-х ступенів свободи (поступальних переміщень вздовж осі X та осі Y), див. рисунок 2.2. Базування заготовки по торцю маточини (див. малюнок 2.2) реалізує установчу базу, заготовка позбавляється 3-х ступенів свободи (поступального переміщення вздовж осі Z, обертань навколо осі X і навколо Y). Вакантним залишається обертання навколо центральної осі (вісь Z).

Виконаємо аналіз схеми базування малюнку 2.2 з погляду забезпечення точності розмірів.

На розміри, задані в радіальному напрямку, у тому числі на точність позиціонування отворів, що обробляються, похибка базування дорівнює нулю, так як при базуванні заготовки по конічному пружному пальцю відбувається автоматичне центрування заготовки за віссю пальця (зазори в даному випадку усуваються).

При обробці гладких і різьбових отворів використовується мірний осьовий інструмент (свердла, зенкери, розгортки, мітчики) і розмірна точність окремих отворів залежить від стану різального інструменту, ступеня його зношення тощо.

Більшість отворів, що обробляються, є наскрізними, – похибку базування на довжину отворів в даному випадку приймаємо рівною нулю.

Однак, на глибину отвору 12H14 похибка базування не дорівнює нулю ($E_{B10} = T_{252} + T_{26} = 0,52 + 3,0 = 3,52$ мм) і перевищує допуск на розмір 10js14 ($T_{10} = 0,36$ мм), що не дозволяє гарантувати розмірну точність поверхні, що обробляється. Підвищувати точність розмірів 252 мм і 26 мм, що пов'язують технологічну та вимірювальну базу для розміру 10js14 не має сенсу з економічних міркувань. В даному випадку раціональним рішенням буде використання прив'язки різального інструменту по торцю кишені з боку фланцевої частини заготовки. За наявності автоматизованої системи контролю стану заготовки (деталі) у складі верстатного обладнання це рішення не викликає проблем і дозволяє нівелювати похибку базування.

Виконаємо аналіз *фрезерної з ЧПК 110* операції технологічного процесу виготовлення деталі, в ході якої виконується обробка 2-х пазів $\varnothing 80$ мм, $b = 6$ мм

під вихід довбача. Аналіз змісту операції та поверхонь деталі, що претендують на роль базових, дозволяє запропонувати такі схеми базування, див. малюнки 2.3, 2.4.

На рисунку 2.3 представлена схема базування заготовки по плоскій поверхні (зовнішній торець фланця $\varnothing 410$) та двом наскрізним отворам у фланці ($\varnothing 20H7$). При цьому реалізується установча технологічна база, що позбавляє заготовку поступального переміщення вздовж осі Z і обертань навколо X і Y, подвійна опорна база (за циліндричним пальцем ліворуч), що позбавляє заготовку поступальних переміщень вздовж осей X і Y, а також опорна база (за зрізаним пальцем праворуч), що позбавляє заготівлю обертання навколо осі Z. Таким чином, заготовка позбавлена усіх 6 можливих ступенів свободи.

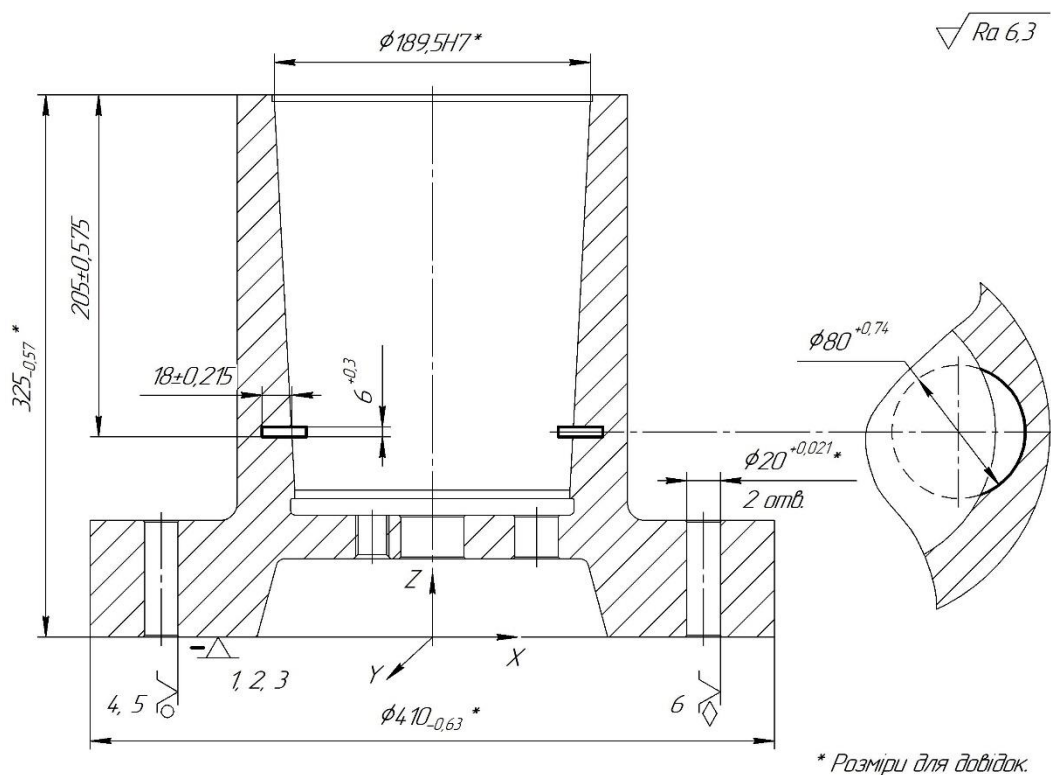


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на фрезерній з ЧПК операції 110

Виконаємо аналіз схеми базування, наведеної на рисунку 2.3 з погляду забезпечення точності розмірів.

Розмір $205 \pm 0,575$ мм забезпечується, не дивлячись на наявність похибки базування, так як допуск на розмір 325 мм, що зв'язує технологічну та

вимірювальну базу, становить 0,57 мм ($E_{B\ 205} = T_{325} = 0,57$ мм), тобто маємо виконання умови

$$T_{325} = 0,57 \text{ мм} < T_{205} = 1,15 \text{ мм}.$$

Розміри $6^{+0,3}$ мм і $80^{+0,74}$ мм забезпечуються за рахунок геометричної точності ріжучого інструменту (висоти 3-х сторонньої дискової фрези) і не залежать від вибору схеми базування.

Точність розміру $18^{+0,74}$ мм залежатиме від точності посадки в парі технологічний отвір-палець $\varnothing 20H7/f7$ (посадка з гарантованим зазором). Технологічний отвір $\varnothing 20H7$ має відхилення $^{+0,021}$ мм, циліндричний палець $\varnothing 20f7$ має відхилення -0,02; -0,041 мм. Таким чином, у радіальному напрямку має місце похибка базування [3]

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

де δ_1 – допуск на діаметр отвору ($T_{\varnothing 20H7} = 0,021$ мм);

δ_2 – допуск на діаметр пальця ($T_{\varnothing 20f7} = 0,021$ мм);

Δ – мінімальний радіальний зазор в посадці заготовки на пальці ($S_{\min \varnothing 20H7/f7} = 0,02$ мм).

$$\varepsilon_{\delta} = 0,021 + 0,021 + 2 \cdot 0,02 = 0,082 \text{ мм}.$$

Розмір похибки базування $E_{B\ 18} = 0,082$ мм значно менше допуску розмір $T_{18} = 0,74$ мм, тобто точність операційного розміру гарантується.

На точність розмірів 205 мм 18 мм впливає точність позиціонування робочих органів верстата, величина якої для верстатів з ЧПК зазвичай не перевищує 0,02 мм.

Отже, з погляду забезпечення розмірної точності схема базування на рисунку 2.3 є прийнятною.

Альтернативна схема базування заготовки передбачає використання призматичної поверхні як базового елемента, див. рисунок 2.4. При цьому заготовка позбавляється 5-ти ступенів свободи: установча технологічна база, що позбавляє заготовку поступального переміщення уздовж осі Z і обертань навколо X і Y, подвійна опорна база (за зовнішньою циліндричною поверхнею фланця), що позбавляє заготовку поступальних переміщень уздовж осей X і Y.

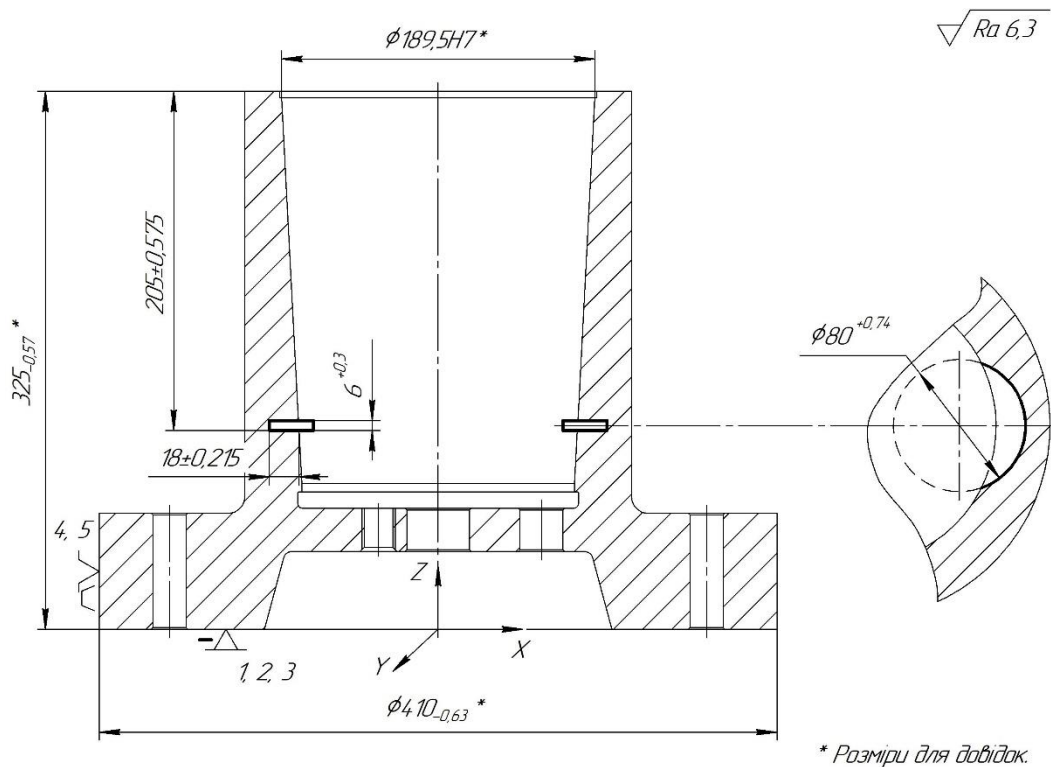


Рисунок 2.4 – Альтернативна схема базування заготовки на операції фрезерній з ЧПК 110

Виконаємо аналіз схеми базування малюнку 2.4 з погляду забезпечення точності розмірів.

За аналогією зі схемою базування на малюнку 2.3 розмір $205_{\pm 0,575}$ мм забезпечується, попри наявність похибки базування, так як допуск на розмір 325 мм, що зв'язує технологічну та вимірювальну базу, становить 0,57 мм ($E_{B 205} = T_{325} = 0,57$ мм), тобто допуск на операційний розмір є більшим за похибку базування.

Розміри $6^{+0,3}$ мм і $80^{+0,74}$ мм забезпечуються за рахунок геометричної точності ріжучого інструменту (висоти 3-х сторонньої дискової фрези) і не залежать від вибору схеми базування.

Точність розміру $18^{+0,74}$ мм визначається похибкою базування при односторонньому притисканні заготовки до призматичної опори [3]:

$$\varepsilon_{B18} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha} = 0,5 \cdot 0,63 \cdot \frac{1}{\sin(45^\circ)} = 0,45 \text{ мм},$$

де $TD = T_{\varnothing 410} = 0,63$ мм – допуск на розмір базової поверхні;

$\alpha = 45^\circ$ – кут призми.

Так як виконується умова

$$E_{B18} = 0,45 \text{ мм} > T_{18} = 0,43 \text{ мм},$$

точність операційного розміру не гарантується.

На точність розмірів 205 мм, 18 мм впливає точність позиціонування робочих органів верстата, величина якої для верстатів з ЧПК зазвичай не перевищує 0,02 мм.

Аналіз наведених схем базування віддає перевагу схемі на малюнку 2.3.

Виконаємо аналіз операції *довбальної 120*, на якій проводиться обробка 2-х пазів $45 \times 9 \times 10,5$ мм. Обробка заготовки проводиться на 2 позиціях (з розворотом на 180°). При базуванні заготовки на операції є сенс використовувати технологічні бази з попередньої вертикально-фрезерної операції 120: торець фланця та два технологічні отвори $\varnothing 20H7$. При такому підході дотримується принцип сталості баз, що в цілому сприяє підвищенню якості виробів, що виготовляються. Щоб виконувався принцип суміщення баз, заготовку необхідно базувати конічним отвором, що неможливо, так як в такому випадку елементи пристосування перекриватимуть доступ інструменту до поверхні, що обробляється. У зв'язку з цим приймаємо схему базування, наведену на малюнку 2.5.

При базуванні заготовки реалізується установча технологічна база, що позбавляє заготовку поступального переміщення вздовж осі Z і обертань навколо X і Y, подвійна опорна база (за циліндричним пальцем ліворуч), що позбавляє заготовку поступальних переміщень вздовж осей X і Y, а також опорна база (за зрізаним пальцем праворуч), що позбавляє заготовку обертання навколо осі Z. Таким чином, заготовка позбавлена всіх 6 можливих ступенів свободи.

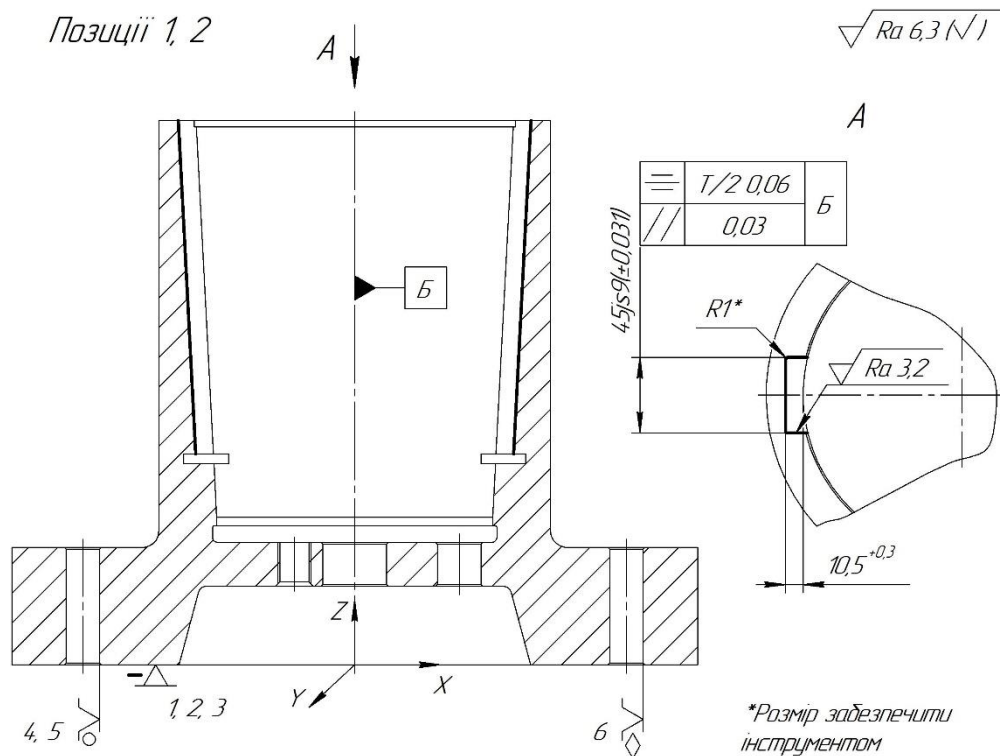


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки на операції довбальній 120

При обробці поверхні паза розміром $10^{+0,3}$ мм має місце похибка базування, яка, як і при базуванні на операції 120, становить 82 мкм. При цьому похибка базування не перевищує допуску на розмір 300 мкм, що дозволяє забезпечити необхідну точність.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

Операція 100 комплексна на обробному центрі з ЧПК. Відповідно до прийнятої в п. 2.4 схеми базування, яка передбачає вертикальне розташування обробного шпинделя, використовувані методи обробки (свердління, зенкерування, розгортання тощо), габарити заготовки, її масу, перевагу віддаємо вертикальному обробному центру моделі V-1100 (у базовому технологічному процесі використовується універсальний радіально-свердлильний верстат моделі 2М57).

Потужні обробні центри V-серії створені спеціально для механічної обробки виробів та використовуються у різних виробництвах. Верстати мають високу швидкість різання, точність позиціонування, надійність, потужність достатньої для обробки навіть загартованих сталей, а компактні розміри є ідеальними для більшості робочих місць, економлять місце і роблять вартість машини розумною. Масивна, але компактна конструкція верстата включає нові аспекти ергономіки, економіки та економії місця.

Основні характеристики вертикального обробного центру моделі V-1100:

- область оброблення за віссю X – 1100 мм;
- область оброблення за віссю Y – 610 мм;
- область оброблення за віссю Z – 600 мм;
- відстань від торця шпинделя до столу – 125–625 мм;
- розміри столу – 1350×600 мм;
- частота обертання шпинделя максимальна – 10000 об/хв.;
- потужність шпинделя – 15/18,5 кВт;
- точність позиціонування – $\pm 0,005$ мм.

Операція 110 фрезерна з ЧПК. Металорізальний верстат вибирається виходячи з вимог до якості поверхні, яку необхідно отримати, необхідної потужності двигунів, габаритів, типу виробництва, кількості інструментів, що використовуються на даній операції.

У заводському технологічному процесі для виконання фрезерної операції використовується універсальний вертикально-фрезерний верстат з хрестовим столом моделі 6550. Більш технологічним на даній операції є застосування верстата з ЧПК з використанням верстатного пристрою з механізованим приводом закріплення заготовки, оскільки це дозволить знизити розряд верстатника на операції, підвищити стабільність параметрів точності, знизити трудомісткість обробки. З урахуванням сказаного приймаємо для обробки пазів вертикально-фрезерний верстат із ЧПК моделі 654Ф3.

Основні характеристики вертикального обробного центру моделі 654Ф3:

- розміри столу - 600×1600 мм;
- найбільше переміщення столу поздовжнє – 1250 мм;
- найбільше переміщення столу поперечне – 630 мм;
- найбільше переміщення столу вертикальне – 630 мм;
- відстань від торця шпинделя до поверхні столу – 530 мм;
- частота обертання шпинделя – 25–1250 об/хв.;
- потужність шпинделя – 15 кВт.

Операція 120 довбальна. При виборі верстата для довбання пазів основними визначальними факторами будуть метод обробки та габарити робочого простору. У зв'язку з цим зупинимо свій вибір на довбальному півавтоматі моделі 7Д430. Верстат 7Д430 призначений для обробки довбанням плоских і фасонних поверхонь, шпонкових пазів і канавок в циліндричних та конічних отворах з кутом конуса при вершині 20°, а також для обробки похилих поверхонь під кутом 10°. металів. На верстатах можна обробляти вироби із чавуну, сталі та кольорових металів. Можливе оброблення деталей масою до 0,5 т.

Основні характеристики вертикального обробного центру моделі 7Д430:

- довжина хода довбача – 120–320 мм;
- діаметр столу – 630 мм;
- відстань від площини столу до направляючих довбача – 500 мм;
- потужність електродвигуна гідроприводу (головного руху) – 7 кВт.

2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки

Операція 100 комплексна на обробному центрі з ЧПК. Відповідно до прийнятої схеми базування заготовки (див. рисунок 2.2) вибираємо спеціальний верстатний пристрій, оснащений установчим елементом у вигляді конічного пальця з пружною основою і опорною шайбою, а також механізованим приводом закріплення заготовки у вигляді пневмокамери односторонньої дії. Використання такого пристрою дозволить знизити витрати часу на допоміжні переходи, пов'язані із закріпленням та установленням заготовки на верстаті.

Перелік використовуваного ріжучого, допоміжного інструменту переходів операції представлений в табл. 2.3. При виборі технологічного оснащення перевагу віддаємо стандартним, нормалізованим різальним інструментам та пристосуванням.

Таблиця 2.3

Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент
А.1 Свердли 7 отв. $\varnothing 26^{+0,52}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 125$ мм згідно з ескізом	Свердло 035-2301-1085 P6M5 ОСТ 2И20-2-80 ($d_{св} = 26$ мм, конус Морзе 3)	Втулка 191831063 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 3)
А.2 Свердли 2 отв. $\varnothing 19^{+0,21}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 325 \pm 0,07$ мм згідно з ескізом	Свердло 035-2301-1055 P6M5 ОСТ 2И20-2-80 ($d_{св} = 19$ мм, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.3 Свердли 3 отв. $\varnothing 17,5^{+0,18}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 72$ мм згідно з ескізом	Свердло 035-2301-1049 P6M5 ОСТ 2И20-2-80 ($d_{св} = 17,5$ мм, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.4 Свердли отв. $\varnothing 12^{+0,43}$ мм на глибину $10 \pm 0,18$ мм, з дотриманням розміру R28 мм згідно з ескізом	Свердло 035-2300-1292 P6M5 ОСТ 2И20-1-80 ($d_{св} = 12$ мм)	Патрон 191113040 ТУ 2-035-986-85 ($d = (5 \dots 20)$ мм, конус 40)
А.5 Зенкувати 7 фасок $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 26H14$ згідно з ескізом	Зенківка 2353-0136 P6M5 ГОСТ 14953-80 ($d_{max} = 31,5$ мм, $d_{min} = 9,0$ мм, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.6 Зенкувати 7 зворотних фасок $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 26H14$ згідно з ескізом	Зенкер спеціальний (Erix) P6M5	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.7 Зенкувати 3 фаски $2,5 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 17,5H12$ й 1 фаску $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 12H14$ згідно з ескізом	Зенківка 2353-0136 P6M5 ГОСТ 14953-80 ($d_{max} = 31,5$ мм, $d_{min} = 9,0$ мм, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)

Продовження таблиці 2.3

Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент
А.8 Зенкувати 2 фаски $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 19H12$ згідно з ескізом	Зенківка 2353-0136 P6M5 ГОСТ 14953-80 ($d_{max}=31,5$ мм, $d_{min}=9,0$ мм, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.9 Зенкувати 2 зворотних фаски $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 19H12$ згідно з ескізом	Зенкер спеціальний (Erix) P6M5	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.10 Зенкерувати 2 отв. $\varnothing 19,6H9$ напрохід згідно з ескізом	Зенкер 035-2320-0015 P6M5 ТУ 2-035-926-83 ($d_p=19,6$ мм, суцільний, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)
А.11 Нарізати різь М20-7Н (3 отв.) напрохід попередньо згідно з ескізом	Мітчик 035-2620-0567 P6M5 ОСТ 2И52-1-74 (мітчик №1, М20, суцільний, заборна частина $l=15$ мм)	Патрон регульований різьбонарізний 191221130А ТУ 2-035-975-85 (М18...М27)
А.12 Нарізати різь М20-7Н (3 отв.) напрохід кінцево згідно з ескізом	Мітчик 035-2620-0568 P6M5 ОСТ 2И52-1-74 (мітчик №2, М20, суцільний, заборна частина $l=7,5$ мм)	Патрон регульований різьбонарізний 191221130А ТУ 2-035-975-85 (М18...М27)
А.13 Розгорнути 2 отв. $\varnothing 20H7$ напрохід згідно з ескізом	Розгортка 2363-3463 P6M5 ГОСТ 1672-80, тип 2 ($d_p=20$ мм, суцільна, конус Морзе 2)	Втулка 191831062 ТУ 2-035-978-85 (конус 40, конус Морзе 2)

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89, калібр-пробка D20H7 ПР-НЕ, калібр-пробка різьбовий М20-7Н ПР-НЕ, зразки шорсткості за ГОСТ 9378-75.

Операція 110 фрезерна з ЧПК. Відповідно до прийнятої схеми базування заготовки (див. рисунок 2.3) вибираємо спеціальний механізований пристрій, використання якого дозволить знизити витрати часу на допоміжні переходи, пов'язані із закріпленням та установленням заготовки на верстаті.

Перелік використовуваного різального, допоміжного та вимірювального інструменту наведено у таблиці 2.4. При виборі різального інструмента необхідно звернути увагу на матеріал різальної частини, геометрію, їх габарити. При цьому необхідно враховувати:

- 1) метод обробки поверхні;
- 2) етапи обробки;
- 3) використання мастильно-охолоджувальної рідини;
- 4) габарити верстата;
- 5) матеріал заготовки та її стан.

Таблиця 2.4

Зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент
Фрезерувати 2 паза D80H14, $b = 6^{+0,3}$ мм, з дотриманням розміру $205 \pm 0,575$ мм й $18^{+0,74}$ мм	Фреза 2240-0395 ГОСТ 3755-78, P6M5 ($d = 27H7, z = 18$)	Оправка 191432085 ТУ2-035-990-85

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89.

Операція 120 довбальна. Відповідно до прийнятої схеми базування заготовки (див. рисунок 2.5) вибираємо спеціальний механізований пристрій, використання якого дозволить знизити витрати часу на допоміжні переходи, пов'язані із закріпленням та встановленням заготовки на верстаті.

Ріжучий інструмент: різець довбальний спеціальний $b = 16$ мм, P6M5K5, різець довбальний спеціальний $b = 45$ мм, P6M5K5.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89; пробка 45js9 ПР-НЕ, пробка 45D10 ПР-НЕ, зразки шорсткості за ГОСТ 9378-75.

2.7 Визначення режимів різання

Операція 100 комплексна на обробному центрі з ЧПК. Відповідно до завдання на проектування визначення режимів різання на свердління наскрізного отвору $\varnothing 26H14$ (7 отворів) виконаємо відповідно до аналітичної методики згідно з рекомендаціями [6].

Початкові дані:

- зміст переходу: свердлити 7 отворів $\varnothing 26^{+0,52}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 125$ мм згідно з ескізом;

- устаткування: вертикальний обробний центр моделі V-1100 (див. п. 2.5);

- оброблюваний матеріал – сталь 30X13, $\sigma_B = 735$ МПа, HB = 250;

- ріжучий інструмент – свердло 035-2301-1085 P6M5 ОСТ 2И20-2-80 ($d_{св} = 26$ мм, конус Морзе 3);

- заготовка – поковка;

- ЗОР – емульсія.

Режими різання на інші переходи операції визначимо згідно з рекомендаціями нормативів [7].

Режими різання на операцію наведемо у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Елементи режимів різання

Зміст переходу	D (B), мм	L, мм	t, мм	i	So, мм/об	п, об/хв.	V, м/хв.	To, хв.
А.1 Свердли 7 отв. $\varnothing 26^{+0,52}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 125$ мм згідно з ескізом	26	32	13	7	0,25	420	34,29	2,13
А.2 Свердли 2 отв. $\varnothing 19^{+0,21}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 325 \pm 0,07$ мм згідно з ескізом	19	76	9,5	2	0,25	400	23,86	7,22
А.3 Свердли 3 отв. $\varnothing 17,5^{+0,18}$ мм напрохід, з дотриманням розміру $\varnothing 72$ мм згідно з ескізом	17,5	32	8,75	3	0,2	620	34,07	2,26
А.4 Свердли отв. $\varnothing 12^{+0,43}$ мм на глибину $10 \pm 0,18$ мм, з дотриманням розміру R28 мм згідно з ескізом	12	12	6	1	0,16	900	33,91	0,50
А.5 Зенкувати 7 фасок $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 26H14$ згідно з ескізом	26	6	7	1	0,1	130	10,6	3,23
А.6 Зенкувати 7 зворотних фасок $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 26H14$ згідно з ескізом	26	6	7	1	0,1	130	10,6	3,23
А.7 Зенкувати 3 фаски $2,5 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 17,5H12$ й 1 фаску $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 12H14$ згідно з ескізом	22	4	2,5	3	0,1	150	10,4	0,80
А.8 Зенкувати 2 фаски $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 19H12$ згідно з ескізом	19	4	1	2	0,1	170	10,1	0,47
А.9 Зенкувати 2 зворотних фаски $1 \times 45^\circ$ в отв. $\varnothing 19H12$ згідно з ескізом	19	4	1	2	0,1	170	10,1	0,47
А.10 Зенкерувати 2 отв. $\varnothing 19,6H9$ напрохід згідно з ескізом	19,6	76	0,3	2	0,4	400	24,6	0,95
А.11 Нарізати різь М20-7Н (3 отв.) напрохід попередньо згідно з ескізом	20	38	-	3	2,5	160	10,0	0,29
А.12 Нарізати різь М20-7Н (3 отв.) напрохід кінцево згідно з ескізом	20	34	-	3	2,5	160	10,0	0,26
А.13 Розгорнути 2 отв. $\varnothing 20H7$ напрохід згідно з ескізом	20	78	0,2	2	0,6	240	15,1	1,08
ΣT_0								22,89

За попередніми розрахунками машинно-допоміжний час на операції склав $T_{mv} = 8,44$ хв. Час автоматичного циклу на операції $T_{ца} = T_{o\Sigma} + T_{mv} = 22,89 + 8,44 = 31,33$ хв.

Операція 110 фрезерна з ЧПК.

Початкові дані:

- зміст переходу: фрезерувати 2 пази D80H14, $b = 6^{+0,3}$ мм, з дотриманням розмірів $205 \pm 0,575$ мм й $18^{+0,74}$ мм;

- устаткування: вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі 654Ф3 (див. п. 2.5);

- оброблюваний матеріал – сталь 30X13, $\sigma_B = 735$ МПа, НВ = 250 МПа;

- заготовка – поковка.

- ЗОР – емульсія.

Визначення режимів різання виконаємо відповідно до аналітичної методики згідно з рекомендаціями [6].

В результаті маємо: глибина різання $t = 18$ мм, подача на зуб фрези $S_z = 0,08$ мм/зуб, період стійкості фрези $T = 120$ хв., швидкість різання $V = 10$ м/хв., частота обертання шпинделя $n = 40$ об/хв., хвилинна подача $S_{xв} = 58$ мм/хв., тангенціальна складова сили різання $P_z = 3266$ Н, крутний момент $M_{кр} = 1306$ Нм, потужність різання $N = 0,5$ кВт, основний час на перехід (з урахуванням оброблення двох пазів) $T_o = 0,79$ хв.

Операція 120 довбальна.

Початкові дані:

- зміст переходу: попередньо довбати шпонковий паз шириною 44H12, Ra = 6,3 мкм (45js9, Ra = 3,2 мкм) напрохід;

- оброблювана поверхня: шпонковий паз шириною 44 мм, виконуваний напрохід з дотриманням розміру за глибиною паза $9,5^{+0,36}$;

- матеріал заготовки – сталь 30X13 ГОСТ 5632-72, $\sigma_B = 735$ Мпа;

- довжина оброблення – 200 мм;

- шорсткість поверхні – Ra = 6,3 мкм;
- устаткування: довбальний верстат моделі 7Д430 (див. п. 2.5);
- інструмент: різець довбальний спеціальний шириною 16 мм, матеріал: швидкорізальна сталь Р6М5К5 ГОСТ 19265-73, розміри поперечного перерізу 25×25 мм.

Визначення режимів різання виконаємо відповідно до аналітичної методики згідно з рекомендаціями [6].

В результаті маємо: глибина різання $t = 16$ мм, подача різця $S_{II} = 0,2$ мм/пдв.хід, швидкість різання $V = 8,98$ м/хв., кількість подвійних ходів різця $n = 24$ пдв.хід./хв., сила різання $P_z = 7320$ Н, потужність різання $N_p = 1,073$ кВт, основний час на перехід $T_{o1} = 7,812$ хв.

Під час оброблення паза в розмір 45js9 маємо такі режими різання: $t = 2$ мм; $S_{II} = 0,16$ мм/пдв. хід; $V = 8,98$ м/хв.; $n = 24$ пдв. хід/хв.; $T_{o2} = 3,255$ хв.

З урахуванням обробки двох протилежних пазів, сумарний основний час на операцію складе $T_o = 22,134$ хв.

2.8 Технічне нормування операцій

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК при роботі на одному верстаті визначається згідно [8] за формулою

$$T_{шт.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \quad (2.1)$$

Норма штучного часу визначається згідно [8] за формулою

$$T_{шт} = (T_{ц.а} + T_{д}) \cdot \left(1 + \frac{a_{ТЕХ} + a_{ОРГ} + a_{ВДП}}{100} \right), \quad (2.2)$$

де $T_{ц.А.}$ – час циклу автоматичної роботи верстата;

$$T_{ц.А.} = T_O + T_{МД}, \quad (2.3)$$

T_O – основний (технологічний) час, на обробку однієї деталі, хв.;

T_D – допоміжний час, хв.;

$T_{МД}$ – машинно-допоміжний час за програмою, хв.;

$a_{ТЕХ}$ – час на технічне обслуговування робочого місця, хв.;

$a_{ОРГ}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$a_{ОТД}$ – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.;

$T_{П.З}$ – підготовчо-завершальний час, хв.;

n – партія запуску.

Допоміжний час визначають за формулою

$$T_D = T_{Дуст} + T_{Доп} + T_{Двим}, \quad (2.4)$$

де $T_{Дуст}$ – допоміжний час на установлення та зняття заготовки;

$T_{Доп}$ – допоміжний час, пов'язаний з операцією;

$T_{Двим}$ – допоміжний час на контрольні вимірювання.

Норма підготовчо-завершального часу визначають за формулою

$$T_{П.З} = T_{П.З.1} + T_{П.З.2} + T_{ПР.ОБР}, \quad (2.5)$$

де $T_{П.З.1}$ – норма часу на організаційну підготовку, хв.;

$T_{П.З.2}$ – норма часу на налагодження верстата, пристрою, інструмента, програмних пристроїв, хв.;

$T_{ПР.ОБР}$ – норма часу на пробне оброблення.

Машинно-допоміжний час визначають за формулою

$$T_{МД} = T_{МДх.х} + T_{МДін}. \quad (2.6)$$

де $T_{МДх.х}$ – час на холості ходи, хв.;

$T_{МДін}$ – час на заміну інструмента, хв.

Операція 100 комплексна на обробному центрі з ЧПК.

Основний час на операцію $T_O = 22,89$ хв.

Машинно-допоміжний час $T_{МД} = 8,44$ хв.

Тоді

$$T_{ц.а} = 22,89 + 8,44 = 31,33 \text{ хв.}$$

Допоміжний час $T_D = 6,44$ хв.

Час на організаційне та технічне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби наведено у відсотках від оперативного часу 14%.

Кінцево норма штучного часу становить

$$T_{шт} = (31,33 + 8,44) \cdot (1 + 0,14) = 43,05 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час $T_{п.з} = 44,42$ хв.

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК

$$T_{шт.к} = 43,05 + \frac{44,42}{19} = 45,40 \text{ хв.}$$

Операція 110 фрезерна з ЧПК.

Основний час на операції $T_O = 0,79$ хв.

Машинно-допоміжний час на операцію становить

$$T_{МД} = 0,11 + 0 = 0,11 \text{ хв.}$$

В результаті маємо час автоматичного циклу

$$T_{ц.а.} = 0,79 + 0,11 = 0,9 \text{ хв.}$$

Допоміжний час:

$T_{Дуст} = 2,7 + 0,09 = 2,79$ хв. – час на установлення заготовки на стіл верстата по двох пальцях за допомогою підйомника (2,7 хв.) та час на закріплення та відкріплення заготовки поворотною планкою рукояткою пневматичного затискача (0,09 хв.);

$T_{Доп} = 0,60 + 0,20 = 0,80$ хв. – допоміжний час пов'язаний з операцією, що складається з установки заданого положення деталі та інструменту за координатами X, Y, Z та при необхідності підналагодження (0,60 хв.) та перевірки приходу деталі та інструменту в задану точку після оброблення (0,20 хв.);

$T_{Двим} = 0,08$ хв. – час на контрольні вимірювання.

В результаті маємо

$$T_{Д} = 2,79 + 0,80 + 0,08 = 3,67 \text{ хв.}$$

Час на організаційне та технічне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби наведено у відсотках від оперативного часу та становить 9%.

Остаточна норма штучного часу дорівнює

$$T_{шт} = (0,9 + 3,67) \cdot (1 + 0,09) = 4,98 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час складається з:

$T_{П.ЗІ} = (10 + 2 + 2) = 14$ хв. – норматив на організаційну підготовку, до якого входить: отримати наряд, креслення, технологічну документацію, програмоносій, різальний та допоміжний інструмент, пристосування для закріплення заготовки виконавцем до початку та здати їх після закінчення обробки партії деталей у інструментально-роздавальній коморі (10 хв.), ознайомлення з роботою (2 хв.) та інструктажу майстра (2 хв.);

$T_{п.32} = (3,0+2,0+0,3+0,2+0,4+1,6+3,0+1,1+0,3) = 11,9$ хв. – норматив на налагодження верстата, пристосувань, інструменту, програмних пристроїв, що складається з переналагодження на деталь пристосування УСП (3,0 хв.), підключення пристосування до пневмомережі (2,0 хв.), переміщення столу в зону зручну для налагодження (0,3 хв.), встановлення вихідних режимів роботи верстата (0,2 хв.), встановити та зняти інструмент (0,4 хв.), ввести програму в пам'ять системи ЧПК (1,6 хв.), налаштувати нульове положення (3,0 хв.), встановити інструмент по осі Z (1,1 хв.), налаштувати пристрій для подачі ЗОР (0,3 хв.).

Норма часу на пробне оброблення $T_{пр.обр} = 0$ хв.

В результаті норма підготовчо-завершального часу становить

$$T_{п.3} = 14 + 11,9 = 25,9 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК становить

$$T_{шт.к} = 4,98 + \frac{25,9}{19} = 6,34 \text{ хв.}$$

Операція 120 довбальна.

Основний час на операцію становить $T_0 = 22,134$ хв.

Допоміжний час на операцію з урахуванням зміни позиції оброблюваної заготовки, часу на встановлення-зняття заготовки, часу на керування верстатом, часу на контрольні виміри $T_D = 3,42$ хв.

Оперативний час

$$T_{оп} = T_0 + T_D = 22,134 + 3,42 = 25,554 \text{ хв.}$$

Час на організаційне та технічне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби наведено у відсотках від оперативного часу 8%.

Кінцево норма штучного часу становить

$$T_{шт} = 25,554 \cdot (1 + 0,08) = 27,86 \text{ хв.}$$

З урахуванням підготовчо-завершального часу $T_{п.з} = 22,4$ хв. штучно-калькуляційний час на операцію становить

$$T_{шт.к} = 27,86 + \frac{22,4}{19} = 28,78 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

Відповідно до завдання спроектуємо спеціальний верстатний пристрій на операцію 110 фрезерну з ЧПК пропонованого технологічного процесу виготовлення «півмуфти».

Розглянута операція виконується на вертикальному фрезерному верстаті з ЧПК моделі 654Ф3.

На зазначеній операції проводиться фрезерування 2-х пазів висотою $6^{+0,3}$ мм у розмір $80^{+0,74}$ мм, на відстані $205 \pm 0,575$ мм від торця маточини (див. рисунок 2.3). Шорсткість поверхонь пазів відповідає 6,3 мкм за критерієм R_a . Зазначені пази призначені для виходу інструменту при довбанні пазів шириною 45Js9 і 45D10 відповідно, у зв'язку з цим особливі вимоги щодо точності форми і розташування поверхонь пазів, що фрезеруються, не обумовлюються.

З метою зниження трудомісткості обробки та розряду верстатника, а також підвищення стабільності параметрів точності операції, для встановлення та закріплення заготовки проектуємо спеціальний верстатний пристрій з механізованим (пневмо-) приводом.

На цю операцію заготовка надходить після остаточного оброблення. На даний момент точність зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь деталі

відповідає 12 квалітету точності, шорсткість поверхонь – 6,3 мкм за критерієм R_a . На момент реалізації операції для базування заготовки на даній та наступних операціях підготовлено спеціальні технологічні бази – два циліндричні отвори $\varnothing 20H7$ (див. рисунок 2.3). Згідно з прийнятою схемою базування (див. рисунок 2.3) при базуванні заготовки реалізується установча технологічна база, що позбавляє її переміщення вздовж осі Z і обертань навколо X і Y , подвійна опорна база (за циліндричним пальцем, ліворуч), що позбавляє заготовку поступальних переміщень вздовж осей X і Y , а також опорна база (за зрізаним пальцем, праворуч), що позбавляє заготівлю обертання навколо осі Z . Таким чином, заготівка позбавлена усіх 6 можливих ступенів свободи.

Прийнята схема базування забезпечує необхідну розмірну точність і вільний доступ ріжучого інструменту до поверхонь, що обробляються. При цьому сили закріплення можуть бути додані до поверхні внутрішнього торця фланцевої частини заготовки, до якої є вільний доступ.

Проектований верстатний пристрій також може бути використаний на довбальній операції 120. Силовий розрахунок пристрою виконаємо для умов обробки заготовки на операції 110 фрезерній з ЧПК, так як на ній виконується фрезерування пазів із великими глибинами різання. Крім того, найбільші за величиною складові сили різання при фрезеруванні пазів діятимуть у напрямку паралельного базового торця заготовки, намагаючись змістити її відносно пальців. При довбанні сили різання притискатимуть заготовку до опорної поверхні, створюючи додаткове зусилля закріплення.

В п. 2.7 даної роботи представлені режими різання на фрезерування пазів, що розглядаються: $t = 18$ мм, $S_z = 0,08$ мм/зуб, $n = 40$ об/хв., $V = 10$ м/хв., $S_{xg} = 57,6$ мм/хв., $P_z = 3,266$ кН.

Розглянемо взаємодію сил різання та сил закріплення при фрезеруванні пазів згідно зі схемою на рисунку 2.6.

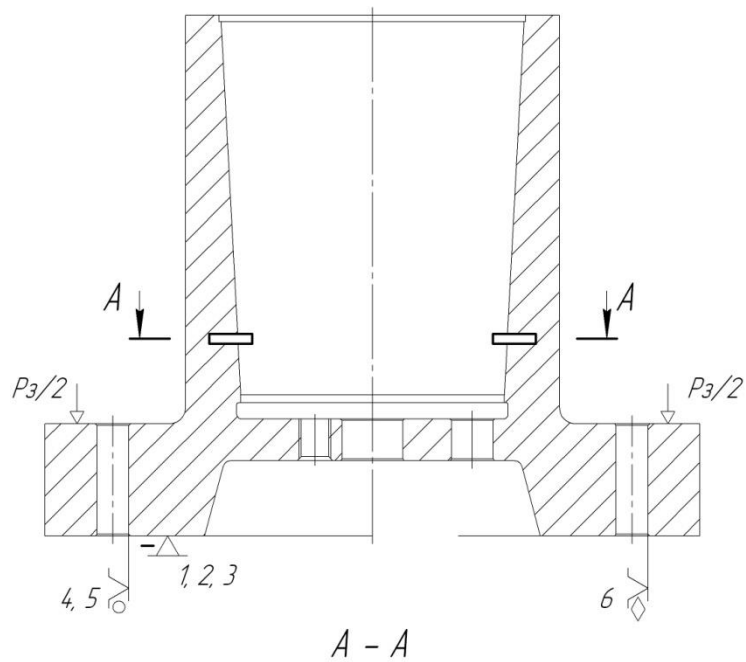


Рисунок 2.6 – Схема взаємодії сил різання й сил закріплення

За схемою на рисунку 2.6 видно, що силі різання P_z протидіє поле сил тертя F_{mp} . При цьому для забезпечення нерухомості заготовки в процесі її обробки має виконуватися умова

$$F_{mp} \geq P_z,$$

або

$$F_{mp} = K_{зан} \cdot P_z,$$

де F_{mp} – сила тертя, що утворюється силами закріплення;

$K_{зан}$ – коефіцієнт запасу.

В свою чергу силу тертя можна розрахувати за формулою

$$F_{mp} = P_3 \cdot (f_1 + f_2),$$

де P_3 – сила закріплення;

f_1 й f_2 – коефіцієнти тертя в місцях контакту заготовки з опорами й з затискним механізмом відповідно.

Виходячи з цього маємо рівняння для розрахунку сили закріплення:

$$P_3 = \frac{K_{зан} \cdot P_z}{f_1 + f_2},$$

Коефіцієнт запасу визначимо за відомою формулою [6]:

$$K_{зан} = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де $K_0 = 1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу; $K_1 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання спричинене випадковими нерівностями на оброблюваній поверхні; $K_2 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання спричинене притупленням ріжучого інструменту; $K_3 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує переривчасті умови різання; $K_4 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує тип привода; $K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зручність обслуговування ручного привода; $K_6 = 1,5$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на опорах.

В результаті маємо:

$$K_{zan} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,24.$$

Коефіцієнт тертя $f_1 = f_2 = 0,16$ [4].

В результаті сила закріплення становитиме

$$P_3 = \frac{3,24 \cdot 3266}{0,16 + 0,16} \approx 33068 \text{ Н.}$$

Як механізований привод пристосування планується використовувати 2 пневмокамери односторонньої дії з гумовотканинною мембраною, які в сумі повинні забезпечити силу затиску рівну $P_3 \geq 33068$ Н. Виконаємо розрахунок робочого діаметра пневмокамери для умов, що сумарна сила затиску P_3 повинна перевищувати розрахункове значення (для однієї пневмокамери сила на штоку $Q = P_3/2$), сила, що розвивається зворотною пружиною $q = 120$ Н (беремо з конструктивних міркувань), тиск в мережі – $p = 0,4$ МПа.

$$D_k \approx \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{P_3}{2 \cdot a} + q \right)}{\pi \cdot p \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{33068}{3 \cdot 2} + 120 \right)}{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,8}} = 0,183 \text{ м.}$$

де $a = 2$ – співвідношення плечей прихвата (беремо з конструктивних міркувань).

Беремо найближчий більший стандартний діаметр пневмокамери $D_k = 200$ мм.

Розрахункове зусилля на штоку пневмокамери з урахуванням сили зворотної пружини $q = 120$ Н приймаємо рівним $Q = 9933$ Н. З урахуванням співвідношення плечі прихвату $a = 2$ сила затиску, створювана однією пневмокамерою – $Q \cdot 2 = 9933 \cdot 2 = 19870$ Н. Тоді $P_3 = 19870 \cdot 2 = 39730$ Н.

Діаметр опорної шайби пневмокамери беремо таким $D_{ш} = 0,7 \cdot D = 140$ мм.

Раніше було сказано, що проєктований верстатний пристрій також може бути використаний на операції довбальній. При цьому розрахунок пристосування «на точність» виконаємо для умов забезпечення точності розташування поверхонь, що обробляються саме на довбальній операції.

До розрахункових параметрів, які більшою мірою вплинуть на досягнення заданих допусків оброблюваної заготовки, буде відхилення положення загальної осі установчих пальців щодо загальної осі шпонок в горизонтальній площині, за допомогою яких верстатний пристрій базується щодо центрального пазу стола верстата. Недотримання цієї вимоги може призвести до відхилення від симетричності розташування бокових поверхонь оброблюваних довбанням пазів.

Допустиме відхилення від симетричності бокових поверхонь оброблюваних пазів на операції довбання становить $T/2 = 0,1$ мм (щодо центральної осі деталі).

Допустиму похибку верстатного пристрою визначимо за формулою

$$E_{\text{пр}} = T - K \sqrt{(K_1 \cdot E_6)^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\text{зн}}^2 + E_{\text{п}}^2 + (K_2 \cdot \omega)^2}.$$

Беремо: $K = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення від нормального закону розподілення окремих складових рівняння; $K_1 = 0,8$ – для випадків, коли $E_6 \neq 0$; $E_6 = 0,082$ мм – похибка базування (для умов базування заготовки по отворах за установчими пальцями); E_3 – похибка закріплення, наразі похибкою закріплення можна знехтувати, $E_3 = 0$ мкм; E_y – похибка установлення пристрою на стіл верстата через установчі шпонки в центральному пазу стола верстата. За попередніми розрахунками беремо $E_y = 0,086$ мм; $E_{\text{зн}}$ – похибка від зношення установчих елементів пристосування, беремо $E_{\text{зн}} = 0$ мкм (за умови рівномірного зношення елементів); $E_{\text{п}}$ – похибка установлення та прекосу інструменту на верстаті, не впливає на точність оброблення пазів, тому беремо $E_{\text{п}} = 0$ мкм; $K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки оброблення; $\omega = 100$ мкм [10] – середня економічна точність обробки.

Для обумовлених умов отримаємо:

$$E_{np} \uparrow = 100 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 82)^2 + 0 + 86^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 100)^2} = 28 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних беремо допуск перекоосу загальних осей установчих пальців та установчих шпонок у горизонтальній площині у розмірі 25 мкм.

Опис пристрою та принципу його дії.

До складу пристрою входить плита 1, в нижній частині якої знаходяться 2 порожнини, в яких розташовуються пневмокамери односторонньої дії. Також у нижній частині плити 1 у пазах закріплені установчі призматичні шпонки. У верхній частині плити 1 за допомогою пальця 8 і гвинтів 6 встановлена опора 2, на якій змонтовані установчі пальці 7 і 8. У верхній частині плити 1 встановлені стійки, які слугують опорами для прихватів. Для транспортування пристрою призначені рим-болти 9.

Процес установлення та закріплення заготовки полягає в наступному. У вихідному положенні прихвати пристосування відвернуті у бік від опори 2. Заготовка встановлюється на опору 2 по своїй нижній поверхні і на пальці 7 і 8 по технологічних отворах $\varnothing 20H7$. Прихвати вручну встановлюються у робочу позицію. У нижню порожнину пневмокамер подається стиснене повітря. Шток пневмокамери піднімається вгору, переміщаючи вгору довге плече прихвату. Коротке плече прихвату відповідно переміщується донизу – відбувається закріплення заготовки. Для розкріплення заготовки по закінченні циклу обробки припиняється подача повітря в пневмокамеру, зворотна пружина штовхає шток пневмокамери вниз, прихват звільняється і вручну відвертається в бік від заготовки. Здійснюється заміна заготовки.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Згідно з завданням, необхідно спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій (КВП) для контролю торцевого биття поверхні внутрішнього торця

діаметром 185 мм «півмуфти Н80.54.556.02» щодо її центральної осі (база «Е») з допуском 0,05 мм.

Річна програма випуску визначена в 200 деталей, що відповідає дрібносерійному типу виробництва. При заданому періоді виробництва виробів у 5 років при суцільному контролі проектований КВП повинен здійснити 1000 робочих циклів для перевірки запланованого обсягу випуску.

Відповідно до завдання контроль торцевого биття деталі буде здійснюватися після чистового токарного оброблення заготовки на робочому місці контролера ВТК.

На цей час контроль торцевого биття «півмуфти» здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема, токарного самоцентрувального патрону і магнітної індикаторної стійки безпосередньо на токарному верстаті. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка допуску проводиться із залученням верстатного устаткування, розташованого на механічній дільниці далеко від дільниці ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу обробки і якості виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку надають суб'єктивні особливості оператора, у зв'язку з чим похибка контролю може досягати 25% [11].

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

Кресленням деталі допуск на торцеве биття заданий в розмірі 0,05 мм, що відповідає стандартному ряду допусків та 8-му ступеню точності згідно з [12].

Продукція, що випускається за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати сучасним вимогам діючих стандартів. Таку продукцію відносять до 1-ї категорії якості. Обмежимося 3-й категорією контролю [13]. Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймаємо нормальний режим контролю згідно з

ГОСТ 20736-75. Установимо такі показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [13].

З урахуванням цього під час випуску запланованого обсягу продукції необхідно перевірити торцеве биття 1000 деталей. Виходячи з цього, спроекуємо нерозбірне спеціальне пристосування (НСП).

Торцеве биття визначається сумарним відхиленням торцевої поверхні від площинності та відхиленням цієї поверхні від перпендикулярності щодо базової осі й кількісно дорівнює різниці Δ найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі.

Виходячи з вищевказаного визначення, під час контролю торцевого биття, останнє визначатимемо за поверхнею діаметром 185 мм не ближче 2–3 мм до її зовнішнього краю (отвори $\varnothing 26$ та M20 згідно з існуючим маршрутом оброблення заготовки будуть формуватися уже після операції контролю торцевого биття).

За контрольовану поверхню беремо торцеву поверхню $\varnothing 185$, розташовану на відстані 28,5 мм від крайнього лівого торця деталі. Визначимо кількісно параметри точності цієї поверхні.

Торцева поверхня $\varnothing 185$ в осьовому напрямку повинна бути виконана з дотриманням розміру $26(+2,0;-1,0)$, що встановлює товщину простінка. Номінальний розмір – 26 мм. Допуск на розмір поверхні в осьовому напрямку згідно з кресленням деталі становить $T_{26} = 3,0$ мм (найближчий стандартний допуск становить 3,3 мм, що відповідає 18 квалітету точності). Таким чином верхнє відхилення розміру становить $ES = +2,0$ мм, нижнє відхилення $EI = -1,0$ мм.

Точність форми контрольованої поверхні кресленням деталі не регламентовано. Тому, як точність форми, розглянемо, характерне для плоскої поверхні її відхилення від площинності. Так як допуск на точність форми поверхні не вказано, то ми беремо його в межах допуску на відповідний осьовий розмір. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск площинності становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{26} = 0,3 \cdot 3,0 = 0,9 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному значенню 0,8 мм та 15-му ступеню точності згідно з [12].

Точність взаємного розташування для контрольованої поверхні регламентована як допуск торцевого биття 0,05 мм відносно центральної осі деталі (база «Е»), що відповідає 8-му ступеню точності.

Шорсткість контрольованої поверхні «півмуфти» регламентована кресленням деталі та становить 3,2 мкм за критерієм Ra.

Контроль заданого параметра здійснюється після чистового токарного оброблення заготовки на столі ВТК. Деталь за своїми конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технологічними – до півмуфт. Маса деталі – 98 кг. Матеріал – конструкційна легована сталь з особливими властивостями 30X13 ГОСТ 5632-72, призначена для виготовлення деталей, що працюють на зношення та у слабоагресивних середовищах.

Сталь 30X13 має середній вміст вуглецю – 0,26–0,35%, хрому – 12,0–14%, марганцю – 0,8%, кремнію – 0,8%, міді – 0,3%, нікелю – 0,6%. Окрім цих елементів у розглянутій сталі може бути незначний вміст титану, сірки та фосфору.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базові може лише одна поверхня, щодо якої і заданий контроль торцевого биття: довгий конічний отвір $\varnothing 189,5H7$. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської (вимірювальної) та технологічної баз, що визначають контроль заданого параметра. Визначимо кількісно параметри точності цієї поверхні.

Конічний отвір $\varnothing 189,5H7$ виконаний за 7-м квалітетом точності з допуском 0,046 мм [2]. Номінальний розмір – 189,5 мм. Верхнє відхилення ES = +0,046 мм; нижнє відхилення EI = 0 мм. Точність форми конічного отвору кресленням деталі не регламентовано. Характерним для циліндричної поверхні є допуск від круглості. Визначимо його величину для умов нормальної відносної геометричної точності «А», як 30% від допуску на діаметр поверхні:

$$T_{\bigcirc} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 189,5H7} = 0,3 \cdot 0,046 = 0,0138 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,012 мм та 6-му ступеню точності [12].

Точність взаємного розташування конічного отвору кресленням деталі не регламентовано. Характерним для конічного отвору є, наприклад, допуск перпендикулярності, величину якого визначимо для умов нормальної геометричної точності «А», як 60% від допуску на діаметр отвору:

$$T_{\perp} = 0,6 \cdot T_{\varnothing 189,5H7} = 0,6 \cdot 0,046 = 0,0276 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,030 мм та 7-му ступеню точності [12].

Шорсткість поверхні конічного отвору $\varnothing 189,5H7$ відповідає 1,6 мкм за критерієм Ra.

Аналізуючи параметри точності поверхні конічного отвору приходимо до висновку про придатність розглянутої поверхні на роль базової.

На рисунку 2.7 наведено схему базування контрольованої деталі. Бачимо, що базування за поверхнею конічного отвору $\varnothing 189,5H7$ реалізує подвійну напрямну та опорну базу, що позбавляє деталь 5-х ступенів вільності: поступальних переміщень уздовж осі Z (центральної осі деталі), осі X та осі Y, та обертання навколо осі X та Y. Вакантним залишається обертання навколо центральної осі деталі (осі Z).

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

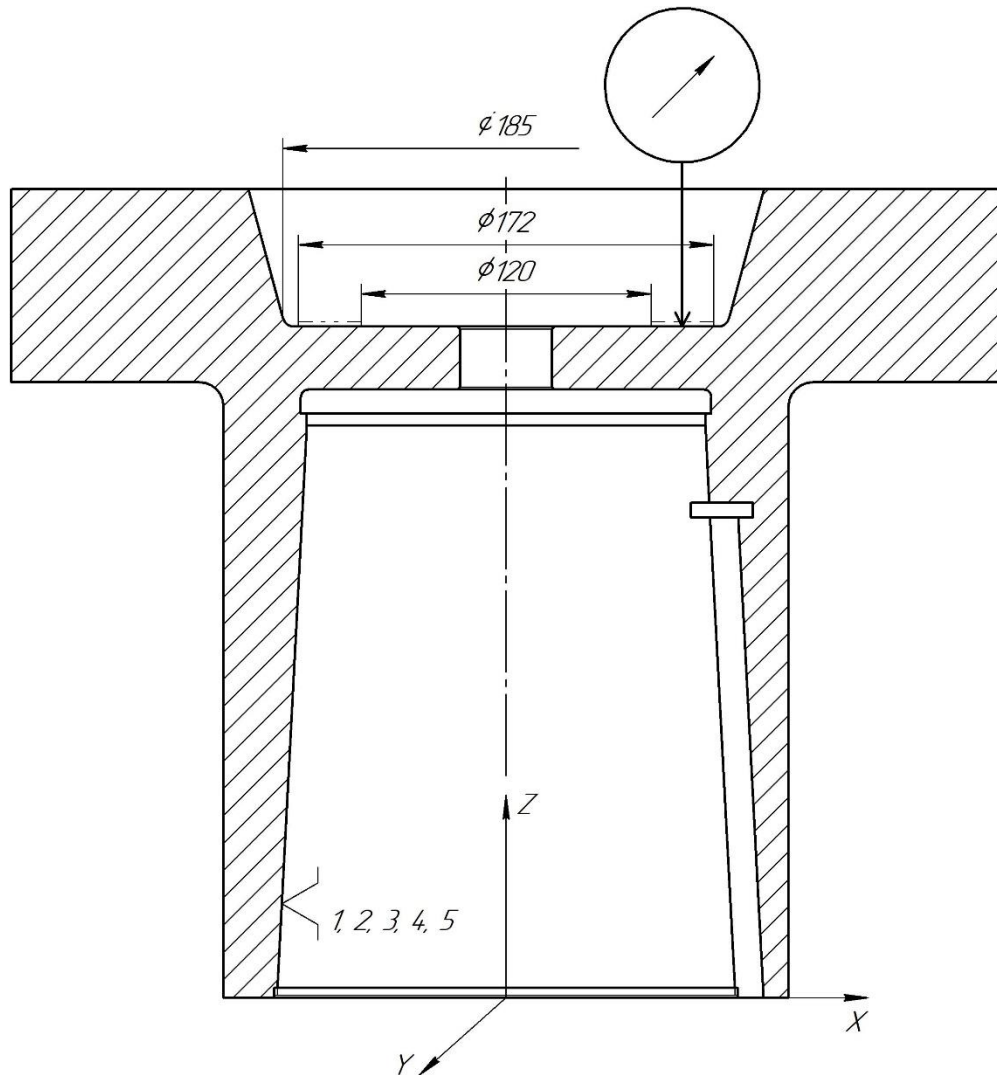


Рисунок 2.7 – Схема контролю й базування деталі

Під час вимірювання торцевого биття «півмуфти», вісь деталі буде розташовано вертикально, у зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до поверхні конічної оправки, яку планується використовувати для установки виробу. Використання довгої конічної оправки для базування контрольованого виробу дозволить забезпечити його точне центрування щодо осі оправки в радіальному напрямку. В той же час в осьовому напрямку похибка базування виробу завжди буде мати значну величину. Спрогнозувати похибку базування виробу в осьовому напрямку досить складно. Однак слід розуміти, що під час контролю торцевого биття згідно за схемою на рисунку 2.7, цю похибку буде нівельовано виставленням індикаторної головки на «нуль».

Вага виробу є достатньо великою (98 кг), що дозволяє забезпечити надійне його притискання до поверхні оправки з забезпеченням відповідного тертя між поверхнею конічного отвору виробу та зовнішнім конусом оправки. Використання такої схеми установки виробу не вимагає його додаткового закріплення. В результаті, похибка закріплення ε_z виробу у радіальному осьовому напрямках має дорівнювати нулю.

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на столі ВТК, розташованому поруч з 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 – $P_{\text{ат}} = 86\text{--}106$ кПа; швидкість руху повітря – $v_B \leq 0,5$ м/с. Частота вібрацій, викликана верстатами $f = 20\text{--}30$ Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітленість. Тому поряд із загальним необхідно передбачити місцеве освітлення з $E_{\text{ф}} = 1500$ люкс [14].

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

Під час вибору контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (сталь 30X13) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому певне зусилля вимірювання сприятиме видаленню бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

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

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

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

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

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

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

$P_{зус}$ – зусилля вимірювання, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм.

Деталь контролюється при повороті на 360° , що характерно для динамічного методу контролю.

Питання про розташування вимірюваної деталі під час контролю було вирішено раніше (обґрунтовано вертикальне розташування виробу).

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

Налаштування КВП буде проводитися за контрольованими поверхнями без використання еталонних виробів.

Виходячи зі структури потоку функцій, що реалізуються КВП, встановлюємо час на контрольну операцію 3,0 хв. Така тривалість контролю не вимагає високого рівня механізації, так як може бути здійснена вручну на простому вимірювальному пристрої.

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

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

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

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

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

$$[\delta_{вим}] = K \cdot IT,$$

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

Для 6-го ступеня точності беремо $K = 0,3$ [13].

Тож для торцевого биття маємо

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

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 [1] беремо $[\delta_{вим}] = 15 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальну похибку) згідно з [13]:

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

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

$$c = \Delta_{ін} = 10,5 \text{ мкм.}$$

Беремо стандартну допустиму величину ціни поділки $c = 10 \text{ мкм.}$

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

Межа вимірювання за шкалою (A) повинна перевищувати допуск IT , щоб зняття показань не викликало труднощів [13]:

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

Межа вимірювань ЗВ (діапазон вимірювань) визначається умовами його експлуатації. Беремо $B = 0,5$ мм.

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

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

Основним нормативним показником надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи P . Відповідно до [13] обговоримо кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій:

$$t(P) = 1000 \cdot 4 = 4000 \text{ циклів.}$$

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

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

Після того, як стали відомі допустимі значення з метрологічних, експлуатаційних характеристик та характеристик надійності, можна приступити до

пошуку ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимими:

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

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

$$P \geq / P /; \quad Ц \leq / Ц /.$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикатора TESA Precision Dial Gauges 01410910 [Tesa General Catalogue 2010 EN], що має такі метрологічні характеристики:

$$\Delta_{in} = 0,01 \text{ мм}; \quad c = 0,01 \text{ мм}; \quad A = 1,0 \text{ мм}; \quad B = 10,0 \text{ мм};$$

$$a = 2,0 \text{ мм}; \quad P_{зyc} = 140 \text{ сН}; \quad \Delta P_{зyc} = 50 \text{ сН}; \quad t(P) = 500000;$$

$$P = 0,9; \quad Ц = 2500 \text{ грн.}$$

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

$$\Delta_{in} = 0,010 \text{ мм} < 0,0105 \text{ мм} = / \Delta_{in} /; \quad c = 0,01 \text{ мм} < 0,01 \text{ мм} = / c /;$$

$$A = 1,0 \text{ мм} > 0,2 \text{ мм} = / A /; \quad B = 10,0 \text{ мм} > 0,5 \text{ мм} = / B /;$$

$$a = 2,3 \text{ мм} > 1 \text{ мм} = / a /; \quad t(P) = 500000 > 5000 = / t(P) /;$$

$$P_{зус} = 140 \text{ сН} < 500 \text{ сН} = / P_{зус} /; \quad \Delta P_{зус} = 50 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = / \Delta P_{зус} /;$$

$$P = 0,9 > 0,85 = / P /;$$

$$Ц = 2500 \text{ грн} < 3000 \text{ грн} = / Ц /.$$

Інші індикаторні головки мають надлишкову точність та меншу надійність. Тому остаточно вибираємо індикатор TESA Precision Dial Gauges 01410910.

Габаритні й приєднувальні розміри $l \times \varnothing \times b = 145 \times 82 \times 28,2$ мм, маса – 0,3 кг.

На схемі необхідно навести в спрощеному вигляді основні механізми (функціональні вузли) КВП. Вона також повинна давати поняття про характер переміщення, граничні положення й види зв'язків, див. рисунок 2.8.

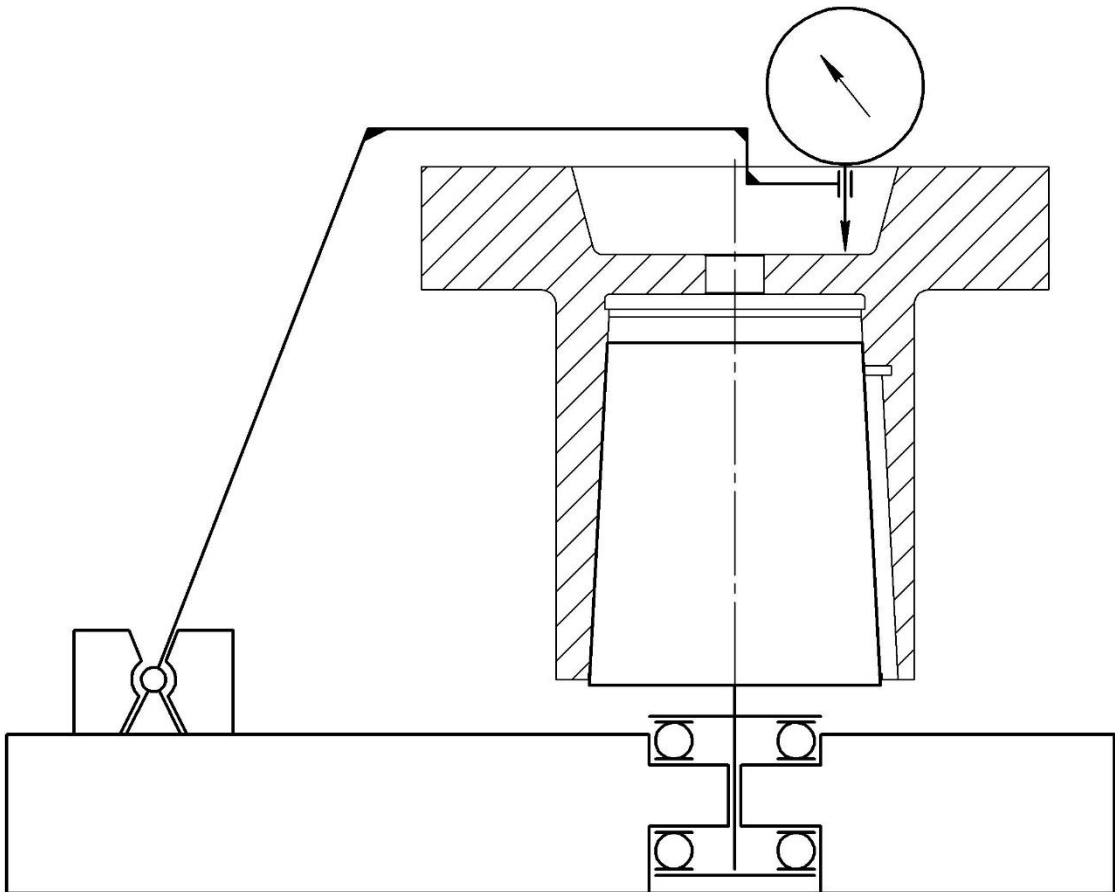


Рисунок 2.8 – Кінематична схема КВП

Рішення про компоувальну схему є результатом обробки інформації, отриманої на різних етапах проектування КВП. Так, узагальнюючи дані приходимо до висновку, що найбільш зручна для конкретних умов контролю вертикальна схема компоування, представлена рисунку 2.9. Вона забезпечує компактність і жорсткість пристосування. Досягається зручність установки деталі на вимірювальну позицію. Забезпечується найкоротший шлях проходження сигналу від точки вимірювання до шкали – запорука простоти і точності. Крім того, дана схема компоування дозволяє зменшити витрату металу і надати конструкції технічно доцільний, а значить естетичний вигляд.

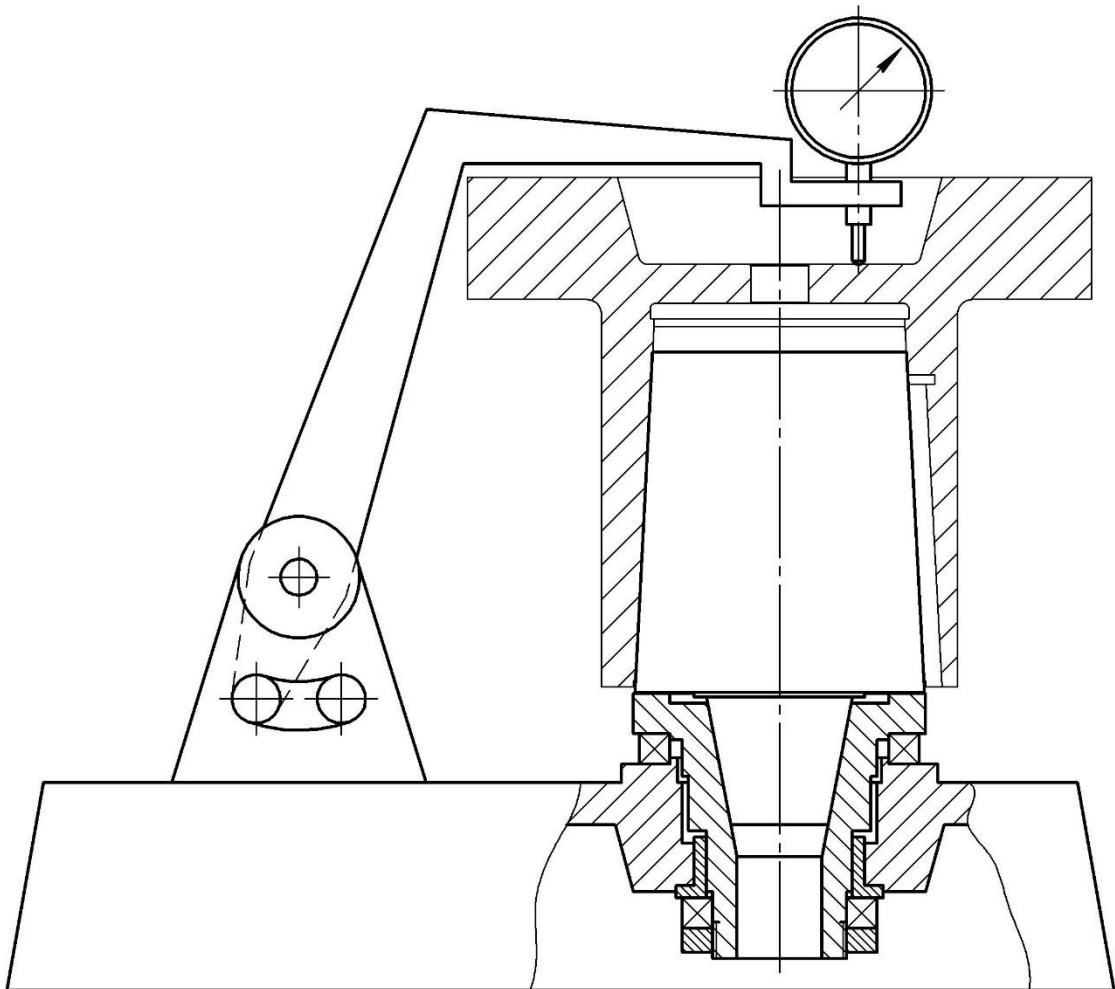


Рисунок 2.9 – Компоувальна схема КВП

При контролі торцевого биття контрольованої поверхні «півмуфти» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

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

де ε – похибка положення контрольованої деталі в пристосуванні. Вона визначається за формулою

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

ε_{δ} – похибка базування. За умови використання самоцентруючого мембранного патрону беремо $\varepsilon_{\delta} = 0$ (див. п. 5.7);

ε_3 – похибка закріплення. Беремо $\varepsilon_3 = 0$ (див. п. 5.8);

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

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

Δ_g – похибка передаточного пристрою. За умови використання безззорного з'єднання в конструкції передаточного пристрою беремо $\Delta_g = 0$;

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

$\Delta_{ин}$ – похибка вибраного засобу вимірювання, $\Delta_{ин} = 10$ мкм;

$\Delta_{зус}$ – похибка, викликана вимірювальним зусиллям. Величину похибки визначимо з урахуванням зусилля вимірювання вибраного ЗВ за формулою

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

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

В результаті маємо

$$\varepsilon_{КВП} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 10^2 + 0,26^2 + 0^2} \approx 11,2 \text{ мкм} < 15 \text{ мкм} = [\delta_{вим}],$$

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

Будова і принцип дії пристосування. Основою пристосування є плита 8, в правій частині якої в отворі встановлений фланець 10. Фланець 10 щодо плити 8 зафіксовано вісьмома гвинтами 14. У отворі фланця 10 розташовується шпindel 12. У радіальному напрямку опорою для шпинделя є втулка 3, яка виконує роль підшипника ковзання. В осьовому напрямку опорами для шпинделя є упорні підшипники 16 і 17. У верхній частині шпинделя 12 в кінчному отворі встановлено оправку 6. Так, оправка 6 нижнім конусом встановлюється в шпинделі, а верхній конус оправки виконує роль установчого елемента під час базування контрольованої деталі. Регулювання зазорів у верхньому підшипнику 17 виконується автоматично, за рахунок ваги контрольованої деталі і оправки 6. Регулювання зазорів в нижньому підшипнику 16 здійснюється за допомогою двох гайок 15. Верхній підшипник 17 захищений від попадання сторонніх предметів, пилу кожухом 5. Обертання шпинделя 12 разом з оправкою 6 і контрольованою деталлю здійснюється за допомогою чотирьох рукояток 18. У лівій частині плити 7 за допомогою чотирьох гвинтів 14 і двох штифтів 20 встановлено вилку 1. За допомогою осі 6 щодо вилки 1 встановлюється стійка 9. Вісь фіксується щодо вилки стопорною шайбою 11. У нижній частині стійки встановлений гвинт 2, який проходить крізь вікно в передній стінці вилки 1. Таким чином, стійка 9 може

здійснювати обертальний рух щодо вилки 1 і пристосування в цілому. Крайні положення стійки 9 обмежені пазом в передній стінці вилки 1. Стійка 9 виконана у формі гака. Нижня частина стійки 9 виконує роль її опори, у верхній частині стійки за допомогою гвинта 13 через втулку 4 фіксується індикатор годинникового типу 21.

В неробочому стані пристосування стійка 9 разом з індикатором 21 відведена вліво і зафіксована гвинтом 2. Контрольована деталь встановлюється за конічним отвором фланцем вгору на оправку 6. Відвернувши гвинт 2 встановлюємо стійку 9 в крайнє праве положення, при цьому індикатор 21 встановлюється в робоче положення, наконечник індикатора входить в контакт з контрольованою поверхнею «півмуфти». Стійка 9 фіксується гвинтом 2. Під час установки індикатора в робоче положення його наконечник створює необхідний натяг, а стрілка встановлюється в попередньо обране «нульове» положення (за необхідності можна провести додаткове регулювання «нуля»). Для вимірювання торцевого биття поверхні за допомогою переміщення рукояток 18 здійснюємо обертання шпинделя 12 разом з оправкою 6 і контрольованою деталлю. Виконуємо повний оберт деталі при цьому фіксуючи за шкалою індикатора максимальні верхнє і нижнє відхилення стрілки. Різниця між максимальним верхнім і максимальним нижнім відхиленнями стрілки становитиме величину торцевого биття контрольованої поверхні. Для заміни деталі необхідно відвернувши гвинт 2 розкріпити стійку 9, відвести її в крайнє ліве положення і знову зафіксувати.

2.11 Висновок

В результаті розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення півмуфти Н80.54.556.02:

1) Запропоновано раціональний маршрут механічного оброблення заготовки, що ґрунтується на використанні принципів суміщення та сталості технологічних баз, етапності оброблення, широкого застосування сучасного високопродуктивного металорізального устаткування з ЧПК та механізованого технологічного оснащення.

2) Для трьох механічних операцій (комплексної з ЧПК, фрезерної з ЧПК та довбальної) виконано детальний аналіз схем базування заготовки, обґрунтування вибору металорізальних верстатів, засобів технологічного оснащення, режимів різання та технічних норм часу.

3) Спроектовано спеціальну конструкцію механізованого верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на операції фрезерній з ЧПК.

4) Спроектовано спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для вимірювання торцевого биття поверхні півмуфти.

5) Для підтвердження правильності прийнятих під час проєктування конструкції КВП технічних рішень та пошуку шляхів її оптимізації пропонується виконати дослідження моделі запропонованої конструкції з використанням методу модального аналізу.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОПОНОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КОНТРОЛЬНО-ВІМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МОДАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

3.1 Мета, задачі, методика дослідження

Під час проектування контрольно-вимірювального пристрою у п. 2.10 цієї роботи використовувалися стандартні методичні рекомендації щодо аналізу початкових даних, вибору методів вимірювання, засобів вимірювання, що в цілому є уніфікованими та дозволяють оптимізувати структуру та параметри операції технічного контролю. Водночас питання ескізного проектування КВП (питання вибору кінематичної схеми КВП, вибору компонування КВП, вибору конкретних конструктивних рішень) багато в чому вирішувалися інтуїтивно, на основі наявного досвіду проєктанта. Так чи інакше, прийняті в пропонуваній конструкції КВП технічні рішення повинні бути перевірені з використанням альтернативних засобів інженерного аналізу.

Такими засобами сьогодні є пакети скінченно-елементного аналізу, які призначені для дослідження та оптимізації різноманітних конструкцій машинобудівного призначення з використанням, зокрема, методів статичного, модального та гармонічного аналізу. Конструкція пропонованого контрольно-вимірювального пристрою як така не сприймає значних статичних навантажень, то ж актуальним для неї методом дослідження є зокрема модальний аналіз.

Модальний аналіз – це дослідження динамічних властивостей лінійних структур на базі структурного тестування чи чисельного моделювання методом скінчених елементів. До динамічних властивостей входять резонансні частоти (власні частоти) і структурна форма (власний тип коливань). Динамічні властивості залежать від розподілення маси, жорсткості та демпфування на структурі та визначають поведінку структурних коливань ід час впливу експлуатаційних навантажень [15].

Результати модального тестування та аналізу використовуються у різних додатках для чисельного моделювання та тестування, включаючи розрахунки чутливості до вібрації [15].

Під час експлуатації КВП за умови високої чутливості його конструкції до вібрацій, що передаються від зовнішніх джерел, точність вимірювання контрольованих параметрів буде низькою. Для зниження чутливості конструкції КВП до вібрацій необхідно забезпечити оптимальне співвідношення (розподілення) маси, жорсткості, демпфування окремих структурних елементів та досліджуваної конструкції в цілому.

Одним зі шляхів зменшення чутливості конструкції та окремих конструктивних елементів є підвищення їх жорсткості через збільшення масивності (збільшення товщини елементів тощо). Водночас такий шлях призводить до збільшення матеріалоемності конструкції як окремих її елементів так і конструкції КВП в цілому. Таким чином, забезпечення цих двох характеристик конструкції (жорсткість та матеріалоемність) як критеріїв її оптимальності вступають в певне протиріччя.

З урахуванням сказаного, метою дослідження є підвищення ефективності пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою шляхом забезпечення її низької чутливості до вібрацій та низької матеріалоемності.

Для досягнення поставленої мети пропонується дослідити пропоновану конструкцію КВП та її альтернативні виконання методом модального аналізу шляхом проведення модельного експерименту. До найбільш розповсюджених сьогодні програмних комплексів інженерного аналізу, що зокрема реалізують модальний аналіз конструкції відносять пакет Ansys Workbench.

Модуль Modal, що входить до складу програмного комплексу Ansys Workbench дозволяє виявити форми особистих коливань конструкції та частоти, що відповідають цим формам коливань. Такі форми коливань також називають модами, а такі частоти коливань також називають вільними, резонансними, критичними. Річ у тому, за умови співпадіння такої частоти коливань з частотою вимушених коливань, спричинених зовнішніми джерелами збурення, амплітуда

коливань досліджуваної конструкції збільшується, зазвичай до великих, критичних величин. Іншими словами, таке співпадіння частот коливань викликає явище резонансу, втрату динамічної сталості досліджуваної конструкції. Якщо говорити про конструкцію КВП, то все це негативно впливає на якісь контрольні-вимірні операції.

Для дослідження пропонованої конструкції КВП з використанням методу модального аналізу розробимо її твердотільну тривимірну модель, див. рисунок 3.1. Попередній експертний аналіз пропонованої конструкції КВП показав, що її слабким місцем є стійка 9, що використовується для безпосереднього установа індикаторної головки.

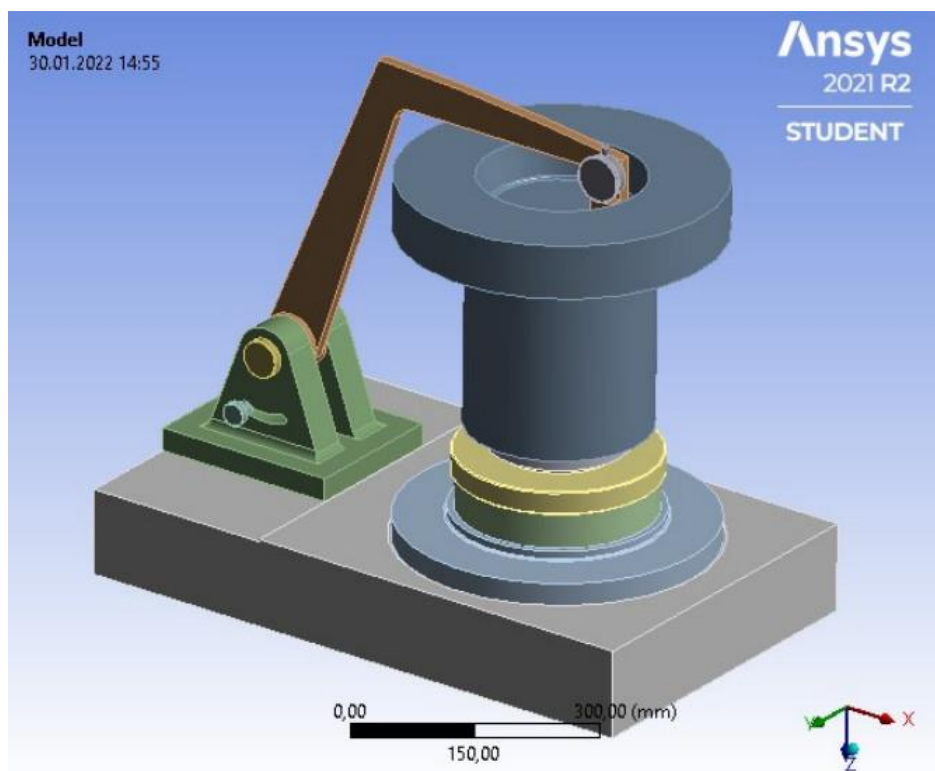


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель конструкції КВП

Попередній аналіз конструкції стійки 9 показує її низьку поперечну жорсткість, що визначає її високу чутливість до вібрацій. Для підтвердження висновків експертизи та пошуку шляхів покращення динамічної стійкості конструкції стійки з використанням модального аналізу необхідно задати деякі граничні умови: фізико-механічні властивості матеріалів елементів конструкції,

характеристики контакту спряжених поверхонь елементів конструкції, місце фіксації опори.

Як матеріали елементів досліджуваної конструкції (Engineering Data) використовуємо середньовуглецеву конструкційну сталь з такими властивостями, заданими за замовчуванням: межа текучості – 250 МПа, межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа.

Характеристики контакту спряжених поверхонь (Connections) елементів конструкції задаємо у вигляді тертя ковзання (Frictional) з коефіцієнтом тертя 0,16, див. рисунок 3.2, відсутності тертя (Frictionless), див. рисунок 3.3, жорсткого зв'язку (Bonds).

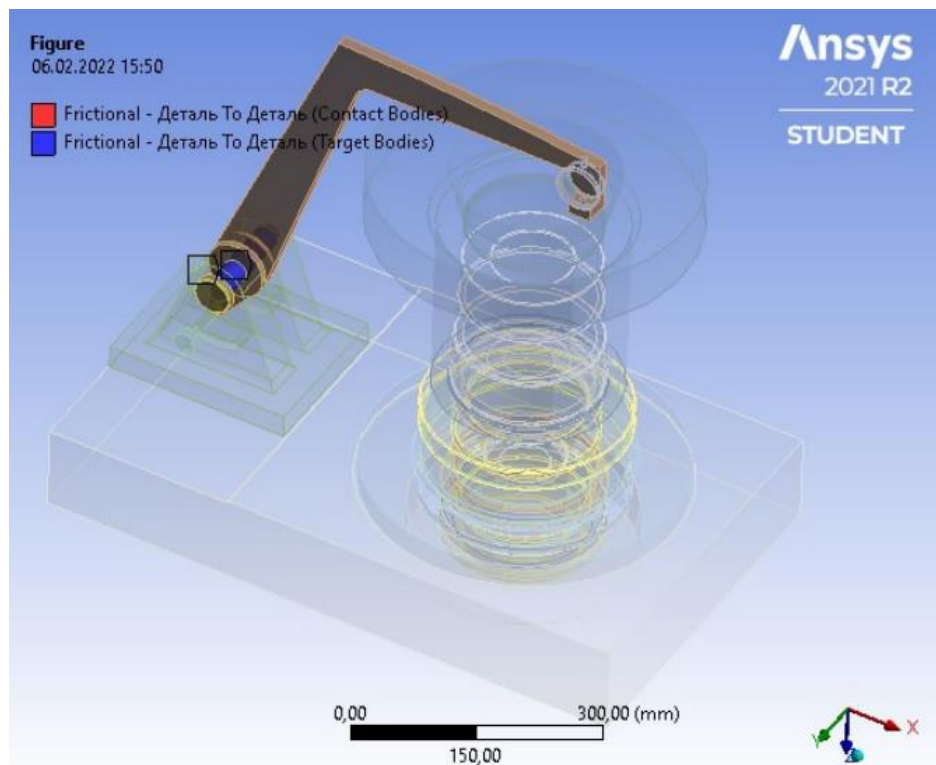


Рисунок 3.2 – Характеристика контакту Frictional спряжених поверхонь стійки та осі

Для виконання модального аналізу досліджуваної конструкції будемо скінченно-елементну сітку (розміри скінчених елементів задаємо в автоматичному режимі – 46602), див. рисунок 3.4.

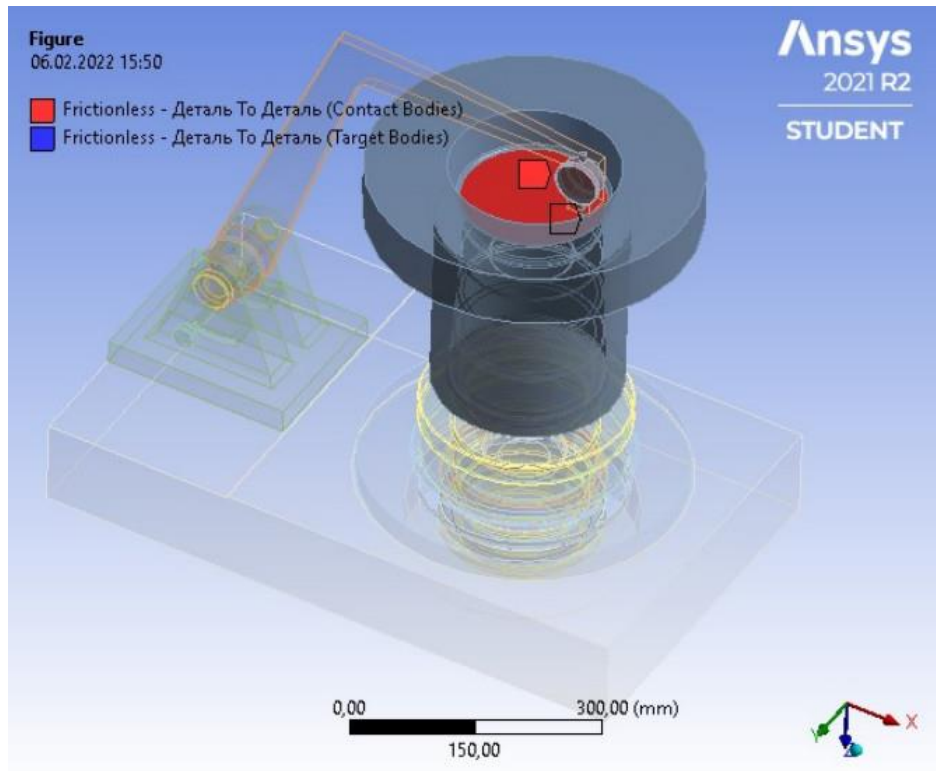


Рисунок 3.3 – Характеристика контакту Frictionless спряжених поверхонь контрольованої деталі та індикаторної головки

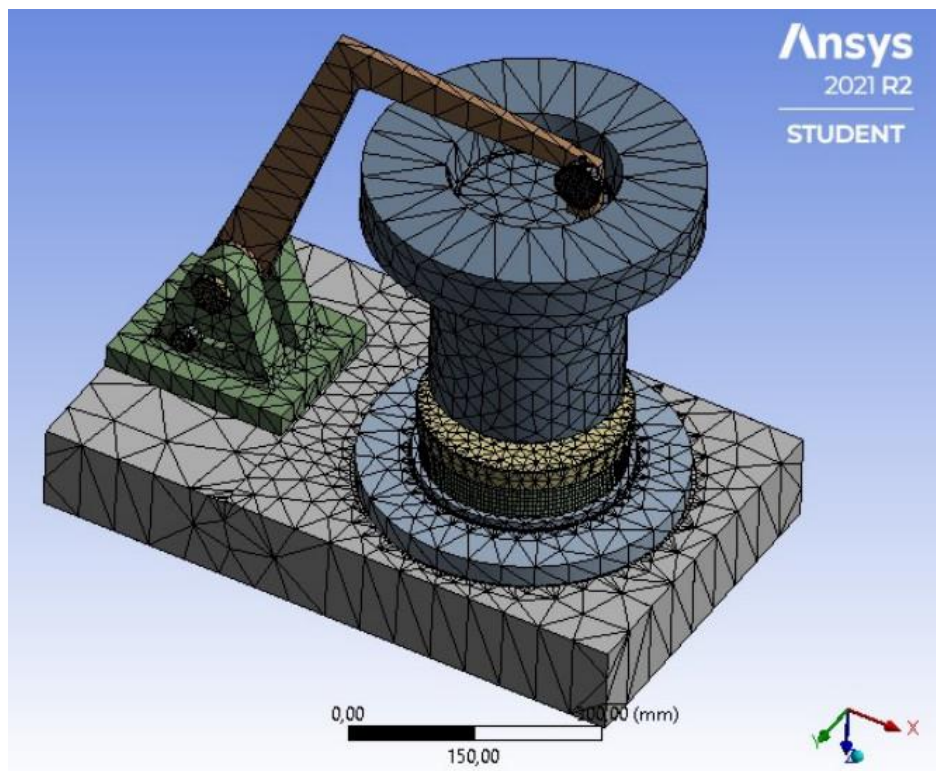


Рисунок 3.4 – Побудова скінченно-елементної сітки досліджуваної моделі

З метою пошуку шляхів оптимізації пропонуваної конструкції КВП були розглянуті такі виконання стійки.

Виконання А: товщина стійки – 15 мм, вікна – відсутні, ребра жорсткості – відсутні. Виконання С: товщина стійки – 15 мм, вікна – наявні, ребра жорсткості – відсутні. Виконання Е: товщина стійки – 16 мм, вікна – наявні, ребра жорсткості – відсутні. Виконання F: товщина стійки – 18 мм, вікна – наявні, ребра жорсткості – відсутні. Виконання G: товщина стійки – 15 мм, вікна – відсутні, ребра жорсткості – наявні.

Загальний вигляд виконань стійки поз. 9 наведений на рисунку 3.5

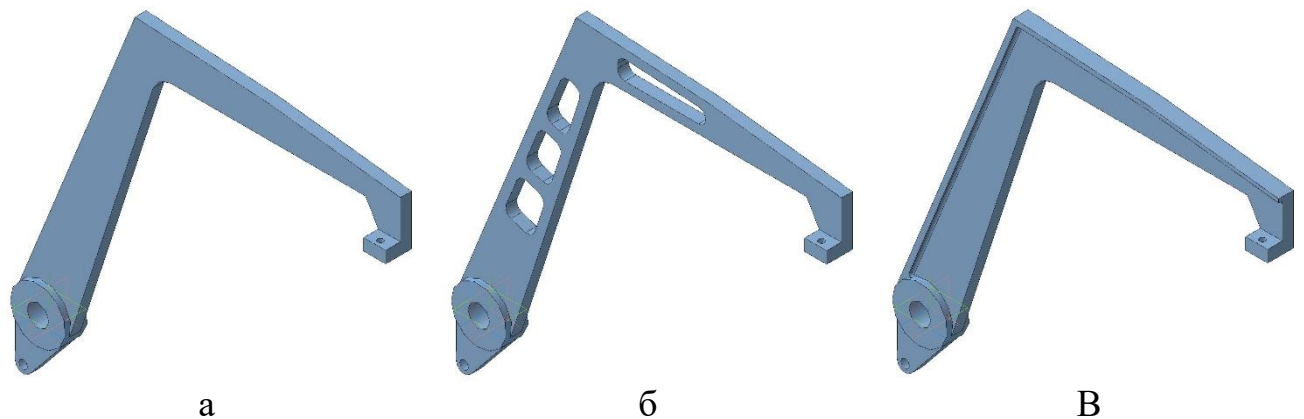


Рисунок 3.5 – Загальний вигляд виконань стійки:

а – виконання А, б – виконання С, Е, F, в – виконання G

3.2 Результати дослідження

В результаті розрахунку моделі були одержані епюри деформацій конструкції КВП, що відповідають першій, другій та третій формам її власних коливань. Так, для виконання стійки А одержані епюри, наведені на рисунках 3.6 – 3.8.

Як бачимо з рисунків 3.6–3.8, першій формі коливань відповідає частота 29,7 Гц. Першій формі коливань характерні коливання кінцівки стійки у місці закріплення індикаторної головки вздовж осі Y.

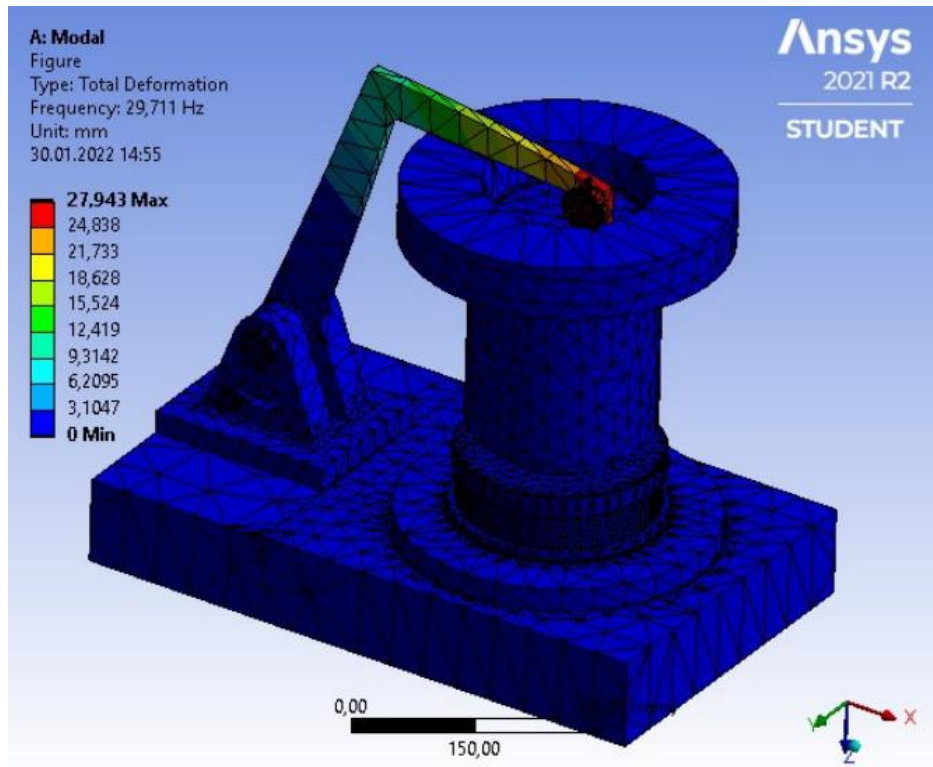


Рисунок 3.6 – Епюра першої форми коливань конструкції КВП (виконання А)

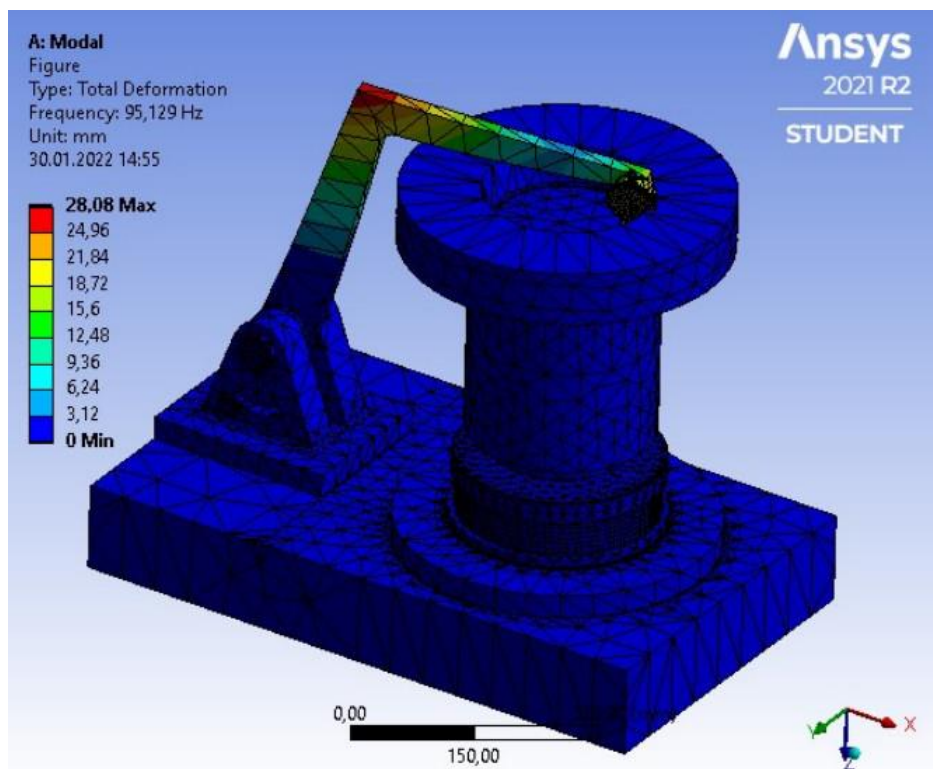


Рисунок 3.7 – Епюра другої форми коливань конструкції КВП (виконання А)

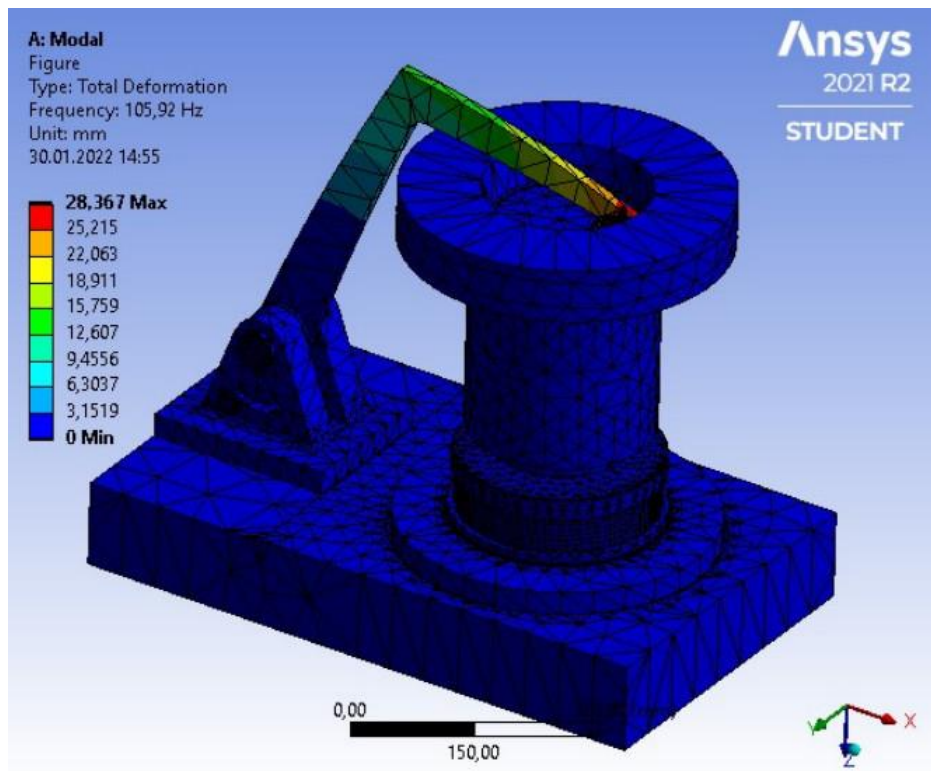


Рисунок 3.8 – Епюра другої форми коливань конструкції КВП (виконання А)

Другій формі коливань відповідає частота 95,1 Гц. Другій формі коливань характерні коливання «ліктя» стійки вздовж осі Y.

Третій формі коливань відповідає частота 105,9 Гц. Третій формі коливань характерні коливання кінцівки стійки у місці закріплення індикаторної головки вздовж осі Z.

Критичною слід вважати першу форму коливань конструкції та відповідну їй частоту. Це пояснюється з тим, що частота першої форми коливань має найменшу величину. Саме для такої низької частоти ймовірність виникнення явища резонансу є найбільшою, тому що зовнішні джерела динамічних збурень зазвичай викликають коливання саме на низьких частотах.

За результатами дослідження було складено таблицю 3.1, що надає змогу зручного аналізу та порівняння даних. До цієї таблиці були внесені величини частот першої форми коливань, як критичної та такої, що опосередковано визначає чутливість конструкції до динамічних збурень, та маси стійки для кожного її виконання, як такої, що опосередковано визначає матеріалоемність конструкції.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень

Виконання стійки	Товщина стійки, мм	Наявність вікон	Перша резонансна частота, Гц	Маса стійки, кг
A	15	–	29,7	5,668
C	15	+	23,4	4,645
E	16	+	24,9	4,893
F	18	+	28,3	5,389
G	15	–	31,9	5,873

Як видно з таблиці 3.1 будь-які зміни в конструкції стійки викликають зміни її першої резонансної частоти та її маси. Причому зміни першої резонансної частоти коливань не є критичними, частота все одно залишається на досить низькому рівні, коли ймовірність виникнення явища резонансу є досить великою. Водночас, наявність вікон в конструкції стійки порівняно з виконанням А або G істотно полегшують конструкцію.

Так, з урахуванням сказаного, як оптимальну, пропонуємо розглянути конструкцію стійки за виконанням С. Епюри перших трьох форм вільних коливань конструкції КВП з виконанням С стійки наведені на рисунках 3.9–3.11.

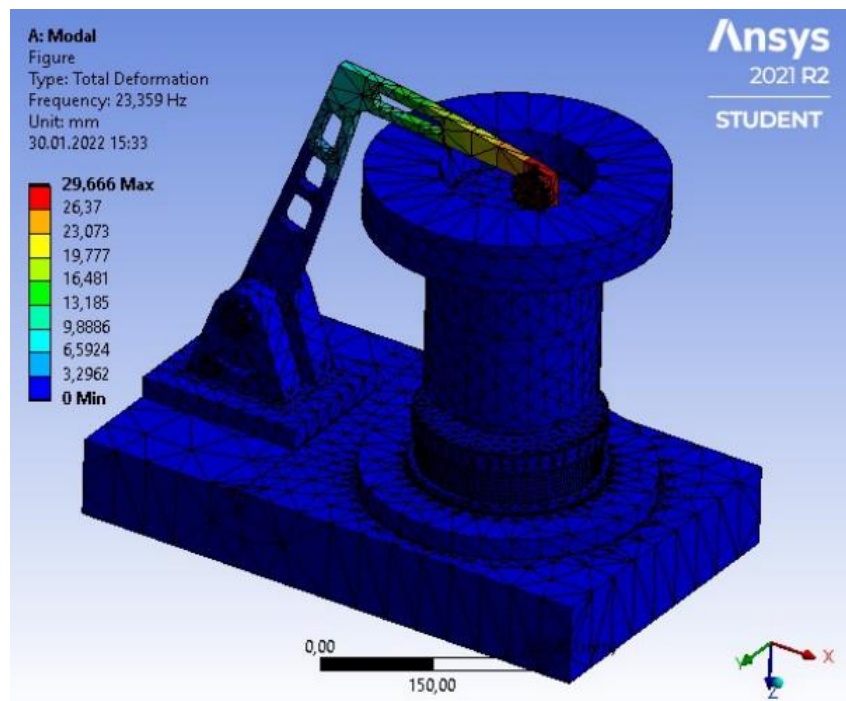


Рисунок 3.9 – Епюра першої форми коливань конструкції КВП (виконання С)

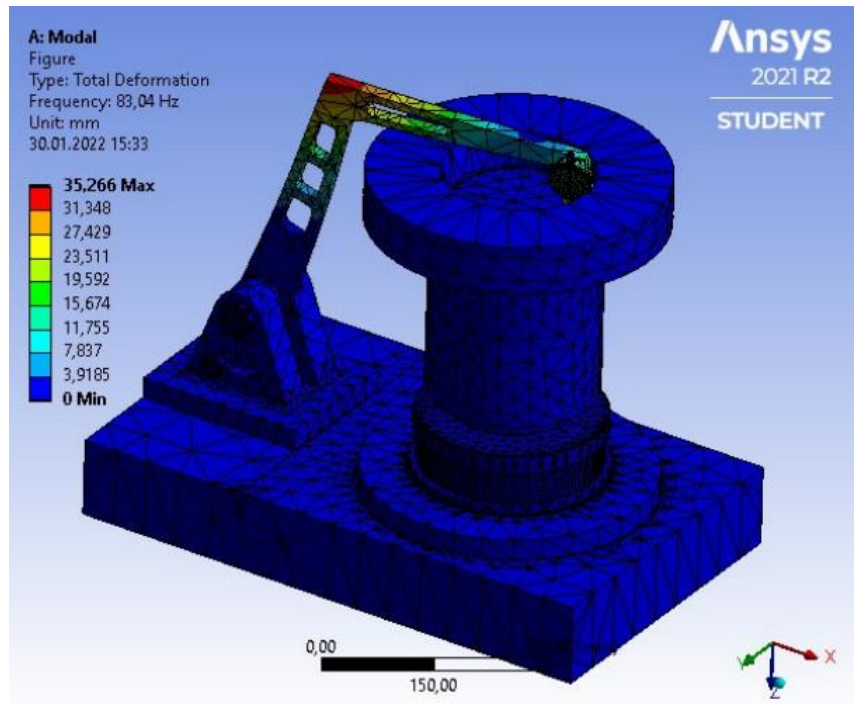


Рисунок 3.10 – Епюра другої форми коливань конструкції КВП (виконання С)

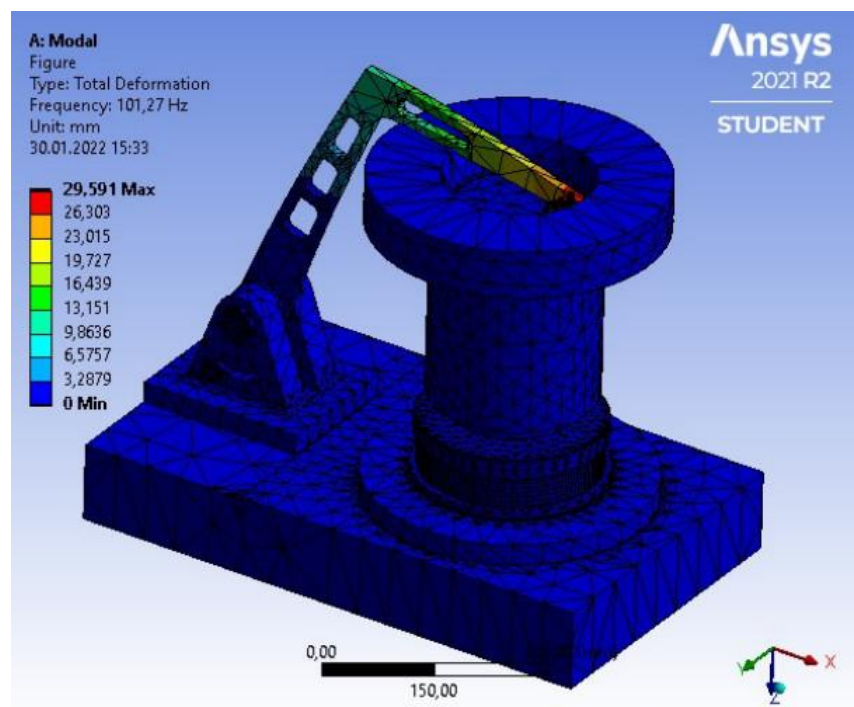


Рисунок 3.11 – Епюра третьої форми коливань конструкції КВП (виконання С)

Для нівелювання низького рівня першої резонансної частоти коливань конструкції рекомендується уникати призначення таких режимів роботи устаткування на виробничій дільниці, які б викликали динамічні збурення на частотах близьких до 23,4 Гц.

3.3 Висновок

1) В результаті дослідження запропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою з використанням методу модального аналізу визначено її слабку ланку, якою є відкидна стійка, що призначена для установаження індикаторної головки пристрою в робоче та початкове (неробоче) положення.

2) Пошуковий модельний експеримент дозволив виявити шляхи оптимізації конструкції зазначеної в п.1 висновку стійки, спрямовані на зменшення її чутливості до динамічних навантажень та зменшення матеріалоемності. В результаті запропоновано конструкцію стійки, що відрізняється від початкового виконання наявністю вікон, що зменшують масу виробу на 18 %.

3) Для зменшення ймовірності виникнення явища резонансу під час експлуатації запропонованої конструкції КВП рекомендується уникати призначення режимів роботи устаткування на виробничій ділянці, що викликають динамічні збурення на частотах близьких до 23,4 Гц.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу службового призначення півмуфти Н80.54.556.02 та технічних вимог на її виготовлення, характеристик типу виробництва, існуючого технологічного процесу виготовлення деталі, встановлено основні недоліки останнього та сформульовані рекомендації щодо їх усунення.

2. Розроблено перспективний технологічний процес виготовлення півмуфти Н80.54.556.02, що зокрема забезпечує дотримання принципів поетапності оброблення поверхонь заготовки, принципи сталості та суміщення технологічних баз. Порівняно з базовим перспективний технологічний процес спроектований із широким залученням сучасних верстатів та обробних центрів з ЧПК, механізованих верстатних пристроїв, що сприяє стабілізації параметрів точності оброблюваних поверхонь заготовок та продуктивності оброблення. В роботі спроектовано спеціальні конструкції верстатного пристрою для установлення заготовки на фрезерній з ЧПК операції та контрольно-вимірювального пристрою для вимірювання торцевого биття поверхні півмуфти.

3. В дослідницькій частині роботи виконано модальний аналіз пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою. В результаті дослідження твердотільної моделі КВП сформульовані рекомендації щодо структурно-параметричної оптимізації конструкції КВП та умов його експлуатації, спрямовані на зниження чутливості конструкції до динамічних збурень.

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

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Зубченко, А. С. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский ; под ред. А.С. Зубченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. – 784 с.
2. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М. : Гос. ком. СССР по стандартам, 1992. – 13 с.
3. Маталин, А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 496 с.
4. 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.
5. ГОСТ 7829-70 Поковки из углеродистой и легированной стали, изготавливаемые ковкой на молотах. Припуски и допуски. – М. : ИПК Из-во стандартов, 1998. – 28 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т. 2 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.
7. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч. 2 : Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 465 с.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч. 1 : Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 206 с.
9. 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.

10. 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.
11. Точность и производственный контроль в машиностроении: Справочник / Под ред. А. К. Кутая, Б. М. Сорочкина. – Л.: Машиностроение, 1983. – 368 с.
12. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х томах. Т. 1 / В. И. Анурьев. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
13. Дунаев, И. И. Организация проектирования системы технического контроля / И. И. Дунаев, Т. П. Скворцов, В. Н. Чупырин. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.
14. Цейтлин, Я. М. Нормальные условия измерений в машиностроении / Я. М. Цейтлин. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 224с.
15. Siemens: Модальный анализ. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/our-story/glossary/modal-analysis/13172> (дата звернения: 01.12.2021).