

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

«_____» _____ 2020 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення
півмуфти 4.7125.011-03 агрегату ГПА-Ц-16 шляхом оптимізації
конструкції верстатного пристрою на зубодовбальній операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Н. П. Валюх

Керівник

Ю. О. Денисенко

Консультант з охорони праці
та безпеки у надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

ЗМІСТ

Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі.....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	14
1.3 Характеристика типу виробництва	20
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	21
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	28
1.6 Висновок	34
Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі	35
2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки.....	35
2.2 Розроблення раціонального маршруту обробки заготовки	39
2.3 Уточнення операційних припусків на обробку поверхні обертання.....	47
2.4 Обґрунтування вибору схем базування і закріплення заготовки.....	49
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування.....	57
2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки	59
2.7 Розрахунок режимів різання	61
2.8 Технічне нормування операції.....	70
2.8 Проектування верстатного пристрою	75
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	88
2.11 Висновок	101

Розділ 3 Дослідження конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на зубодовбальній операції методами статичного та динамічного аналізу	103
3.1 Актуальність, мета та методи дослідження.....	103
3.2 Аналіз результатів статичного дослідження системи «пристрій-заготовка»	108
3.3 Аналіз результатів динамічного дослідження системи «пристрій-заготовка»	110
3.4 Висновок	113
Висновки	114
Список джерел посилань	115
Додаток А Креслення деталі «Півмуфта 4.7125.011-03».....	117
Додаток Б Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання.....	119
Додаток В Пристрій верстатний спеціальний. Специфікація	120
Додаток Г Контрольно-вимірювальний пристрій. Специфікація	123
Додаток Д Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	125

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Головним завданням сучасного машинобудівного виробництва є випуск високоякісної конкурентної продукції. Основними складовими якості виробів машинобудівної галузі є точність розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей машин, їх шорсткість, а також фізико-механічні властивості матеріалу деталей і складальні з'єднання. Всі ці складові сьогодні в переважній більшості забезпечуються обробкою заготовок різними методами різання, а також різноманітними методами складання.

Створення конкурентної продукції сьогодні неможливо без урахування таких показників, як продуктивність і економічність виробництва. Тому важливе значення в технологічній підготовці виробництва має аналіз конструкції деталі на технологічність з точки зору складності, унікальності конфігурації деталі, дорожнечі і поширеності матеріалу, можливості використання при її обробці сучасних засобів механізації та автоматизації.

У даній роботі ставиться завдання підвищення ефективності існуючого технологічного процесу виготовлення «півмуфти 4.7125.011-03», яка входить до складу пружної муфти газоперекачувального агрегату типу ГПА-Ц-16, на прикладі оптимізації окремих технологічних операцій. При цьому вирішуються завдання обґрунтування вибору раціональних схем базування заготовок, вибору верстатного устаткування, засобів технологічного оснащення, розрахунку режимів різання і технічних норм часу. Прийняття рішень із зазначених питань передуює глибокий аналіз службового призначення виробу, технічних вимог, що пред'являють до його конструкції, типу виробництва, в умовах якого планується виготовлення виробу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи тісно пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення (тема НДР «Підвищення

ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення «півмуфти 4.7125.011-03» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на зубодовбальній операції.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання:

- 1) виконати аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для установки заготовки на зубодовбальній операції;
- 4) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого та радіального биття поверхонь деталі;
- 5) виконати дослідження пропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки методами скінченоелементного аналізу. Сформулювати рекомендації щодо вдосконалення як конструкції верстатного пристрою так вибору структури й параметрів зубодовбальної операції в цілому.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «півмуфти 4.7125.011-03», операція зубодовбальна.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для установки заготовки на операції зубодовбальній, структура та параметри зубодовбальної операції.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Геометричну модель конструкції верстатного пристрою в системі з заготовкою розроблено в пакеті Компас-3D. Дослідження розробленої конструкції верстатного пристрою методами статичного та

динамічного аналізу виконано із використанням пакету математичного аналізу ANSYS Workbench (модулі Static Structural та Modal).

Наукова новизна: в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний та динамічний аналіз розробленої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «півмуфти» на зубодовбальній операції, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи в умовах статичних та динамічних навантажень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «півмуфти» на зубодовбальній операції з забезпечення його стійкої роботи в умовах статичних та динамічних навантажень.

Апробація роботи. Немає.

Публікації. Тези доповідей за результатами досліджень подано до редакції Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (СумДУ, м. Суми) та будуть опубліковані у квітні 2021 р.

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

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 116 сторінок основного тексту, 23 рисунків та 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Розвиток газової промисловості нерозривно зв'язаний з необхідністю створення нового обладнання для транспортування газу по магістральних трубопроводах. Це поставило перед машинобудівниками завдання створення газоперекачувальних агрегатів (ГПА) в блочно-контейнерному виконанні, що дозволить значно скоротити терміни спорудження компресорних станцій, підвищить якість їх будівництва й забезпечить високий рівень автоматизації виробництва.

На компресорній станції здійснюють основні технологічні процеси з підготовки газу до транспортування: очищення від пилу і відділення конденсату, стиснення і переміщення газу, його охолодження. Крім основного обладнання (пиловловлювачів, ГПА і газоохолоджувачів) до складу компресорної станції входять допоміжні системи і установки.

У даній роботі розглядається динамічний (відцентровий) нагнітач (компресор) зі стаціонарною газотурбінною установкою на основі газотурбінного авіаційного двигуна. Типовим представником ГПА з газотурбінним приводом є ГПА-Ц-16 з потужністю 16 МВт [1], що забезпечує нормальну працездатність при установці їх на відкритих майданчиках при температурі навколишнього повітря від -55 до +45°C.

Агрегат ГПА-Ц-16 складається з функціонально завершених транспортбельних блоків повної заводської готовності, що складають на компресорній станції: турбоблоку, повітроочисного пристрою з шумоглушником і системою підігріву циклового повітря, камери всмоктування, дифузора, вихлопного пристрою газотурбінного двигуна з шумоглушником, блоку

маслоагрегатів, блоку маслоохолоджувачів, блоку системи пожежогасіння, блоку комплексної установки утилізації тепла вихлопних газів приводного газотурбінного двигуна.

Турбоблок, в контейнері якого розміщені нагнітач і приводний двигун, є базовою складальною одиницею розглянутого агрегату. Турбоблок включає в себе: раму, контейнер, приводний двигун, встановлений на підмоторній рамі, равлика, перехідник, муфту, нагнітач і трубопровід підведення газу.

Контейнер турбоблоку служить для розміщення основних вузлів і систем агрегату, забезпечує необхідні умови для їх функціонування і експлуатації, для проведення обслуговуючим персоналом ремонтно-регламентних робіт, а також глушіння шуму працюючого агрегату.

Герметична перегородка ділить контейнер на два ізольованих один від одного різних за ступенем пожежовибухонебезпеки приміщення. У герметичній перегородці виконано отвір для торсіонного валу і муфти.

Муфта і торсіонний вал призначені для передачі крутного моменту від вільної турбіни приводного двигуна ротора нагнітача. Конструкції муфти і торсіонного валу дозволяють компенсувати радіальні та осьові зміщення, викликані тепловим розширенням роторів і неточністю центрування при монтажі, а також гасити можливі резонансні коливання, що виникають під час роботи агрегату.

Вже згадана в роботі «муфта 4.7125.000-03 СБ» є складальною одиницею газоперекачувального агрегату ГПА-Ц-16/21-2.2, який являє собою блокову, комплектну автоматизовану установку з газотурбінним авіаційним приводом НК-16-СТ потужністю 16 МВт і відцентрового компресора на кінцевий тиск 2,06 МПа. Даний газоперекачувальний агрегат призначений для транспортування природного газу по магістральних газопроводах. Агрегат забезпечує нормальну працездатність при температурі навколишнього повітря від 218 К (-55°C) до 318 К (+45°C) і відносній вологості 100%, а також при наявності опадів у вигляді дощу і снігу. Повністю уніфіковані агрегати залежно від конструкції проточної частини нагнітача можуть бути використані на кінцевий тиск 56, 76, 100, 125, 150,

200 кгс/см².

Газ, що перекачується, по газопроводу через всмоктувальний патрубок надходить до відцентрового нагнітача, де відбувається його стиснення і подача через нагнітальний патрубок в магістральний трубопровід.

В якості приводів нагнітача використовується газотурбінний двох-вальний двигун НК-16-СТ авіаційного типу, що працює на газі, що перекачується, в якому вільна енергія перетворюється в потужність на вихідному валу за допомогою силової турбіни.

Регулювання правильного положення осей двигуна і ротора компресора здійснюють при складанні газоперекачувального агрегату підйомом або опусканням коліс, підмоторної рами і переміщенням його двигуна в поперечному напрямку гвинтами, встановленими в проушинах підмоторної рами.

Муфта, як уже зазначалося вище, призначена для передачі крутного моменту від вільної турбіни приводного двигуна – ротору нагнітача.

Муфта складається з чотирьох основних частин: пружної муфти з боку ротора вільної турбіни, проміжного вала, зубчастої муфти з боку ротора нагнітача і кожуха муфти.

Пружна муфта складається з півмуфти, встановленої на роторі вільної турбіни, щоки півмуфти, виконаної з титанового сплаву у вигляді гнучкого диска з маточиною, фланця, валика і втулки.

Півмуфта і щока півмуфти з'єднуються між собою призонними болтами. Фланець, валик і втулка введені в пружну муфту для того, щоб розвантажити гнучкий диск від осьових зусиль, знизити можливість виникнення резонансних коливань.

Проміжний вал муфти є ланкою, що з'єднує вал вільної турбіни двигуна з валом нагнітача.

Зубчаста муфта складається з «півмуфти 4.7125.011-03», встановленої на валу нагнітача спільно з обоймою зубчастою і зубчастим вінцем з бочкоподібним зубом, закріпленого на проміжному валу за допомогою шліцьового з'єднання і болтів.

Зубчаста муфта допускає поздовжній (осьовий) і кутовий зсув з'єднаних валів приводу і нагнітача.

З боку нагнітача муфта закрита кожухом, який прикріплений з одного боку до герметичної стінки, а з іншого – до корпусу нагнітача.

Для роботи зубчастої муфти необхідна проточне мастило зубців, тому в кожусі зубчастої муфти встановлена спеціальна масляна форсунка. Злив масла здійснюється через підшипникову камеру. Щоб виключити попадання масла в високотемпературну зону равлика, в перехіднику встановлені лабіринтові ущільнення.

Таким чином, одним з основних вузлів газоперекачувального агрегату є пружна муфта, що служить для передачі крутного моменту від валу газотурбінного двигуна до відцентрового компресора.

Конструкція муфти дозволяє в процесі роботи, особливо під час пуску і зупинки агрегату, компенсувати поштовхи і вібрації, що виникають із-за деяких відхилень осей турбодвигуна і компресора, завдяки спеціальним пружним елементам (паketу пружних кілець), що входять до складу її конструкції.

Складається муфта, як уже зазначалося вище, з заданої «півмуфти 4.7125.011-03», див. рисунок 1.1, насадженої на вал компресора по посадці з мінімально допустимим зазором по двом циліндричним ступеням: $\varnothing 115G7/h6$ та $\varnothing 132G7/h6$, з упором в торець внутрішньої ступені – $\varnothing 102$. Таким чином, зазначені поверхні є основними конструкторськими базами, що визначають положення «півмуфти» в складальній одиниці. В цьому випадку, циліндричні ступені є подвійною направляючою базою, позбавляючи деталь 4-х ступенів свободи: двох поступальних переміщень і двох обертань уздовж і навколо осей Y і Z. Внутрішній торець півмуфти з $\varnothing 102$ є опорною базою, що позбавляє деталь ще одного (п'ятого) ступеня свободи – поступального переміщення уздовж осі X (центральної осі деталі).

Крім цього, в даній складальній одиниці крутний момент передається зубцями, виконаними на валу і півмуфті. Внутрішнє зубчасте зачеплення в півмуфті виконано з діаметрами: внутрішнім – $\varnothing 120H9$; зовнішнім – $\varnothing 131,25H9$; діаметром ділильного кола – $\varnothing 125$. Модуль зачеплення $m = 2,5$ мм; число зубців $z = 50$, ступінь точності по ГОСТ 1643-72-7. Таким чином, бокові поверхні зубців також є основною конструкторською базою – опорною, позбавляючою деталь ще одного останнього ступеня свободи – обертального переміщення навколо осі X. В результаті, «півмуфта» при складанні позбавлена всіх шести ступенів свободи щодо вала нагнітача.

Між зубчастим зачепленням і внутрішнім циліндричним ступенем $\varnothing 115G7$ виконана канавка $\varnothing 132 \times 6$, яка служить для виходу ріжучого інструменту при нарізанні зубців.

Кріпиться «півмуфта» на валу нагнітача спеціальною гайкою і стопорною шайбою, що стопорить її від провороту, розташовуючись у внутрішнім ступені деталі з $\varnothing 144$, й упираються у внутрішню ступінь деталі – $\varnothing 102$.

У свою чергу, до півмуфти по лівому торцю фланця $\varnothing 350h6$ приєднується фланець торсіонного валу через ланку, що складається з пружних кілець, встановлених на спеціальних втулках, що входять в чотири східчастих отвори $\varnothing 74H11/48(R24) \times 60$ фланця на діаметрі $\varnothing 260 \pm 0,03$ і затиснутих спеціальними призонними болтами і гайками. Виконані всередині отвору $\varnothing 74H11$ пази з розмірами $48(R24) \times 60$ дозволяють компенсувати в процесі експлуатації деякі неточності монтажу блоків агрегату. Зі зворотного боку ланки також встановлені аналогічні втулки. Набори шайб на призонних болтах використовуються, при необхідності, в якості балансувальних вантажів. Таким чином, торець фланця «півмуфти» і ступінчасті отвори є допоміжними конструкторськими базами для приєднання пружних кілець і проміжних ступенів торсіонного валу. В цьому випадку торець фланця є установчою базою, що позбавляє кільця трьох ступенів свободи, одне зі східчастих отворів – подвійною опорною базою, що позбавляє ще двох ступенів свободи, і ще один ступеневий отвір – опорною базою, що

позбавляють кільця ще однієї - останньої (шостий) ступеня свободи.

Додатково для надійного кріплення пружних кілець і ступенів торсіонного валу на фланці «півмуфти» виконано ще чотири східчастих отвори $\varnothing 45H7/\varnothing 30,5$, які використовують для встановлення чотирьох спеціальних стяжних болтів, які базуються по внутрішньому ступеню $\varnothing 45H7$.

Для зручності монтажу і демонтажу пружної муфти у фланці «півмуфти» на $\varnothing 180$ виконано чотири кріпильних отвори M16-7H глибиною 16 мм.

Решта поверхонь «півмуфти» є вільними і формують лише зовнішні обриси деталі.

Вже згадана «півмуфта 4.7125.011-03» працює в важких умовах знакозмінних, циклічних навантажень, передаючи значні крутні моменти і потужності до 16 МВт від вала турбодвигуна на вал компресорної установки. Максимальна швидкість обертання розглянутих деталей досягає 8500 об/хв. В процесі експлуатації за рахунок відхилення від співвісності валів турбодвигуна і компресора «півмуфта» здійснює значні радіальні й осьові коливання, компенсуючи всі неточності монтажу та експлуатаційні вібрації вала турбодвигуна. Внутрішні порожнини «півмуфти» герметично закриті. На робочі поверхні внутрішнього зачеплення не повинні потрапляти пил, бруд, для надійної і тривалої роботи вони постійно повинні піддаватися примусовому змащуванню.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Виходячи з службового призначення деталі «півмуфта 4.7125.011-03» можна відзначити, що деталь є одним з основних елементів пружної муфти приводу нагнітача газоперекачувального агрегату, що працює в порівняно складних умовах знакозмінних, циклічних навантажень, і до неї пред'являються досить жорсткі технічні вимоги. У зв'язку з цим, «півмуфта» виготовляється з високоякісної легованої конструкційної сталі 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71. Зазначена сталь використовується для виготовлення особливо відповідальних деталей з високою твердістю і зносостійкістю при незначних деформаціях, що працюють в умовах складнонапруженого стану або піддаються динамічним впливам. З таких сталей виготовляють втулки, диски, зубчасті колеса та інші відповідальні деталі [2]. Це сталь з вмістом вуглецю – до 0,38%, близько 2% хрому; 1,5% молібдену і близько 1,5% алюмінію. Твердість сталі за Бринелем (НВ) в межах (235 – 277) кгс/мм², межа міцності $\sigma_B = 75$ кгс/мм², межа текучості $\sigma_T = 60$ кгс/мм², відносне подовження $\delta_5 = 13\%$, відносне звуження $\psi = 40\%$, ударна в'язкість $\alpha_H = 5,0$ кгс·м/см².

З огляду на досить напружені умови експлуатації деталі обґрунтовано пред'являється до неї вимогу «Поковка Гр.V КП590 ГОСТ 8479-70». Згідно з цією вимогою поковка повинна піддаватися таким видам випробувань:

- випробування на розтягнення;
- визначення ударної в'язкості;
- визначення твердості.

При цьому значення твердості ознакою браку не є.

Поковки V групи приймаються індивідуально. При цьому умови приймання заготовок є такими. Повинно бути вказано найменування і товарний знак підприємства-виробника; номер замовлення; масу поковки; номер креслення або шифр поковки; результати хімічного аналізу і марку сталі; номер плавки, номер партії і групи поковки; результати механічних випробувань; режим термічної обробки; штамп технічного контролю; позначення цього стандарту.

При проведенні випробувань на розтягування, визначення ударної в'язкості і

твердості – піддаються всі 100% заготовок. Кількість зразків при випробуванні металу поковок на розтягнення – два, на ударну в'язкість – два. При цьому механічні властивості перевіряються на поздовжніх, поперечних, тангенціальних або радіальних зразках, які вирізаються з напуску, передбаченого для кожної поковки. Для зняття внутрішніх напружень заготовка повинна піддаватися відпалюванню після заготівельної операції. Кування повинно мати маркування відповідно до креслення.

Конструкція «півмуфти» являє собою втулку з фланцем, розташованим на одному з торців деталі. При загальній довжині 160 мм і мінімальній товщині стінки – 14 мм, деталь є досить жорсткою. Разом з тим, при зовнішньому діаметрі фланця $\varnothing 350h6$ і його товщині в 20 мм, а також наявності великої кількості в ньому отворів і пазів, останній елемент деталі можна вважати недостатньо жорстким. У конструкції муфти «півмуфта» є передавальною крутний момент ланкою, що є важливим елементом в газоперекачувальному агрегаті, тому вона повинна бути досить міцною і жорсткою при мінімальній металоємності.

Як вже зазначалося вище, див. п. 1.1 цієї пояснювальної записки, «півмуфта» встановлюється в пружною муфту між валами турбодвигуна і нагнітача ГПА.

При цьому, сама півмуфта встановлюється на відомому валу нагнітача по посадці з мінімально допустимим зазором по двом циліндричним ступеням: $\varnothing 115G7/h6$ та $\varnothing 132G7 / h6$, з упором в торець ступені – $\varnothing 102$. Таким чином, зазначені поверхні, будучи основними конструкторськими базами, виконані по IT7. При цьому забезпечується краща посадка з невеликим гарантованим зазором, що задано цілком обґрунтовано, враховуючи, що з'єднання «півмуфта-вал нагнітача» піддається періодичним складанням та розбиранням. Підвищення точності розглянутого з'єднання надмірно підвищило б собівартість виготовлення деталі, а зниження точності до IT8, навпаки, погіршило б умови експлуатації даного з'єднання. Остання обставина пов'язана зі збільшенням зазору в сполученні, що може призвести до підвищеного биття сполучених деталей, в результаті чого відбудеться «розбивка» посадочних поверхонь, їх підвищене зношення і вихід з ладу всієї муфти. Відповідає зазначеній точності розмірів і шорсткості поверхонь –

1,6 мкм Ra. Виходячи з цих же умов експлуатації, обґрунтовано задано і вимогу з взаємного розташування зазначених посадочних поверхонь, зокрема, – радіальне биття поверхні $\varnothing 115G7$ щодо $\varnothing 132G7$ має бути – 0,02 мм. Зниження точності радіального биття призведе до підвищення відхилення від співвісності посадочних поверхонь, що, в свою чергу, призведе до одностороннього вибору зазору в розглянутому з'єднанні, а, з огляду на те, що півмуфта працює в важких умовах знакозмінних, циклічних навантажень, вібрацій, компенсуючи відхилення від співвісності валів турбодвигуна і нагнітача, це призведе до одностороннього зношення посадочних поверхонь, їх розбивки і, також, до виходу з ладу пружної муфти.

У розглянутій складальній одиниці крутний момент передається зубцями, виконаними на валу нагнітача і півмуфти пружної муфти. Внутрішнє зубчасте зачеплення по зовнішньому і внутрішньому діаметрам в півмуфті виконано по IT9, чого цілком достатньо, враховуючи нероз'ємне з'єднання зазначених деталей. Модуль зачеплення $m = 2,5$ мм; число зубців $z = 50$; ступінь точності по ГОСТ 1643-72 – 7, допуск на накопичену похибку кроку $F_p = 0,048$ мм, допуск на радіальне биття зубчастого вінця $F_z = 0,04$ мм, граничне відхилення основного кроку $f_{Rb} = \pm 0,016$ мм, ширина западин отвору за ділильним колом $S_d = 3,93_{+0,035}^{+0,085}$. Таким чином, з огляду на те, що бокові поверхні зубців також є основною конструкторською базою, високі вимоги щодо точності їх розмірів задані цілком обґрунтовано. Відповідає точності виготовлення зубчастого зачеплення і шорсткість поверхонь – 1,6 мкм Ra. Радіальне биття внутрішнього діаметра зубців складає 0,02 мм, що відповідає (5 – 6) ступенями точності відповідно до [2]. Така жорстка вимога задана цілком обґрунтовано, оскільки забезпечує досить рівномірний зазор за діаметром зубчастого зачеплення, що є дуже важливим для працездатності та довговічності зазначеного з'єднання, що працює з частотою обертання 8500 об/хв і компенсуючого радіальні і осьові зміщення, що виникають від теплових розширень валів і від неточності центрування при монтажі, а також часткові можливі резонансні коливання, що виникають в процесі роботи агрегату. З цих же міркувань обґрунтовано задані і вимоги по торцевого биття фланця і

маточини «півмуфти» з допуском 0,02 мм щодо посадочної поверхні $\varnothing 132G7$. Зазначений допуск відповідає 5-му ступеню точності і дозволяє до мінімуму звести осьові коливання деталі, що є дуже важливим для зниження осьових інерційних навантажень, які й так є надмірно великими при масі деталі 24,6 кг і частоті обертання 8500 об/хв. Зниженням осьових інерційних навантажень і вібрацій продиктовано і забезпечення розмірної точності на лінійний розмір 130_{-0,1} мм з допуском 0,1 мм, що відповідає IT9, оскільки саме цей розмір забезпечує довжину установки «півмуфти» на посадкових поверхнях вала нагнітача, а також на розмір 20_{-0,1} мм з допуском 0,1 мм, що відповідає IT10 – IT11. Останній розмір визначає ширину фланця і довжину складального з'єднання «фланець півмуфти-комплект гнучких кілець-фланець проміжного ступеня торсіонного валу». Тому зазначену точність лінійного розміру фланця також задано обґрунтовано.

Зниженню дисбалансу деталі, що здійснює обертальні рухи, продиктовано і вимогу з радіального биття зовнішнього діаметра маточини «півмуфти» $\varnothing 168h9$ з допуском 0,02 мм, що до мінімуму зведе можливість появи резонансних коливань муфти в цілому. У той же час, точність зовнішнього діаметра задано по IT9, чого цілком достатньо, враховуючи, що зазначена поверхня є вільною. А ось зовнішня циліндрична поверхня фланця деталі виконується по IT6 ($\varnothing 350h6$) і з допуском на радіальне биття – 0,02 мм щодо посадочної поверхні $\varnothing 132G7$. І тут цю вимогу задано цілком обґрунтовано, оскільки продиктовано, знову ж таки, зниженням дисбалансу і радіальних інерційних навантажень пружної муфти. Однак, з огляду на великий радіус фланця (R175), на якому виникають і більші відцентрові сили, ніж на радіусі маточини деталі, точність розміру фланця задано по IT6, незважаючи на вільний характер поверхні. Шорсткість поверхонь фланця задано в межах 1,6 мкм Ra.

Виходячи зі службового призначення ступінчастого отвору $\varnothing 45H7/\varnothing 30,5$, цілком обґрунтовано задано вимогу, що $\varnothing 45H7$ виготовляється по IT7, оскільки за вказаними поверхнями центруються спеціальні стяжні болти. При цьому шорсткість поверхні – 1,6 мкм Ra, і задано вимогу щодо відхилення від

паралельності циліндричного ступеня отвору щодо посадочної поверхні $\varnothing 132G7$ в межах 0,025 мм, що відповідає 8-го ступеню точності відповідно до [2]. Остання вимога забезпечує паралельну установку стяжних болтів, усуває їх скривлення при монтажі, що підвищує ступінь співвісності сполучених деталей, знижує інерційні навантаження при їх обертанні і підвищує експлуатаційну надійність пружної муфти. З цих же міркувань вказується позиційний допуск на виготовлення чотирьох отворів $\varnothing 74H11$ в межах 0,1 мм, що відповідає (10 – 11)-й ступеням точності. У той же час, внутрішній діаметр отворів виконується за IT11 з шорсткістю 3,2 мкм Ra, чого також цілком достатньо, враховуючи, що по ним базуються спеціальні втулки для установки пружних кілець, що компенсують утворювані перекося в з'єднанні. Точність міжосьової відстані по всім восьми ступінчастим отворам задано з допуском 0,06 мм, що відповідає IT7 – IT8, і цілком достатньо для забезпечення високого ступеня балансування деталей пружної муфти в зборі, зводячи до мінімуму виникнення інерційних радіальних навантажень при обертанні розглянутого з'єднання.

Точність кріпильних отворів M16-7H, використовуваних для монтажу «півмуфти» на валу нагнітача, цілком обґрунтовано і є найбільш поширеною точністю в кріпильних з'єднаннях такого класу. Шорсткість різьблення – 3,2 мкм Ra, що відповідає їх розмірній точності.

Всі сполучення між внутрішніми циліндричними ступенями «півмуфти» виконують з радісними скругленнями по R2, а на $\varnothing 144$ – по R8, а також з фасками – $1 \times 45^\circ$ й $5 \times 45^\circ$. По зовнішнім поверхням також виконують радіусні переходи з R8 й фасками $2 \times 45^\circ$ й $0,5 \times 45^\circ$, а між маточиною та фланцем деталі виконаний ухил з кутом $\angle 23^\circ$ й «забірна» частина маточини виконана з кутом $\angle (5^\circ \pm 1^\circ)$. Всі ці вимоги дозволяють звести до мінімуму утворення між циліндричними ступенями деталі концентраторів напруження, що дуже важливо для такої деталі, що працює в важких умовах знакозмінних, циклічних навантажень, при передачі величезної потужності до 16 МВт і частоті обертання до 8500 об/хв.

Решта вільних поверхонь «півмуфти» виконують з допусками по H14, h14 й

$\pm t_2/2$, чого також цілком достатньо і задано цілком обґрунтовано. Відповідає зазначеній точності й шорсткість поверхонь – 6,3 мкм Ra.

З огляду на відповідальність розглянутої деталі, умови її експлуатації і деяку агресивність перекачуваного газу, обґрунтовано задано і вимогу щодо покриття поверхонь деталі: Хім. Окс. прм. З огляду на те, що деталь працює в масляному середовищі, хімічне окисне покриття з подальшим змащенням мастилом задано цілком обґрунтовано і відповідає своєму службовому призначенню.

Подальший аналіз креслення деталі «півмуфта» показав, що на ньому допускаються деякі порушення правил оформлення конструкторської документації. Наприклад, не коректно вказаний лінійний габаритний розмір деталі: L, без надання на полі креслення таблиці з кількісним зазначенням розміру – 160 мм. Не дотримуються для деяких поверхонь деталі кількісні значення допусків розмірів і допусків по точності взаємного розташування поверхонь згідно діючих стандартів. Зокрема, допуск на $\varnothing 160_{-0,2}$ заданий 0,2 мм, що знаходиться в межах 0,16 мм по IT10 й 0,25 мм – по IT11. Аналогічно заданий і допуск на міжосьову відстань $\varnothing 260 \pm 0,03$, що дорівнює 0,06 мм. Зазначений допуск знаходиться в межах між 0,52 мм по IT12 й 0,81 мм – по IT13. Допуск на $\varnothing 212,5_{-0,5}$, складає 0,5 мм, також знаходиться в межах між 0,46 мм по IT12 и 0,72 мм – по IT13. За точністю взаємного розташування поверхонь також є ряд порушень. Допуск радіального биття внутрішньої поверхні $\varnothing 120H9$ заданий в 0,02 мм, що знаходиться в межах 0,016 мм за 5-м ступенем точності й 0,025 мм – за 6-м ступенем точності. Допуск торцевого биття зовнішніх поверхонь на лінійному розмірі 160 мм заданий в 0,02 мм, що знаходиться в межах 0,016 мм за 6-м ступенем точності й 0,025 мм – за 7-м ступенем точності.

Інші технічні вимоги в основному задані вірно. На кресленні «півмуфти» наведено достатню кількість видів і розрізів для розуміння конструкції деталі.

1.3 Характеристика типу виробництва

Тип виробництва згідно з ГОСТ 3.1108-74 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, що показує «відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом продовж місяця, до числа робочих місць» [3]. Згідно з завданням виробництво «півмуфт» здійснюється в умовах дрібносерійного типу виробництва. Так, за попередніми розрахунками, за умови річного обсягу випуску виробів 300 шт, дійсного річного фонду роботи устаткування $F_{д.о} = 4029$ год., нормативного коефіцієнта завантаження устаткування $\eta_{з.н} = 0,8$, та базових технічних норм часу на операції технологічного процесу, маємо $K_{з.о} = 21$. Так, розрахункова величина коефіцієнта закріплення операцій відповідає саме дрібносерійному типу виробництва [3].

Як відомо, типи виробництва розрізняють залежно від двох основних чинників: номенклатури та річного обсягу випуску виробів. Серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом. Ключовим показником серійного виробництва є величина виробничої партії. Партії виробів, «що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією та однакових за розмірами деталей, що запускають у виробництво одночасно» [3].

Залежно від величини виробничої партії підбирається верстатне обладнання та засоби технологічного оснащення з різним ступенем механізації і автоматизації. Так, в дрібносерійному типі виробництва знаходять застосування звичайні універсальні верстати, оснащені стандартними механізованими приводами, а також верстати з ЧПК, обробні центри, оснащені засобами автоматичної зміни різального інструменту і контролю якості виробів, засобами автоматичної установки, закріплення і розкріплення заготовок, системами автоматичної діагностики стану органів верстата, ріжучого інструменту тощо.

Засоби технологічного оснащення (ріжучий, вимірювальний інструмент, допоміжне оснащення) в основному стандартні.

Кваліфікація основних і допоміжних робітників – вище середнього рівня.

Вважається, що серійне виробництво значно економніше, ніж одиничне, так

як раціональне використання верстатного обладнання, спеціалізація робочих, підвищення продуктивності праці в середньому забезпечують зменшення собівартості продукції.

У серійному виробництві верстати можуть розташовуватися як за видами обладнання, так і в послідовності реалізації технологічних операцій, встановлених для деталей, найбільш часто оброблюваних на даній ділянці.

Приймаємо форму організації робіт в дрібносерійне виробництво – групову.

Кількість деталей у виробничій партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою [3]:

$$N_{\text{п}} = (N_{\text{річ}} \cdot a) / 259,$$

де $a = 24$ – періодичність запуску, в днях (один раз на місяць) [3].

$$N_{\text{п}} = (300 \cdot 24) / 259 = 27,8 \text{ шт.},$$

беремо $N_{\text{п}} = 28$ шт.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

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

Аналіз матеріалу даної заготовки «півмуфти 4.7125.011-03» показує, що

використання для її виготовлення високоякісної легованої конструкційної сталі 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71 є цілком обґрунтованим і пояснюється високими характеристиками міцності, вимогами, що пред'являють до поверхонь деталі в процесі її експлуатації. Хімічний склад сталі 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71, її структура і фізико-механічні властивості, див. п. 1.2 цієї пояснювальної записки, продиктовані умовами експлуатації «півмуфти», що працює в умовах складнонапруженого стану циклічних, знакозмінних навантажень, що піддаються динамічним впливам. Деталь працює в навантаженому стані при значній вазі обертових мас вузла приводу, з частотою обертання до 8500 об/хв і передачі значної потужності до 16 МВт. У цих умовах необхідно мати матеріал з високим тимчасовим опором розриву і досить в'язкою серцевиною, що дозволяє працювати «півмуфті» на розтягнення-стиснення з крутінням. Така сталь порівняно важко обробляється, в зв'язку з чим вона недостатньо технологічна при механічній обробці як лезовій, так і абразивним інструментом. Однак при використанні двокарбідних твердих сплавів типу ТК (Т5К10; Т15К6) можна отримати необхідну точність і шорсткість поверхонь.

До заготовки пред'являють дуже жорсткі вимоги по групі випробувань: поковка Гр.V – КП590 ГОСТ 8479-70 [4], що цілком обґрунтовано досить навантаженими умовами її експлуатації, але не технологічно з точки зору її виготовлення, оскільки вимагає додаткових трудовитрат на організацію всіх випробувань заготовки, різко ускладнює технологічний процес механічної обробки за рахунок введення додаткового числа операцій механічної обробки зразків для випробувань. В результаті знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість.

Що стосується методу отримання заготовки «півмуфти» – поковки вільним куванням на молотах з прокату, в умовах дрібносерійного виробництва забезпечується вигідний розкрій матеріалу з досить невисокою собівартістю отримання заготовки, що є технологічним фактором. Звичайно, набагато простіше виготовляти такі заготовки з прокату, однак, при значному перепаді діаметральних розмірів (за рахунок фланця) і наявності центрального наскрізного отвору,

можлива велика перевитрата порівняно дорогого за вартістю матеріалу. Тому це питання залишається відкритим до обґрунтування вибору методу отримання заготовки, який ми зробимо в наступних розділах цієї пояснювальної записки.

За геометричною формою поверхонь «півмуфти» її конструкція досить проста і порівняно технологічна і являє собою втулку з центральним отвором і фланцем на одному з торців деталі. Її зовнішні діаметральні розміри зменшуються від одного кінця деталі до іншого. При цьому, наявність фланця знижує технологічність деталі і знижує коефіцієнт використання матеріалу. Максимальний діаметр фланця $\varnothing 350_{h6}$, а мінімальний діаметр маточини – $\varnothing 160_{-0,2}$. Такі значні перепади зовнішніх діаметрів «півмуфти» знижують її технологічність.

За внутрішнім діаметральним розмірами центрального отвору деталі спостерігаються незначні перепади розмірів: від $\varnothing 144$ до $\varnothing 102$. При цьому, внутрішні діаметральні розміри поступово зменшуються від торців деталі до її середини, що знижує трудомісткість механічної обробки.

На деталі відсутні різкі переходи між циліндричними зовнішніми і внутрішніми ступенями, для чого між ними виконуються фаски, радіусні і конічні переходи, що усуває концентратори напружень, підвищує її експлуатаційну надійність і значить технологічність, див. малюнок 1.1.

Проставлення розмірів «півмуфти» виконано вірно, дозволяє поєднати технологічні і вимірнювальні бази і, тим самим, усунувши похибки базування, підвищити точність механічної обробки поверхонь деталі.

Порівняно раціональна конфігурація поверхонь «півмуфти», їх якість дозволяє в процесі, як отримання заготовки, так і при механічній обробці використовувати високопродуктивне обладнання та інструмент, проводити обробку ряду поверхонь напрохід, що також знижує собівартість обробки.

Разом з тим, в конфігурації «півмуфти» є і ряд нетехнологічних елементів. Перш за все, це відноситься до наявності на одному з її торців «фланця». Це ускладнює базування і закріплення заготовки при її механічній обробці. Через великий перепад зовнішніх діаметрів, неможливо при переустановленні заготовки в межах однієї операції використовувати один і той же верстатний пристрій, що, в

кінцевому підсумку призводить до розбивки такої операції на дві операції, а, значить, знижує продуктивність обробки за рахунок збільшення допоміжного часу. При цьому, для досягнення необхідної якості поверхонь необхідно буде використовувати різноманітну, спеціальну технологічну оснастку, що дозволяє виробляти необхідну кількість переустановлень заготовки, що також збільшує допоміжний час. Крім того, значні перепади зовнішніх діаметрів при оптимізації режимів різання вимагають частої зміни частоти обертання деталі. В результаті, все вищесказане призведе до зниження продуктивності обробки та підвищення її собівартості.

До нетехнологічних конструктивних елементів деталі слід віднести обробку конічних поверхонь: при переході від маточини з $\varnothing 168h9$ до фланця з кутом $\angle 23^\circ$, а також конусності з кутом $\angle 5^\circ \pm 1^\circ$ при переході від $\varnothing 168h9$ до $\varnothing 160_{-0,2}$.

Ускладнює механічну обробку і створення великих радіусних переходів з R8 на зовнішніх і, особливо, внутрішніх ступенях деталі. Утруднена обробка і внутрішньої канавки на $\varnothing 132/\varnothing 115G7$ шириною 6 мм з радіусами заокруглень R2. Це вимагає використання або спеціального обладнання, або спеціального технологічного оснащення, різального інструменту і налагоджень. В результаті, знову ж знижується продуктивність обробки, зростає її собівартість.

З умов застосування малопродуктивних методів обробки, нетехнологічним слід вважати і обробку чотирьох закритих з двох сторін пазів 48×60 з R24, розташованих в чотирьох отворах фланця $\varnothing 74H11$. Для їх обробки використовуємо кінцеві фрези, що встановлюються в шпиндель розточувального верстата, оскільки тут високопродуктивні дискові фрези непридатні до застосування. До того ж, утруднена обробка і самих східчастих отворів $\varnothing 74H11$, оскільки вони виконуються не напрохід і з точністю по IT11. В результаті знижується продуктивність обробки, підвищується її собівартість. З цих же міркувань в ще більшому ступені утруднена обробка у фланці чотирьох східчастих отворів $\varnothing 45H7/\varnothing 30,5$, перехід між ступенями яких також виконується під прямим кутом, а більш точна ступінь по IT7 обробляється не напрохід.

Знижує технологічність конструкції деталі і недостатня уніфікація часто повторюваних конструктивних елементів деталі, таких як фаски, радіуси заокруглень. Зокрема, з вісімнадцяти фасок майже половина мають різні розміри: 10 фасок – $0,5 \times 45^\circ$; 5 фасок – $1 \times 45^\circ$; 2 фаски – $2 \times 45^\circ$ й 1 фаска – $5 \times 45^\circ$. Різноманітність конструктивних форм спостерігається і при забезпеченні радіусних переходів між циліндричними ступенями деталі: R2; R8; що також потребує виготовлення прохідних, канавкових і підрізних різців з таким же різноманіттям радіусів при вершині різця. В результаті збільшуються витрати на виготовлення ріжучих інструментів, ускладнюються операційні налагодження із залученням більшої кількості різців, зростає кваліфікація робітників і собівартість обробки.

Знижується продуктивність і при виготовленні внутрішнього зубчастого вінця, для обробки якого потрібно використання менш ефективного, ніж зубофрезерування методу зубодовбання.

Чи не технологічно у виготовленні і нарізанні чотирьох глухих різьбових отворів M16-7H глибиною 16 мм.

Підвищує трудомісткість механічної обробки заготовки висока розмірна точність деяких її поверхонь, зокрема, $\varnothing 350h6$, $\varnothing 115G7$, $\varnothing 132G7$, $\varnothing 45H7$, $\varnothing 120H9$, $\varnothing 131,25H9$, $\varnothing 168h9$, 130-_{0,1} (по IT9), низька шорсткість в межах 1,6 мкм Ra при загальній шорсткості поверхонь деталі в межах 6,3 мкм Ra, а також високі вимоги по точності взаємного розташування поверхонь, такі як радіальне і торцеве биття зазначених поверхонь щодо осі отвору $\varnothing 132G7$, в межах 0,02 мм, відхилення від паралельності в межах 0,025 мм, див. малюнок 1.1. Для забезпечення зазначених вимог при механічній обробці необхідно використовувати додаткові чистові етапи, що вимагає застосування більш точного обладнання, технологічного оснащення, а в результаті зростають трудовитрати, час обробки, що знижує продуктивність обробки і підвищує її собівартість.

В іншому по своїй конфігурації деталь технологічна і труднощів при її механічному обробленні не передбачається.

На кресленні деталі використовується комбінований метод проставлення розмірів, що забезпечує зручність в їх вимірі в процесі механічної обробки. У загальному випадку розмірні ланцюги забезпечують однозначне визначення всіх конструктивних елементів деталі. З огляду на високу розмірну точність оброблюваних поверхонь і точність взаємного розташування, при їх механічній обробці слід максимально дотримуватися принципів єдності і сталості баз, а також намагатися обробляти максимально можливу кількість поверхонь з однієї установки.

З точки зору побудови необхідно відзначити, що деталь «півмуфта» знаходиться у вузлі муфти приводу ротора нагнітача газоперекачувального агрегату і може легко зніматися, і встановлюватися в процесі експлуатації і ремонту, що підвищує її технологічність.

Таким чином, в результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що в цілому деталь «півмуфта 4.7125.011-03» – технологічна, як при виготовленні заготовки, так і при подальшому механічному обробленні і складанні.

Тепер здійснимо кількісну оцінку технологічності конструкції «півмуфти» згідно з ГОСТ 14.205-83.

Рівень технологічності конструкції деталі за точністю оброблення визначається за формулою:

$$K_m = 1 - 1/T_{cp},$$

де T_{cp} – середній квалітет точності оброблюваних поверхонь деталі;

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

T_i – квалітет точності оброблюваної поверхні;

n_i – кількість розмірів з відповідним квалітетом точності.

$$T_{cp} = \frac{6 \cdot 1 + 7 \cdot 12 + 9 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 11 \cdot 4 + 14 \cdot 25}{48} = 11,25;$$

В результаті маємо:

$$K_m = 1 - 1/11,25 = 0,91.$$

Рівень технологічності конструкції деталі за шорсткістю оброблених поверхонь:

$$K_u = 1 - 1/Ш_{cp},$$

де $Ш_{cp}$ – середня шорсткість оброблених поверхонь, мкм;

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

$Ш_i$ – шорсткість поверхні, мкм;

n_i – кількість поверхонь деталі з відповідною шорсткістю.

$$Ш_{cp} = \frac{1,6 \cdot 11 + 3,2 \cdot 8 + 6,3 \cdot 29}{48} = 4,7 \text{ мкм},$$

$$K_u = 1 - 1/4,7 = 0,79.$$

Рівень технологічності конструкції деталі за використанням матеріалу:

$$K_{в.м} = M_d/M_{заг} = 24,5/159 = 0,15,$$

де M_d – маса деталі, кг;

$M_{заг}$ – маса заготовки, кг.

Таким чином, в результаті проведеного якісного і кількісного аналізу можна зробити висновок, що в цілому деталь «півмуфта 4.7125.011-03» – технологічна, як при виготовленні заготовки, так і при подальшому механічному обробленні й складанні.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для побудови оптимального варіанту маршруту механічної обробки даної заготовки виконаємо аналіз заводського технологічного процесу механічної обробки «півмуфти 4.7125.011-03». З цією метою складемо таблицю 1.1, в якій поряд з номерами, назвами і коротким змістом операцій базового технологічного процесу, відзначимо ще й особливості базування заготовки, а також металорізальне обладнання, що використовується.

На підприємстві при виготовленні «півмуфти 4.7125.011-03» використовується маршрутний опис технологічного процесу, без операційних ескізів і без вказівки елементів режимів різання. До того ж, оформлення маршрутних карт не відповідає діючим стандартам з оформлення технологічної документації, що знижує рівень технологічного забезпечення механічної обробки заготовки, а значить і якість виробництва зазначених деталей. Не вірно вказується найменування операцій – без урахування найменувань металорізального обладнання. У технологічному процесі не вказують міжопераційні розміри заготовки, що знімаються припуски, немає допусків на оброблювані розміри, не вказано моделі верстатів, не на всіх операціях вказується базування і технологічне оснащення. У зв'язку з цим, при складанні таблиці 1.1 використовувалася вся доступна інформація безпосередньо з робочих місць з виробництва даної «півмуфти».

Таблиця 1.1 – Короткий опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

№ п/п операцій	Найменування операцій	Вміст операцій	Особливості базування заготовки	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Обробка тиском	Отримання поковки вільним куванням		Молот
010	Термічна	Зняття внутрішніх напружень відпалюванням		Піч
015	Токарна	Чорнова обробка. Установ А. Підрізати торці заготовки, обточити поверху з припуском 5 мм на сторону, свердлити центральний отвір. Установ Б. Підрізати протилежний торець, обточити фланець поверху з припуском 5 мм на сторону	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	Токарно-гвинторізний верстат мод. 163
020	Термічна	Зняття внутрішніх напружень		Піч
025	Токарна	Вирізати зразки для випробувань	Див. операцію 015	163
030	Токарна	Точити торці кільця для зразків в розмір 20 мм	Див. операцію 015	163
035	Розточувальна	Фрезерувати зразки з кільця для випробувань	По торцю кільця й отвору	Горизонтально-розточувальний верстат мод. 2636
040	Випробування	Випробування зразків		Установка для випробувань
045	Токарна	Півчистова обробка. Установ А. Точити з припуском 1,5-2 мм на сторону по всім зовнішнім й внутрішнім поверхням з одного боку. Установ Б. Точити з припуском 1,5-2 мм на сторону по всім поверхням з іншого боку	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	163
050	Термічна	Стабілізуюче відгартування		Піч
055	Токарна	Чистова обробка. Установ А. Точити остаточно зовнішні й внутрішні поверхні з одного боку. Установ Б. Точити остаточно інші поверхні з іншого боку	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	163

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
060	Зубодовбальна	Довбати внутрішній зубчастий вінець	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхням	Зубодовбальний півавтомат мод. 5140
065	Розмічування	Розмітити 4 отвори М16		Плита для розмічування
070	Свердлильна	Свердлити 4 отвори й нарізати в них різь М16	По торцевій й внутрішній циліндричній поверхням	Радіально-свердлильний верстат мод. 2М55
075	Координатно-розточувальна	Свердлити, розточити 4 отвори Ø30,5, 4 отвори Ø45Н7, 4 отвори Ø48, 4 отвори Ø74Н11	По торцевій й внутрішній циліндричній поверхням й отвору М16	Координатно-розточувальний верстат мод. 2Д450
080	Фрезерна	Фрезерувати 4 паза 48×60 с R24	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхням й отвору М16	Вертикально-фрезерний верстат мод. 6Р13
085	Токарна	Правити посадочні місця, фаски, переходи	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхням	163
090	Контрольна	Контролювати основні розміри деталі		Стіл ВТК
095	Слюсарна	Зняти задирки		Верстак
100	Гальванічна	Нанесення захисного покриття		
105	Слюсарна			Верстак

Аналізуючи існуючий технологічний процес механічної обробки «півмуфти» можна відзначити таке. Заготовку для «півмуфти» отримують як поковку V групи діаметром 370 мм, з подальшою термообробкою – відпалюванням, для зняття внутрішніх напружень після заготівельної операції. Такий метод отримання заготовки досить простий, але при цьому багато металу йде в стружку. Тут слід зазначити, що, з огляду на високу V групи поковки згідно з ГОСТ 8479-70, в технологічному процесі передбачено ще дві (всього три) термічні операції для поліпшення структури металу після перших чорнових операцій механічної обробки заготовки.

Порівнюючи заводський технологічний процес з типовим, можна відзначити, що на першій механічній операції проводиться обдирання (чорнова обробка) зовнішніх і внутрішніх поверхонь заготовки. Потім, після термообробки вирізаються і обробляються зразки для випробувань згідно з вимогами V групи поковки, після чого проводяться відповідні їх випробування.

Після отримання позитивних результатів випробувань проводиться півчистова токарна обробка заготовки, її термообробка (стабілізуюче відгартування) і токарна чистова обробка основних поверхонь заготовки. При цьому, спочатку на токарній чорновій операції обробляють поверхні, які в подальшому стануть базовими, а саме – зовнішні і внутрішні циліндричні поверхні, підрізають торці заготовки. Також можна відзначити, що на токарних операціях дотримується принцип поетапності, коли спочатку йдуть операції чорнові, пов'язані зі зняттям великих припусків, а далі чистові і остаточні, що відповідає загальноприйнятим рекомендаціям щодо складання технологічних процесів. Виняток становлять свердлильні та фрезерні операції з обробки отворів і пазів на фланці заготовки, які є чорновими, а виконуються після чистового точіння. Однак обробка зазначених поверхонь – захід вимушений, оскільки запобігає поломкам токарних різців (якби останні використовувалися при обробці фланця «півмуфти» після свердління отворів і фрезерування пазів).

В кінці технологічного процесу механічної обробки «півмуфти» проводиться токарна операція з виправлення посадочних місць, фасок і переходів, а також виконується нанесення покриття «Хім. Окс. прм.».

Завершується обробка заготовки слюсарними і контрольної операціями.

За даним технологічним процесом заготовка відповідає кресленням щодо фактичних припусків на обробку. Всі технічні вимоги дотримані. Як чорнові технологічні бази спочатку обрані зовнішні циліндричні поверхні заготовки та її торець.

Подальший аналіз існуючого технологічного процесу і порівняння його з типовим показує, що він складений узагальнено, без поопераційного опису (без вказівки установів, переходів, технологічної оснастки, режимів різання і

операційних ескізів), про що вже говорилося раніше. Так, на зубодовбальній, свердлильній, координатно-розточувальній і фрезерній операціях не зрозуміло, як необхідно базувати деталь. На токарних операціях не вказано послідовність обробки поверхонь, а глибина різання відзначається узагальнено: «...точити поверхні з припуском 5 мм на сторону». До того ж технологічний процес передбачає недостатню кількість етапів для обробки найбільш точної поверхні деталі за 6-м квалітетом точності. Для обробки поверхні $\varnothing 350h6$ передбачено лише три етапи: чорнове, півчистове і чистове точіння, замість чотирьох етапів. До речі, аналогічним чином в три етапи проводиться обробка і циліндричних ступенів $\varnothing 168h9$, $\varnothing 120H9$, $\varnothing 131,25H9$, $\varnothing 160h10$, але ж тут, за винятком такої ж шорсткості оброблюваної поверхні в 1,6 мкм Ra, одержувана розмірна точність набагато нижча – по 9 квалітету точності. Тут для отримання точності поверхонь по IT6, бажано проводити обробку в 4 етапи, виконуючи чорнове, півчистове, чистове і тонке точіння зазначеної поверхні. У той же час, в заводському технологічному процесі після токарної півчистої обробки на чистове точіння шийок залишається завищений припуск в 2 мм на сторону. Тут необхідно уточнити величину припуску під чистове і тонке точіння, використовуючи наприклад розрахунково-аналітичний метод проф. В. М. Кована.

Після виконання чистої токарної обробки всіх поверхонь деталі і обробки на зубодовбальній операції внутрішнього зубчастого вінця, проводиться операція з розмічування 4-х отворів M16-7H на фланці заготовки, їх обробка, а також свердління, розточування і фрезерування інших отворів і пазів заготовки.

Таким чином, в заводському технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» майже повністю дотримується принцип поетапності, коли послідовно виконується чорнова, півчистова і чистова обробка поверхонь заготовки. Завершує технологічний процес механічної обробки заготовки контрольна операція з перевірки основних розмірів деталі, визначення точності форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості.

Аналіз свердлильної, розточувальної і фрезерної операцій показує, що їх переходи можна об'єднати в одну операцію, підвищивши, таким чином, їх

концентрацію, що є прийнятним для умов дрібносерійного виробництва, і в цілому має сприяти зниженню собівартості обробки. В результаті на одній комплексній операції можна провести обробку всіх отворів і пазів заготовки на її фланці.

В даному заводському технологічному процесі перед свердлильною операцією використовується ручне розмічування, що при її виключенні, за рахунок застосування автоматичних верстатів з ЧПК, є резервом вдосконалення у перспективному технологічному процесі. Застосування спеціальних пристосувань дозволить повністю відмовитися від операції розмічування і уникнути низькопродуктивної ручної праці.

На всіх операціях базового технологічного процесу використовується універсальне устаткування і технологічне оснащення. Для механізації і автоматизації дрібносерійного виробництва було б бажано ширше використовувати верстати з ЧПК, яких в заводському технологічному процесі зовсім немає. Це дозволило б знизити кваліфікацію робітників і підняти продуктивність обробки, повністю усунувши ручну працю. При цьому, дотримується принцип постійності баз: лезова обробка всіх циліндричних поверхонь здійснюється в патроні по зовнішній поверхні з упором в торець. При обробці отворів і пазів можна використовувати торець заготовки та її центральний отвір.

Таким чином, базування, використовуване обладнання та оснащення відповідають заданій програмі випуску і прийнятій формі організації робіт. Верстати розташовують за видами обладнання. Заготовки встановлюють на верстати і транспортують між операціями вручну за допомогою візків. Разом з тим, тут необхідно відзначити, що застосовується на операціях обробки «півмуфти» фізично та морально застаріле, що створює об'єктивні труднощі при забезпеченні необхідної якості оброблюваних поверхонь.

У заводському технологічному процесі як ріжучий інструмент застосовується нормалізований, універсальний інструмент: прохідні, підрізні й розточувальні різці, оснащені пластинками з твердого сплаву T5K10 і T15K6, спіральні свердла і кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі P6M5. Виняток

становлять ті випадки, коли поверхні неможливо обробити стандартним інструментом. Це спеціальні канавкові різці для обробки внутрішніх поверхонь канавок. Як вимірювальний інструмент застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів, зразків шорсткості, а для замірів точності розмірів по ІТ6, ІТ7 і ІТ9 застосовують також і граничні калібри, що, однак, небажано для умов дрібносерійного виробництва. Все це, в загальному, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь «півмуфти», як по точності розмірів, так і по точності їх форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості. У той же час, як показує наведений вище аналіз, в заводському технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» є резерви для його вдосконалення, про що ми скажемо під час проектування раціонального маршруту механічної обробки даної деталі.

1.6 Висновок

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

- 1) спосіб отримання заготовки вільним куванням визначає наявність великих припусків і напусків;
- 2) низький рівень інтеграції окремих технологічних операцій;
- 3) наявність операцій розмічування;
- 4) низький рівень використання засобів механізації та автоматизації;
- 5) використання фізично та морально застарілого верстатного устаткування.

Усі зазначені недоліки базової технології визначають низьку продуктивність обробки заготовки, високу ймовірність появи браку та, як результат, високу собівартість виготовлення деталі.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Обґрунтування вибору способу отримання заготовки

В існуючому технологічному процесі заготовку «півмуфти» отримують у вигляді поковки вільним куванням на молотах з подальшою термообробкою для зняття внутрішніх напружень. Трудомісткість отримання такої заготовки невелика, проте при цьому спостерігаються і досить невисокі коефіцієнти використання матеріалу деталі:

$$K_{в.м.} = M_{д}/M_{заг},$$

де $M_{д}$ – маса деталі, кг;

$M_{заг}$ – маса заготовки, кг.

В результаті:

$$K_{в.м.} = 24,6/159 = 0,16.$$

Як альтернативний варіант отримання заготовки можна запропонувати її отримання також вільним куванням на молотах, але в підкладних кільцях і з прошивкою центрального отвору. Це підвищить коефіцієнт використання матеріалу (до 0,25) і знизить обсяги подальшої механічної обробки заготовки. Пропоновані методи цілком прийнятні для умов дрібносерійного виробництва і мають порівняно невисоку собівартість отримання.

Подальший вибір методу отримання заготовки здійснимо за допомогою техніко-економічного обґрунтування згідно з методикою, викладеною в [3]. Спочатку визначимо вартість заготовок, одержуваних куванням без прошивки центрального отвору [3]:

$$S_{\text{заг}} = (C_i / 1000) \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \cdot S_{\text{вдх}} / 1000,$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, отримуваних вільним куванням на молотах,

$$C_i = 26100 \text{ грн};$$

$$Q - \text{маса поковки, } Q = 159 \text{ кг};$$

$$q - \text{маса деталі, } q = 24,6 \text{ кг};$$

$$K_T - \text{коефіцієнт, що залежить від класу точності поковки, } K_T = 1,0;$$

$$K_C - \text{коефіцієнт, що залежить від групи складності поковки, } K_C = 0,9;$$

$$K_B - \text{коефіцієнт, що залежить від маси поковки, } K_B = 0,7;$$

$$K_M - \text{коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу поковки, } K_M = 1,79;$$

$$K_{\Pi} - \text{коефіцієнт, що залежить від об'єму випуску заготовок, } K_{\Pi} = 1,0.$$

$$S_{\text{вдх}} - \text{вартість відходів металу, } S_{\text{вдх}} = 2600 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{пок1}} = (26100/1000) \cdot 159 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,79 \cdot 1,0 - (159 - 24,6) \cdot 2600/1000 = 4330 \text{ грн.}$$

Тепер визначимо вартість поковок вільним куванням на молотах в підкладних кільцях і з прошивкою центрального отвору.

Для зазначеного методу отримання заготовки перераховані вище коефіцієнти рівні:

- базова вартість 1 т заготовок, одержуваних вільним куванням на молотах з використанням підкладних кілець і прошивкою центрального отвору:

$$C_i = 28800 \text{ грн};$$

$$- \text{маса поковки: } Q = 98 \text{ кг};$$

$$- \text{маса деталі: } q = 24,6 \text{ кг};$$

$$- \text{коефіцієнт, що залежить від класу точності поковки: } K_T = 1,05;$$

$$- \text{коефіцієнт, що залежить від групи складності поковки: } K_C = 1,0;$$

$$- \text{коефіцієнт, що залежить від маси поковки: } K_B = 0,7;$$

$$- \text{коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу поковки: } K_M = 1,79;$$

$$- \text{коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок: } K_{\Pi} = 1,0;$$

- вартість відходів металу: $S_{вдх} = 2600$ грн.

$$S_{пок2} = (28800/1000) \cdot 98 \cdot 1,05 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1,79 \cdot 1,0 - (98 - 24,6) \cdot 2600/1000 = 3522 \text{ грн.}$$

Таким чином, вартість заготовок, одержуваних вільним куванням на молотах з використанням підкладних кілець і прошивкою центрального отвору, менше вартості звичайних поковок. Тому подальше порівняння одержуваних заготовок по відмінності обсягів їх механічної обробки недоцільно.

З огляду на конфігурацію, розміри, масу і програму випуску деталі «півмуфта» ми зупинилися на методі отримання заготовки – поковка вільним куванням на молотах в підкладних кільцях з прошивкою центрального отвору. В цьому випадку визначаємо припуски і допуски на заготовку відповідно до ГОСТ 7829-70 [5].

Для деталей типу втулка з уступами і центральним отвором, що виготовляються в підкладних кільцях, при $h \leq D_1$; $h \leq 0,75H$; $D_1 - D_2 \geq 0,2D$; $0,5D_2 \geq d \geq 0,4H$ (тут: D – діаметр деталі; H – найбільша довжина деталі; h – довжина фланця деталі; D_1 – діаметр фланця; D_2 – діаметр маточини; (d – діаметр отвору) припуски й допуски призначають на загальну довжину деталі й довжину її фланця, її зовнішні діаметри і діаметр отвору. Всі розрахунки розмірів заготовки наведемо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок розмірів поковки, в міліметрах

Розмір деталі	Основний припуск на заготовку й допуск	Додатковий припуск на заготовку	Розрахунок розмірів заготовки	Кінцеві розміри заготовки з допусками
1	2	3	4	5
Ø350h6	16 ± 5,0	10,0	350+16+10=376	Ø376 ± 5,0
Ø168h9	11 $^{+5}_{-2}$	Основное сечение	168+11=179	Ø179 $^{+5}_{-2}$
Ø102	22,0 ± 5,0	-	102-22=80	Ø80 ± 5,0
160	15,0 ± 4,0	-	160+15=175	175 ± 4,0
20	15,0 ± 4,0	-	20+15=35	35 ± 4,0

Перевірка розмірів для визначення основного перетину заготовки показала [5]:

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

$$366 \cdot 35 < 179 \cdot (175 - 35).$$

Таким чином, в якості основного перетину приймаємо перетин маточини з $\varnothing 168h9$, додатковий припуск на який не призначаємо.

Ескіз поковки покажемо на малюнку 2.1.

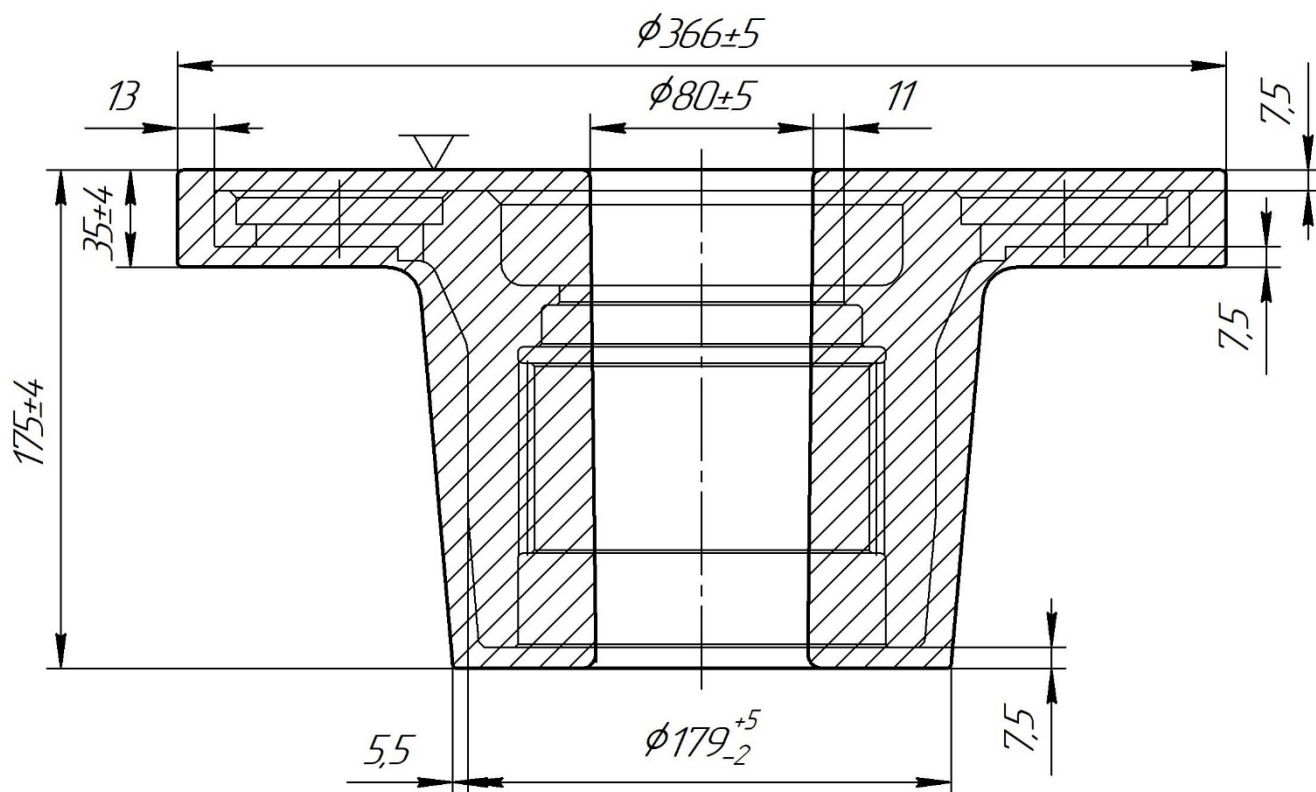


Рисунок 2.1 – Ескіз поковки

На малюнку 2.1 розмір зовнішньої циліндричної поверхні заготовки $\varnothing 366 \pm 0,5$ вказано з урахуванням подальших результатів аналітичного розрахунку операційних припусків і розмірів.

2.2 Розроблення раціонального маршруту обробки заготовки

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

Попередній аналіз можливих методів обробки елементарних поверхонь (МОЕП) «півмуфти», зокрема, зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ показує, що в заводському варіанті технологічного процесу для отримання точності поверхонь по ІТ6 недостатньо 3-х кратної обробки: бажано проводити обробку в 4 етапи, виконуючи чорнове, півчистове, чистове і тонке точіння (див. п. 1.5 цієї пояснювальної записки), зазначеної поверхні.

У заводському технологічному процесі, в основному, дотримується принцип поетапності при обробці поверхонь «півмуфти». Разом з тим, останні лезові операції зі свердління отворів, фрезерування пазів, нарізанні різи, встановлені з порушенням цього принципу.

Аналіз свердлильної, розточувальної та фрезерної операцій показує, що їх переходи можна об'єднати в одну операцію, підвищивши, таким чином, їх концентрацію, що є прийнятним для умов дрібносерійного виробництва, і знизить собівартість обробки. В результаті, на одній комплексній операції можна провести обробку всіх отворів і пазів заготовки на її фланці.

Зайве диференційовано і токарну операцію 085 з виправлення посадочних місць, фасок і переходів. В цю операцію можна додати і тонке точіння (четвертий етап) з обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$. Перегляд, таким чином, завантаження зазначених операцій, дозволяє вирівняти час обробки на них.

Як вже зазначалося раніше, в заводському технологічному процесі використовується застаріле устаткування. Зокрема, на токарних операціях використовується токарно-гвинторізний верстат моделі 163, а на свердлильних –

радіально-свердлильний верстат моделі 2М55. У проектованому технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» слід ширше використовувати верстати з ЧПК, що усуне попереднє ручне розмічування, особливо на фрезерних і свердлильних операціях, підвищить продуктивність обробки, знизить її собівартість.

З урахуванням висловлених пропозицій побудуємо матрицю технологічного процесу механічної обробки «півмуфти», див. таблицю 2.2. Для цього спочатку намалюємо ескіз деталі з нумерацією всіх її поверхонь, див. рисунок 2.2. Потім визначаємо етапи обробки поверхонь з урахуванням раніше визначених МОЕП і в таблиці 2.2 навпроти оброблюваних поверхонь по кожному етапу обробки та методу обробки поставимо знак «+». У підсумку ми отримаємо так звану матрицю технологічного процесу, на основі якої визначаються укрупнені операції, відповідні перерахованим етапам обробки: E1, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E10, E12. Таким чином, проектований технологічний процес механічної обробки «півмуфти» складається з 9 укрупнених операцій. У розглянуту матрицю не ввійшли операції з відрізання й обробки зразків для випробувань матеріалу заготовки. Тут повністю зберігаємо заводський технологічний процес.

Аналіз укрупнених операцій, зокрема, E4, показує, що дану операцію не можна реалізувати на одному верстаті через відмінності в методах обробки – фрезерування, свердління, точіння. Тому поділяємо цю укрупнену операцію на дві: токарну, виконувану на токарно-гвинторізному верстаті й свердлильно-фрезерно-розточувальну, виконувану на свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті.

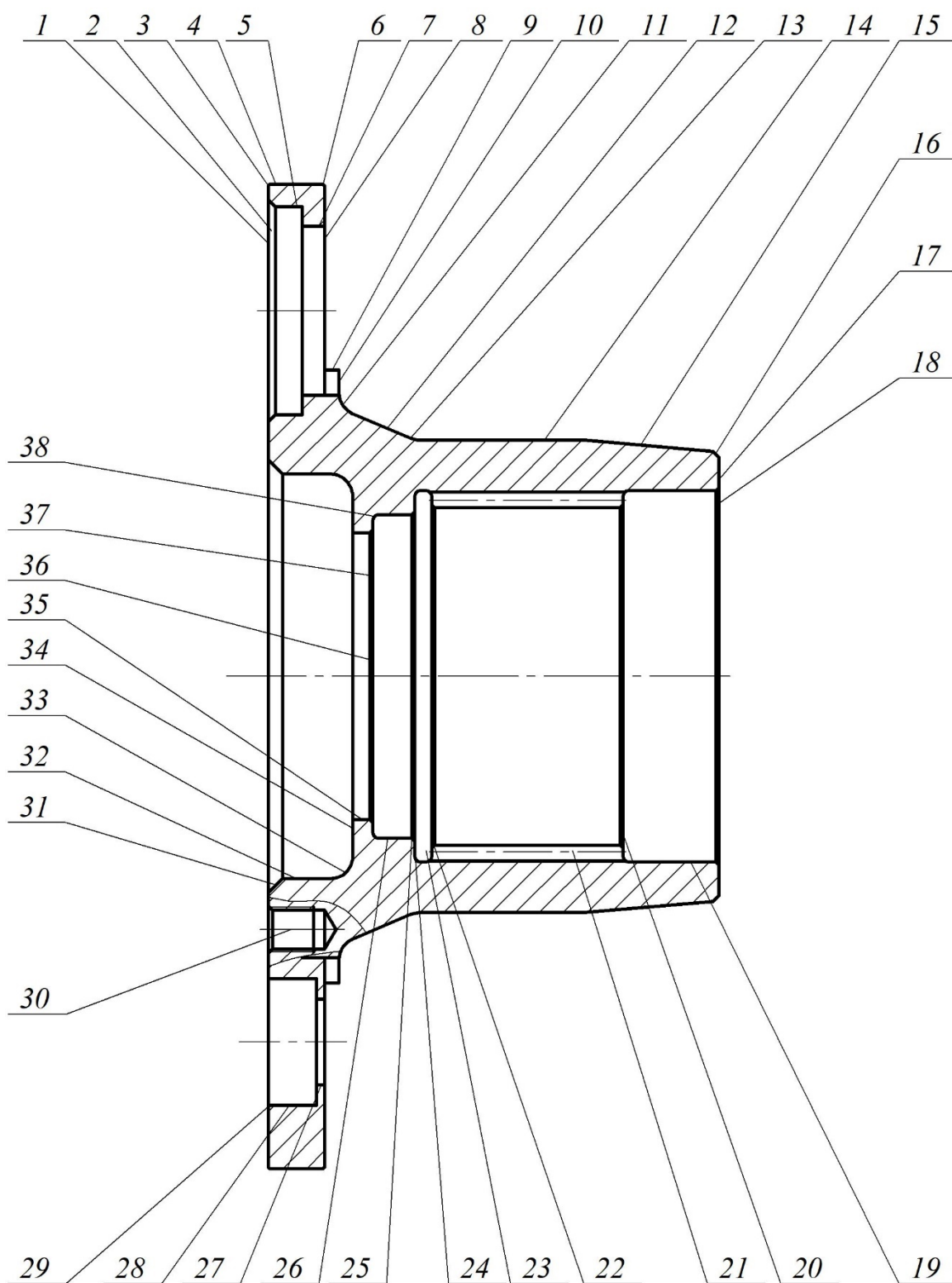


Рисунок 2.2 – Нумерація поверхонь деталі

Подальший аналіз показує, що укрупнену операцію E6 розбиваємо на дві операції. Зокрема, при використанні універсального токарно-гвинторізного верстата всі види токарних робіт з двох установів можна реалізувати на одній токарно-гвинторізній операції, а зубодовбання внутрішнього зубчастого вінця на другій зубодовбальній операції. При цьому, нарізання різі M16-7H сумістим зі свердлінням отворів з етапу E4, виконавши їх на свердлильно-фрезерно-розточувальній операції.

А ось при використанні на укрупненій чистової операції E8 токарного верстата з ЧПК, через складність і навіть неможливість переналагодження спеціального пневматичного патрона з одного (меншого) діаметра на інший (значно більший) діаметр кожен установ (всього два установи) необхідно реалізовувати на окремих токарних операціях з ЧПК.

Завершує технологічний процес механічної обробки «півмуфти» укрупнена операція E12 – гальванічна, що забезпечує необхідне покриття заготовки: Хім. Окс. прм.

У матрицю технологічного процесу, див. таблицю 2.2, не ввійшли слюсарні та контрольна операції, які завершують технологічний процес, що, однак, необхідно вказати у проєктованому технологічному процесі.

Деталь має розвинені, відкриті поверхні, що в повній мірі дозволяє дотриматися виконання як принципу сталості баз, так і принципу суміщення баз. Широке використання верстатів з ЧПК, спеціалізованої оснастки дозволить виключити операції з ручного розмічування.

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

Таблиця 2.3 – Короткий опис пропонованого маршруту обробки заготовки

№ п/п операції	Найменування операції	Вміст операції	Базування	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Обробка тиском	Поковка	-	Молот
010	Термічна	Зняття внутрішніх напружень	-	Піч
015	Токарно-гвинторізна	Чорнова обробка. Установ А. Підрізати торці заготовки, обточити поверху з припуском 5 мм на сторону, розточити центральний отвір. Установ Б. Підрізати протилежний торець, обточити фланець поверху з припуском 5 мм на сторону	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	Токарно-гвинторізний верстат моделі CW6263E
020	Термічна	Зняття внутрішніх напружень		Піч
025	Токарно-гвинторізна	Вирізати зразки для випробувань	Див. опер. 015	CW6263E
030	Токарно-гвинторізна	Точить торці кільця для зразків в розмір 20 мм	Див. опер. 015	CW6263E
035	Горизонтально-розточувальна	Фрезерувати зразки з кільця для випробувань	По торцю кільця й отвору	Горизонтально-розточувальний верстат мод. 2A620
040	Випробування	Випробування зразків		Установка для випробувань
045	Токарно-гвинторізна	Півчистова обробка. Установ А. Точити з припуском 1,5 мм на сторону по всім зовнішнім й внутрішнім поверхням з одного боку. Установ Б. Точити з припуском 1,5 мм на сторону по всім поверхням з іншого боку	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	CW6263E
050	Термічна	Стабілізуюче відпалювання		Піч
055	Токарна з ЧПК	Чистова обробка. Точити начисто зовнішні й внутрішні поверхні з одного боку	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	Токарний верстат з ЧПК мод. KTL60/1000 (Z)
060	Токарна з ЧПК	Чистова обробка. Точити начисто інші поверхні з іншого боку	В патроні по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	KTL60/1000 (Z)

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
065	Зубодовбальна	Довбати внутрішній зубчастий вінець	По торцевій й внутрішній циліндричній поверхням на розтискній оправці	Зубодовбальний півавтомат мод. 5140
070	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Свердлити 4 отвори й нарізати в них різь М16. Свердлити, розточувати 4 отвори $\varnothing 30,5$, 4 отвори $\varnothing 45H7$, 4 отвори $\varnothing 48$, 4 отвори $\varnothing 74H11$. Фрезерувати 4 пази 48×60 з R24	По зовнішній циліндричній поверхні й внутрішньому торцю фланця в патроні	Вертикальний сверлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК мод. V-33i
075	Токарно-гвинторізна	Проточити остаточно зовнішній діаметр фланця в розмір $\varnothing 350h6$. Правити посадочні місця, фаски, переходи	По торцевій й зовнішній циліндричній поверхням в патроні	CW6263E
080	Технічний контроль	Контролювати основні розміри деталі		Стіл ВТК
085	Слюсарна	Зняти задирки		Верстак
090	Гальванічна	Нанесення захисного покриття		Гальванічна установка
095	Слюсарна			Верстак

Як видно з таблиці 2.3 в новому варіанті маршруту технологічного процесу механічної обробки «півмуфти» порівняно з заводським технологічним процесом, незважаючи на додавання однієї токарної операції, скорочено на 2 операції загальну їх кількість – з 21 до 19, що пояснюється використанням принципу концентрації операцій. Це стосується комплексної операції 065 на обробному центрі з ЧПК. При цьому, ми додали на токарно-гвинторізній операції 075 додатковий перехід, що дозволяє для забезпечення точності по IT6 ($\varnothing 350h6$) вести обробку заготовки в 4 етапи. У новому технологічному процесі передбачається широке застосування верстатів з ЧПК, що дозволить скоротити малопродуктивні методи ручного розмічування. При цьому скорочується і основний час на операцію, а значить і собівартість обробки заготовки в цілому. Остаточно питання про вибір обладнання вирішимо після відповідного обґрунтування.

2.3 Уточнення операційних припусків на обробку поверхні обертання

Згідно з завданням, необхідно уточнити припуски, допуски і операційні розміри заготовки при обробці зовнішньої циліндричної поверхні діаметром 350h6 розрахунково-аналітичним методом проф. В. М. Кована [3]. Як відомо, в основі методики проф. В. М. Кована знаходиться розрахунок мінімального припуску на i -й перехід (етап обробки) за формулою

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

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні, отримана на попередньому ($i-1$) переході;
 T_{i-1} – величина дефектного шару, отримана на попередньому ($i-1$) переході;
 ρ_{i-1} – величина просторових відхилень, отримана на попередньому ($i-1$) переході;

Ey_i – похибка установки заготовки на поточному i -му переході.

Виходячи з технологічного процесу механічної обробки даної поверхні, останню обробляють в чотири етапи: чорнове, півчистове, чистове і тонке точіння. Всі необхідні дані для розрахунку припусків на ЕОМ вибираємо з [3, 6]:

- для заготовки (поковки): $Rz_{i-1} = 300$ мкм; $H_{i-1} = 300$ мкм;
- після чорнового точіння: $Rz_{i-1} = 100$ мкм; $H_{i-1} = 100$ мкм;
- після півчистового точіння: $Rz_{i-1} = 50$ мкм; $H_{i-1} = 50$ мкм;
- після чистового точіння: $Rz_{i-1} = 30$ мкм; $H_{i-1} = 30$ мкм;
- після тонкого точіння: $Rz_{i-1} = 3$ мкм; $H_{i-1} = 0$ мкм.

Величини просторових відхилень заготовки ρ_{i-1} обчислимо за відомою формулою [3]:

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

де $\rho_{зм}$ – величина зміщення ступенів поковки, мкм;

$\rho_{ексц}$ – похибка ексцентриситету заготовки, мм.

Величина зміщення ступенів поковки становить $\rho_{зм} = 1800$ мкм.

Похибка ексцентриситету становить $\rho_{ексц} = 2500$ мкм.

$$\rho_{i-1} = \sqrt{1800^2 + 2500^2} = 3081 \text{ мкм.}$$

Остаточні величини просторових відхилень визначимо з урахуванням коефіцієнтів уточнення K_y :

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

де $K_{y1} = 0,06$ – для чорнового точіння;

$K_{y2} = 0,05$ – для півчистового точіння;

$K_{y3} = 0,04$ – для чистового точіння;

$K_{y4} = 0,02$ – для тонкого точіння.

В результаті маємо

$$\rho_1 = 3081 \cdot 0,06 = 185 \text{ мкм,}$$

$$\rho_2 = 3081 \cdot 0,05 = 154 \text{ мкм,}$$

$$\rho_3 = 3081 \cdot 0,04 = 123 \text{ мкм,}$$

$$\rho_4 = 3081 \cdot 0,02 = 62 \text{ мкм.}$$

Величини похибок установки E_y під час оброблення заготовки в самоцентруючому патроні становитиме [3]:

- для чорнового точіння – 600 мкм;

- для півчистового точіння – 140 мкм;
- для чистового точіння – 70 мкм;
- для тонкого точіння – 20 мкм.

Подальші розрахунки припусків і операційних розмірів заготовки виконаємо за допомогою ЕОМ. Результати розрахунків представлені в додатку Б. Як бачимо з результатів розрахунку припусків і допусків на $\varnothing 350h6$, останні набагато менше, ніж зазначено в таблиці 2.1. Таким чином, розрахунково-аналітичний метод визначення припусків дозволяє значно зменшити матеріаломісткість заготовки, скоротивши собівартість її отримання.

2.4 Обґрунтування вибору схем базування і закріплення заготовки

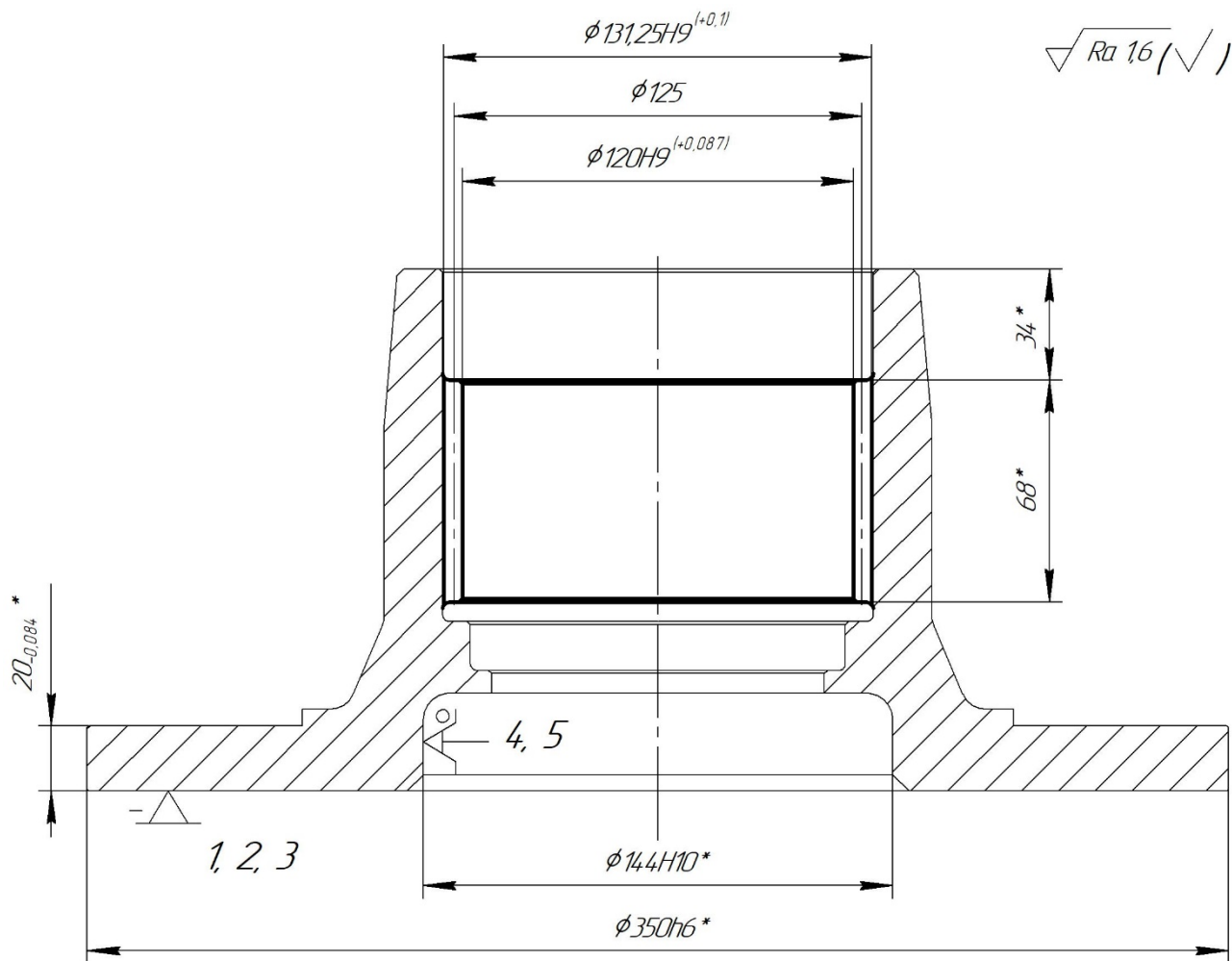
Під час обробки заготовок істотний вплив на точність і якість оброблюваних поверхонь надає вибір схем базування і закріплення заготовки. Останні впливають і на подальше обґрунтування вибору верстатного устаткування, засобів технологічного оснащення тощо. Обрана схема базування повинна передбачати дотримання як принципу сталості, так і принципу єдності технологічної, конструкторської та вимірювальної баз, забезпечувати можливість простого і зручного закріплення заготовки, багатоінструментального оброблення поверхонь тощо.

Розглянемо вибір схем базування на зубодовбальну операцію 065 технологічного процесу механічної обробки заготовки «півмуфти».

На зазначеній операції проводиться нарізання внутрішнього зубчастого вінця з діаметром ділильного кола $\varnothing 125$, зовнішнім діаметром $\varnothing 131,25H9$ і довжиною вінця – 68 мм. Модуль зубів $m = 2,5$ мм, число зубів $z = 50$, ступінь точності зубів по ГОСТ 1643-70-7, шорсткість поверхонь – 1,6 мкм Ra. При цьому обробка (за попереднім обґрунтуванням) здійснюється на зубодовбальному півавтоматі моделі 5140 за один установ, див. рисунок 2.3.

Як видно з рисунка 2.3 на даній операції найбільш розвинені поверхні

заготовки – це зовнішня і внутрішня циліндричні поверхні деталі, зовнішній торець фланця. До даного моменту після виконання всіх токарних операцій точність зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь деталі забезпечена остаточно. Зокрема, зовнішня поверхня фланця виконана по 6 квалітету точності – $\square 350h6$, а точність центрального отвору, який можна використовувати для базування – по 10 квалітету ($\varnothing 144H10$). Зовнішній торець фланця виконаний в розмір $20_{-0,084}$ мм по IT10. Аналізуючи можливість установки проектного пристосування, що реалізує схему базування для зубодовбальної операції, на столі зубодовбального півавтомата моделі 5140, можна відзначити, що базування заготовки по зовнішньому діаметру фланця, незважаючи на високу точність обробленої поверхні (по IT6), неприйнятне через його великий діаметр – $\varnothing 350$. Пов'язано це з тим, що якщо використовувати самоцентруючий патрон, що забезпечує відсутність похибки базування заготовки в радіальному напрямку ($E_6 = 0$ мм) при закріпленні за зовнішню поверхню фланця, габаритні розміри такого патрона будуть складати 550 – 600 мм, що перевищить габаритні розміри столу верстата (500 мм). А зменшення габаритів пристосування за рахунок застосування прихватів, з одного боку, перекреслить переваги використання при базуванні високоточної поверхні, оскільки зовнішня поверхня фланця базуватиметься з зазором в отворі спеціального кільця, що спричинить велику похибку базування, а, з іншого боку, це різко ускладнить конструкцію пристосування. Виходячи з цього на рисунку 2.3 наведено схему базування заготовки з використанням центрального отвору по $\varnothing 144H10$. На рисунку 2.3 в якості головної базової поверхні використовуємо нижній торець фланця заготовки, який є установчою базою, яка позбавляє деталь трьох ступенів свободи – поступального переміщення уздовж осі Z і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y. За базу по циліндричній поверхні приймаємо внутрішню поверхню $\varnothing 144H10$, яка є подвійний опорною базою, що позбавляє заготовку ще двох ступенів свободи – двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Таким чином, на даній операції заготовка позбавлена п'яти ступенів свободи.



Модуль	<i>m</i>	25
Число зубців	<i>z</i>	50
Вихідний контур	–	ГОСТ 13755–80
Ступінь точності згідно з ГОСТ 1643–72	–	7
Діаметр ролика	<i>d_p</i>	$4,211 \pm 0,006$
Размір по роликах	<i>MA</i>	$119,18_{-0,16}^{+0,27}$
Допуск на накопичену похибку кроку	<i>F_p</i>	0,048
Допуск на радіальне биття зчччастого вінця	<i>F_z</i>	0,04
Ширина западини отвору по ділильному колу	<i>S_D</i>	$3,93_{-0,035}^{+0,085}$
Граничне відхилення основного кроку	<i>f_{RB}</i>	$\pm 0,016$
Позначення спряженої деталі	–	14300.4.7020.001

Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки на операції 065 зубодовбальній

Вакантним залишається обертання навколо власної осі – Z, чого цілком достатньо для точної обробки заданих поверхонь зубчастого вінця. Для такої схеми базування при використанні трикулачних, розтискних оправок, наприклад, цангових, на радіальні розміри заготовки похибки базування дорівнюватимуть нулю. Похибка базування дорівнює нулю і на лінійний розмір оброблюваної поверхні зубів, оскільки останні нарізаються напрохід.

Тепер розглянемо вибір схем базування на комплексну операцію на обробному центрі з ЧПК 070 технологічного процесу механічної обробки заготовки «півмуфти».

На зазначеній операції проводиться свердління чотирьох глухих отворів заготовки $\varnothing 13,9^{+0,4}$ на глибину $20 \pm 0,215$ мм з одночасним зенкуванням фасок $0,5 \times 45^\circ$ комбінованим інструментом – свердло-зенківка й подальшим нарізанням різі M16-7H на глибину $16 \pm 0,215$ мм на міжосьовій відстані $\varnothing 180$ й дотриманням кута $\angle 22^\circ 30' \pm 30'$. Після цього виконується свердління напрохід восьми отворів $\varnothing 10^{+0,36}$ на міжосьовій відстані $\varnothing 260 \pm 0,03$ (як центрування) з подальшим розсвердлюванням до $\varnothing 29^{+0,52}$. На подальших переходах виконується розточування чотирьох отворів напрохід до $\varnothing 30,5^{+0,39}$, потім в них же розточується внутрішня ступінь до розмірів $\varnothing 45^{+0,025}$; $3 \pm 0,125$ мм, зенкується фаска $0,5 \times 45^\circ$. На завершальному етапі оброблення в інших чотирьох отворах виконується розточування отворів напрохід до $\varnothing 48^{+0,62}$, потім в них же розточується внутрішня ступінь до $\varnothing 74^{+0,19}$, $12 \pm 0,215$ мм. Закінчується обробка фрезеруванням в отворах $\varnothing 48$ пазів в розміри $48^{+0,62} \times 60^{+0,74}$ з радіусом R24.

При цьому обробка поверхонь заготовки здійснюється на вертикальному свердлильно-фрезерно-розточувальному верстаті з ЧПК за один установ, див. рисунки 2.4 й 2.5.

У заводському технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» обробка вищенаведених поверхонь здійснювалася за допомогою попереднього розмічування на трьох різних механічних операціях: радіально-свердлильній, координатно-розточувальній і вертикально-фрезерній.

Як видно з малюнків 2.4 і 2.5 на даній операції найбільш розвинені поверхні заготовки – це зовнішня і внутрішня циліндричні поверхні деталі, її нижній торець і торець фланця. До даного моменту після виконання всіх токарних операцій точність зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь маточини забезпечена остаточно. Зокрема, зовнішня поверхня маточини виконана по 9 квалітету точності – $\varnothing 168h9$, а точність центрального отвору – по 7 квалітету ($\varnothing 132G7$ і $\varnothing 115G7$). Нижній торець заготовки підрізаний в розмір $160_{-0,63}$ мм по 13 квалітету точності, а торець фланця – в розмір $20_{-0,084}$ мм по IT10. Виходячи з цього на малюнках 2.4 і 2.5 представлені альтернативні схеми базування заготовки на даній операції. На малюнку 2.4 в якості головної базової поверхні використовуємо нижній торець заготовки, який є установчою базою, яка позбавляє деталь трьох ступенів свободи – поступального переміщення уздовж осі Z і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y. За базу по циліндричній поверхні приймаємо внутрішню поверхню $\varnothing 132G7$, яка є подвійною опорною базою, що позбавляє заготовку двох ступенів свободи – двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Таким чином, на даній операції заготовка позбавлена п'яти ступенів свободи. Вакантним залишається обертання навколо власної центральної осі – Z, чого цілком достатньо для точної обробки заданих поверхонь. Для такої схеми базування при використанні трикулачних, розтискних оправок на розміри міжосьових відстаней $\varnothing 180$ й $\varnothing 260 \pm 0,03$ похибки базування дорівнюють нулю. Точність діаметральних розмірів оброблюваних отворів залежить від точності мірних інструментів – свердла і мітчика, точності налагодження розточувальних різців і кінцевої фрези. У той же час, за глибиною східчастих і різбових отворів на розміри $12 \pm 0,215$, $3 \pm 0,125$, $16 \pm 0,215$ й $20 \pm 0,215$ присутня похибка базування, що дорівнює допуску на розмір, який з'єднує вимірювальну і технологічну бази:

$$\varepsilon_{6\ 12} = T_{160} = 0,63 \text{ мм,}$$

де T_{160} – допуск на розмір 160 мм.

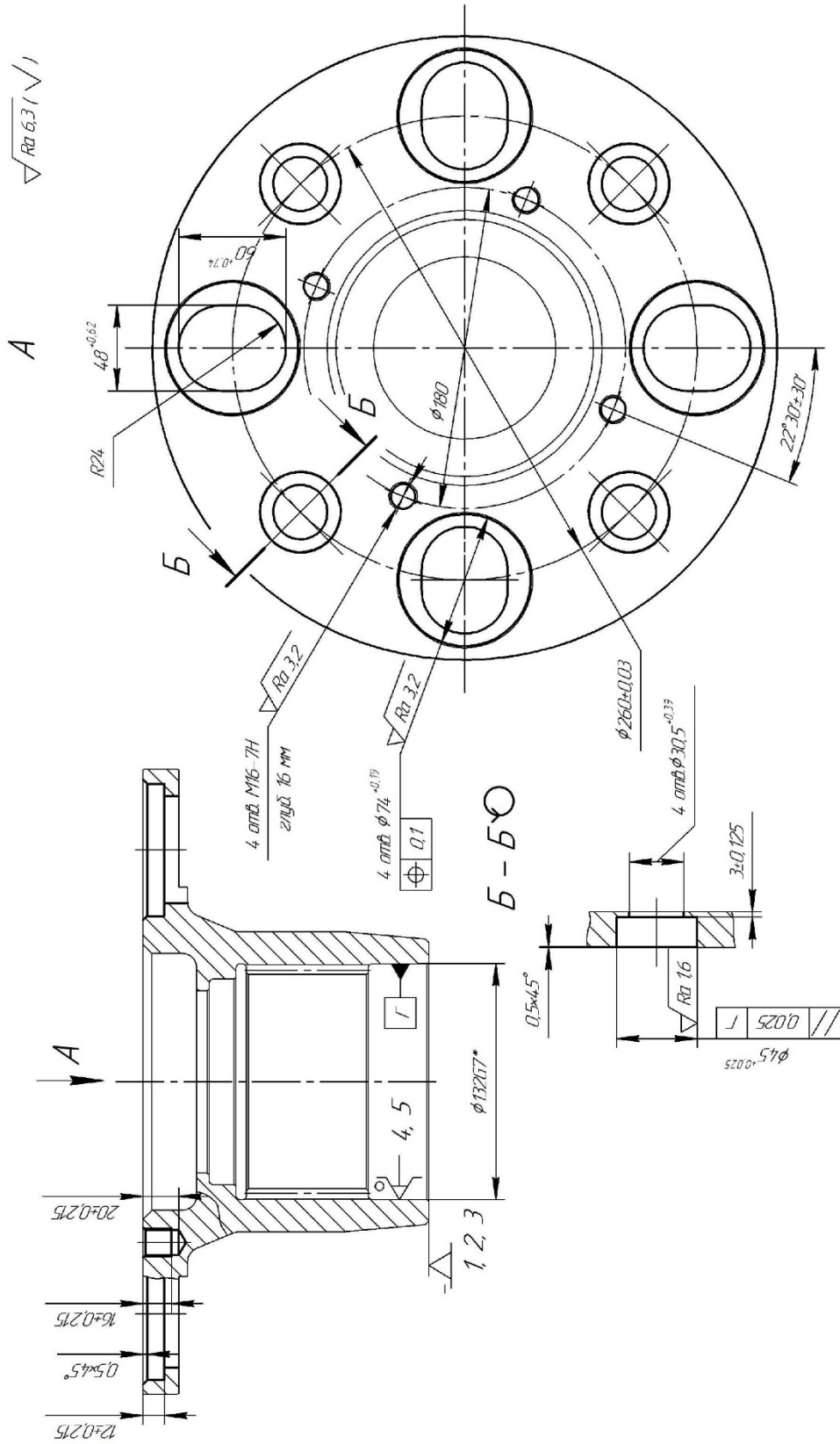


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки на операції 070 комплексній на ОЦ з ЧПК

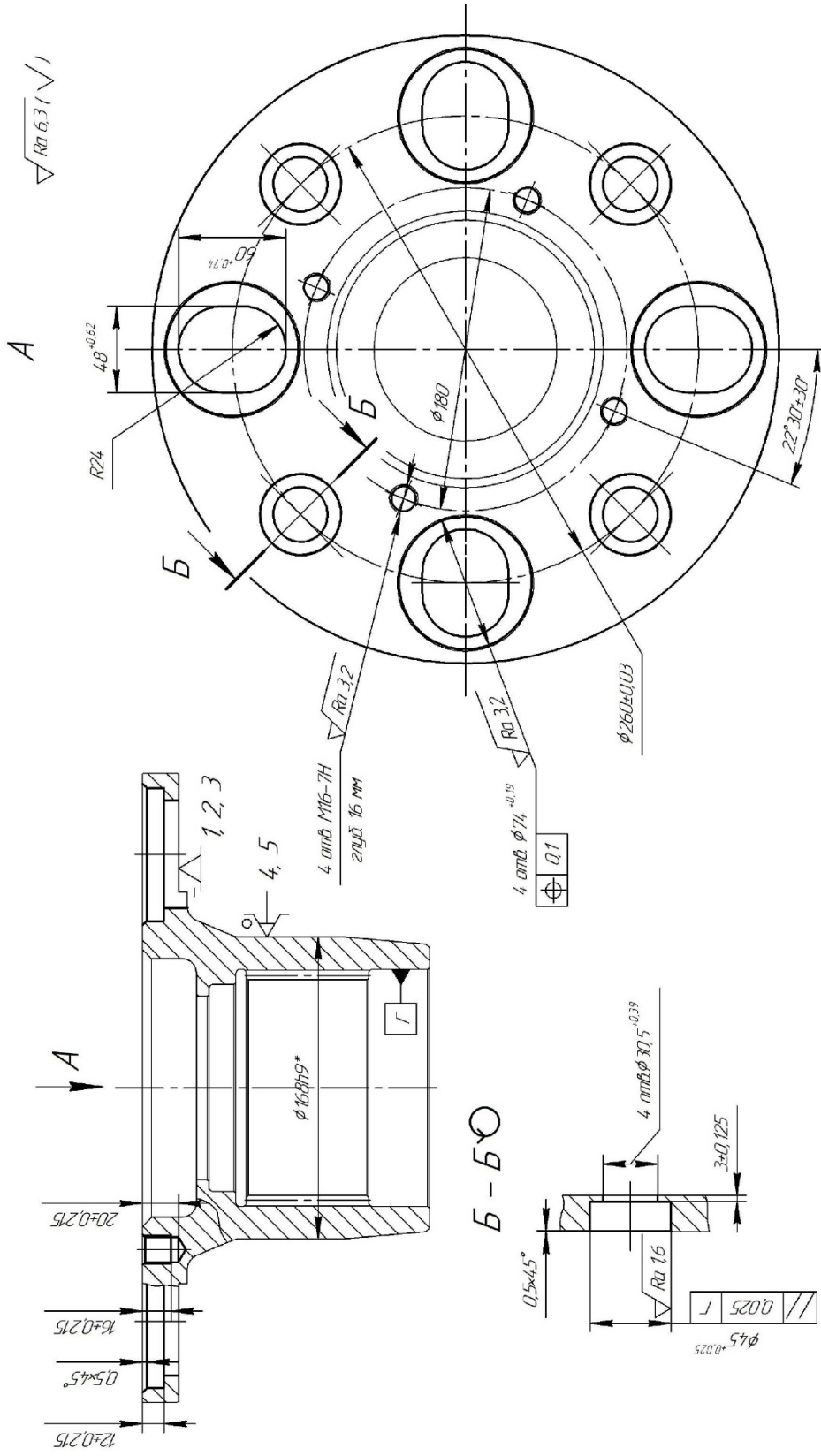


Рисунок 2.5 – Альтернативна схема базування заготовки на операції 070 комплексній на ОЦ з ЧПК

Аналогічно визначимо інші похибки базування заготовки:

$$\varepsilon_{6\ 16} = \varepsilon_{6\ 20} = T_{160} = 0,63 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{6\ 3} = T_{160} + T_{20} = 0,63 + 0,084 = 0,714 \text{ мм}.$$

Таким чином, допуски на глибини оброблюваних отворів $T_{12} = T_{20} = T_{16} = 0,43$ мм й $T_3 = 0,25$ мм є набагато меншими похибки базування на дані розміри і, отже, необхідна точність не забезпечується.

На малюнку 2.5 пропонується альтернативна схема базування. Тут в якості головної базової поверхні використовуємо нижній торець фланця, який є установчою базою, яка позбавляє деталь трьох ступенів свободи – поступального переміщення уздовж осі Z і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y . За базу по циліндричній поверхні приймаємо зовнішню поверхню $\varnothing 168h9$, яка є подвійний опорною базою, що позбавляє заготовку двох ступенів свободи – двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y . Таким чином, і на даній операції заготовка позбавлена п'яти ступенів свободи. Вакантним залишається обертання навколо власної центральної осі – Z , чого цілком достатньо для точної обробки заданих поверхонь. Для такої схеми базування при використанні трикулачкових патронів, як і в попередньому випадку, на розміри міжосьових відстаней $\varnothing 180$ і $\varnothing 260 \pm 0,03$ похибки базування дорівнюють нулю, а точність діаметральних розмірів оброблюваних отворів залежить від точності мірних інструментів – свердла і мітчика, точності налагодження розточувальних різців і кінцевої фрези. У той же час, за глибиною східчастих і різьбових отворів на розміри $12 \pm 0,215$, $3 \pm 0,125$, $16 \pm 0,215$ й $20 \pm 0,215$ присутня похибка базування, що дорівнює допуску на розмір, який з'єднує вимірювальну і технологічну бази:

$$\varepsilon_{6\ 12} = \varepsilon_{6\ 16} = \varepsilon_{6\ 20} = T_{20} = 0,084 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{63} = 0.$$

Таким чином, допуски на глибини оброблюваних отворів $T_{12} = T_{20} = T_{16} = 0,43$ мм й $T_3 = 0,25$ мм набагато більше похибки базування на дані розміри і, отже, необхідна точність забезпечується.

У підсумку, зупиняємо свій вибір на схемі базування представлений на малюнку 2.5. На її користь говорить і той факт, що зовнішня поверхня маточини набагато довша внутрішньої, а торцева поверхня фланця має більшу площу, ніж торець маточини, що сприятиме забезпеченню більш стійкого й надійного закріплення заготовки, і, крім того, останню схему набагато простіше реалізувати в якості верстатного пристосування.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

У заводському технологічному процесі механічної обробки «півмуфти» обробка аналізованих вище поверхонь зубчастого вінця здійснювалася на зубодовбальній операції, а обробка отворів і пазів на торці фланця з використанням попереднього розмічування на трьох різних механічних операціях: радіально-свердлильній, координатно-розточувальній і вертикально-фрезерній. На зазначених операціях, відповідно використовувалися: зубодовбальний півавтомат моделі 5140, а також такі універсальні верстати: радіально-свердлильний верстат моделі 2М55, координатно-розточувальний верстат моделі 2Д450 і вертикально-фрезерний верстат моделі 6Р13. При цьому, вертикально-свердлильній операції передують розмічування отворів на окремій операції розмічування.

Аналіз моделей верстатів, що застосовується і використовуваних при цьому методів обробки показує, що вони відповідають дрібносерійному типу виробництва. Методи обробки визначені з урахуванням форми оброблюваних поверхонь, їх необхідної точності і шорсткості, габаритів заготовки і робочого простору устаткування. У той же час, використання зазначеного універсального

обладнання передбачає застосування ручного розмічування. Все це вимагає витрат висококваліфікованої, малопродуктивної ручної праці, збільшує час і собівартість виготовлення деталі. Кваліфікація верстатників: зуборізальник п'ятого розряду, свердлувальник третього розряду, розточувальник п'ятого розряду і фрезерувальник четвертого розряду.

У зв'язку з цим, на основі аналізу застосовуваних методів і етапів обробки поверхонь, а також з огляду на потужність електродвигунів приводів, габарити робочого простору і тип виробництва, як металорізальне обладнання на зубодовбальній операції 065 використовуватимемо зубодовбальний півавтомат моделі 5140, а на свердлильно-фрезерно-розточувальній операції з ЧПК 070 застосовуватимемо вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК типу обробний центр моделі V-33і, див. таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Вибір металорізального устаткування

Найменування операції за базовим технологічним процесом	Найменування устаткування за базовим технологічним процесом	Найменування операції за пропонованим технологічним процесом	Найменування устаткування за пропонованим технологічним процесом
Зубодовбальна	Зубодовбальний півавтомат моделі 5140	Зубодовбальна	Зубодовбальний півавтомат моделі 5140
Радіально-свердлильна	Радіально-свердлильний верстат моделі 2М55	Комплексна на обробному центрі з ЧПК	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК типу обробний центр моделі V-33і
Координатно-розточувальна	Координатно-розточувальний верстат моделі 2Д450		
Вертикально-фрезерна	Вертикально-фрезерний верстат моделі 6Р13		

Пропоноване металорізальне обладнання дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованому верстаті методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів, незалежно від кваліфікації робітників. При цьому враховані рекомендації [7] використання в умовах дрібносерійного виробництва верстатів з ЧПК, що є основними засобами

автоматизації в умовах серійного виробництва. Потужності електродвигунів приводів головного руху: зубодовбальний верстат – 4,5 кВт, а свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат – 7,5 кВт, чого цілком достатньо для зазначених методів обробки. Розміри робочої поверхні стола зубодовбального верстата – $\varnothing 500$, а столу свердлильно-фрезерно-розточувального верстата 960×515 мм. Зубодовбальний верстат забезпечений ступінчастим регулюванням числа подвійних ходів інструменту на хвилину і кругової подачі (мм/пдв. хід). Радіальна подача інструменту регулюється за допомогою спеціальних кулачків. Свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат забезпечений безступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя і швидкостей подач. Наявний інструментальний магазин на 16 позицій. В результаті відпадає необхідність у використанні ручної малопродуктивної праці з керування верстатом, а також ручного розмічування, підвищується продуктивність, поліпшуються умови техніки безпеки і праці робітника, скорочується тривалість і собівартість механічної обробки заготовок.

2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки

На основі попереднього аналізу і з урахуванням особливостей дрібносерійного типу виробництва в проектованому технологічному процесі в якості технологічної оснастки для базування і закріплення заготовки на зубодовбальній операції 065 приймаємо спеціальне пристосування з пневматичним приводом, а на комплексній операції на обробному центрі з ЧПК – універсальне безналагоджувальне пристосування (УБП), що представляє собою нерозбірне верстатне пристосування багаторазового застосування, яке експлуатується без доопрацювання [7], див. таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибір засобів технологічного оснащення

Найменування операції	Верстатні пристрої	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Зубодовбальна	Оправка цангова спеціальна з пневматичним приводом	Чашковий прямозубий довбач, тип 3, кл. т.А ГОСТ 9323-79, Р6М5 19265-73	Прилад для контролю накопиченої похибки кроку ШМ-1; пристрій для вимірювання биття Б-10М
Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Патрон самоцентруючий трьох-кулачковий 7100-0015 ГОСТ 2675-80	Різець 2145-0654 Т15К6 ГОСТ 25987-83; фреза кінцева спеціальна Ø48 Р6М5 ГОСТ 19265-73; свердло 035-2301-1097 Р6М5 ОСТ 2И20-2-80; зенківка 2353-0147 Р6М5 ГОСТ 14953-80; свердло 035-2317-0102 Р6М5 ОСТ 2И20-5-80; свердло 2310-0411 Р6М5 ОСТ 2И20-7-84; мітчик 035-2620-0547 Р6М5 ОСТ 2И52-1-74	Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-II-320-0,1 ГОСТ 166-89; пробка ПР/НЕ 45Н7 ГОСТ 14810-69; пробка різьбова М16-7Н ГОСТ 17756-72

При виборі ріжучих інструментів за конструктивними параметрами вибиралися універсальні стандартизовані ріжучі інструменти для універсальних верстатів і верстатів з ЧПК [7, 8], див. таблицю 2.5, графу 3.

Для закріплення свердел і фрез з конічними хвостовиками в якості допоміжних інструментів для верстатів з ЧПК використовуємо три перехідних втулки 191831073 ТУ 2-035-978-85 і одну перехідну втулку 191831072 ТУ 2-035-978-85. Для закріплення мітчика – патрон регульований різьбонарізний 191221129А ТУ 2-035-975-85. Для закріплення свердел з циліндричним хвостовиком застосовуємо патрон 191113050 ТУ 2-035-986-85 і до нього цангу 191113050002 ТУ 2-035-986-85 [8]. Для закріплення довбача використовуємо спеціальну оправку з конічним хвостовиком (конус Морзе №5).

В умовах дрібносерійного виробництва при виборі контрольно-вимірювальних інструментів перевага віддавалася універсальним («шкальним»)

інструментам, зокрема, штангенциркулям, див. таблицю 2.5, графу 4. Для контролю зубчастого вінця застосовуємо універсальні комплексні прилади типу: прилад для контролю накопиченої похибки кроку ШМ-1 і пристрій для вимірювання биття Б-10М. Для контролю точних отворів і різьблення використовуємо граничні калібри у вигляді гладкої та різьбовій пробок.

2.7 Розрахунок режимів різання

Згідно з завданням, виконаємо аналітичний розрахунок режимів різання на зубодовбальну операцію 065.

На зазначеній операції проводиться нарізання внутрішнього зубчастого вінця з діаметром ділильного кола $\varnothing 125$, зовнішнім діаметром $\varnothing 131,25H9$ і довжиною вінця 68 мм. Модуль зубів $m = 2,5$ мм; число зубів $Z = 50$, ступінь точності зубів по ГОСТ 1643-70 – 7-ма, шорсткість поверхонь – 1,6 мкм Ra.

Вихідні дані для розрахунку.

Обробка вінця здійснюється за один установ на зубодовбальному півавтоматі моделі 5140, коефіцієнт корисної дії верстата $\eta = 0,7$. Як інструмент використовуємо чашковий прямозубий довбач, тип 3, кл. т. А, модуль $m = 2,5$ мм, число зубів $Z = 40$ ГОСТ 9323-79 з матеріалом ріжучої частини зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73. Схема базування та закріплення заготовки представлена на малюнку 2.3.

Розрахунок режимів різання на зубодовбання здійснимо відповідно до методики [7, 9].

Виходячи з потужності зубодовбального верстата моделі 5140 – 4,5 кВт, обладнання відноситься до III групи верстатів [9].

При модулі зубчастого вінця $m = 2,5$ мм і 7-го ступеня його точності, останній можна обробляти методом чистового зубодовбання по суцільному металу за один прохід ($i = 1$), забезпечуючи необхідну шорсткість поверхонь зубів – 1,6 мкм Ra.

1. Глибина різання. При обробці в один прохід глибина різання дорівнює висоті зуба h :

$$t = h = 2,2 \cdot m = 2,2 \cdot 2,5 = 5,5 \text{ мм.}$$

2. Кругова подача при зубодовбанні. При чистовій обробці зубчастого вінця з модулем $m = 2,5$ мм, числом зубів $Z > 25$ по суцільному металу (сталь 45, НВ 170-207) кругова подача становить [9]:

$$S_{крт} = 0,3 \text{ мм/пдв. хід.}$$

З урахуванням поправочного коефіцієнту на властивості оброблюваного матеріалу 38Х2МЮА з НВ (235-277) кругова подача становить:

$$S_{кр} = S_{крт} \cdot K_{ms} = 0,3 \cdot 0,7 = 0,21 \text{ мм/пдв. хід.}$$

З урахуванням паспортних даних зубодовбального верстата маємо:

$$S_{крп} = 0,2 \text{ мм/пдв. хід.}$$

3. Радіальна подача довбача становить

$$S_{рад} = (0,1 - 0,3) \cdot S_{кр} = (0,1 - 0,3) \cdot 0,2 = (0,02 - 0,06) \text{ мм/пдв. хід.}$$

За паспортними даними верстата беремо

$$S_{радп} = 0,05 \text{ мм/дв. ход.}$$

4. Швидкість різання (швидкість зворотно-поступального руху довбача) становить [7]:

$$V = \frac{C_V \cdot K_V}{T^m \cdot S_{кр}^y},$$

де $C_V = 90$ – поправочний коефіцієнт, що враховує чистовий метод нарізання зубів довбачем з швидкоріжучої сталі Р6М5;

$T = 300$ хв – період стійкості довбача;

$m = 0,35$ – показник степені при періоді стійкості;

$y = 0,5$ – показник степені при круговій подачі довбача;

$K_V = 0,6$ – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує матеріал заготовки – сталь 38Х2МЮА (НВ 235-277);

$$V = \frac{90 \cdot 0,6}{300^{0,35} \cdot 0,2^{0,5}} = 16,3 \text{ м/хв},$$

5. Число подвійних ходів довбача становить:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{2 \cdot L} = \frac{1000 \cdot 16,3}{2 \cdot 80} = 101,9 \text{ пдв.хід/хв},$$

де L – довжина ходу довбача;

$$L = l + l_1;$$

$l = 68$ мм – довжина зубчастого вінця;

$l_1 = 12$ мм – величина врізання й перебігу довбача [9].

Беремо найближчу величину подвійних ходів довбача:

$$n_n = 100 \text{ пдв. хід/хв}.$$

В результаті фактична швидкість різання становить:

$$V_{\phi} = \frac{2 \cdot L \cdot n_n}{1000} = \frac{2 \cdot 80 \cdot 100}{1000} = 16 \text{ м/хв.}$$

6. Максимальна сила різання при зубодовбанні визначимо за формулою [9]:

$$P_{\max} = \sum F_{\max} \cdot p,$$

де $\sum F_{\max}$ – площа сумарного перетину, що приходить на всі одночасно працюючі зубці довбача;

$$\sum F_{\max} = \frac{0,6 \cdot m^2 \cdot S_{\text{кр}}}{Z^{0,1}},$$

$p = 3250 \text{ кгс/мм}^2$ – питомий тиск різання [9]. Сила різання становить:

$$P_{\max} = \frac{0,6 \cdot 2,5^2 \cdot 0,2}{50^{0,1}} \cdot 3250 = 1647 \text{ кгс.}$$

7. Ефективну потужність різання визначимо за формулою [7]:

$$N_e = \frac{P_{\max} \cdot V_{\phi}}{60 \cdot 1000} = \frac{1647 \cdot 16}{60 \cdot 1000} = 0,44 \text{ кВт.}$$

Потужність привода головного руху верстата становить

$$N_{cm} = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,7 = 3,15 \text{ кВт.}$$

Таким чином:

$$N_e = 0,44 \text{ кВт} < N_{cm} = 3,15 \text{ кВт},$$

а значить розраховані режими різання можуть бути реалізовані.

8. Визначимо основний час на операцію:

$$T_o = \frac{\pi \cdot Z \cdot m \cdot i}{n \cdot S_{кр}} + \frac{h}{n \cdot S_{рад}} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 2,5 \cdot 1}{100 \cdot 0,2} + \frac{5,5}{100 \cdot 0,05} = 20,73 \text{ хв.}$$

Розрахунок режимів різання на комплексну операцію на обробному центрі з ЧПК 070.

На даній операції на першому переході виконується свердління чотирьох отворів $\varnothing 13,9^{+0,4}$ на глибину $20 \pm 0,215$ мм з одночасним зенкуванням фасок $0,5 \times 45^\circ$ комбінованим інструментом свердло-зенківка. На другому переході виконується нарізання різі M16-7H на глибину $16 \pm 0,215$ мм на міжосьовій відстані $\varnothing 180$ й дотриманням кута $\angle 22^\circ 30' \pm 30'$. На третьому переході виконується свердління напрохід восьми отворів $\varnothing 10^{+0,36}$ на міжосьовій відстані $\varnothing 260 \pm 0,03$ (як центрування) з подальшим розсвердлюванням напрохід на четвертому переході до діаметра $\varnothing 29^{+0,52}$. На п'ятому переході виконується розточування чотирьох отворів напрохід до діаметра $\varnothing 30,5^{+0,39}$ й потім в них же на шостому переході розточується внутрішня ступінь в розмірі $\varnothing 45^{+0,025}$, $3 \pm 0,125$ й на сьомому переході зенкується фаска $0,5 \times 45^\circ$. На завершальному етапі оброблення на восьмому переході в інших чотирьох отворах виконується розточування отворів напрохід до діаметра $\varnothing 48^{+0,62}$, а потім в них же на дев'ятому переході розточується внутрішня ступінь в розмірі $\varnothing 74^{+0,19}$, $12 \pm 0,215$ й закінчується обробка на десятому переході фрезеруванням в отворах $\varnothing 48$ пазів в розмірі $48^{+0,62} \times 60^{+0,74}$ з радіусом R24.

Зробимо розрахунок режимів різання для першого переходу – свердління чотирьох отворів $\varnothing 13,9$.

Вихідні дані для розрахунку.

Устаткування: свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК моделі V-33і; потужність електродвигуна головного приводу верстата – 7,5 кВт,

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

Пристосування: трьохкулачковий самоцентруючий патрон.

Ріжучий інструмент: свердло 2310-0411 ОСТ 2120-7-84 [8]; матеріал ріжучої частини: Р6М5 ГОСТ 19265-73; геометричні параметри ріжучої частини інструменту [8]: $2\varphi_1 = 118^\circ$; $\alpha = 11^\circ$.

Заготовка: стан поверхні – без корки.

Зміст переходу: свердлити 4 отвори $\varnothing 13,9^{+0,4}$ під різь М16-7Н на глибину $(20 \pm 0,215)$ мм, Ra – 3,2 мкм; ескіз обробки див. на рисунку 2.5.

Розрахунок режимів різання виконаємо згідно з [7].

1. Глибина різання.

При свердлінні отвору діаметром 13,9 мм глибина різання становитиме:

$$t = d/2 = 13,9/2 = 6,95 \text{ мм.}$$

2. Подача при свердлінні [7]:

$$S_{o,t} = (0,2 - 0,23) \text{ мм/об.}$$

З урахуванням поправочного коефіцієнта на досягнення більш високої якості отворів в зв'язку з подальшим нарізанням різі:

$$S_o = S_{o,t} \cdot K_s = (0,2 - 0,23) \cdot 0,5 = (0,1 - 0,115) \text{ мм/об.}$$

Беремо $S_o = 0,1$ мм/об (на верстаті реалізується безступінчасте регулювання подачі).

Беремо період стійкості свердла – $T = 45$ хв [7].

3. Визначаємо швидкість головного руху різання, що допускається ріжучими властивостями свердла [7]:

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

де $C_V = 7$; $q = 0,4$; $m = 0,2$; $y = 0,7$ – коефіцієнти й показники степенів, що визначаються умовами обробки;

K_V – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання.

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_{\Pi}} \cdot K_{V_{И}},$$

$K_{V_M} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної заготовки;

$K_{V_{\Pi}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{V_{И}} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента.

$$K_V = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8,$$

$$V = \frac{7 \cdot 13,9^{0,4} \cdot 0,8}{45^{0,2} \cdot 0,1^{0,7}} = 37,4 \text{ м/хв.}$$

5. Частоту обертання шпинделя визначимо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 37,4}{\pi \cdot 13,9} = 857 \text{ об/хв.}$$

Беремо частоту обертання шпинделя 857 об/хв, за умови реалізації на верстаті безступінчастого регулювання частоти обертання шпинделя.

6. Визначимо хвилинну подачу:

$$S_{XB} = S_o \cdot n = 0,1 \cdot 857 = 85,7 \text{ мм/хв.}$$

7. Крутний момент опору силам різання при свердлінні:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S_o^y \cdot K_p,$$

де $C_M = 0,0345$; $q = 2$; $y = 0,8$; $K_M = 1,0$ – коефіцієнти, показники степенів, поправочні коефіцієнти, що враховують змінені умови різання.

$$M = 10 \cdot 0,0345 \cdot 13,9^2 \cdot 0,1^{0,8} \cdot 1,0 = 10,6 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

8. Осьову силу при свердлінні визначимо за формулою [7]:

$$P = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S_o^y \cdot K_p,$$

де $C_p = 68$; $q = 1$; $y = 0,7$; $K_M = 1,0$ – коефіцієнти, показники степенів, поправочні коефіцієнти, що враховують змінені умови різання.

$$P = 10 \cdot 68 \cdot 13,9^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,0 = 1886 \text{ Н}.$$

9. Потужність різання:

$$N_p = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{10,6 \cdot 857}{9750} = 0,93 \text{ кВт}.$$

Достатність потужності приводу верстата перевіримо через дотримання умови:

$$N_p < N_{\text{шп}},$$

$$N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta,$$

$$N_{\text{шт}} = 6,3 \cdot 0,85 = 5,36 \text{ кВт},$$

$$0,93 \text{ кВт} < 5,36 \text{ кВт}.$$

Таким чином, розраховані режими різання можуть бути реалізовані.

10. Визначимо машинний (основний) час на даному переході за формулою:

$$T_o = L \cdot i / S_{\text{хв}},$$

де $L = l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}},$

L – довжина обробки, мм;

$l_{\text{вр}} = 4$ мм – довжина врізання;

$l = 20$ мм – довжина оброблюваної поверхні деталі;

$l_{\text{пер}} = 0$ мм – довжина перебігу (при свердлінні глухого отвору відсутня);

$i = 4$ – кількість оброблюваних отворів.

$$L = 4 + 20 = 24 \text{ мм},$$

$$T_o = 24 \cdot 4 / 85,7 = 1,12 \text{ хв}.$$

2.8 Технічне нормування операції

Згідно з завданням, виконаємо технічне нормування зубодовбальній операції 065. Норму штучно-калькуляційного часу на операцію розраховують за формулою [10]:

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

де $t_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

$t_{п.з}$ – підготовчо-завершальний час, хв.;

n – кількість деталей в партії, шт.

Штучний час на операцію визначають за формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{обс} + t_{вдп}, \quad (2.2)$$

де t_o – основний час на операцію, хв.;

t_d – допоміжний час на операцію, хв.;

$t_{обс}$ – час на технічне й організаційне обслуговування робочого місця, хв.;

$t_{вдп}$ – час на відпочинок та особисті потреби робочого, хв.

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{oi}, \quad (2.3)$$

де n – кількість переходів в операції;

В розділі 2.7 визначений основний час на операцію 065: $t_o = 20,73$ хв.

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою [10]:

$$t_d = t_{уст} + t_{пр} + t_{вим}, \quad (2.4)$$

де $t_{уст}$ – час на установку, закріплення й зняття заготовки з верстата, хв.;

$t_{пр}$ – час, що витрачається на керування верстатом, хв.;

$t_{вим}$ – час на контрольні вимірювання, хв.

Тоді маємо

$$t_{уст} = 0,95 \text{ хв};$$

$$t_{пр} = 0,3 + 0,04 = 0,34 \text{ хв};$$

$$t_{вим} = 0,8 + 0,7 + 0,55 = 2,05 \text{ хв};$$

$$t_d = 0,95 + 0,34 + 2,05 = 3,34 \text{ хв}.$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого [10]:

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

де α , β – відповідно норми часу на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого у % від оперативного часу;

$$t_{обс} + t_{вдп} = (20,73 + 3,34) \frac{4,5 + 4}{100} = 2,05 \text{ хв}.$$

Штучний час на операцію складає:

$$t_{шт} = 20,73 + 3,34 + 2,05 = 26,12 \text{ хв}.$$

Підготовчо-завершальний час на операцію становить [10]:

$$t_{п.з} = 31 + 2,5 + 7 = 40,5 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію становить:

$$t_{шт.к} = 26,12 + 40,5/28 = 27,57 \text{ хв.}$$

Технічне нормування комплексної операції на обробному центрі з ЧПК 070.

У розділі 2.7 визначено основний час на перший перехід операції
 $t_{o1} = 1,12 \text{ хв.}$

Основний час на інші переходи розглянутої операції визначаємо з урахуванням наступних режимів різання, які визначені табличним методом згідно з [11] і зведені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання на операцію 070

№ переходу	Вміст переходів	Елементи режимів різання						
		Добр, мм	L, мм	i	t, мм	Sp, мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Нарізати різь в 4-х отв. М16-7Н	16	16	4	-	2,0	160	8,0
3	Свердлити 8 отв. напрохід в Ø10	10	20	8	5	0,15	500	15,7
4	Розсвердлити 8 отв. напрохід в Ø29	29	20	8	9,5	0,32	300	27,3
5	Розточити 4 отв. напрохід до Ø30,5	30,5	20	4	0,75	0,2	800	76,6
6	Розточити 4 отв. в розміри: Ø45; 3	45	17	4×3	3/1,25	0,2	500	70,7
7	Зенкувати в 4-х отв. фаски 0,5×45°	46	0,5	4	0,5	0,2	200	28,9
8	Розточити 4 отв. напрохід до Ø48	48	20	4×4	2,4/ /2,3	0,2	500	75,4
9	Розточити в 4-х отв. ступені в розміри Ø74×12	74	12	4×5	2,6	0,2	300	69,7
10	Фрезерувати в 4-х отв. пази в розміри 48×60	48	60	4	48	0,2	300	45,2

Для зазначених режимів різання штучний час на переходи складатиме:

$$t_{02} = (4,0+16+0,0) \cdot 4 / (2,0 \cdot 160) = 0,25 \text{ хв};$$

$$t_{03} = (3,0+20,0+3,0) \cdot 8 / (0,15 \cdot 500) = 2,77 \text{ хв};$$

$$t_{04} = (5,0+20+5,0) \cdot 8 / (0,32 \cdot 300) = 2,5 \text{ хв};$$

$$t_{05} = (3,0+20,0+3,0) \cdot 4 / (0,2 \cdot 800) = 0,65 \text{ хв};$$

$$t_{06} = (3,0 + 17,0 + 0,0) \cdot 4 \cdot 3 / (0,2 \cdot 500) = 2,4 \text{ хв};$$

$$t_{07} = (10,5+0,5+0,0) \cdot 4 / (0,2 \cdot 200) = 1,1 \text{ хв};$$

$$t_{08} = (3,0+20,0+3,0) \cdot 4 \cdot 4 / (0,2 \cdot 500) = 4,16 \text{ хв};$$

$$t_{09} = (3,0+0,12+0,0) \cdot 4 \cdot 5 / (0,2 \times 300) = 5,0 \text{ хв};$$

$$t_{010} = [(3,0+20,0+3,0)+(6,0+12,0)] \cdot 4 / (0,2 \cdot 300) = 2,93 \text{ хв}.$$

Так, основний час на операцію складатиме:

$$t_0 = 1,12+0,25+2,77+2,5+0,65+2,4+1,1+4,16+5,0+2,93 = 22,88 \text{ хв}.$$

Допоміжний час згідно з формулою (2.4):

$$t_{\text{уст}} = 3,1 \text{ хв},$$

$$t_{\text{пр}} = 0,02 \cdot 4 \cdot 2 + 0,02 \cdot 8 \cdot 2 + 0,11 \cdot 8 + 0,02 \cdot 4 \cdot 3 + 0,02 \cdot 4 \cdot 2 + 0,02 \cdot 4 = 1,84 \text{ хв},$$

$$t_{\text{вим}} = 0,37 \cdot 4 + 0,16 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 8 + 0,1 \cdot 8 + 0,13 \cdot 8 + 0,12 \cdot 4 = 5,72 \text{ хв},$$

$$t_d = 3,1 + 1,84 + 5,72 = 10,66 \text{ хв}.$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок робочого визначимо за формулою (2.5):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{вдп}} = (22,88+10,66) \frac{4+4}{100} = 2,68 \text{ хв}.$$

Штучний час на операцію складатиме:

$$t_{шт} = 22,88 + 10,66 + 2,68 = 36,22 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час на операцію визначимо згідно з [11]:

$$t_{п.з} = 24 + 12 = 36 \text{ хв.}$$

Тоді штучно-калькуляційний час на операцію складатиме:

$$t_{шт.к} = 36,22 + 36/28 = 37,51 \text{ хв.}$$

2.8 Проектування верстатного пристрою

Згідно з завданням необхідно спроектувати верстатне пристосування для обробки на зубодовбальній операції внутрішнього прямозубого зубчастого вінця в деталі «півмуфта 4.7125.011-03», див. рисунок 1.1. Модуль зачеплення $m = 2,5$ мм, число зубців $z = 50$, ступінь точності відповідно до ГОСТ 1643-72 – 7.

У заводському технологічному процесі заготовка обробляється на зубодовбальному верстаті моделі 5140, закріплюючись на столі верстата з допомогою жорсткої оправки, шайби і гайки вручну. Робочий на даній операції має п'ятий розряд. Застосування спеціального пристосування з механізованим приводом закріплення дозволить знизити розряд верстатника на даній операції до четвертого розряду і, крім того, знизить трудомісткість обробки і підвищить стабільність з забезпечення параметрів точності обробки. У зв'язку з цим орієнтовно приймаємо систему нерозбірних спеціальних пристосувань.

На даній операції здійснюється зубодовбання внутрішнього прямозубого зубчастого вінця з діаметрами: внутрішнім – $\varnothing 120H9$; зовнішнім – $\varnothing 131,25H9$; діаметром ділильного кола – $\varnothing 125$ і довжиною зубчастого вінця – 68 мм. Як

значалося вище, модуль зачеплення $m = 2,5$ мм; число зубів $z = 50$; ступінь точності по ГОСТ 1643-72 – 7.

Точність діаметральних розмірів зубчастого вінця забезпечується за IT9 з допусками: $T_{\varnothing 120H9} = 87$ мкм; $T_{\varnothing 131,25H9} = 100$ мкм. По довжині зубчастого вінця його розмір задано вільним – 68 мм, що відповідає точності по IT14 з допуском: $T_{68} = 740$ мкм; з аналогічною точністю заданий допуск (по IT14) на діаметр ділильного кола зубчастого вінця – $T_{\varnothing 125} = 1000$ мкм.

Точність форми оброблюваних поверхонь зубів на кресленні деталі не вказано і ми приймаємо її в межах відповідних допусків на розміри.

Точність взаємного розташування поверхонь зубчастого вінця на кресленні обумовлено наступними значеннями кінематичної точності: допуск на накопичену похибку кроку $F_p = 0,048$ мм, що відповідає 6 ступеню точності (найближче стандартне значення допуску – 0,045 мм); допуск на радіальне биття зубчастого вінця $F_z = 0,04$ мм, що відповідає (7 – 8)-й ступеням точності з найближчими стандартними допусками – 36 мкм і 45 мкм; плавності роботи: граничне відхилення основного кроку $f_{RB} = \pm 0,016$ мм, що також відповідає (7 – 8)-й ступеням точності з найближчими стандартними допусками – ± 14 мкм й ± 20 мкм. Ширина западин отвору по ділильному колу $S_d = 3,93^{+0,085}_{+0,035}$, що відповідає точності по IT10 з найближчим стандартним допуском – 48 мкм. Радіальне биття внутрішнього діаметра зубів становить 0,02 мм, що відповідає (5 – 6)-й ступеням точності по СТ РЕВ 636-77 з найближчими стандартними допусками – 16 мкм і 25 мкм, відповідно. Зазначене радіальне биття забезпечується на токарній операції.

Степень шерохватости поверхностей зубьев – 1,6 мкм Ra.

На дану операцію заготовка надходить після чистової токарної обробки всіх циліндричних і торцевих поверхонь деталі. Маса заготовки до даного моменту – 26 кг. Вже згадана «півмуфта» виготовляється з високоякісної легованої конструкційної сталі 38X2МЮА ГОСТ 4543-71. Зазначена сталь використовується для виготовлення особливо відповідальних деталей з високою твердістю і зносостійкістю при незначних деформаціях, що працюють в умовах

складнонапруженого стану або піддаються динамічним впливам.

Деталь за своєю конфігурацією є порівняно простою та являє собою втулку з центральним отвором і фланцем, розташованим на одному з торців деталі. При загальній довжині 160 мм і мінімальної товщині стінки – 14 мм, деталь досить жорстка.

В цілому, у деталі є досить розвинені і точні поверхні, які в подальшому після відповідного аналізу можна використовувати в якості базових поверхонь. До таких поверхонь можна віднести циліндричні поверхні $\varnothing 350,45h8$ і $\varnothing 144H7$, а також нижній торець фланця.

Уточнимо параметри точності поверхонь, що можуть бути базовими.

Як видно з малюнка 1.1, на даній операції найбільш розвинені поверхні заготовки – це зовнішня і внутрішня циліндричні поверхні деталі, і зовнішній торець фланця. До даного моменту після виконання всіх токарних операцій точність зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь деталі забезпечена майже остаточно. Зокрема, зовнішня поверхня фланця виконана по 8 квалітету точності – $\varnothing 350,45h8$ з допуском $T_{\varnothing 350,45h8} = 89$ мкм, а точність центрального отвору, який можна використовувати для базування – по 7 квалітету ($\varnothing 144H7$) з допуском $T_{\varnothing 144H7} = 40$ мкм. Зовнішній торець фланця виконаний в розмір $20_{-0,084}$ мм по IT10 з допуском $T_{20} = 84$ мкм.

У технічних вимогах на виготовлення «півмуфти» відзначено допуски на точність взаємного розташування вказаних поверхонь: радіальне биття циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ щодо загальної осі не більше 0,02 мм, що відповідає 5-му ступеню точності. Для торця фланця обумовлене торцеве биття щодо осі поверхні $\varnothing 132G7$ в межах 0,02 мм, що відповідає 8-му ступеню точності з найближчим стандартним допуском 16 мкм.

Шорсткість циліндричних ($\varnothing 350,45h8$ і $\varnothing 144H7$) і торцевої (20 мм) поверхонь фланця – 1,6 мкм Ra.

Річна програма випуску деталей визначена в 300 штук. Така програма з урахуванням трудомісткості передбачає дрібносерійний тип виробництва.

У заводському технологічному процесі заготовка обробляється з використанням зубодовбального півавтомата моделі 5140. Використовується металорізальне обладнання, що дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованих верстатах методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів, незалежно від кваліфікації робітників. На даній операції, як було сказано вище, використовується зуборізальник 5-го розряду.

Потужність зубодовбального верстата – 4,5 кВт, розміри столу – $\varnothing 500$, габарити верстата: 1900×1450×2450 мм, категорія ремонтної складності – 18.

Обробка здійснюється чашковим прямозубим довбачем, тип 3, кл. т. А ГОСТ 9323-79 з матеріалом ріжучої частини Р6М5 ГОСТ 19265-73. Для закріплення чашкового довбача в шпинделі верстата використовуємо спеціальну оправку.

Питання про вибір схеми базування розглянуто в пункті 2.4 цієї роботи. Прийнята на операції схема базування зображена на малюнку 2.3.

Аналіз структури зв'язків зробимо, побудувавши таблицю односторонніх зв'язків, див. таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Таблиця односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ωx	$\omega'x$	ωy	$\omega'y$	ωz	$\omega'z$
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R		R	R	R	R	R		
	Сила закріплення												
	Сила тертя												

Як бачимо, на заготовку накладено 9 односторонніх зв'язків, тільки один з них z' – повний, а всі інші – неповні, що обумовлено наявністю зазору між цангою і отвором заготовки $\varnothing 144H10$.

Щоб система стала врівноваженою під час обробки, заготовку необхідно позбавити можливості переміщатися по координатах z , ω_z , ω'_z .

Для визначення взаємного впливу поля сил, що збудують і поля сил, призначеного врівноважити заготовку, побудуємо графічну модель структури сил,

що збурюють у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування, див. рисунок 2.6. Як видно з представленого малюнка 2.6 основна складова сили різання при зубодовбанні P_z поля сил, що збурюють врівноважується реакцією Rz' , а складова P_y врівноважується реакцією Ry . Решта складових поля сил, що збурюють невірноважені і вимагають прикладення додаткових сил закріплення. При використанні цангової оправки поле сил урівноваження представлено на рисунку 2.7.

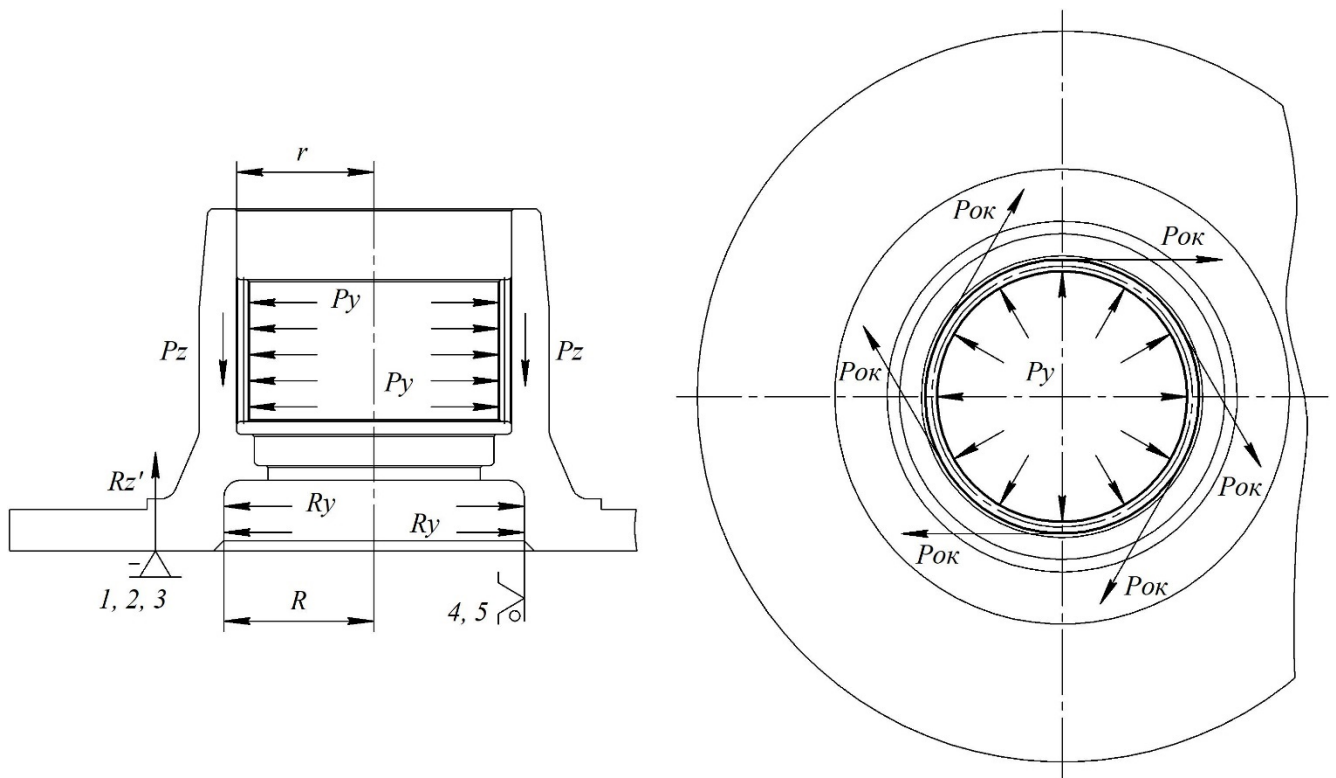


Рисунок 2.6 – Сили збурення, що діють на заготовку

З огляду на те, що при зубодовбанні напрямок дії основної складової сили різання P_z здійснюється уздовж нарізованих зубців заготовки на опорі в осьовому напрямку (вздовж осі Z), див. рисунки 2.6 і 2.7, то розрахунок зусилля закріплення заготовки щодо її відриву від опори проводити не будемо.

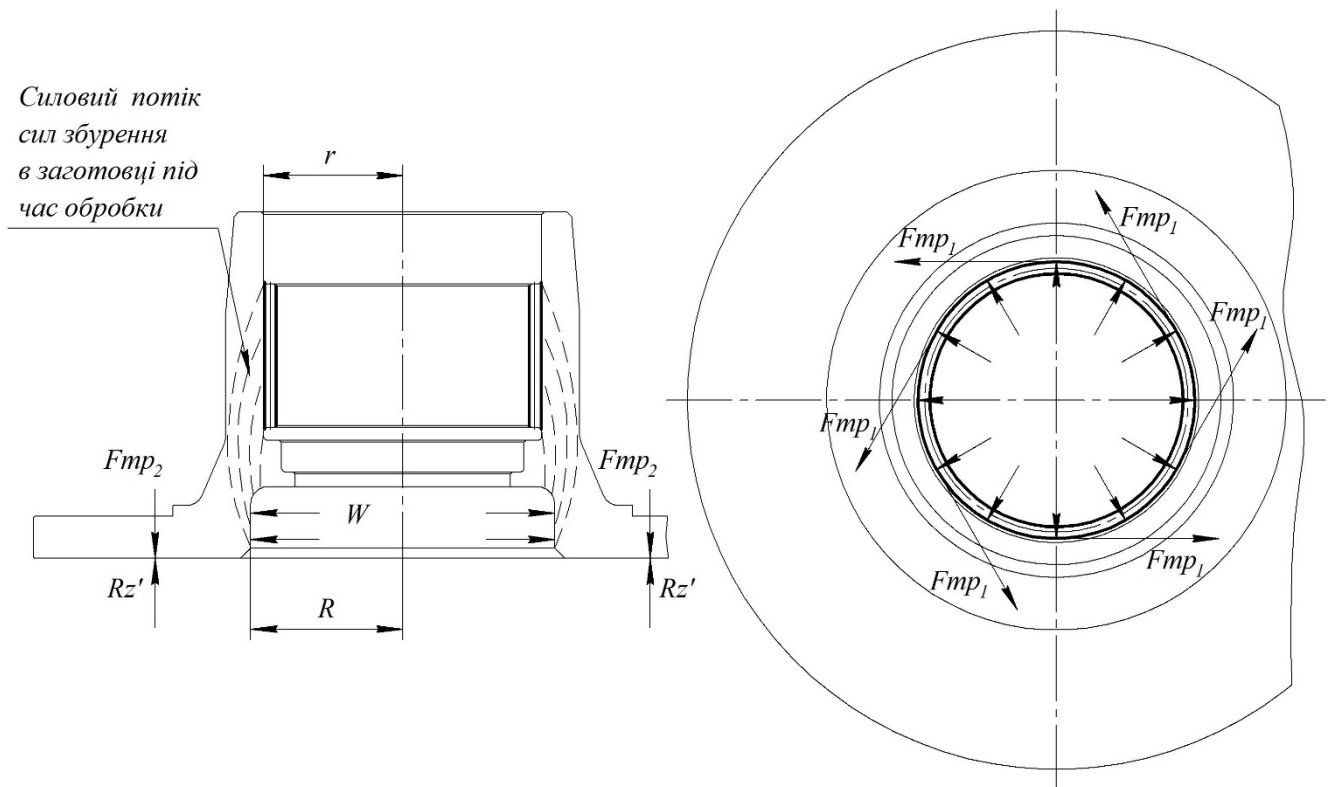


Рисунок 2.7 – Структура поля сил урівноваження

У підсумку, величину сумарного зусилля закріплення визначимо з умови непроворота заготовки на опорних поверхнях цангової оправки від кругової сили $P_{ок}$:

$$M_{тр} \geq M_p,$$

або

$$M_{тр} = K_{зап} \cdot M_p,$$

де $M_{тр}$ – момент тертя, що викликаний силами закріплення;

$M_{рез}$ – момент різання від сил різання;

$K_{зап}$ – коефіцієнт запасу.

Як видно з рисунка 2.7, недоліком прийнятого способу врівноваження є високий рівень енергетичних витрат на закріплення заготовки. Однак конструктивні особливості деталі є такими, що до даної операції у неї ще немає

елементів, здатних сприймати момент різання (ще немає отворів або пазів).

Силові потоки, що виникають при обробці, створюють напруження скручування і стиснення на довжині близько 126 мм. Однак значний діаметр заготовки в місцях обробки зубів і докладання зусиль закріплення ($\varnothing 125$ і $\varnothing 144$ відповідно) гасять ці напруги і не викликають деформацій, які деформують заготовку.

У таблиці 2.8 представлена структура зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки.

Таблиця 2.8 – Таблиця односторонніх зв'язків, що діють на заготовку під час її закріплення

Індекс зв'язку	x	x'	y	y''	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R		R	R	R	R		
	Сила закріплення	P	P	P	P			P	P	P	P	
	Сила тертя					F(P)					F(P)	F(P)

Прикладення сил закріплення усуває зазор і перетворює зв'язки $x, x', y, y', \omega_x, \omega'_x, \omega_y, \omega'_y$ з неповних в повні, а також утворює нові зв'язки, доповнюючи комплект (12) – z, ω_z, ω'_z .

Недоліком такої схеми є значний енергетичний рівень, оскільки урівноваження здійснюється непрямим методом – силами тертя. Однак цей недолік компенсується простотою силоутворюючого механізму – цангового пристрою з пневматичним приводом.

Зробимо розрахунок сил закріплення, див. рисунок 2.7.

Момент тертя визначається з умови:

$$M_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot R,$$

де $F_{\text{тр}}$ – сила тертя;

R – радіус прикладення сили тертя.

$$F_{\text{тр}} = P \cdot f,$$

де P – сила закріплення;

f – коефіцієнт тертя;

В результаті, момент тертя становитиме:

$$M_{\text{тр}} = P \cdot R \cdot f.$$

З іншого боку, момент різання дорівнює:

$$M_{\text{р}} = P_{\text{ок}} \cdot r,$$

де $P_{\text{ок}}$ – кругова складова сили різання при зубодовбанні;

r – максимальний радіус прикладання кругової складової сили різання.

В результаті маємо рівняння для визначення сили закріплення:

$$P = \frac{K_{\text{зап}} \cdot P_{\text{ок}} \cdot r}{R \cdot f},$$

Коефіцієнт запасу визначимо з умови [7]:

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

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

$K_1 = 1,5$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при затупленні довбача;

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зміни припуску на обробку;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує переривчасті умови різання;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує тип привода;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує зручність в обслуговуванні привода;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на опорах.

В результаті маємо:

$$K_{\text{зап}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,25.$$

Беремо $K_{\text{зап}} = 2,5$.

Визначимо силу різання при нарізанні зубчастого вінця [7, 9]:

Максимальна сила різання при зубодовбанні визначена в п. 2.7 роботи [9]:

$$P_{\text{max}} = 1647 \text{ кгс} = 16470 \text{ Н.}$$

Кругова складова сили різання становить:

$$P_{\text{ок}} = 0,2 \cdot P_{\text{max}} = 0,2 \cdot 1647 = 329,4 \text{ кгс} = 3294 \text{ Н.}$$

Беремо: $R = 72$ мм, $r = 65,625$ мм, див. рисунки 1.1, 2.6 й 2.7, коефіцієнт тертя $f = 0,35$ [7].

В результаті сила закріплення становитиме:

$$P = \frac{2,5 \cdot 3294 \cdot 65,625}{72 \cdot 0,35} = 21445 \text{ Н.}$$

Зусилля на штоку пневмопривода визначимо з рівняння, див. рисунок 2.8:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

де Q_1 – осьова сила, необхідна для усунення зазору між цангою й заготовкою;
 Q_2 – осьова сила, необхідна для утворення сили закріплення заготовки Р;

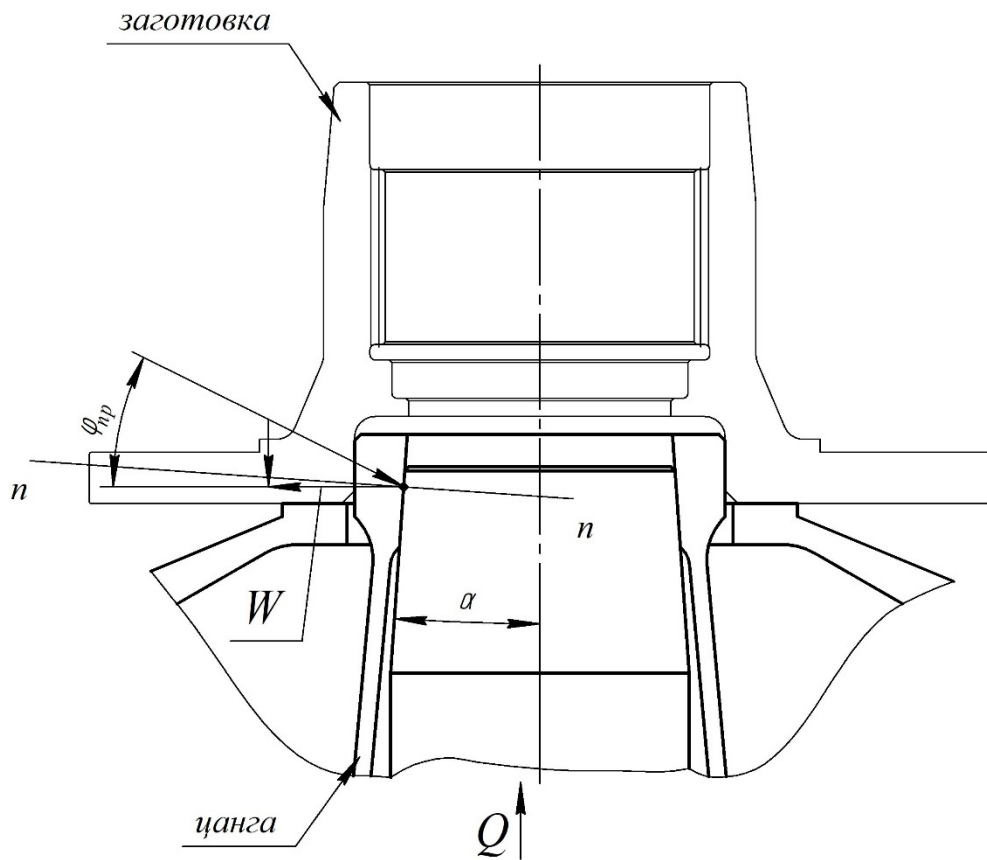


Рисунок 2.8 – Схема розрахунку сили закріплення

$$Q_1 = \frac{n \cdot \Delta \cdot D^3 \cdot S}{l^3},$$

$n = 600$ – для трипелюсткової цанги;

$\Delta = 0,228$ мм – максимальний зазор між заготовкою та цангою при посадці $\text{Ø}144\text{H}10/\text{f}6$;

$D = 144$ мм – зовнішній діаметр цанги;

$S = 7$ мм – товщина стінки пелюстки цанги;

$l = 150$ мм – довжина пелюстки цанги від основи до звуження конуса;

$$Q_1 = \frac{600 \cdot 0,228 \cdot 144^3 \cdot 7}{150^3} = 847 \text{ кгс} = 8470 \text{ Н};$$

$$Q_2 = P \cdot \text{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) = 21445 \cdot \text{tg}(8^\circ 17' 50'' + 5^\circ 43') = 4829 \text{ Н},$$

де $\alpha = 8^\circ 17' 50''$ – кут конусності розтискного конуса цанги;

$\varphi_{\text{пр}} = 5^\circ 43'$ – кут тертя при коефіцієнті тертя $f = 0,1$.

В результаті маємо сумарну осьову силу на штоку пневмокамери:

$$Q = 8470 + 4829 = 13299 \text{ Н}.$$

Тепер визначимо діаметр пневмокамери односторонньої дії зі зворотною пружиною за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (Q + q)}{\pi \cdot p \cdot \eta}},$$

де q – жорсткість зворотної пружини; для спеціальної пружини поз. 21, див. складальне креслення верстатного пристрою, беремо $q = 20$ кгс;

p – тиск в пневмережі, $p = 4$ кгс/см²;

η – коефіцієнт корисної дії пневмопривода; $\eta = 0,8$.

В результаті маємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot (1329,9 + 20)}{\pi \cdot 4 \cdot 0,8}} = 23,2 \text{ см}.$$

Беремо найближчий стандартний діаметр пневмокамери зі стандартного ряду: $D = 250$ мм [7].

Розрахунок верстатного пристрою на точність.

До розрахункових параметрів, які в більшій мірі вплинуть на досягнення заданих допусків оброблюваної заготовки, буде радіальне биття посадочної поверхні цанги. Цей параметр є однорідним з похибкою, обумовленою в деталі досить жорстким допуском на взаємне розташування поверхонь – допуском на радіальне биття зубчастого вінця $T_f = F_z = 0,04$ мм. Допустиму похибку виготовлення верстатного пристрою визначимо за формулою [6]:

$$E_{np} = T_f - K \cdot \sqrt{(K_1 \cdot E_0)^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{zn}^2 + E_n^2 + (K_2 \cdot \omega)^2},$$

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

$K_1 = 0,8$ – для випадків, коли $E_0 \neq 0$;

E_0 – похибка базування, в нашому випадку при базуванні з використанням цанги, вісь останньої суміщається з віссю заготовки, тож маємо $E_0 = 0$;

E_3 – похибка закріплення, в нашому випадку сили закріплення взаємозрівноважуються, тож маємо $E_3 = 0$;

E_y – похибка установки пристрою на столі верстата. Беремо $E_y = 20$ мкм;

E_{zn} – похибка від зношення установчих елементів пристрою, беремо $E_{zn} = 10$ мкм;

E_n – похибка установки й прекоосу інструмента на верстаті, беремо $E_n = 10$ мкм;

$K_2 = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність виникнення похибки обробки;

$\omega = 10$ мкм [6] – середня економічна точність обробки.

Тож маємо:

$$E_{np} = 40 - 1,2 \sqrt{0 + 0 + 20^2 + 10^2 + 10^2 + (0,6 \cdot 10)^2} = 10 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних приймаємо допуск на радіальне биття посадочної поверхні цанги в межах 10 мкм.

Опис будови й принципу дії пристосування.

Спроекований верстатний пристрій складається з корпусу 3, у внутрішній центральній частині якого змонтовано пневмокамеру. Остання являє собою гумову діафрагму 2, до якої приєднана тарілка 9 зі штоком 10. На штоку 10 між тарілкою 9 і верхньою частиною пневмокамери встановлено зворотну пружину 21. Нижня робоча порожнина пневмокамери за допомогою гвинтів 16 і шайб 22 закривається кришкою 4. У верхній частині штока 10 пневмокамери за допомогою гайки 19 і шайби 23 закріплений розтискний конус 7 трипелюсткової цанги 8. Цанга 8 за допомогою гвинтів 18 кріпиться у верхній частині корпусу 3 пристосування. Крім того, у верхній частині корпусу 3 за допомогою гвинтів 17 встановлено кришку 6, яка охоплює цангу 8, оберігаючи її від ударів і бруду. Додатково верхня площина кришки 6 служить установчою поверхнею для базування оброблюваної заготовки. У нижній частині корпусу 3 гвинтами 15 закріплені дві призматичні шпонки 24, за допомогою яких пристосування базується в Т-подібних пазах столу зубодовбального півавтомата моделі 5140.

Пристосування працює таким чином.

Оброблювана заготовка встановлюється нижнім торцем фланця $\varnothing 350h6$ на верхню частину кришки 6 по посадковому отвору $\varnothing 144H10$ на цангу 8 по її посадковому діаметру $\varnothing 144f6$. Потім в нижню порожнину пневмокамери через штуцер 1 подається повітря, що переміщує діафрагму 2 з тарілкою 9, штоком 10 і розтискним конусом 7 вгору. В результаті, останній здійснює радіальне розтискання трьох пелюсток цанги 8. У результаті вибирається зазор в сполученні оброблюваної заготовки з цангою 8 і відбувається її затискання. Після обробки внутрішнього зубчастого вінця в заготовці в зворотній послідовності відбувається її розкріплення. При цьому, краном управління перекивається подача повітря в нижню порожнину пневмокамери, в результаті чого під впливом зворотної пружини 21 діафрагма 2 з тарілкою 9, штоком 10 і розтискним конусом 7

переміщаються вниз, звільняючи від тиску пелюстки цанги 8, які стискаються і звільняють від закріплення заготовку.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Згідно з завданням, необхідно спроектувати контрольно-вимірювальне пристосування (КВП) для контролю радіального і торцевого биття циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ і лівого торця $\varnothing 350h6/\varnothing 144$ «півмуфти 4.7125.011-03» щодо отвору $\varnothing 132G7$ з допусками 0,02 мм, див. рисунок 1.1.

В даний час контроль радіального і торцевого биття «півмуфти» здійснюється альтернативним методом із застосуванням універсальних засобів, зокрема, жорстких центрів токарного верстата і магнітної індикаторної стійки. Ні метод, ні засіб не можна визнати прийнятними, оскільки перевірка проводиться по черзі для кожного з биттів, із залученням верстатного устаткування, розташованого на механічній ділянці далеко від ділянці ВТК і не дає необхідної інформації про стан процесу обробки і якість виробів. Крім того, великий вплив на якість контролю в даному випадку дають суб'єктивні особливості оператора, в зв'язку з чим похибка контролю може сягати 25% [12].

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

Однак викликає сумнів доцільність проставляння допуску на радіальне биття в 0,02 мм, що не відповідає стандартному значенню [2]. Найближчі стандартні значення допуску на радіальне биття рівні 0,016 мм і 0,025 мм, що відповідає 4-й і 5-й ступеням точності, відповідно до [2].

Аналогічним чином не відповідає стандартному значенню згідно з [2] і допуск в 0,02 мм з торцевого биття. Найближчі стандартні значення допуску на

торцеве биття є рівними 0,016 мм і 0,025 мм, що відповідає 5-й і 6-й ступеням точності, відповідно до [2].

Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю [12]. Встановимо наступні показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [12].

Радіальне биття поверхні обертання визначається сумарним відхиленням від циліндричної поверхні і відхиленням від співвісності щодо базової осі і чисельно дорівнює різниці Δ між найбільшою та найменшою відстанями від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярною до базової осі [2].

Торцеве биття визначається сумарним відхиленням торцевої поверхні від площинності і відхиленням цієї поверхні від перпендикулярності щодо базової осі і чисельно дорівнює різниці Δ між найбільшою та найменшою відстанями від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної базовій осі [2].

Виходячи з вищевказаних визначень, при контролі радіального биття, останні визначатимемо по колу циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ на відстані 5 мм – 15 мм від лівого торця деталі. У свою чергу, при контролі торцевого биття, останні визначатимемо по колу діаметром 155 мм – 345 мм, розташованому на лівому торці (фланці) деталі.

За контрольовані поверхні приймаємо циліндричну поверхню $\varnothing 350h6$ і торцеву поверхню $\varnothing 350h6/\varnothing 144$. Визначимо кількісно параметри точності цих поверхонь.

Циліндрична поверхня $\varnothing 350h6$ виконана з допуском 0,036 мм, що відповідає точності по ІТ6 ГОСТ 25347-82 [2]. Номінал розміру – 360 мм. Верхнє відхилення $es = 0$; нижнє відхилення $ei = -0,036$ мм.

Торцева поверхня $\varnothing 350h6/\varnothing 144$ повинна бути виконана в лінійний розмір деталі $20_{-0,084}$ мм, що відповідає точності по ІТ10. В цьому випадку, номінал розміру

– 20 мм, а допуск дорівнює $T_{20} = 0,084$ мм. Верхнє відхилення $es = 0$; нижнє відхилення $ei = -0,084$ мм, ГОСТ 25347-82 [2].

Точність форми контрольованих поверхонь кресленням «півмуфти» не регламентується. Тому розглянемо відхилення від круглості циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ і відхилення від площинності торцевої поверхні $\varnothing 350h6/\varnothing 144$. Так як допуски на точність форми поверхонь не вказані, то ми приймаємо їх в межах допусків на відповідні розміри. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск круглості становить 30% від допуску на розмір:

$$T_O = 0,3 \cdot T_{\varnothing 350h6} = 0,3 \cdot 0,036 = 0,0108 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,01 мм та 5-му ступеню точності згідно з [2].

Аналогічним чином для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск площинності становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{20} = 0,6 \cdot 0,084 = 0,0504 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,04 мм та 7-му ступеню точності згідно з [2].

За точністю взаємного розташування поверхонь кресленням «півмуфти» обумовлено радіальне биття циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$ щодо отвору $\varnothing 132G7$ з допуском 0,02 мм, що відповідає найближчому меншому стандартному допуску в 0,016 мм та 4-му ступеню точності і торцеве биття лівого торця $\varnothing 350h6/\varnothing 144$ щодо того ж отвору $\varnothing 132G7$ з допуском 0,02 мм, що відповідає найближчому меншому стандартному допуску в 0,016 мм та 5-му ступеню точності згідно з [2].

Шорсткість поверхонь «півмуфти 4.7125.011-03» задана на кресленні і дорівнює 1,6 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789-73 як для циліндричної поверхні $\varnothing 350h6$, так і для торцевої поверхні $\varnothing 350h6/\varnothing 144$.

Деталь за своїми конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технологічними – до класу втулок. Маса деталі – 24,5 кг. Матеріал – високоякісна легована конструкційна сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71. Щільність матеріалу $\rho = 7,817 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, коефіцієнт лінійного розширення $\alpha = 13,4 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на роль базових можуть лише дві поверхні, щодо яких і заданий контроль радіального і торцевого биття: центральний отвір $\varnothing 132\text{G7}$ і правий торець $\varnothing 160/\varnothing 132\text{G7}$ деталі (див. креслення деталі в додатку А). Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та технологічної баз, що визначають контроль заданих параметрів. Визначимо кількісно параметри точності цих поверхонь.

Циліндрична поверхня $\varnothing 132\text{G7}$ виконана з точністю по IT7 і допуском 0,04 мм, ГОСТ 25347-82 [2]. Номінал розміру – 132 мм. Верхнє відхилення ES = +0,054 мм, нижнє відхилення EI = +0,014 мм.

Торцева поверхня $\varnothing 160/\varnothing 132\text{G7}$ повинна бути виконана в лінійний розмір деталі 160 мм, допуск на розмір поверхні не визначено кресленням деталі. Однак в процесі механічної обробки торець заготовки підрізають з точністю по IT11. В цьому випадку, номінал розміру 160 мм, а допуск задається по IT11 з величиною $T_{160h11} = 0,25 \text{ мм}$ і з розташуванням відхилень в тіло деталі. Верхнє відхилення es = 0, нижнє відхилення ei = -0,25 мм, ГОСТ 25347-82 [2].

Точність форми базових поверхонь кресленням «півмуфти» не обумовлено. Тому розглянемо відхилення від круглості циліндричної поверхні $\varnothing 132\text{G7}$ і відхилення від площинності торцевої поверхні $\varnothing 160/\varnothing 132\text{G7}$, підрізаний в розмір 160h12. Так як допуски на точність форми поверхонь не вказані, то ми приймаємо їх в межах допусків на відповідні розміри. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск круглості становить 30% від допуску на розмір:

$$T_O = 0,3 \cdot T_{\varnothing 132\text{G7}} = 0,3 \cdot 0,04 = 0,012 \text{ мм},$$

що відповідає 6-му ступеню точності згідно з [2].

Аналогічним чином для нормальної відносної геометричної точності «А» допуск площинності становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{160h12} = 0,6 \cdot 0,4 = 0,24 \text{ мм},$$

що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,16 мм та 12-му ступеню точності згідно з [2].

Точність взаємного розташування розглянутих поверхонь на кресленні «півмуфти» обумовлено торцевим биттям правого торця $\varnothing 160/\varnothing 132G7$ щодо отвору $\varnothing 132G7$ з допуском 0,02 мм, що відповідає найближчому стандартному допуску в 0,016 мм та 6-му ступеню точності згідно з [2].

Шорсткість поверхонь «півмуфти» задана на кресленні і дорівнює 1,6 мкм за критерієм R_a ГОСТ 2789-73 для циліндричної поверхні $\varnothing 132G7$ і 6,3 мкм за критерієм R_a – для торцевої поверхні $\varnothing 160/\varnothing 132G7$.

Аналіз параметрів точності базових поверхонь дозволяє говорити про придатність розглянутих поверхонь на роль базових. В цьому випадку отвір $\varnothing 132G7$ з встановленою в нього розтискною оправкою є подвійною опорною базою, яка позбавляє деталь двох ступенів свободи: двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y (при вертикальному розташуванні осі деталі (осі Z)). Нижній торець деталі $\varnothing 160/\varnothing 132G7$ грає роль установчої бази, яка накладає на деталь ще три зв'язки (всього п'ять), позбавляючи поступального переміщення уздовж осі Z і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y . Вакантним залишається обертання навколо власної центральної осі (осі Z).

У процесі контролю радіального і торцевого биття поверхонь «півмуфти», вісь деталі буде розташовано вертикально, в зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до опорних поверхонь. Однак, для контролю радіально биття $\varnothing 360h6$ необхідно, щоб вісь трьохкулачкового мембранного патрону, яка буде використовуватися в проектованому пристосуванні, самоустановлювалась по осі

отвору $\varnothing 132G7$. Тому, при установці в отвір $\varnothing 132G7$ кулачків патрону, останнім необхідно надавати незначне зусилля розтискання, що дозволить усунути гарантований зазор між ними і отвором і, отже, $E_3 = 0$.

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

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

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

За попереднім аналізом тривалість зазначених частинних функцій складатиме: $t_{\phi 1} = 40$ с; $t_{\phi 2} = 5$ с; $t_{\phi 3} = 10$ с; $t_{\phi 4} = 15$ с; $t_{\phi 6} = 5$ с; $t_{\phi 7} = 5$ с; $t_{\phi 8} = 5$ с; $t_{\phi 9} = 15$ с. Якщо частинні функції 6, 7 та 8 будуть реалізовані паралельно, а інші функції – послідовно, то тривалість операції контролю складатиме 160 с.

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому оскільки його простіше зробити при контролі радіального і торцевого биття контрольованих поверхонь «півмуфти».

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71) і контрольовані поверхні без надлишкових деформацій можуть сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому вимірювальне зусилля сприятиме видаленню бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

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

З огляду на значну твердість контрольованої поверхні (НВ 235 – 277), геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 500 сН (5 Н). В цьому випадку очікувану похибку від вимірювального зусилля визначимо за формулою:

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

де $\Delta_{\text{зус}}$ – величина похибки контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, що враховує матеріал вимірювального наконечника. Для твердого сплаву $K = 0,81$;

$P_{\text{зус}} = 5$ – вимірювальне зусилля;

$r = 5$ мм – радіус сфери наконечника;

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

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

Налаштування КВП буде проводитися по контрольованим поверхням без використання еталону.

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 шкальної 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 знаходиться як частина допуску ІТ контрольованого параметра, зокрема, радіального і торцевого биття контрольованих поверхонь:

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

де K – коефіцієнт, що залежить від точності контрольованого параметра, його беруть в межах 0,2 до 0,35.

Для 4 - 5-го ступеня точності беремо $K = 0,35$ [12].

$$[\delta_{\text{вим}}] = 0,35 \cdot 20 = 7 \text{ мкм.}$$

Відповідно до [2] беремо $[\delta_{\text{вим}}] = 6 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку ЗВ (інструментальну похибку) для обох варіантів контролю [12]:

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

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

Ціну поділки ЗВ визначимо залежно від допустимої інструментальної похибки ЗВ:

$$C = \Delta_{\text{ін}} = 4 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали (а) беремо 2 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ.

Межа вимірювання за шкалою (А) повинна перевищувати допуск ІТ, щоб зняття показань не викликало труднощів, беремо:

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

Межа вимірювань ЗВ (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації, беремо $B = 0,5 \text{ мм}$.

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

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

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

$$t(P) = 1500 \cdot 4 = 6000 \text{ циклів.}$$

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

Згідно зі сталим цінами на вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання ЗВ: $\text{Ц} = 1600$ 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:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq / \Delta_{\text{ін}} /; \quad P_{\text{зус}} \leq / P_{\text{зус}} /; \quad c \leq / c /; \quad \Delta P \leq / \Delta P /; \quad a \geq / a /;$$

$$t(P) \geq / t(P) /; \quad A \geq / A /; \quad P \geq / P /; \quad B \geq / B /; \quad \text{Ц} \leq / \text{Ц} /.$$

Пошук ЗВ здійснюємо відповідно до паспортів і каталогів ЗВ для важеля зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близькими за показниками для контролю радіального і торцевого биття є індикатори багатооборотні 2МИГ ГОСТ 18833-73, що мають такі метрологічні характеристики:

$$\Delta_{\text{ін}} = 0,002 \text{ мм}; \quad C = 0,002 \text{ мм}; \quad A = 0,2 \text{ мм};$$

$$B = 2,0 \text{ мм}; \quad P_{\text{зус}} = 500 \text{ сН}; \quad \Delta P_{\text{зус}} = 80 \text{ сН};$$

$$t(P) = 500000; \quad P = 0,9; \quad \text{Ц} = 1070 \text{ грн.}$$

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

$$\Delta_{\text{ін}} = 0,002 < 0,0042 = / \Delta_{\text{ін}} /; \quad C = 0,002 < 0,004 = / C /;$$

$$P_{\text{зус}} = 500 \text{ сН} = 500 \text{ сН} = / P_{\text{зус}} /; \quad \Delta P_{\text{зус}} = 80 \text{ сН} < 100 \text{ сН} = / \Delta P_{\text{зус}} /;$$

$$a = 2 \text{ мм} = 2 \text{ мм} = / a /; \quad A = 0,2 \text{ мм} > 0,08 \text{ мм} = / A /;$$

$$B = 2,0 \text{ мм} > 0,5 \text{ мм} = / B /; \quad P = 0,9 > 0,85 = / P /;$$

$$t(P) = 500000 > 4000 = / t(P) /; \quad Ц = 1070 \text{ грн} < 1600 \text{ грн} = / Ц /.$$

Інші ЗВ мають надлишкову точність і меншу надійність. Тому для нашого КВП найбільш підходящими вважаються індикатори багатооборотні 2МИГ ГОСТ 18833-73.

Виходячи з вище представленого аналізу, на рисунку 2.9 наведемо кінематичну схему проектованого КВП.

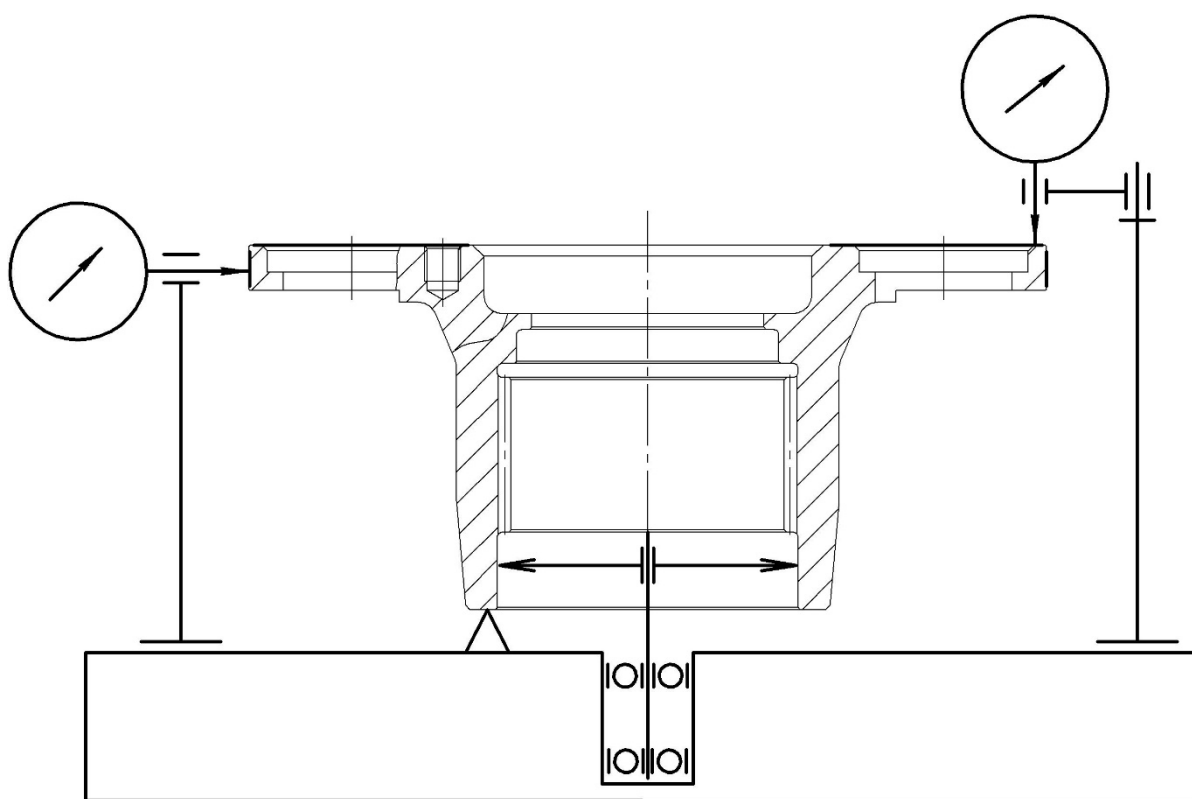


Рисунок 2.9 – Кінематична схема проектованого КВП

При контролі радіального і торцевого биття контрольованих поверхонь «півмуфти» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_{in}^2 + \varepsilon_a^2 + \varepsilon_m^2 + \varepsilon_e^2 + \varepsilon_{зус}^2},$$

де Δ_y – похибка установки деталі в КВП:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}.$$

ε_{δ} – похибка базування. У нашому випадку для базування в патроні при контролі радіального і торцевого биття вона дорівнює нулю;

ε_3 – похибка закріплення. Оскільки для закріплення деталі використовуємо патрон з незначним зусиллям закріплення, то для обох варіантів контролю (радіального і торцевого биття) приймаємо $\varepsilon_3 = 3$ мкм;

ε_{np} – неточність виготовлення елементів пристосування, що беруть участь у формуванні розмірного вимірювального ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів буде впливати неточність виготовлення підшипників кочення, які використовуються в механізмі обертання деталі. Останні можна виготовляти за умови селективного складання з точністю до 4 мкм, тож беремо $\varepsilon_{np} = 4$ мкм.

В результаті маємо

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + 3^2 + 4^2} = 5 \text{ мкм.}$$

ε_{δ} – похибка передаточного пристрою. За відсутності передаточного пристрою беремо $\varepsilon_{\delta} = 0$;

ε_e – похибка виготовлення еталону. За відсутності необхідності у використанні еталону беремо $\varepsilon_e = 0$;

ε_{in} – похибка вибраного ЗВ, $\varepsilon_{in} = 2$ мкм;

$\varepsilon_{зус}$ – похибка, що викликана наявністю вимірювального зусилля та можливою контактною деформацією контрольованої поверхні деталі $\varepsilon_{зус} = 0,6$ мкм;

ε_m – похибка, викликана змінами температури навколишнього середовища.

За умови вирівнювання температур деталі та проектного КВП беремо $\varepsilon_m = 0$.

В результаті маємо:

$$\varepsilon_\phi = \sqrt{5^2 + 2^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0,6^2} = 5,4 < 6 \text{ мкм} = [\delta_{\text{вим}}];$$

Тож, запропонований КВП є працездатним.

Спроекований КВП складається з корпусу 14, в центральній частині якого за допомогою чотирьох гвинтів 27 закріплено фланець 17. В останньому, в свою чергу, в двох кулькових упорних підшипниках 31 і 32, підтиснутих двома гайками 10, встановлений шпindel 18, на верхньому торці якого з допомогою шести гвинтів 25 закріплений корпус 13 з трьома опорами 2 і мембраною 1, що утворюють конструкцію мембранного патрона. Для надання мембрані 1 осьової деформації, що призводить до розтискання її кулачків в радіальному напрямку, з нижнього торця мембрани 1 підведена сферична опора штока 5 пневмокамери пристосування. Остання складається з корпусу, утвореного нижньою частиною корпусу 14 пристосування, кришки 15, діафрагми 11, нижньої 19 і верхньої 20 шайб із закріпленням на них штоком 5, манжети 30 і зворотної пружини 33. По краях корпусу 14 за допомогою чотирьох пар гвинтів 26 закріплені індикаторні стійки 3 і 4 з індикаторами 29.

Контрольована деталь «півмуфта» посадковим отвором $\varnothing 132G7$ встановлюється на кулачки мембрани 1 до упору нижнім торцем деталі $\varnothing 160/\varnothing 132G7$ на три опори 2. Після подачі повітря в нижню порожнину пневмокамери, шток 5 останньої переміщується вгору, натискаючи своєю сферичною поверхнею на нижній торець мембрани 1, що призводить до її осьової деформації і розтискання кулачків в радіальному напрямку. В результаті розтискання кулачків мембрани 1 відбувається закріплення контрольованої деталі і вісь патрона самовстановлюється по осі посадочного отвору $\varnothing 132G7$. Потім до контрольованих поверхонь «півмуфти» підводяться вимірювальні наконечники

індикаторів 29, шкали яких виставляють на «нуль». Після повороту деталі на 360° по різниці найбільшого і найменшого показань кожного з індикаторів 29 судять про величину радіального і торцевого биття контрольованих поверхонь «півмуфти».

Після завершення операції контролю розкріплення деталі відбувається в зворотній послідовності. Спочатку від контрольованих поверхонь деталі поворотом на 90° індикаторних стійок 3 і 4 відводять індикатори 29. Потім припиняється подача повітря в пневмокамеру і шток 5 під впливом зворотної пружини 33 опускається вниз, припиняючи тиск на мембрану 1. В результаті вирівнювання мембрани 1 в горизонтальній площині, кулачки останньої стискаються і звільняють від закріплення контрольовану деталь.

2.11 Висновок

В результаті проведеної роботи з вдосконалення існуючого технологічного процесу виготовлення деталі виконано:

- 1) обґрунтовано вибір способу отримання заготовки: поковка вільним куванням в підкладних кільцях. Визначені припуски на обробку поверхонь, розміри заготовки, технічні вимоги на її виготовлення;
- 2) розроблено раціональний маршрут оброблення заготовки, що враховує принципи поетапності обробки та інтеграції операцій, що є характерним для дрібносерійного типу виробництва;
- 3) виконано уточнення операційних припусків і розмірів на оброблення зовнішньої циліндричної поверхні діаметром 350h6 аналітичним методом;
- 4) виконано обґрунтування вибору схем базування, металорізального устаткування, оснастки, режимів різання та технічних норм часу на зубодовбальну та комплексну з ЧПК операції пропонованого технологічного процесу оброблення заготовки;
- 5) розроблено спеціальну конструкцію верстатного пристрою на зубодовбальну операцію;

6) розроблено спеціальну конструкцію КВП для контролю торцевого та радіального биття поверхонь деталі;

7) для підвищення ефективності пропонованого верстатного пристрою пропонується виконати дослідження його конструкції методами статичного та динамічного аналізу.

РОЗДІЛ 3

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

3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

Проектування верстатного пристрою є складним багатокритеріальним завданням, що потребує від проектувальника великого досвіду та навичок. В умовах багатомоделного виробництва існує потреба у проектуванні великої кількості відносно оригінальних верстатних пристроїв, які мають бути максимально адаптовані до характеристик виробів. Саме тому, конструкція проєктованого верстатного пристрою, як частини технологічної оброблювальної системи, є її вузьким місцем. Саме тому, рішення, прийняті під час проектування пристрою, повинні перевірятися на предмет стійкої та надійної роботи в умовах статичних та динамічних навантажень.

В п. 2.9 цієї роботи запропоновано спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки «півмуфти» на зубодовбальній технологічній операції. Оброблення зубчастого вінця «півмуфти» здійснюється в умовах значного силового навантаження. Тому цілком ймовірно, що дослідження пропонованого верстатного пристрою в системі з оброблюваною заготовкою дозволить виявити помилки в окремих конструктивних елементах його конструкції.

Для дослідження конструкції системи «пристрій-заготовка» скористаємося пакетом математичного аналізу Ansys Workbench. Статичний аналіз конструкції виконаємо з використанням модуля Static Structural, динамічний аналіз виконаємо з використанням модуля Modal. В основі роботи зазначених модулів та пакету Ansys в цілому знаходиться відомий метод скінчених елементів.

Перший крок алгоритму дослідження зазначеної конструкції полягає у розробленні твердотільної моделі системи «пристрій-заготовка». До складу цієї

системи в нашому випадку мають увійти такі елементи, як заготовка, кришка, цанга та конус, що беруть безпосередню участь у забезпеченні замикання силових потоків, причиною виникнення яких є дія сил різання та сил закріплення, реакцій опор тощо. Окрім того, такі елементи як цанга та кришка беруть безпосередню участь у формуванні технологічних баз і таким чином мають прямий вплив на забезпечення точності оброблюваних поверхонь.

Твердотільну модель досліджуваної системи було розроблено в пакеті графічного дизайну Компас-3D, див. рисунок 3.1.

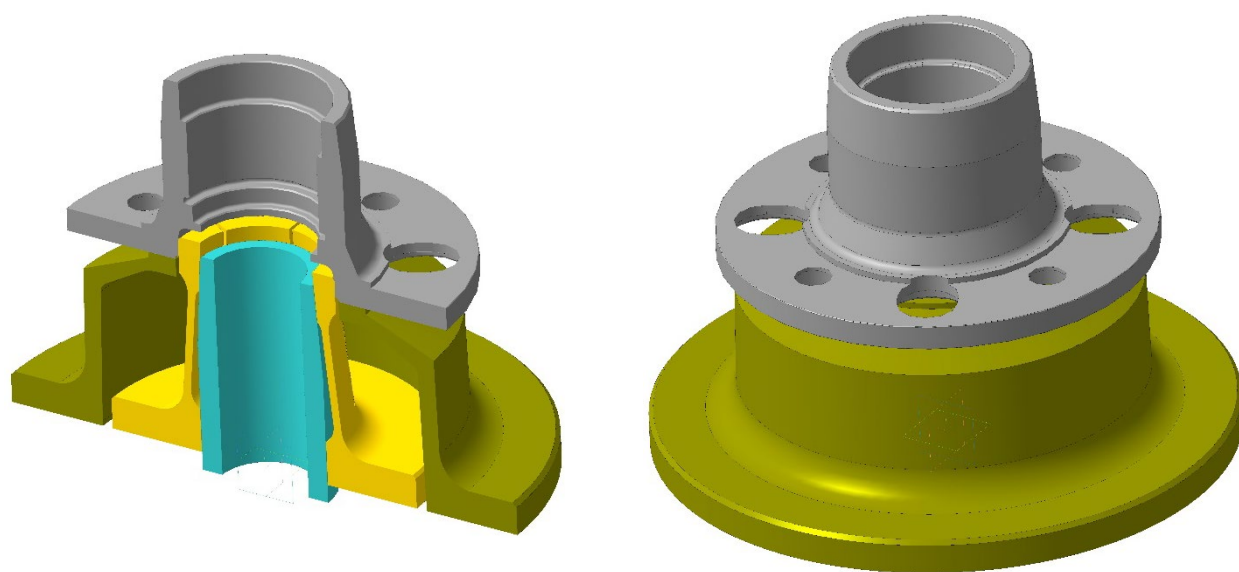


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка»

Другий крок – імпорт твердотільної моделі до пакету Ansys з метою передачі інформації про геометричну модель системи, див. рисунок 3.2.

Третій крок – опис граничних обмежень: характеристики матеріалів елементів системи, характеристики контакту спряжених поверхонь елементів системи, характеристики сил та (або) моментів різання, сил закріплення тощо.

Фізико-механічні властивості матеріалів окремих елементів досліджуваної системи беремо за замовчуванням, як властивості середньовуглецевої конструкційної сталі: модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа, межа текучості за умови стискування (розтягування) – 250 МПа, межа текучості за умови розтягування – 460 МПа.

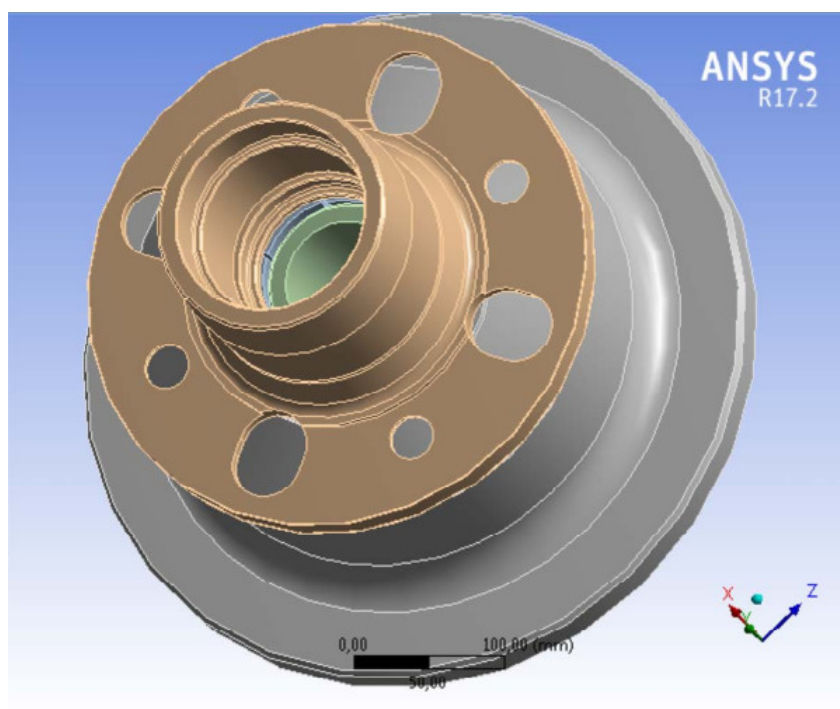


Рисунок 3.2 – Імпортована геометрична модель досліджуваної системи

Характеристики контакту спряжених поверхонь пар «заготовка-цанга», «заготовка-кришка», «конус-цанга» задаємо як тертя ковзання з коефіцієнтами тертя 0,2, 0,2 та 0,1 відповідно, див. рисунок 3.3.

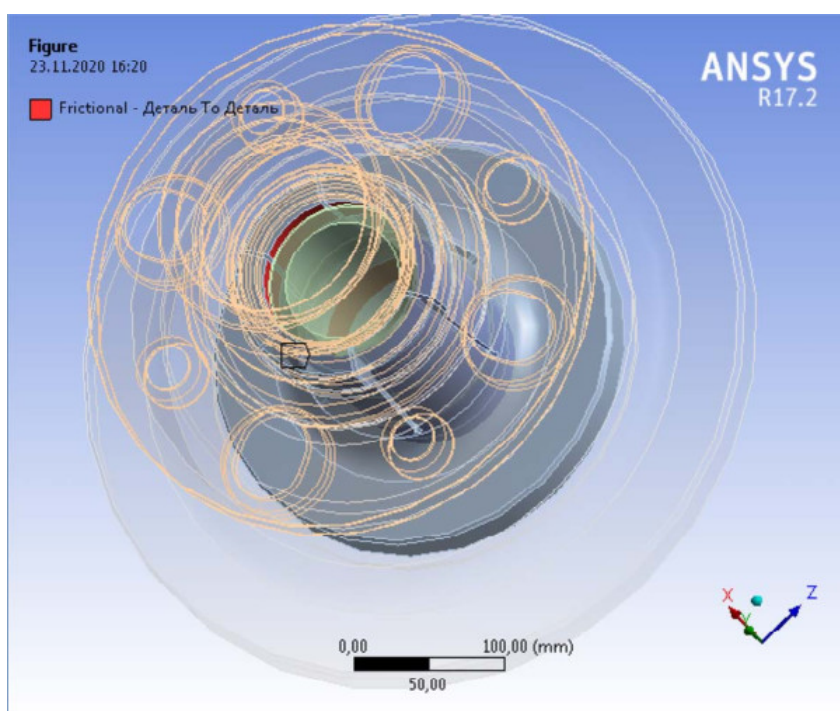


Рисунок 3.3 – Характеристики контакту спряжених поверхонь «заготовка-цанга»

З п. 2.9 цієї роботи відомо, що під час реалізації зубодовбання на заготовку з боку процесу різання діє кругова складова сили різання $P_{ок} = 3294$ Н, що на плечі $r = 65,625$ мм утворює момент обертання заготовки $M = 216000$ Н·мм. Покажемо дію цього моменту, як одне з граничних обмежень, див. рисунок 3.4.

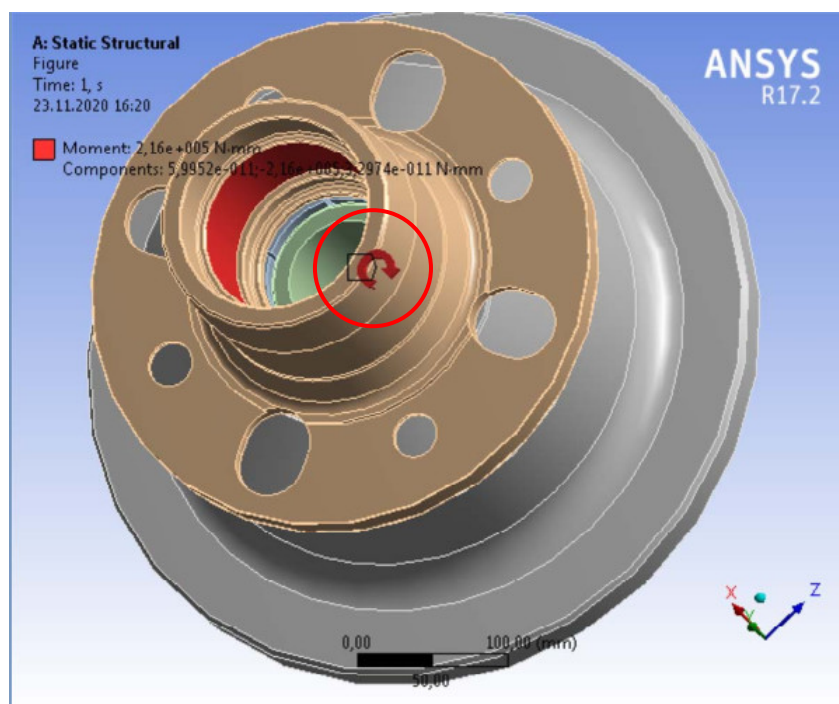


Рисунок 3.4 – Дія моменту обертання заготовки

Для забезпечення закріплення заготовки з використанням цангового затискного механізму здійснюється поступальний рух конуса, що розтискає пелюстки цанги. При цьому конус сприймає зусилля з боку приводу закріплення (пневмокамери) в розмірі $Q = 14000$ кН, див. рисунок 3.5.

Четвертий крок – побудова сітки скінчених елементів: здійснюється в автоматичному режимі (кількість елементів – 37037, мінімальна довжина грані елементу – 3,53 мм), див. рисунок 3.6.

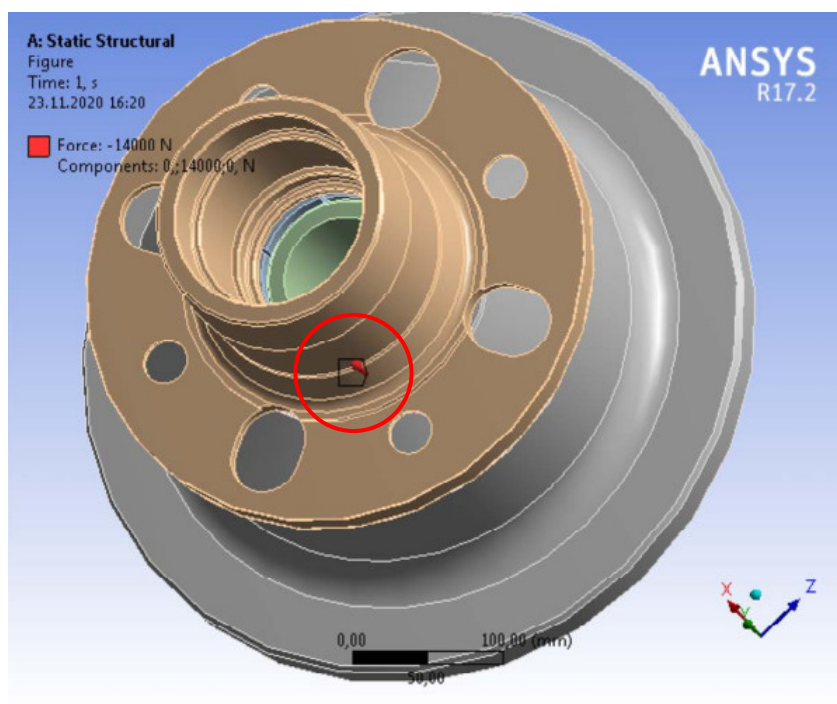


Рисунок 3.5 – Дія зусилля з боку приводу затискання заготовки

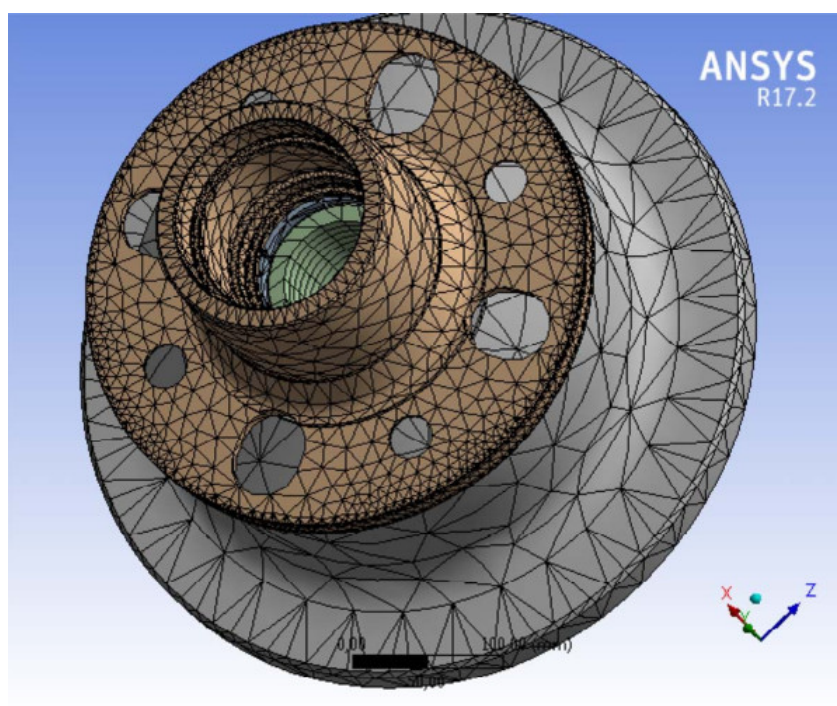


Рисунок 3.6 – Побудова сітки скінчених елементів

3.2 Аналіз результатів статичного дослідження системи «пристрій-заготовка»

В результаті проведення статичного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» були отримані епюри деформацій (Total Deformation) та напружень (Equivalent Stress), див. рисунки 3.7 та 3.8 відповідно.

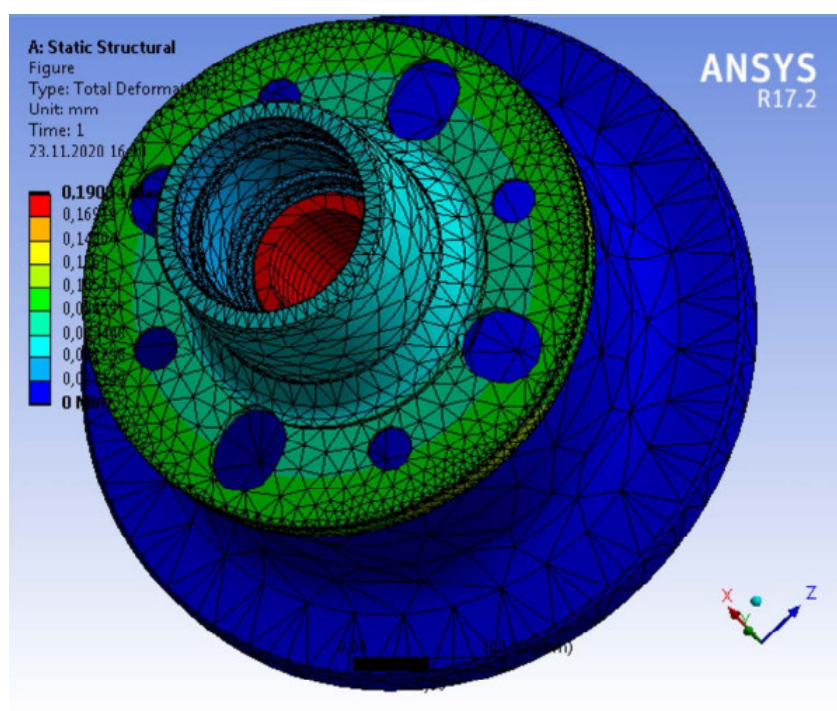


Рисунок 3.7 – Епюра деформацій досліджуваної системи

Так, з рисунка 3.7 можна побачити, що найвищий рівень деформацій (0,19 мм) характерний для конуса, що здійснює зворотно-поступальні рухи під час закріплення або розкріплення заготовки. Детальний аналіз показав, що деформацію конуса слід розглядати як кінематичну, характерну для конуса в цілому, а не пружну, характерну для окремих його частин. Тож такий рівень деформацій (0,19 мм) є прийнятним з огляду на сказане. Деформації периферійної частини заготовки сягають рівня 0,1 мм, частини центрального отвору – 0,02 мм, що на нашу думку є прийнятним з точки зору забезпечення точності оброблюваних поверхонь.

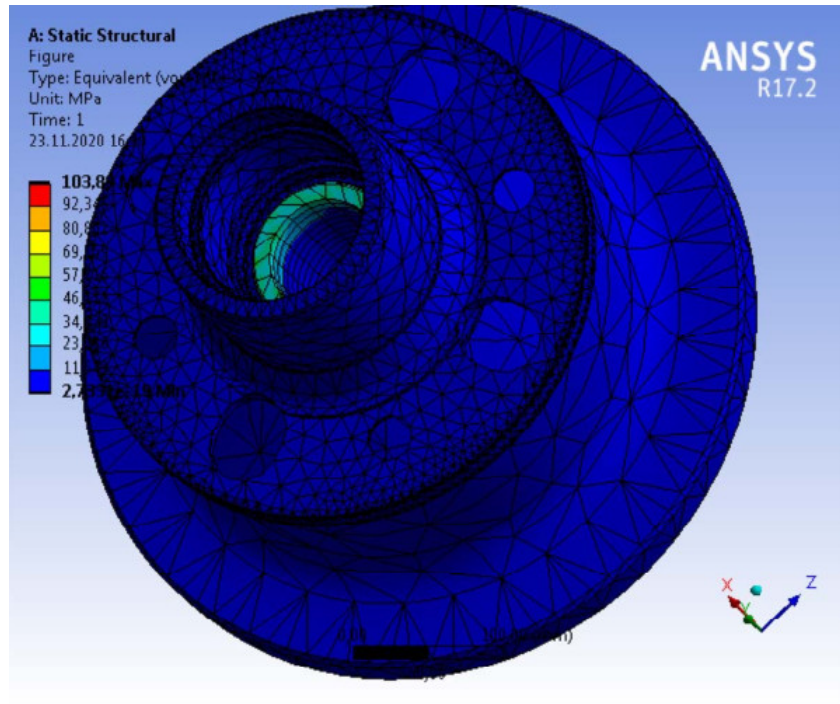


Рисунок 3.8 – Епюра напружень досліджуваної системи

Епюра напружень, див. рисунок 3.8 показала максимальний рівень у 103,8 МПа, що є досить великим значенням. Детальний аналіз окремих елементів досліджуваної системи дозволив установити, що найбільший рівень напружень характерний для цанги, див. рисунок 3.9.

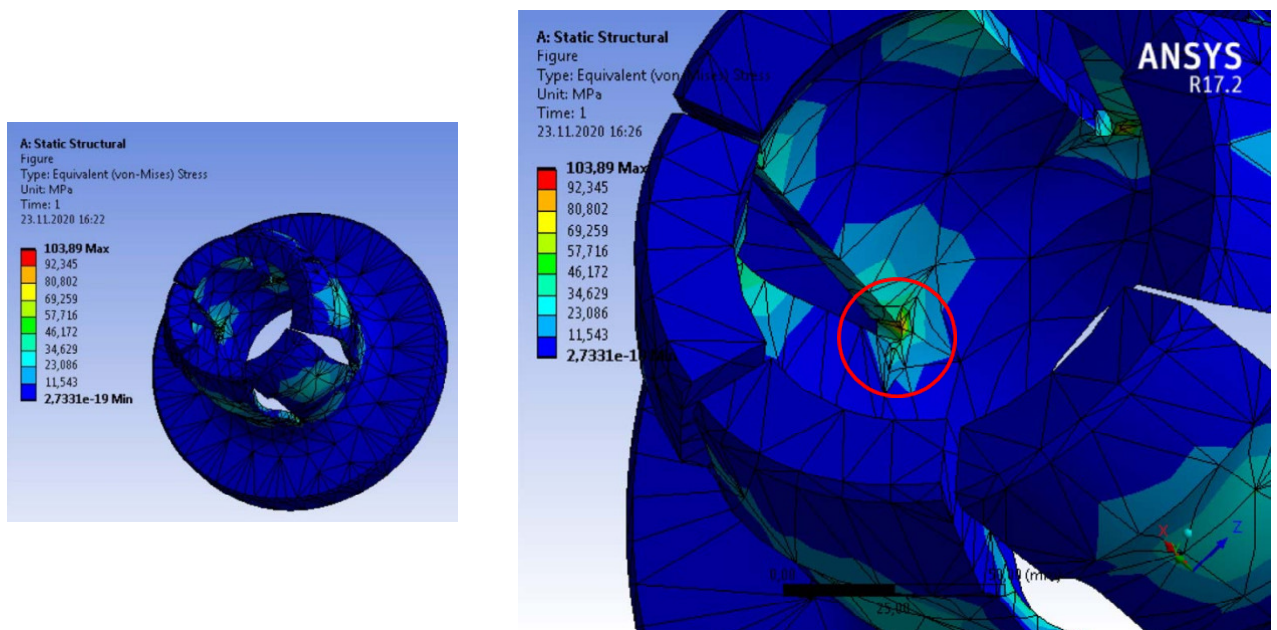


Рисунок 3.9 – Епюра напружень цанги

Напруження у 103,8 МПа спостерігається в зоні навколо отвору, що замикає розріз між пелюстками цанги. Функціональним призначенням цього отвору є саме необхідність зниження концентрації внутрішніх напружень в зоні з'єднання пелюсток цанги. Але на нашу думку рівень напружень у 103,8 МПа є з великим порівняно з межею міцності матеріалу цанги (460 МПа). Пошуковий експеримент показав, що збільшення діаметру отвору з 5 мм до 7 мм дозволяє зменшити рівень напружень до 48 МПа, що є задовільним.

3.3 Аналіз результатів динамічного дослідження системи «пристрій-заготовка»

В результаті проведення динамічного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» були отримані епюри деформацій, що відповідають першим трьом модам (формам) вільних коливань системи «пристрій-заготовка», див. рисунки 3.10, 3.11, 3.12 та ряд частот вільних коливань, характерний для зазначених мод, див. рисунок 3.13.

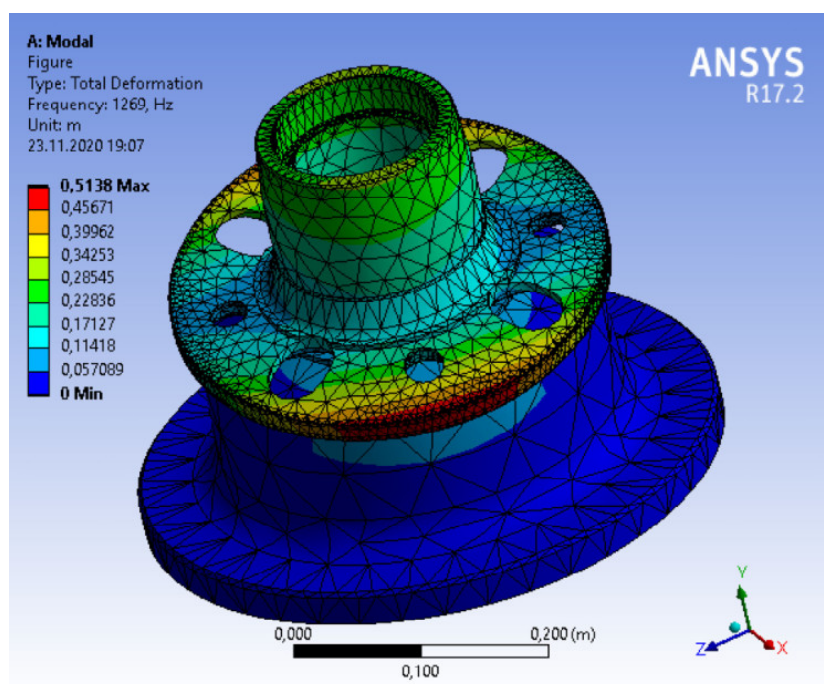


Рисунок 3.10 – Епюра першої форми вільних коливань досліджуваної системи

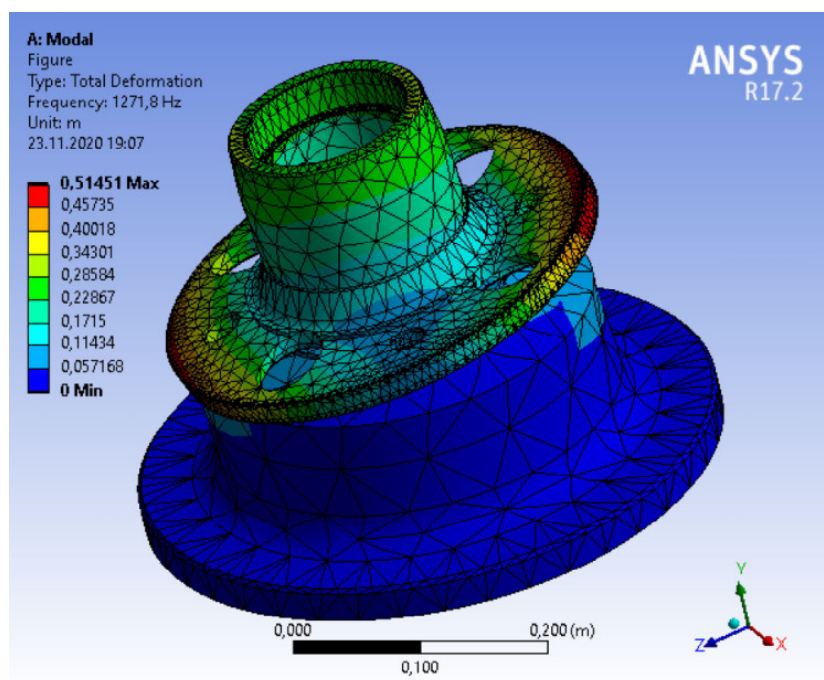


Рисунок 3.11 – Епюра другої форми вільних коливань досліджуваної системи

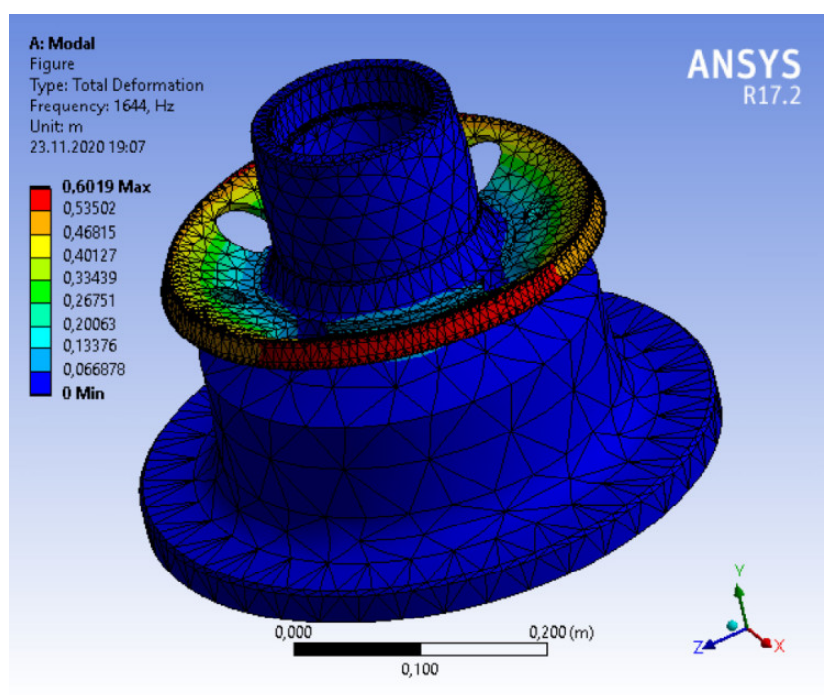


Рисунок 3.12 – Епюра третьої форми вільних коливань досліджуваної системи

Аналіз епюр форм вільних коливань досліджуваної системи дозволив виявити, що найбільш чутливим до динамічного навантаження є елемент «заготовка», а саме її периферійна зона, що характеризується відсутністю додаткових опор. Елементи системи, що входять до складу безпосередньо

пропонованого верстатного пристрою характеризуються достатньо високою стійкістю до динамічних навантажень.

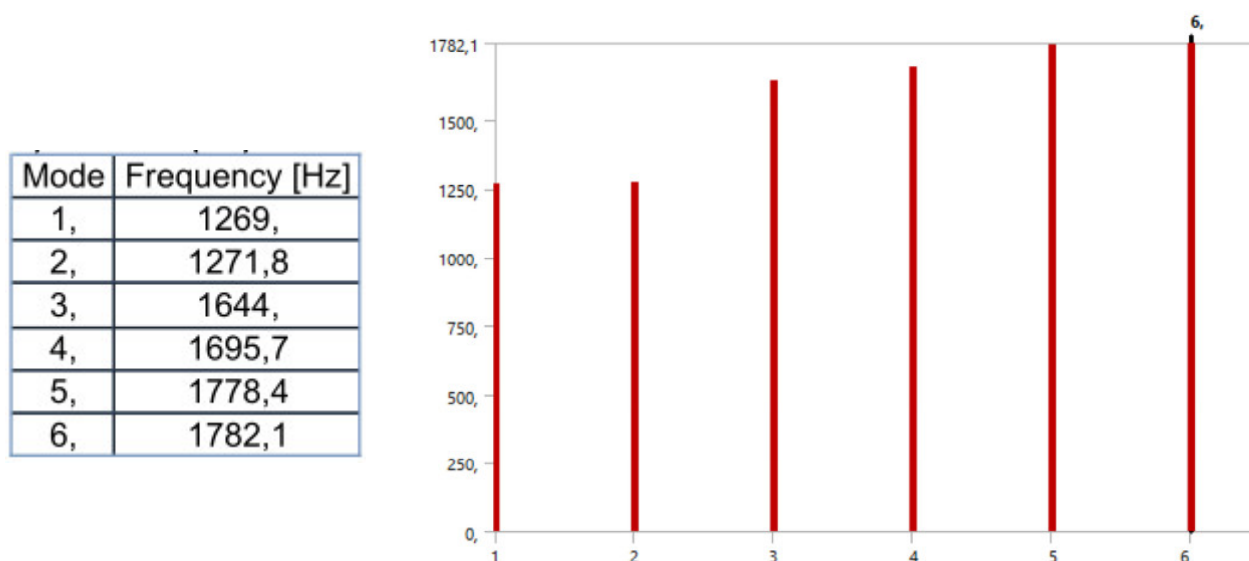


Рисунок 3.13 – Ряд частот 1-6 форм вільних коливань досліджуваної системи

Детальний аналіз частот вільних коливань досліджуваної системи (див. рисунок 3.13) показав, що їх рівень є достатньо високим. Так, ймовірність співпадіння частот вільних коливань з частотами вимушених коливань, тобто ймовірність виникнення явища резонансу, що є негативним фактором з точки зору забезпечення точності оброблюваних поверхонь, практично відсутня. Нагадаємо, що потенційними джерелами виникнення вимушених коливань в межах механічної ділянки можуть бути процес різання, переміщення робочих органів верстата, коливання, що передаються від інших верстатів. Усі ці коливання за своєю частотою зазвичай є заниженими відносно визначених частот вільних коливань досліджуваної системи.

3.4 Висновок

В результаті проведення дослідження конструкції системи «пристрій-заготовка» методами статичного та динамічного аналізу встановлено:

1) рівень деформацій елементів досліджуваної системи в умовах статичного навантаження є задовільним;

2) рівень внутрішніх напружень в матеріалах елементів досліджуваної системи в умовах статичного навантаження в цілому є задовільним. Надлишкове напруження у 103,8 МПа спостерігається в зоні навколо отвору, що замикає розріз між пелюстками цанги. Збільшення діаметру отвору з 5 мм до 7 мм дозволяє зменшити рівень напружень до припустимої величини у 48 МПа.

3) найбільш чутливим до динамічних навантажень елементом досліджуваної системи є «заготовка», її периферійна зона. Аналіз ряду частот перших трьох форм власних коливань досліджуваної системи показав, що ймовірність виникнення явища резонансу, що є негативним фактором з точки зору забезпечення точності оброблюваних поверхонь, практично відсутня.

Таким чином можна зробити загальний висновок про те, що запропонована в п. 2.9 цієї роботи конструкція верстатного пристрою характеризується достатньою стійкістю та надійністю щодо роботи в умовах статичних та динамічних навантажень.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення «півмуфти» дозволив виявити ряд його недоліків, що в основному стосуються використання низькопродуктивного застарілого фізично і морально металорізального устаткування та засобів технологічного оснащення.

2. Розроблений перспективний технологічний процес виготовлення деталі враховує виявлені недоліки базової технології та сприяє підвищенню продуктивності оброблення заготовки шляхом вибору раціонального способу отримання заготовки, визначення раціонального маршруту оброблення заготовки, вибору раціональних схем базування та закріплення заготовки, вибору сучасного високопродуктивного металорізального устаткування, технологічної оснастки з використанням механізованих приводів закріплення заготовки, вибору раціональних режимів різання та технічних норм часу на операції. В конструкторській частині роботи розроблений верстатний пристрій для установки заготовки на зубодовбальній операції. Також спроектований контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального та торцевого биття поверхонь «півмуфти».

3. В результаті проведення статичного та динамічного аналізу запропонованої конструкції верстатного пристрою були визначені слабкі місця її окремих функціональних елементів та сформульовані рекомендації щодо забезпечення стійкої роботи пристрою в умовах статичних та динамічних навантажень.

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

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Апанасенко А. И. Монтаж, испытание и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов в блочно-контейнерном исполнении / А. И. Апанасенко, Н. Г. Крившич, Н. Д. Федоренко. – Л.: Недра, 1991. – 361 с.
2. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
3. 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.
4. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1992. – 13 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. 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.
7. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т. 2 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
8. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Б. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.2: Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбонакатные и отрезные станки. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
10. 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.

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

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