

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.О. Іванов

«_____» _____ 2020 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення кронштейна
Н06.78.30.03 насосу КШ 100-315 шляхом оптимізації конструкції
верстатного пристрою на комплексній операції**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

О. В. Бабіч

Керівник

В. О. Колесник

Консультант з охорони праці
та безпеки у надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Розділ 1 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі	7
1.2 Аналіз технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі.....	14
1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт	19
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	20
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	27
1.6 Висновок	34
Розділ 2 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі	35
2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки.....	35
2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки	39
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	47
2.4 Обґрунтування вибору схеми базування й закріплення заготовки	49
2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування.....	62
2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки	64
2.7 Визначення режимів різання.....	65
2.8 Технічне нормування операцій.....	73
2.9 Проектування верстатного пристрою	79
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	88
2.11 Висновок	98
Розділ 3 Дослідження конструкції верстатного пристрою для установки заготовки шляхом статичного та динамічного аналізу	99

3.1 Актуальність, мета і завдання дослідження.	
Методи дослідження	99
3.2 Статичний аналіз системи «пристрій-заготовка».	
Аналіз результатів дослідження	106
3.3 Динамічний аналіз системи «пристрій-заготовка».	
Аналіз результатів дослідження	109
3.4 Висновок	112
Висновки	113
Список джерел посилань	114
Додаток А Робоче кренення деталі «Кронштейн Н06.78.30.03».....	116
Додаток Б Порівняльна характеристика типів виробництва.....	118
Додаток В Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	119
Додаток Г Пристрій верстатний. Специфікація.....	120
Додаток Д Контрольно-вимірювальний пристрій. Специфікація.....	122
Додаток Е Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	124

ВСТУП

Актуальність теми. Насоси типу КШ призначені для перекачування води в системах водопостачання промислових і комунальних об'єктів, застосовуються також для зрошення і осушення земель, що говорить про їх поширеність. «Кронштейн Н06.78.30.03» входить до складу «виймальної частини» насосу КШ 100-315, тож вдосконалення технологічного процесу його виготовлення слід вважати актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення (тема науково-дослідної роботи «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 «кронштейна Н06.78.30.03» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на комплексній з ЧПК операції.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі завдання:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на комплексній операції;
- 4) спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття поверхонь деталі;
- 5) виконати дослідження спроектованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформулювати

рекомендацій щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «кронштейна Н06.78.30.03», операція комплексна на обробних центрах з ЧПК.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції комплексній на обробних центрах з ЧПК, структура та параметри операції комплексної на обробних центрах з ЧПК.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель запропонованої конструкції верстатного пристрою розроблено в пакеті Компас-графік. Дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу виконано в пакеті математичного аналізу ANSYS Workbench.

Наукова новизна: в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний статичний та динамічний аналіз запропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «кронштейна» на операції комплексній з ЧПК, що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовано рекомендації щодо вдосконалення конструкції верстатного пристрою для установки заготовки «кронштейна» на комплексній з ЧПК операції з забезпечення його стійкої роботи під дією статичних та динамічних навантажень та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

Апробація роботи. Немає.

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

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базової технології виготовлення деталі «кронштейн Н06.78.30.03», запропоновані технологічні рішення, спрямовані на вдосконалення існуючого технологічного процесу обробки заготовки. Спроектвані конструкції верстатного та контрольно-вимірювального пристроїв. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо вдосконалення конструкції пропонованого верстатного пристрою та комплексної з ЧПК операції в цілому.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 12 найменувань, 115 сторінок основного тексту, 25 рисунків та 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі

У промисловості широке застосування отримують насоси КШ 100-315.

Насоси КШ 100-315 – це відцентрові, консольні, горизонтальні, одноступінчасті пристрої з однозавитковими спіральними відводами і з робочими колесами одностороннього входу. Основними складальними одиницями зазначених насосів є «корпус» і «виймальна частина».

«Корпуси» насосів є литою однозавитковою спіраллю, відлитою разом з лопатками, напірними і вхідними патрубками. Напірний патрубок спрямований вертикально вгору, а його вісь розташована в площині, що проходить через вісь обертання ротора. Вісь вхідного патрубка розташована горизонтально уздовж осі обертання ротора. «Виймальна частина» насоса складається з кронштейна, корпусу, сальника, вала, робочого колеса, підшипників кочення, гільзи захисної, півмуфти, ущільнювальних кілець і кріпильних деталей. У корпусі сальника встановлено сальникове ущільнення і виконаний отвір для підведення замикаючої рідини. Приводом насоса слугує електродвигун. Вали насоса і електродвигуна з'єднані пружною втулочно-пальцевою муфтою.

Опорами ротора насоса є підшипники кочення, встановлені в спеціальному «кронштейні» корпусу насоса. Вони сприймають залишкові осьові і радіальні сили, що виникають в насосі під час його роботи. У передній опорі насоса встановлено радіальні однорядні підшипники з короткими циліндричними роликами, які і сприймають радіальні навантаження. У задній опорі насоса встановлюють кулькові однорядні підшипники, які сприймають радіальні і осьові навантаження. Мاستило підшипників – консистентне. Для запобігання попадання в порожнину підшипників перекачуваної рідини, перед переднім підшипником встановлено

відбійне кільце. Герметичність роз'ємів насоса забезпечується гумовими кільцями, паранітовими прокладками і сальниковими ущільненнями. Корпусні деталі піддаються гідравлічним випробуванням на міцність і щільність відповідно до технічної документації.

Розглянутий відцентровий насос має діаметр вхідного отвору напірного патрубку – 100 мм, а номінальний діаметр робочого колеса – 315 мм. В якості приводу насоса використовується асинхронний двигун, що живиться напругою 220/380 В або 380/660 В, з частотою обертання 3000 об/хв. Потужність насоса 54 кВт, подача середовища – 315 м³/год, напір – 50 м, перекачуване середовище – технічна вода і рідини, що мають з водою подібні властивості за в'язкістю і хімічною активністю. Температура рідини на вході в насос не більше 85°, водневий показник (7 – 9) рН, максимальна масова концентрація твердих частинок – 0,1% з максимальним розміром твердих частинок до 0,2 мм і максимальною мікротвердістю твердих частинок 6,5 ГП (650) кгс/мм². Допустимий кавітаційний запас щодо осі вала насоса – 6,5 м, коефіцієнт корисної дії насоса – 80%, зовнішні витіки через ущільнення вала – 1,9·10⁻⁶ м³/с. Середнє напрацювання насоса на відмову – 8000 годин, середній повний ресурс – 25000 годин, середній термін служби – 8 років. Критеріями відмови є: зношення гільзи захисної, при якому витік через сальникове ущільнення перевищує допустимі значення і не піддається регулюванню підтисканням або заміною сальникової набивки; рівень вібрації понад 11,2 мм/с; температура підшипників понад 80°.

Принцип роботи насоса полягає в перетворенні механічної енергії, що підводять до нього від зовнішнього джерела (двигуна), в гідравлічну енергію потоку середовища, що перекачується. При цьому перекачувана рідина через вхідний патрубок надходить до робочого колеса. В результаті силової взаємодії між лопатками обертового робочого колеса і потоком середовища відбувається перетворення енергії приводу в енергію потоку. З колеса рідина надходить до спірального відводу. Призначення спірального відводу – перетворювати кінетичну енергію потоку перекачуваного середовища, що виходить з колеса, в енергію тиску

і забезпечення відведення перекачуваної рідини з насоса до трубопроводу відведення.

Однією з основних деталей вузла «виймальна частина Н06.78.30.00.СК» є «кронштейн Н06.78.30.03», див. рисунки 1.1 і 1.2.

Розглянутий «кронштейн» являє собою порожнистий корпус коробчастої форми з габаритними розмірами $\varnothing 425 \times 330$ мм з мінімальною товщиною стінки 15 мм. Максимальний діаметр фланця в лівій частині кронштейна – 425 мм, мінімальний зовнішній діаметр в правій частині – 200 мм. У середній частині деталі на $\varnothing 320$ виконано два діаметрально розташованих прямокутних вікна шириною 108 мм. За зовнішніми циліндричними поверхнями деталі на $\varnothing 320$ і $\varnothing 270$ в різних площинах розташовано 4 діаметральні приливи з $\varnothing 40$, $\varnothing 50$ і виступаючими над зовнішнім контуром на 3 мм і 5 мм. Крім того, в правій частині деталі виконаний один прямокутний прилив 80×35 мм завтовшки 16 мм з кутовим ребром жорсткості, а в центральній частині знизу деталі на $\varnothing 270$ виконано два кутових приливи з розмірами загального контуру по кожному 125×110 мм і закругленнями в нижній частині з R20.

Аналізуючи поверхні «кронштейна» можна відзначити, що останній базується в корпусі насоса за допомогою зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 359$ і фланця $\varnothing 425 / \varnothing 359$. При цьому торець фланця є установчою базою, яка позбавляє деталь 3-х ступенів свободи: одного поступального переміщення уздовж осі X і двох обертальних переміщень навколо інших осей Y і Z. Ще двох ступенів свободи деталь позбавляє циліндричний пояс $\varnothing 359$, який є подвійною опорною базою. При цьому кронштейн позбавляється ще двох поступальних переміщень уздовж осей Y і Z. Останню (шосту) ступінь свободи кронштейн позбавляє опорна база – один з шістнадцяти отворів у фланці деталі $\varnothing 18$. При цьому обмежується обертання деталі навколо осі X. За вказаними отворами «кронштейн» кріпиться шістнадцятьма болтами до фланця корпусу насоса.

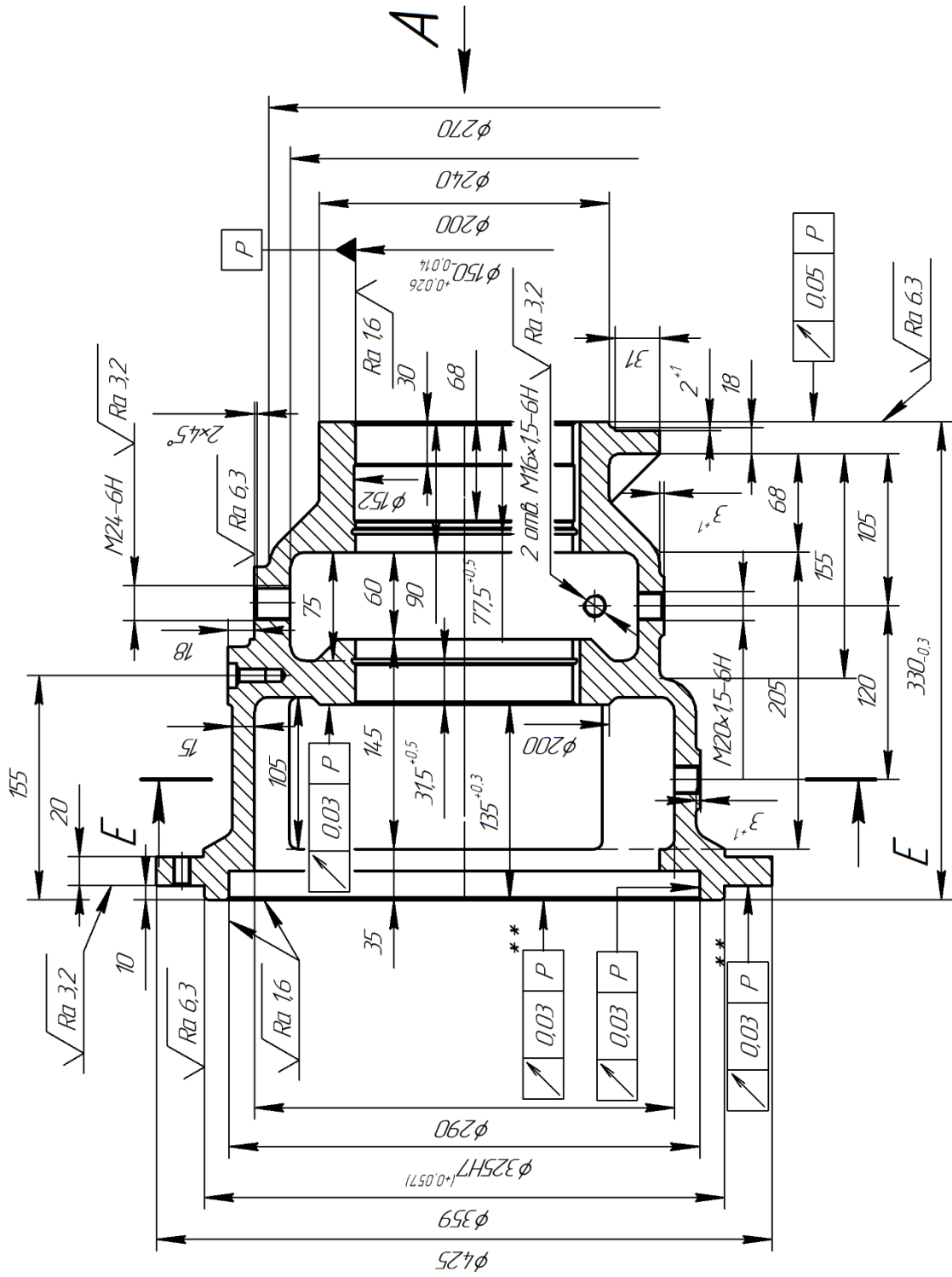


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

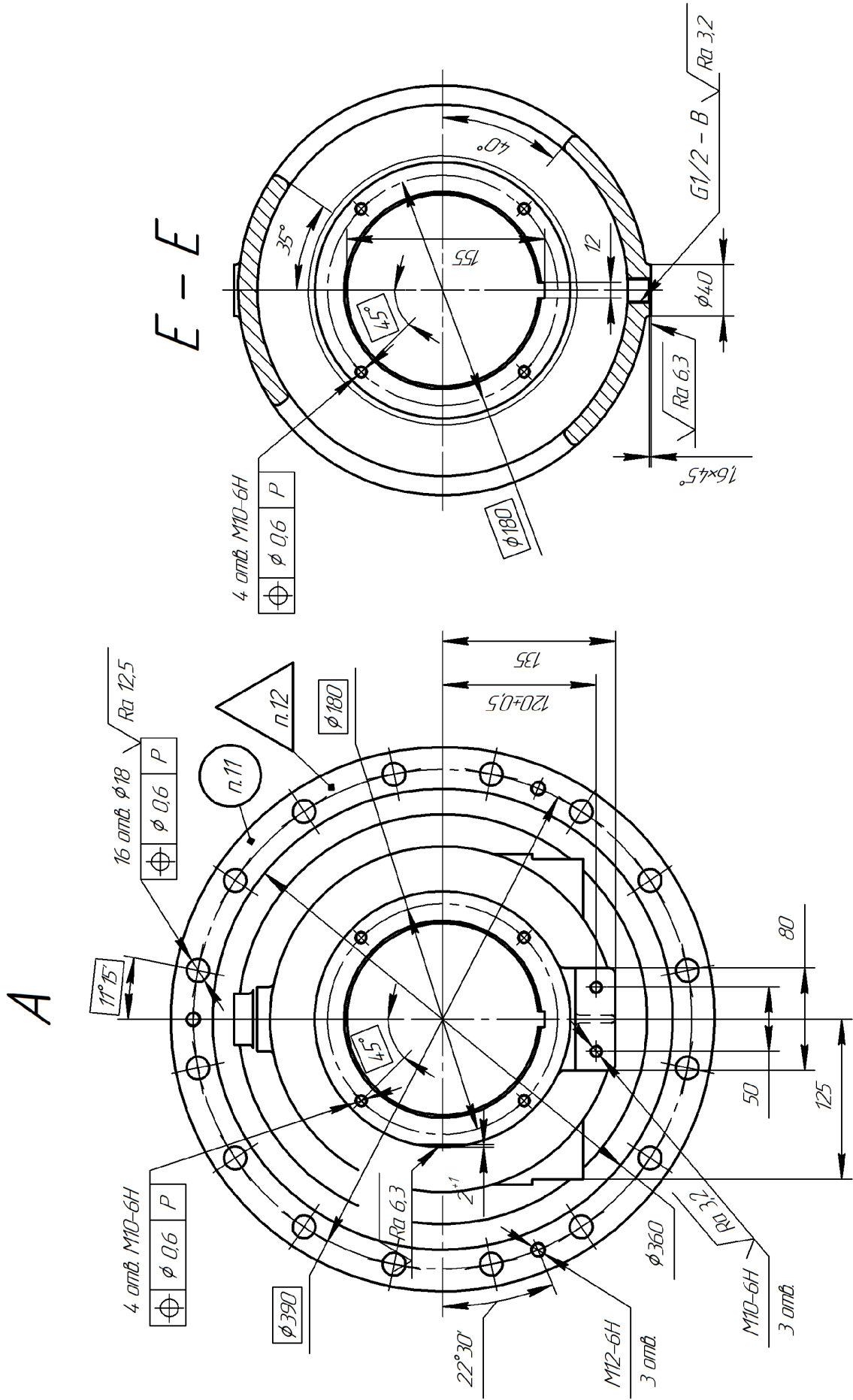


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі

За внутрішнім розточуванням $\varnothing 325H7$ з упором в торець до кронштейну приєднується «корпус сальника».

У середній частині кронштейна виконана центральне розточування $\varnothing 150J7$, за яким встановлюються зовнішні кільця трьох підшипників кочення, слугуючих для установки вала насоса. Для фіксації кілець підшипників від осьових зсувів, в середній частині циліндричних поверхонь $\varnothing 150J7$ виконані дві спеціальні канавки $\varnothing 155^{+0,63} \times 2,8H13$ із вхідними фасками під кутом $\angle 60^\circ$, в які встановлюються спеціальні стопорні кільця. Таким чином, зазначені поверхні є допоміжними конструкторськими базами і, в той же час, виконавчими поверхнями, оскільки виконують основне службове призначення деталі «кронштейн» у вузлі «виймальна частина» насоса – розміщення підшипників кочення і «корпусу сальника» для установки в них вала насоса з робочим колесом.

У нижній частині отворів $\varnothing 150J7$ виконано технологічний наскрізний паз шириною 12 мм в розмір 155 мм, призначений для регулювання «кільця мастильного», що встановлюється на валу насоса, а також для расфіксації стопорних кілець підшипників кочення.

Крім отворів $\varnothing 18$ на фланці кронштейна на $\varnothing 390$ виконано три наскрізних кріпильних отвори M12-6H, призначених для установки і кріплення спеціальної втулки, через яку до корпусу сальника підводиться замикаюча рідина.

У правій частині кронштейна виконаний плоский прилив – прямокутний фланець 80×35 мм, в якому розташовано два кріпильні отвори M10-6H. За даним фланцем, для підтримки консольно розташованого «кронштейна», приєднується спеціальна підставка, що підвищує жорсткість конструкції, яка розглядається. На правому торці кронштейна на $\varnothing 200$, а також на внутрішньому торці на $\varnothing 200$ виконано по чотири глухих кріпильні отвори M10-6H (всього вісім отворів), за якими встановлюють спеціальні кришки, що захищають підшипники кочення від попадання в них пилу і бруду.

У верхній частині кронштейну з зовнішнього боку на приливі $\varnothing 40$ виконаний отвір $\varnothing 17$ з різьбою M12-6H під установку рим-болта, а в нижній частині деталі на

аналогічному приливі $\varnothing 40$ виконано зливний отвір G1/2-B, в який встановлюють пробку-заглушку. У середній частині кронштейна під кутом 90° до вказаних приливів на $\varnothing 200$ виконано плоску площадку шириною 30 мм з кріпильним отвором M12 \times 1,5-6H, віддаленим від правого торця деталі на відстані 15 мм. У зазначений отвір встановлюють спеціальний штуцер для подачі до підшипників кочення в процесі експлуатації виробу мастила. Для заливки мастила та її спуску в середній частині «кронштейна» на $\varnothing 270$ розміщено зверху прилив $\varnothing 50$, а знизу прилив $\varnothing 49$, в яких виконано два кріпильні отвори M24-6H і M20 \times 1,5-6H, відповідно. У цій же площині з боків на $\varnothing 270$ в двох кутових приливах виконано ще два кріпильні отвори M16 \times 1,5-6H, в які встановлюються оглядові пробки.

В процесі експлуатації «кронштейн» сприймає значні знакозмінні навантаження від встановленого в ньому вала з робочим колесом насоса, що обертаються з частотою 3000 об/хв. При цьому, корпус «кронштейна» сприймає як навантаження кручення, так і осьові та радіальні вібрації, що виникають в процесі експлуатації насоса при перекачуванні робочого середовища валом з робочим колесом. Зовнішні поверхні «кронштейна» закриті від впливу зовнішнього середовища корпусом самого насоса. До внутрішніх порожнин «кронштейна» з підшипниками кочення підводиться мастило. Попадання рідин, бруду і пилу – не допускається.

Особливу увагу слід звертати на рівномірність і ступінь затяжки болтів в отворах $\varnothing 18$ на фланці $\varnothing 425$ «кронштейна» і корпусу насоса. Нерівномірне або недостатнє затягування може привести до перекосу осі «кронштейна» щодо корпусу насоса, що викличе перекося і осі вала з робочим колесом насоса. В результаті це може привести до виникнення неприпустимих вібрацій в підшипниковому вузлі «кронштейна», а, значить, розбивці його посадкових поверхонь і виходу з ладу всього насоса.

1.2 Аналіз технічних вимог, що пред'являють до конструкції деталі

«Кронштейн Н06.78.30.03» є основною деталлю «виймальної частини Н06.78.30.00.СК» відцентрового насоса КШ 100-315, відповідно, до нього пред'являють досить жорсткі вимоги на виготовлення.

Робочий проект «кронштейна Н 06.78.30.03» дає повне уявлення про конфігурацію деталі, розміри всіх її поверхонь і точності їх виготовлення, шорсткості, точності взаємного розташування поверхонь.

Заготовка «кронштейна» виконується з чавунного лиття СЧ 20 ГОСТ 1412-85. Сірий чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-85 має межу міцності при розтягуванні (тимчасовий опір) – 196 МПа; межа міцності при вигині – 392 МПа; твердість за Бринеллем (НВ) 1668-2364 МПа (170-241 кгс/мм²). Зазначений чавун знаходить широке застосування для виготовлення різних корпусів, блоків циліндрів, кронштейнів, зубчастих коліс та інших відповідальних деталей з мінімальною товщиною стінки до 10 – 15 мм, що працюють при температурах до 300° і вимагають значної міцності [1].

За ГОСТ 26645-85 точність вилівка 11-0-0-11. Інші вимоги на вилівок за ГОСТ 26358-84 і ТУ 26-17-057-89. Дані вимоги задані обґрунтовано, оскільки розмірна точність за 11 класом і точність маси також за 11 класом при найбільшому габаритному розмірі деталі 425 мм відповідає литтю в піщано-глинисті форми з сумішей з вологістю до 4,5% і міцністю до 160 кПа. Обґрунтовано задано і вимогу для даного вилівка – не вказані ливарні радіуси 5 – 10 мм, що в місцях переходів конструктивних елементів деталі усуває концентратори напружень, а значить, підвищує жорсткість і міцність деталі, її експлуатаційну довговічність.

Розглянутий «кронштейн» являє собою порожнистий корпус коробчастої форми з габаритними розмірами $\varnothing 425 \times 330$ мм і мінімальною товщиною стінки 15 мм, що забезпечує йому досить високу жорсткість. Маса деталі – 48 кг.

Подальший аналіз технічних вимог показав, що внутрішні розточки $\varnothing 325H7$ і $\varnothing 150J7$, будучи допоміжними конструкторськими базами виконують за 7

квалітетом точності, що є цілком обґрунтованим, тому що за $\varnothing 150J7$ забезпечується стандартна посадка зовнішнього кільця підшипника кочення ($\varnothing 150J7/10$), а за $\varnothing 325H7$ встановлюється корпус сальника, забезпечуючи високу герметичність з'єднання. Виходячи з службового призначення зазначених деталей, обґрунтовано задано і вимогу на радіальне биття циліндричної поверхні $\varnothing 325H7$ щодо поверхні $\varnothing 150J7$ з допуском 30 мкм, що відповідає найближчому меншому стандартному допуску в 25 мкм за 5 ступенем точності [1]. Пов'язано це, знову ж таки, із забезпеченням герметичності сальникового ущільнення на валу насоса, встановленого в даному підшипниковому вузлі. Недотримання цієї вимоги призведе до утворення нерівномірного зазору сальникового ущільнення на валу насоса, що, з одного боку, знизить його герметичність, а, з іншого боку, призведе до одностороннього зношення в рухомому з'єднанні, що, в кінцевому підсумку, виведе з ладу сальникове ущільнення. Шорсткість 1,6 мкм Ra, відповідає розмірній точності розглянутих поверхонь за IT7.

Обґрунтовано задано і точність наскрізного технологічного паза шириною 12 мм в нижній частині отворів $\varnothing 150J7$, розміри якого забезпечуються з точністю за IT14.

Виходячи зі службового призначення, обґрунтовано задані і високі вимоги з розмірної точності і точності взаємного розташування поверхонь лівого торця деталі. Точність виготовлення лівого торця визначається габаритними розміром $330_{-0,3}$ мм, що відповідає IT10 – IT11 зі стандартними допусками 230 мкм і 360 мкм. При цьому, торцеве биття лівого торця щодо $\varnothing 150J7$ визначається допуском 30 мкм, що відповідає 6 – 7 ступеням точності зі стандартними допусками 25 мкм і 40 мкм. Пов'язано це, знову ж таки, з тим, що зазначена точність взаємного розташування розглянутих поверхонь забезпечує щільність прилягання до неї корпусу сальникового ущільнення. Зниження цих вимог призведе до підвищених витоків перекачуваного середовища та зниження коефіцієнта корисної дії насоса.

Трохи нижче точність торцевого биття правого торця деталі з допуском 50 мкм, що відповідає 8 ступеню точності. І це також є цілком обґрунтованим,

оскільки дана вимога забезпечує щільність прилягання спеціальної кришки, яка встановлюється по правому торцю для захисту підшипникового вузла від попадання пилу, бруду, і такої точності тут цілком достатньо.

Аналізуючи вимоги, що пред'являють до основних конструкторських баз, слід зазначити, що вони трохи занижені. Зокрема, посадкова поверхня $\varnothing 359$ виконується з точністю по IT14. Однак, з огляду на те, що «кронштейн» виймальної частини встановлюється на корпусі насоса нерухомо і, до того ж, всі основні деталі розглянутого вузла розміщують всередині «кронштейна» без будь-якої прив'язки до інших частин насоса, то такий розмірної точності цілком достатньо. Відповідає їй і шорсткість поверхні – $6,3 \text{ мкм Ra}$. А ось для забезпечення необхідної щільності з'єднання «кронштейна» з корпусом насоса торцеве биття фланця $\varnothing 425 / \varnothing 359$ задано з допуском 30 мкм , що відповідає 6 ступеню точності по [1]. Недотримання цієї вимоги порушить щільність з'єднання, що в умовах підвищених вібрацій, які визначаються роботою насоса, може привести до розбивки і підвищеного зношення посадочних поверхонь. Пов'язано це з тим, що в осьовому напрямку «кронштейн» через підшипниковий вузол обмежує поздовжні зміщення встановленого в ньому вала з робочим колесом, а так як на правому кінці вала закріплена півмуфта насоса, що з'єднує його з електродвигуном, то очевидно, що підвищене торцеве (осьове) биття зазначених поверхонь є неприпустимим. В іншому випадку, це може привести до розбивки, як приєднувальних частин півмуфт насоса, так і посадочних поверхонь на валу і «кронштейні». В результаті, це призводить до збільшення вібрацій розглянутих частин насоса, розбивки посадочних поверхонь і виходу з ладу всього насоса.

Кріпильні отвори «кронштейна» M10-6H, M12-6H виконуються за 6-м ступенем точності з шорсткістю $3,2 \text{ мкм Ra}$, що є цілком прийнятним для різі, що забезпечує нерухоме з'єднання. А ось отвір M12×1,5-6H під штуцер для змащення підшипників, отвори M16×1,5-6H і M20×1,5-6H під зливні та оглядові пробки виконується з дрібним кроком $1,5 \text{ мм}$, що задано обґрунтовано, так як такий крок забезпечує досить надійні умови проти самовідгвинчування і щільності з'єднання,

а 6-го ступеня точності досить для нерухомого та досить герметичного нарізного сполучення.

Решта поверхонь деталі є вільними і тому вимога щодо виконання їх розмірів за H14, h14, $\pm IT14 / 2$ задані цілком обґрунтовано.

Як вже зазначалося вище, розглянута деталь виготовляється з сірого чавуну литтям в піщано-глинисті форми, тому вимога – вилівок піддати штучному старінню – задано цілком обґрунтовано і дозволяє уникнути перерозподілу внутрішніх напружень, як після механічної обробки заготовки, так і в процесі її подальшої експлуатації. Недотримання цієї вимоги для корпусної деталі може призвести до виникнення викривлення її основних поверхонь, що може привести до перекосу її посадочних поверхонь (основних і допоміжних конструкторських баз), а значить, порушить орієнтацію деталей, розміщених в «кронштейні» і знизить їх експлуатаційну надійність в роботі. З огляду на високу відповідальність «кронштейна» у «виймальної частини» насоса обґрунтовано задано вимогу, що відхилення, що перевищують за характером, розмірами, кількістю, розташуванням норми, встановлені «Інструкцією 0610.25090.00027» на виправлення дефектів чавунного лиття заварюванням не допускаються. У той же час виправлення дефектів, виявлених при механічній обробці, допускається проводити відповідно до «Інструкції Т11-249 щодо виправлення дефектів в чавунних виливках з використанням полімерних клейових композицій ВАК-МБ».

Обґрунтовано задано і вимоги, що розміри канавок $\varnothing 155^{+0,63} \times 2,8$ – забезпечуються інструментом, так як при таких малих розмірах іншим шляхом їх неможливо отримати. З цих же міркувань обґрунтовано задано і вимога: не вказані допуски форми та розташування поверхонь за ГОСТ 25069-81 забезпечити інструментом. Це відноситься до менш відповідальних поверхонь, для яких не потрібна висока точність форми і розташування поверхонь. Аналогічним чином, через низьку службову відповідальність задано і високу шорсткість поверхонь фасок – 12,5 мкм Ra.

З огляду на відповідальність деталі обґрунтовано задано і вимоги з маркування позначення креслення, марки матеріалу, номера плавки ударним способом шрифтом 8-Пр3 ГОСТ 26.020-80, а також таврування позначки ВТК.

Таким чином, в цілому технічні вимоги на виготовлення деталі задані вірно. На кресленні досить видів і розрізів для однозначного розуміння конструкції деталі.

1.3 Характеристика типу виробництва та форми організації робіт

Згідно з ГОСТ ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, який показує «відношення усіх різних операцій, що виконуються підрозділом впродовж місяця, до кількості робочих місць» [2]. За попередніми розрахунками за умови річного обсягу випуску виробів – 200 шт, та технічних норм часу згідно з базовим технологічним процесом виготовлення деталі маємо дрібносерійний тип виробництва ($K_{з.о} = 38$, партія запуску $n_{п} = 19$ шт.).

Як відомо [2], в умовах дрібносерійного виробництва «вироби виготовляють партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією й типорозмірами виробів, що запускаються у виробництво одночасно». Оброблення заготовок здійснюють невеликими партіями.

В умовах дрібносерійного виробництва використовують різноманітне верстатне устаткування: універсальні верстати, верстати з ЧПК і навіть обробні центри. Для оброблення поверхонь заготовки використовують стандартний ріжучий інструмент з твердосплавною або швидкорізальною ріжучою частиною. Для контролю параметрів точності оброблюваних поверхонь заготовок в основному використовують шкальний інструмент (лінійки, штангенциркулі, мікрометри, індикаторні головки), а також калібри-пробки чи калібри-скоби. Кваліфікація робітників, працюючих за верстатами є відносно високою: 4 – 6 розряди.

Порівняльні характеристики типів виробництва наведені у таблиці Б.1 додатку Б цієї роботи.

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

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності конструкції деталі спрямований на підвищення ефективності технологічного процесу виготовлення деталі шляхом забезпечення високої продуктивності виробництва, дотримання параметрів якості виробу, за умови мінімізації ресурсів. Обов'язковим при цьому є також дотримання умов безпеки праці та екології виробництва.

Аналіз матеріалу заготовки «кронштейн Н06.78.30.03» показує, що використання для її виготовлення сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85 є цілком обґрунтованим і пояснюється високими характеристиками міцності та вимогами, що пред'являють до поверхонь деталі в процесі її експлуатації. Хімічний склад сірого чавуну СЧ20, його структура та фізико-механічні властивості, див. п. 1.2 цієї пояснювальної записки, продиктовані умовами експлуатації «кронштейна», що працює в умовах складнонапруженого стану циклічних, знакозмінних навантажень та піддається динамічним впливам. Деталь працює в навантаженому стані, слугуючи опорою для вала насоса, що обертається усередині нього з частотою до 3000 об/хв. У цих умовах необхідно мати матеріал з високим тимчасовим опором розриву (до 196 МПа) і досить високою межею міцності при вигині (до 392 МПа), що дозволяє працювати «кронштейну» на розтягнення-стиснення з можливим крутінням. Такий чавун має хорошу оброблюваність різанням, в зв'язку з чим він досить технологічний при механічній обробці лезовим інструментом. При використанні однокарбідних твердих сплавів типу ВК (ВК8, ВК6, ВК4) можна отримати необхідну точність в межах IT7 – IT8 і необхідну шорсткість поверхонь в межах (1,6 – 3,2) мкм Ra.

До заготовки пред'являють порівняно невисокі вимоги з точності виготовлення вилівка: 11-0-0-11 ГОСТ 26645-85, що цілком прийнятно для виливків в піщано-глинисті форми і є досить технологічним методом отримання заготовок.

Заготовка «кронштейна» являє собою вилівок коробчастої форми з центральним отвором, боковими вікнами і габаритними розмірами в межах

Ø434×339, при мінімальній товщині стінки в 15 мм, що говорить про її високу жорсткість. З цієї точки зору заготовка технологічна і дозволяє вести обробку різанням із застосуванням багатоінструментальних налагоджень і підвищених режимів різання, що дозволяє підвищити продуктивність обробки і знизити собівартість її виготовлення.

Деталь за своєю конфігурацією є порівняно простою і являє собою корпусну конструкцію з порівняно невеликими за діаметром перепадами зовнішніх і внутрішніх ступенів і незначними за габаритами приливами, в яких виконуються кріпильні отвори. Переважна більшість внутрішніх поверхонь заготовки – не обробляється, за винятком центрального розточення Ø150J7 з правого торця і в середній частині деталі, з підрізуванням торця в Ø200, а також розточення Ø325H7 з підрізуванням торця в розмір 20 мм. Центральне розточування в Ø150J7 виконується напрохід і з цієї точки зору є досить технологічним. У той же час, забезпечення розмірної точності по IT7 і шорсткості 1,6 мкм Ra підвищує трудомісткість виготовлення деталі і знижує її технологічність. Не технологічним слід вважати і отримання на такій високоточній циліндричній поверхні двох канавок під стопорні кільця для зовнішніх кілець шарикопідшипників опори вала насоса. Та й самі канавки мають складну, нестандартну конфігурацію з розмірами Ø155^{+0,63}; 2,8H13; ∠ 60° і різною шорсткістю поверхонь в межах 3,2 мкм – 6,3 мкм Ra, що потребує для їх виготовлення застосування спеціального канавкового різця, а значить також є не технологічним елементом (до того ж, останні виконуються в «дзеркальному відображенні», що потребує виготовлення двох спеціальних канавкових різців). З цих міркувань складною є і обробка внутрішнього розточення Ø325H7, коли крім забезпечення високої розмірної точності і низькою шорсткості циліндричної ступені (1,6 мкм Ra), потрібно здійснювати ще й «глухе» підрізування торця в розмір 20 мм.

Знижує технологічність деталі і внутрішній паз шириною 12 мм на Ø150J7, оскільки для його оброблення необхідно використовувати малопродуктивний метод довбання з попереднім розмічуванням паза.

Нетехнологічним в обробленні є і підрізування торця в $\varnothing 200$ у внутрішній порожнині заготовки на відстані 135 мм від лівого торця деталі. Пов'язано це з застосуванням малопродуктивних методів обробки – розточування з поперечною подачею при використанні спеціальної оснастки і устаткування, зокрема токарно-карусельного або розточувального верстатів. При обробці такої поверхні потрібне застосування і занижених режимів різання, що також знижує продуктивність обробки і збільшує її собівартість.

Знижує технологічність конструкції деталі і необхідність механічної обробки площин декількох приливів з різних сторін заготовки і свердління в них кріпильних отворів. Це стосується, зокрема, трьох діаметральних приливів $\varnothing 40$ і одного приливу $\varnothing 50$, розташованих на зовнішніх циліндричних поверхнях деталі $\varnothing 270$, $\varnothing 320$ і розташованих під кутом 180° один до одного, а також наявність лиски шириною 30 мм і глибиною 2^{+1} на циліндричній частині $\varnothing 200$ і розташованої під кутом 90° до раніше зазначених приливів, двох протилежних кутових приливів в цій же площині, розташованих на відстані 250 мм один проти одного. Ще більшою мірою ускладнює механічну обробку прямокутний Г-подібний прилив на циліндричній ступені $\varnothing 200$ з розмірами 80×35 мм і розташований в площині перпендикулярній раніше зазначеним приливам. Обробка зазначених приливів потребує використання декількох свердлильних операцій і численних переустановлень заготовки, застосування складної і дорогої оснастки з ділильними пристроями, що не сприяє підвищенню продуктивності обробки і не знижує її собівартості.

Підвищує трудомісткість механічної обробки заготовки і високі вимоги з точності взаємного розташування поверхонь «кронштейна», зокрема, вимоги з радіального биття циліндричної ступені $\varnothing 325H7$ в межах 0,03 мм щодо центрального отвору $\varnothing 150J7$, що відповідає 6-му ступеню точності [1], торцевого биття поверхонь $\varnothing 359/\varnothing 325H7$, $\varnothing 359/\varnothing 425$ і $\varnothing 200/\varnothing 150J7$ в межах також 0,03 мм і торцевого биття поверхонь $\varnothing 200/\varnothing 150J7$ в межах 0,05 мм щодо отвору $\varnothing 150J7$, що відповідає 7-му ступеню точності. Для забезпечення зазначених вимог при

механічній обробці необхідно використовувати додаткові чистові етапи, що вимагає застосування більш точного обладнання, технологічної оснастки, а в результаті ростуть трудовитрати, час обробки, що знижує продуктивність обробки і підвищує її собівартість.

Підвищує трудомісткість обробки заготовки і вимога забезпечення позиційного допуску $\varnothing 0,6$ при обробці 16 отворів $\varnothing 18$ і 8 кріпильних отворів M10-6H (по чотири з двох сторін заготовки) щодо центрального отвору $\varnothing 150J7$.

Дещо ускладнює обробку і виготовлення ступеневого отвору в боковому приливі заготовки: $\varnothing 17 \times 6 / M12-6H$, і особливо внутрішнє підрізування в отворі $\varnothing 17$ під кутом 120° на глибину $6^{+0,6}$, що потребує застосування додаткового переходу і спеціального розточувального різця або зенкера.

На кресленні деталі використовується комбінований метод проставляння розмірів, що забезпечує зручність під час їх вимірювання в процесі механічної обробки. У загальному випадку розмірні ланцюги забезпечують однозначне визначення всіх конструктивних елементів деталі. На кресленні «кронштейна Н06.78.30.03» представлено достатню кількість видів, проекцій, розрізів і виносок для чіткого розуміння конструкції деталі. В той же час, деякі розміри деталі вказані з допусками, що не відповідають стандартним. Зокрема, $135^{+0,3}$ з допуском 0,3 мм, який знаходиться в межах IT11 – IT12; $31,5^{+0,5}$, $70^{+0,5}$ з допусками в 0,5 мм, що знаходяться в межах IT13 – IT14; $330_{-0,3}$ з допуском 0,3 мм, що знаходиться в межах IT10 – IT11; $6^{+0,6}$ з допуском 0,6 мм, що знаходиться в межах IT15 – IT16; $35 \pm 1,0$ з допуском 2,0 мм, що знаходиться в межах IT16 – IT17. Невірно вказані в дужках і допуски на розміри: $\varnothing 3250H7^{(+0,052)}$ – по IT7 допуск дорівнює 57 мкм замість 52 мкм; і $\varnothing 150J7^{(+0,026}_{-0,014})$ – по IT7 допуск дорівнює 40 мкм при симетричному його розташуванні: $\pm 0,02$.

З огляду на високу розмірну точність деяких оброблюваних поверхонь, високу точність взаємного розташування при їх механічній обробці слід максимально дотримуватися принципів єдності і сталості баз, а також намагатися обробляти максимально можливу кількість поверхонь з одного установа.

В іншому за своєю конфігурацією деталь є технологічною і труднощів при її механічній обробці не передбачається. Сприяє цьому і висока ступінь уніфікації часто повторюваних конструктивних елементів деталі, таких як обробка всіх зовнішніх фасок циліндричних ступенів в розмір $2 \times 45^\circ$ і всіх фасок в кріпильних отворах в розмір $1,6 \times 45^\circ$.

З точки зору будови необхідно відзначити, що деталь знаходиться у вузлі «виймальної» частини насоса і може легко зніматися і встановлюватися в процесі експлуатації (ремонту).

Тепер виконаємо кількісну оцінку технологічності конструкції «кронштейна» по ГОСТ 14.205-83.

Рівень технологічності конструкції деталі за точністю оброблюваних поверхонь визначимо за формулою:

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

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

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

T_i – квалітет точності оброблюваної поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету точності.

$$T_{cp} = \frac{6 \cdot 14 + 7 \cdot 2 + 10 \cdot 2 + 11 \cdot 2 + 13 \cdot 4 + 14 \cdot 28 + 15 \cdot 2 + 17 \cdot 7}{61} = 11,9.$$

В результаті маємо:

$$K_m = 1 - 1 / 11,9 = 0,92.$$

Рівень технологічності конструкції деталі за точністю оброблених поверхонь є досить високим, що говорить про технологічність конструкції деталі.

Рівень технологічності конструкції деталі за шорсткістю оброблених поверхонь визначимо за формулою:

$$K_{ш} = 1 - 1 / Ш_{ср},$$

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

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

$Ш_i$ – шорсткість поверхні, мкм;

n_i – кількість поверхонь деталі з відповідною шорсткістю.

В результаті маємо:

$$Ш_{ср} = \frac{1,6 \cdot 3 + 3,2 \cdot 21 + 6,3 \cdot 15 + 12,5 \cdot 20 + 25 \cdot 2}{61} = 7,65 \text{ мкм},$$

$$K_{ш} = 1 - 1 / 7,65 = 0,87.$$

Рівень технологічності конструкції деталі за шорсткістю оброблених поверхонь також є достатньо високим, що говорить про технологічність конструкції деталі.

Рівень технологічності конструкції деталі за використанням матеріалу визначимо за формулою:

$$K_{в.м} = M_d / M_{заг},$$

де M_d – маса деталі, кг;

$M_{заг}$ – маса заготовки, кг.

В результаті маємо:

$$K_{в.м} = 48 / 64 = 0,75.$$

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок про те, що в цілому «кронштейн Н06.78.30.03» є достатньо технологічним, як з виготовлення заготовки, так і з подальшого механічного оброблення та складання.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Для аналізу базового технологічного процесу механічної обробки «кронштейна Н 06.78.30.03» складемо таблицю 1.1, в якій наведемо стислий зміст операцій технологічного процесу, схем базування заготовки, а також металорізальне обладнання.

Таблиця 1.1 – Стислий опис базового технологічного процесу виготовлення деталі

№ з/п операції	Найменування операції	Вміст операції	Базування заготовки	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Лиття металів та сплавів	Лиття в пісчано-глинисті форми	-	Машина для лиття
010	Дробоструминна	Штучне старіння – для зняття внутрішніх напружень	-	Установка дробоструминна
015	Токарно-карусельна	Установ А. Чорнове підрізання торця й фланця, обточування $\varnothing 425d11$ й $\varnothing 362$, розточка $\varnothing 322$ з підрізанням торця в розмір 20 мм й підрізання внутрішнього торця в розмір 135 мм. Установ Б. Проточити $\varnothing 360$ з підрізанням торця фланця, підрізати протилежний торець в розмір 333 мм, розточити отвір $\varnothing 147$, карман в $\varnothing 152$ й зняти 2 фаски $2,5 \times 45^\circ$	В кулаках по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець.	Токарно-карусельний верстат моделі 1512
020	Контрольна	Контролювати розміри після токарно-карусельної операції	-	Стіл ВТК
025	Маркування	Маркувати й клеймити заготовку: позначка креслення, номер плавки, марка матеріалу	-	Верстак
030	Контрольна	Контролювати наявність й правильність маркування згідно з кресленням	-	Стіл ВТК

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
035	Токарно-карусельна	Чистова обробка. Підрізати торці $\varnothing 325H7/\varnothing 359d8$ й $\varnothing 425/\varnothing 359$, точити $\varnothing 359d8$ (технологічний допуск), розточити $\varnothing 325H7$ з підрізанням торця, розточити зовнішні й внутрішні фаски, підрізати торець $\varnothing 150/\varnothing 200$, розточити $\varnothing 150J7$ й канавку $\varnothing 155 \times 2,8$	В спеціальному пристрої по зовнішній поверхні $\varnothing 425d11$ з упором в нижній торець фланця	Верстат моделі 1512
040	Контрольна	Контроль основних розмірів заготовки після чистової токарно-карусельної операції	-	Стіл ВТК
045	Токарно-карусельна	Чистова обробка. Підрізати торець $\varnothing 150J7/\varnothing 200$ в розміри 330-0,3 й 4, розточити канавку $\varnothing 155 \times 2,8$ й внутрішню фаску $2 \times 45^\circ$	В спеціальному пристрої по зовнішній поверхні $\varnothing 425d11$ з упором в торець $\varnothing 425/\varnothing 360$	Верстат моделі 1512
050	Контрольна	Контроль основних розмірів заготовки після чистової токарно-карусельної операції	-	Стіл ВТК
055	Розмічування	Розмітити приливи для фрезерування ділянок	-	Плита для розмічування
060	Фрезерна	Фрезерувати ділянку 80×35	По зовнішній поверхні $\varnothing 425$ прихватами з упором в торець	Вертикально-фрезерний верстат моделі 654
065	Контрольна	Контроль розмірів ділянок	-	Стіл ВТК
070	Фрезерна	Установ А. Фрезерувати ділянку в розміри 2 й 30 (вид Б). Фрезерувати площадку 40×40 (И-И) в розмір 125 від осі. Установ Б. Фрезерувати ділянку 40×40 (И-И) в розмір 125 від осі.	По зовнішній поверхні з упором в торець в спеціальному пристрої.	Верстат моделі 654
075	Контрольна	Контроль основних розмірів ділянок	-	Стіл ВТК
080	Розмічування	Розмітити отвори на ділянках M12-6H, M24-6H (вид В), G $\frac{1}{2}$ -В (Е-Е), M20-1,5-6H й 2 отвори M16-1,5-6H (И-И), розмітити риски для установки кондуктора	-	Плита для розмічування

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
085	Свердлильна	<p>Установ А. Свердлити по кондуктору 16 отв. Ø18 й 3 отв. Ø10,2 під різь М12-6Н. Свердлити 4 отв. Ø8,43 по кондуктору. Зенкувати фаски.</p> <p>Установ Б. Свердлити 4 отв. Ø8,43 по кондуктору. Свердлити 2 отв. Ø8,43 за розмічуванням. Зенкувати фаски.</p> <p>Установ В. Свердлити за розмічуванням Ø10,2 (вид В), цекувати Ø40, розсвердлити отв. до Ø17. Свердлити отв. Ø20,85, цекувати Ø50, зенкувати фаску 2×45°, нарізати різь М24-6Н.</p> <p>Установ Г. Свердлити отв. Ø10,43 за розмічуванням (вид Б), цекувати Ø30, зенкувати фаску. Свердлити отв. Ø14,43 (И-И) за розмічуванням, цекувати Ø40, зенкувати фаску, нарізати різь М16×1,5-6Н.</p> <p>Установ Д. Свердлити отв. Ø18,7 (Е-Е), цекувати Ø40, зенкувати фаску, нарізати різь G½-В. Свердлити отв. Ø18,43 (И-И), цекувати Ø40, зенкувати фаску, нарізати різь М20×1,5-6Н.</p> <p>Установ Е. Свердлити отв. Ø14,43 (И-И) за розмічуванням, цекувати Ø40, зенкувати фаску, нарізати різь М16×1,5-6Н.</p>	В кулаках по зовнішній поверхні з упором в торець. В спеціальному пристрої.	Радіально-свердлильний верстат моделі 2А55
090	Контрольна	Контролювати основні розміри деталі	-	Стіл ВТК
095	Довбальна	Довбати шпонковий паз шириною 12 мм.	В кулаках по зовнішній поверхні з упором в торець	Довбальний півавтомат моделі 7Д420
100	Контрольна	Контролювати основні розміри деталі	-	Стіл ВТК

На виробництві при виготовленні «кронштейна Н06.78.30.03» використовують маршрутний опис технологічного процесу, без операційних ескізів (за винятком першої токарно-карусельний операції 015) і без вказівки режимів різання. Оформлення маршрутних карт не відповідає встановленим

стандартам, 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 вказуються міжопераційні розміри заготовки (вказується вид обробки і кінцевий розмір деталі), припуски, що знімаються, не вказані допуски на операційні розміри, не вказано базування заготовки і не скрізь вказується технологічне оснащення. Більш того, в технологічному процесі не вказано взагалі переходи з нарізання різі в кріпильних отворах M10 і M12. При фрезеруванні ділянок $\varnothing 40$ не вказані переустанови заготовки і навіть не вказано інформацію про обробку однієї з таких ділянок.

Заготовку для деталі «кронштейн» отримують литтям в піщано-глинисті форми з подальшим штучним старінням на дробоструминній операції – для зняття внутрішніх напружень після заготівельної операції. Такий метод отримання заготовки досить простий, і при цьому спостерігається високий коефіцієнт використання матеріалу.

У заводському технологічному процесі на першій операції оброблюють поверхні, які в подальшому виконуватимуть роль технологічних баз. Зокрема, підрізають по обидва боки торці заготовки, проточують зовнішні циліндричні поверхні фланця з більш жорсткими технологічними допусками: по IT11 – $\varnothing 425d11$ і з допуском по IT8 – $\varnothing 359d8$ (за кресленням конструктору досить допусків по IT14: $\varnothing 425h14$ і $\varnothing 359h14$), розточують внутрішні циліндричні поверхні по $\varnothing 325$ і $\varnothing 150$. Також, можна відзначити, що спочатку йдуть операції чорнові, пов'язані зі зняттям великих припусків, а далі чистові, що відповідає загальноприйнятим рекомендаціям щодо складання технологічних процесів [3]. Виняток становлять фрезерні операції з обробки ділянок на приливах заготовки з різних її боків, а також свердління всіх отворів в зазначених приливах і ділянках і на фланці і торцях заготовки. Зазначені операції є чорновими, а виконуються після чистового точіння, тобто порушується принцип поетапності, що, за рахунок великих сил різання і закріплення, може привести до спотворення вже начисто

оброблених поверхонь. Однак фрезерування ділянок і свердління отворів в кінці технологічного процесу – захід вимушений, оскільки запобігає поломці токарних різців, якби точіння виконувалося по просвердленим отворам. А вісь фрезерування поверхонь і свердління отворів, де відсутня подальша токарна обробка, могла б бути винесена до чистової токарної операції, що, в кінцевому підсумку, підвищило б точність обробки заготовки. Однак, при цьому довелося б диференціювати фрезерні й свердлильні операції на більше число операцій, що знизить продуктивність обробки і підвищить її собівартість.

Аналіз заводського технологічного процесу і порівняння його з типовим [4] показує, що він складений узагальнено, без поопераційного опису (без вказівки установів, переходів, технологічної оснастки, режимів різання і операційних ескізів), про що вже говорилося раніше. З технологічного процесу не ясно, як необхідно базувати деталь на деяких операціях. На всіх операціях не вказано глибину різання, міжопераційні розміри та їх точність. Наприклад, перехід відзначається узагальнено: «... підрізати торець $\varnothing 359/\varnothing 425$, дотримуючись розмірів 10, 20 ...». До того ж технологічний процес передбачає недостатню кількість етапів для обробки найбільш точних поверхонь деталі за 7-м квалітетом точності. Для обробки поверхонь $\varnothing 325H7$ і $\varnothing 150J7$ передбачено лише два етапи: чорнове і чистове точіння замість трьох етапів. Доречі, за два етапи обробки на чорновому і чистовому точінні забезпечують і технологічний допуск за IT8 на $\varnothing 359d8$. Тут для отримання точності поверхонь за IT7 і IT8 бажано проводити обробку, як мінімум в 3 етапи, виконуючи чорнове, півчистове і чистове точіння зазначених поверхонь. Крім того, не ясно взагалі, навіщо після чистової обробки на операції 035 отримувати технологічний допуск на $\varnothing 359d8$. Такий допуск необхідний при базуванні по даній поверхні саме при обробці на токарно-карусельній операції 045, однак, на ній здійснюють підрізання торця, розточування фаски і канавки, для яких при базуванні немає необхідності використовувати таку точну поверхню.

Подальший аналіз заводського технологічного процесу механічної обробки заготовки показує, що на токарно-карусельних операціях 035 і 045 спостерігається зайва їх диференціація з використанням лише одного установа. І зовсім недовантаженою є операція 045, на якій лише підрізають торець і розточують фаску і канавку. Тут криється резерв для третього етапу обробки: розточування циліндричної поверхні $\varnothing 150J7$.

Аналіз свердлильної операції 085 показує, що вона надмірно концентрована. Тут для обробки заготовки використовують 6 установів, причому для деяких з них необхідно застосування різних верстатних пристроїв. Це зайве ускладнює операцію, збільшує допоміжний час на установку і переналагодження технологічного оснащення. Все це знижує продуктивність обробки і підвищує її собівартість. Зайве, на наш погляд, на даній операції і цекування ділянок на приливах заготовки з $\varnothing 40$ і лиски шириною 30 мм, які попередньо фрезерують. Виходячи з цього, для проектного технологічного процесу механічної обробки заготовки слід передбачити дві свердлильні операції, на кожній з яких буде використовуватися своє верстатне пристосування для базування і закріплення заготовки. До того ж, тут слід застосувати більш компактний вертикально-свердлильний верстат замість радіально-свердлильного верстата, та ще й оснащеного системою ЧПК, щоб повністю виключити операцію розмічування, що реалізується вручну.

У заводському технологічному процесі перед фрезерними і свердлильною операціями використовується розмічування, що за умови його виключення, за рахунок застосування автоматизованих верстатів з ЧПК, є резервом вдосконалення у проектованому технологічному процесі. Застосування спеціальних пристосувань дозволить повністю відмовитися від розмічування та уникнути малопродуктивної ручної праці.

Після виконання кожної операції механічної обробки заготовки здійснюються контрольні операції з перевірки основних розмірів деталі, що, на наш погляд, надмірно перевантажує базовий технологічний процес контрольними операціями, призводить до зайвих міжопераційних транспортувань заготовки і

підвищує собівартість її обробки. Тут більше слід довіряти верстатникам виконувати контрольні операції самостійно, здійснюючи контроль ВТК лише в кінці технологічного процесу механічної обробки заготовки.

На всіх операціях базового технологічного процесу використовують універсальне устаткування і технологічне оснащення. Для механізації і автоматизації дрібносерійного виробництва було б бажаним ширше використовувати верстати з ЧПК, яких в заводському технологічному процесі зовсім немає. Це дозволило б знизити кваліфікацію робітників і підняти продуктивність обробки, практично повністю усунувши ручну працю.

Проведений аналіз показує, що базування, устаткування і оснащення відповідають заданій програмі випуску і прийнятій формі організації робіт. Верстати розташовані за видами обладнання. Заготовки встановлюють на верстати і транспортують між операціями вручну за допомогою кран-балок і ручних візків. Разом з тим, необхідно відзначити, що застосовується на операціях обробки «кронштейна» обладнання 70-х – 80-х років випуску, що створює об'єктивні труднощі при забезпеченні необхідної якості оброблюваних поверхонь.

У технологічному процесі в якості ріжучого інструменту застосовується нормалізований, універсальний інструмент: прохідні, підрізні й розточувальні різці, оснащені пластинками твердого сплаву ВК8 і ВК6, спіральні свердла, зенківки, цековки й кінцеві фрези зі швидкорізальної сталі Р6М5. Виняток становлять ті випадки, коли поверхні неможливо обробити стандартним інструментом. Це спеціальні канавкові різці для обробки поверхонь канавок.

В якості вимірювального інструмента застосовується, в основному, універсальний шкальний інструмент у вигляді штангенциркулів, мікрометрів, індикаторів, зразків шорсткості, а для замірів точності розмірів по ІТ7 й ІТ8 застосовують і граничні калібри. Все це, дозволяє забезпечити необхідну якість оброблюваних поверхонь «кронштейна», як за точністю розмірів, так і за точністю їх форми і взаємного розташування поверхонь, їх шорсткості.

1.6 Висновок

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

1. Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі в цілому є раціональним, під час його реалізації виконується принцип поетапності, при виборі схем базування заготовки виконуються принципи суміщення та постійності баз. Все це сприяє підвищенню якості оброблюваних поверхонь.

2. В умовах базового технологічного процесу заготовка отримується литтям в пісчано-глинисті форми, що в цілому відповідає умовам дрібносерійного виробництва, однак, остаточний висновок про раціональність даного способу отримання заготовки, можна зробити тільки після техніко-економічного обґрунтування.

3. Аналіз змісту токарно-карусельних операцій базового технологічного процесу виготовлення деталі показав їх надлишковий рівень диференціації. Під час складання перспективного технологічного процесу бажано збільшити кількість переходів в межах однієї операції за рахунок об'єднання операцій.

4. Аналіз свердлильної (радіально-свердлильної) операції навпаки, показав її надлишкову концентрацію з використанням великої кількості переустановів. Бажано розділити цю операцію на дві, з використанням різних верстатних пристроїв, що в цілому дозволить зменшити витрати часу на реалізацію допоміжних переходів.

5. Загальним недоліком для базового технологічного процесу є практична відсутність засобів механізації та автоматизації. В перспективному технологічному процесі для верстатних пристроїв бажано використовувати механізовані (пневматичні або гідравлічні) приводи затискання заготовок. Як верстатне устаткування бажано використовувати верстати з ЧПК.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Обґрунтування способу отримання заготовки

Вибір оптимального способу отримання заготовки є одним з найважливіших етапів виготовлення деталі.

У заводських умовах «кронштейн» отримують литтям в піщано-глинисті (земляні) форми, забезпечуючи досить високий коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = 48/64 = 0,75.$$

Даний метод цілком прийнятний для умов дрібносерійного виробництва і враховує конфігурацію розглянутої деталі, її матеріал.

Однак для обґрунтування оптимального способу отримання заготовки слід зробити відповідні техніко-економічні розрахунки, визначивши собівартості отримання заготовки за заводським варіантом та альтернативним варіантом. Оскільки матеріалом деталі є сірий чавун марки СЧ20, то в якості альтернативного варіанту способу отримання заготовки можна розглядати методи лиття, зокрема, лиття в оболонкові форми.

Собівартість заготовок, одержуваних литтям можна визначити за формулою [3]:

$$S_{заг} = (C_i / 1000) \cdot Q \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_M \cdot K_{п} - (Q - q) \cdot S_{вдх} / 1000,$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, грн;

K_T – коефіцієнт, що залежить від точності виливка;

K_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності виливка;

K_B – коефіцієнт, що залежить від маси виливка;

K_M – коефіцієнт, що залежить від марки матеріала виливка;

K_P – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок;

Q – маса виливка, кг;

q – маса готової деталі, кг;

$S_{вдх}$ – вартість 1 т відходів, грн.

Для лиття в піщано-глинисті форми з ручним формуванням вище перераховані коефіцієнти мають такі значення:

- $K_T = 1,0$ – для 11 ступеня точності згідно з ГОСТ 26645-85;
- $K_C = 1,2$ – для 4-ї групи складності виливка з чавуну;
- $K_B = 0,74$ – для чавунних виливок масою (50 – 200) кг;
- $K_M = 1,04$ – для виливок з сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;
- $K_P = 1,2$ – для 4-ї групи серійності за річної програми випуску 200 штук.

Вартість 1 т чавунного лиття в піщано-глинисті форми дорівнює:

$C_1 = 23350$ грн; вартість відходів з сірого чавуну дорівнює: $S_{вдх} = 2450$ грн; маса заготовки: $Q_1 = 64$ кг; маса готової деталі: $q = 48$ кг. У цьому випадку собівартість отримання заготовки в піщано-глинисті форми дорівнює:

$$S_{заг1} = \frac{23350}{1000} \cdot 64 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,74 \cdot 1,04 \cdot 1,2 - (64 - 48) \cdot 2450 / 1000 = 1617 \text{ грн.}$$

Для лиття в оболонкові форми вищевказані коефіцієнти мають такі значення:

- $K_T = 1,1$ – для 9т ступеня точності згідно з ГОСТ 26645-85;
- $K_C = 1,2$ – для 4-й групи складності виливка з чавуну;
- $K_B = 0,74$ – для чавунних виливок масою до 200 кг;
- $K_M = 1,04$ – для виливок з сірого чавуну СЧ20 ГОСТ 1412-85;
- $K_P = 1,2$ – для 4-ї групи серійності за річної програми випуску 200 штук.

Вартість 1 т чавунного лиття в оболонкові форми дорівнює:

$C_2 = 32350$ грн; маса заготовки: $Q_2 = 58$ кг. В результаті отримуємо собівартість виливка в оболонкові форми:

$$S_{\text{зар2}} = \frac{32350}{1000} \cdot 58 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 0,74 \cdot 1,04 \cdot 1,2 - (58 - 48) \cdot 2450 / 1000 = 2263 \text{ грн.}$$

Як бачимо, вартість лиття в піщано-глинисті форми менше вартості лиття в оболонкові форми. При цьому слід пам'ятати, що виливки, одержувані в піщано-глинисті форми порівняно з литтям в оболонкові форми, відрізняються більш низькою точністю розмірів, поверхні є більш грубими, припуски і напуски мають великі розміри. «Піщане лиття» доводиться піддавати додатковому механічному обробленню, вартість якого за попередніми розрахунками складатиме не більше 400 грн. Так, навіть з урахуванням додаткової механічної обробки поверхонь, виливок, що отримуються литтям в піщані форми, є більш дешевою.

Тепер розрахуємо припуски, допуски і основні розміри заготовки, одержуваної литтям в піщано-глинисті форми.

На початку встановлюємо таку точність виливка 11-7-14-11 ГОСТ 26645-85 [5]. При цьому маємо ряд припусків 7-й, шорсткість поверхонь виливка 40 мкм Ra.

Розрахунки основних розмірів заготовки з допусками представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок розмірів заготовки, у міліметрах

Розміри деталі	Основний допуск	Допуск форми виливка	Загальний допуск	Кількість етапів оброблення	Припуск на оброблення поверхонь	Розрахунок розмірів заготовки	Розміри заготовки з допусками
1	2	3	4	5	6	7	8
330 ^{-0,3}	6,4	1,6	7,0	3/2	4,6/4,0	330+4,6+4,0= =338,6	339,0±3,5
135 ^{+0,3}	5,0	0,64	5,0	3/2	4,6/3,3	135+4,6-3,3= =136,3	136,5±2,5
10	2,4	0,5	2,4	3/2	4,6/2,0	10+4,6-2,0= =12,6	13,0±1,2

2.2 Розроблення раціонального маршруту оброблення заготовки

Аналіз можливих методів обробки елементарних поверхонь (МОЕП) «кронштейна» показує, що в заводському варіанті технологічного процесу для отримання точності внутрішніх поверхонь $\varnothing 325H7$ і $\varnothing 150J7$, при обробці зовнішніх поверхонь, використовуваних в якості базових, точність останніх забезпечується за більш жорстким технологічним допуском: $\varnothing 425d11$ і $\varnothing 359d8$. Однак, на наш погляд, цього недостатньо, щоб за два етапи отримувати точність обробки по IT7. Тут слід проектувати при обробці поверхонь $\varnothing 325H7$ і $\varnothing 150J7$ чорнове, півчистове і чистове розточування. Аналогічним чином слід чинити і при обробці $\varnothing 359d8$, виробляючи обточування даної поверхні в три етапи, однак тут два етапи з чорнового й півчистового обточування можна виконати в одній операції. У два етапи слід точити і $\varnothing 425d11$, виконуючи обробку також на одній операції. Решту циліндричних поверхонь деталі, зокрема, фаски і канавки будемо обробляти за один етап. У два етапи (чорновий і півчистовий) будемо підрізати і зовнішні торці заготовки в розмір $330_{-0,3}$ мм, що виконується з точністю за IT10 – IT11. Підрізування внутрішнього торця в розмір $135^{+0,3}$ мм, що виконується за IT11 – IT12, будемо проводити також в два етапи. Обробка поверхонь заготовки в два етапи дозволить забезпечити і необхідну шорсткість оброблених поверхонь – 3,2 мкм за критерієм Ra.

Виходячи з вищесказаного, побудуємо матрицю технологічного процесу механічної обробки «кронштейна», див. таблицю 2.2. Для цього спочатку наведемо ескіз деталі з нумерацією всіх її поверхонь, див. рисунок 2.2, і визначимо етапи обробки поверхонь з урахуванням раніше визначених МОЕП. У таблиці 2.2 навпроти оброблюваних поверхонь по кожному етапу обробки та методу обробки поставимо знак «+». В результаті побудови матриці технологічного процесу, визначаються укрупнені операції технологічного процесу, відповідні перерахованим етапам обробки: E1, E3, E4, E6, E8. Як видно, спроектований технологічний процес механічної обробки «кронштейна» складається з 5

укрупнених операцій, на основі аналізу яких і будується звичайний технологічний процес механічної обробки «кронштейна».

Аналізуючи укрупнену операцію E4 можна відзначити, що її не можна реалізувати на одному верстаті через відмінності в методах обробки – фрезерування, свердління, точіння, розточування, підрізання торців і довбання. З огляду на зазначені методи обробки і можливості металорізального обладнання, поділяємо цю укрупнену операцію на чотири: фрезерну, виконувану на вертикально-фрезерному верстаті, токарні, виконувану на токарно-карусельних верстаті, свердлильну, виконувану на вертикально-свердлильному верстаті і довбальну, виконувану на довбальному верстаті. При цьому, з огляду на суттєві відмінності в розташуванні фрезерованих поверхонь (ділянка 80×35 мм і ряд ділянок Ø40 на припливах заготовки розташовані в різних її діаметральних площинах) дану операцію розбиваємо на дві операції, які виконуються на вертикально-фрезерних верстатах і на яких використовуються принципово різні верстатні пристосування для базування і закріплення заготовки. З цих же міркувань і свердлильну операцію розбиваємо також на дві вертикально-свердлильні операції, що виконуються на двох однакових вертикально-свердлильних верстатах, але з різними верстатними пристосуваннями.

Подальший аналіз матриці з таблиці 2.2 показує, що укрупнену операцію E6, в якій реалізується точіння та розточування циліндричних зовнішніх і внутрішніх поверхонь «кронштейна», підрізання торців, зняття фасок і розточування канавок, можна реалізувати на одному токарно-карусельному верстаті. Аналогічно попередній укрупненій операції E6, чистову укрупнену операцію E8 також будемо виконувати на одному токарно-карусельному верстаті.

З метою підвищення ступеня механізації і автоматизації виробництва, необхідно ширше використовувати верстати з ЧПК, що дозволить усунути і ручні малопродуктивні розмічувальні операції. Вже згадана деталь має розвинені, відкриті поверхні, що в повній мірі дозволяє дотримати як принцип сталості баз, так і принцип суміщення баз.

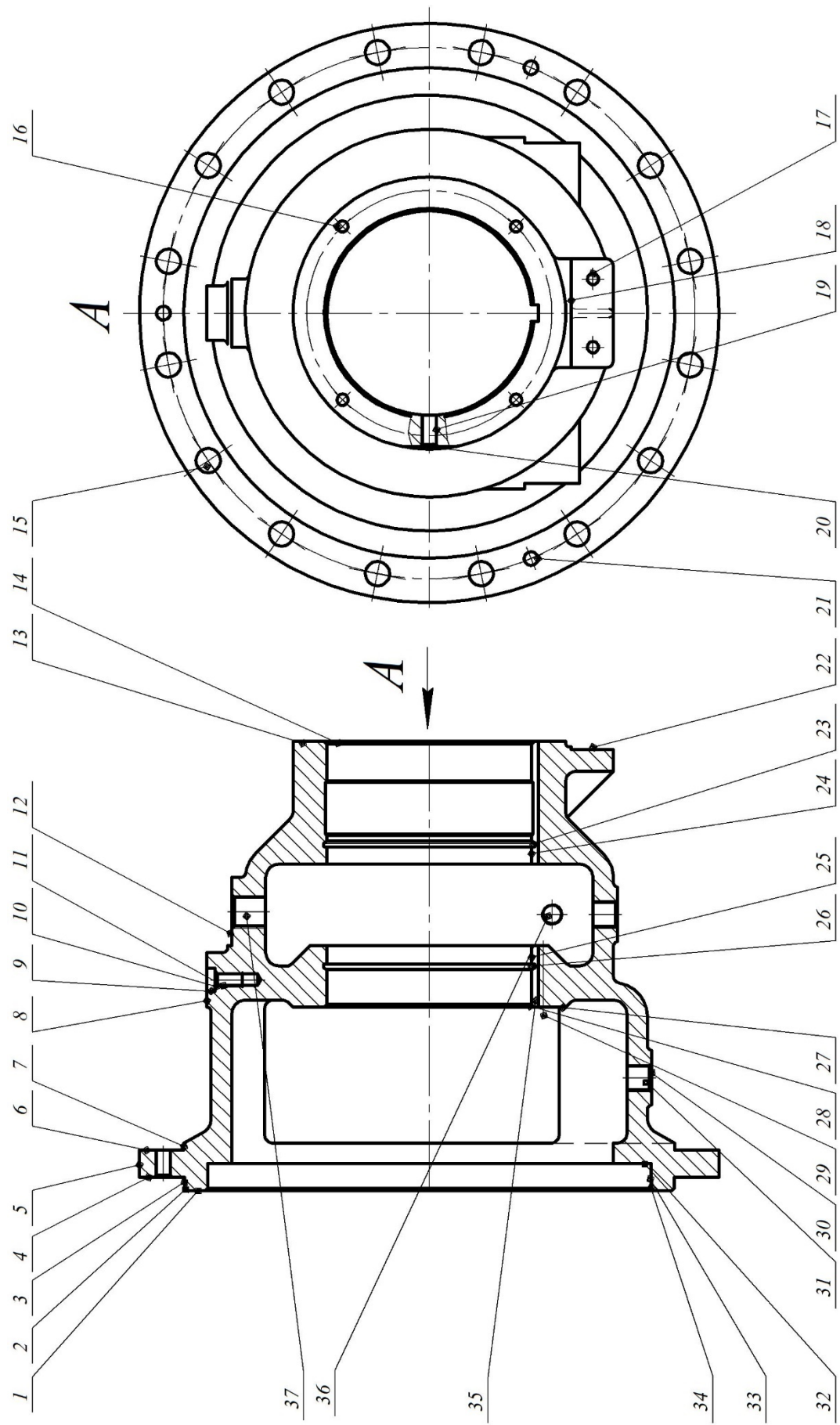


Рисунок 2.2 – Нумерація поверхонь деталі

В результаті проведеного аналізу пропонується такий, більш ефективний маршрут технологічного процесу механічної обробки розглянутого «кронштейна», див таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Короткий опис пропонованого технологічного процесу виготовлення деталі

№ з/п оп.	Найменування операцій	Вміст операцій	Базування	Устаткування
1	2	3	4	5
005	Лиття металів та сплавів	Виливок		Машина для лиття
010	Дробоструминна	Штучне старіння – для зняття внутрішніх напружень		Установка дробоструменева
015	Токарно-карусельна	Установ А. Підрізання торця й фланця, обточування $\varnothing 425$ й $\varnothing 359$, розточування $\varnothing 325H7$ з підрізанням торця в розмір 20 мм й підрізання внутрішнього торця в розмір 135 мм. Установ Б. Проточити $\varnothing 360$ з підрізанням торця фланця, підрізати протилежний торець в розмір 333 мм, розточити начорно отвір $\varnothing 150J7$, карман в $\varnothing 152$ й зняти 2 фаски $2,5 \times 45^\circ$	В кулаках по зовнішній циліндричній поверхні з упором в торець	Токарно-карусельний верстат мод. 1512
020	Маркування	Маркировать и клеймить заготовку: обозначение чертежа, номер плавки, марку материала		Верстак
025	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Фрезерувати ділянку 80×35	По отвору $\varnothing 325$ прихватами з упором в торець	Вертикальний обробний центр моделі V-1100
030	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Установ А. Фрезерувати ділянку в розміри 2 й 30 (вид Б). Фрезерувати ділянку 40×40 (И-И) в розмір 125 від осі. Установ Б. Фрезерувати ділянку 40×40 (И-И) в розмір 125 від осі	По внутрішнім поверхням з упором в торець в спеціальному пристрої з ділильною головкою	Вертикальний обробний центр моделі V-1100

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
035	Токарна з ЧПК	Півчистова обробка. Підрізати торці $\varnothing 325\text{H}7/\varnothing 359$ й $\varnothing 425/\varnothing 359$, розточити $\varnothing 325\text{H}7$ кінцево за два проходи з підрізанням торця, розточити зовнішні й внутрішні фаски, підрізати торець $\varnothing 150/\varnothing 200$, виконати півчистове розточування $\varnothing 150\text{J}7$ и канавку $\varnothing 155 \times 2,8$	В спеціальному пристрої по зовнішній поверхні $\varnothing 425\text{d}11$ з упором в нижній торець фланця	Токарно-карусельний верстат з ЧПК мод. 1А512МФ3
040	Токарна з ЧПК	Чистова обробка. Підрізати торець $\varnothing 150\text{J}7/\varnothing 200$ в розміри 330- _{0,3} й 4, розточити напрохід кінцево $\varnothing 150\text{J}7$, канавку $\varnothing 155 \times 2,8$ й внутрішню фаску $2 \times 45^\circ$	В спеціальному пристрої по зовнішній поверхні $\varnothing 425\text{d}11$ з упором в торець $\varnothing 425/\varnothing 360$	Верстат мод. 1А512МФ3
045	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Установ А. Свердли 16 отв. $\varnothing 18$ й 3 отв. $\varnothing 10,2$ напрохід й 4 отв. $\varnothing 8,43$. Зенкувати фаски. Нарізати різь М12-6Н (3 отв.) й М10-6Н (4 отв.). Установ Б. Свердли 4 отв. $\varnothing 8,43$ глибиною 21,5 мм й 2 отв. $\varnothing 8,43$ напрохід. Зенкувати фаски. Нарізати різь М10-6Н (6 отв.)	В спеціальному пристрої по внутрішній поверхні $\varnothing 150\text{J}7$ з упором в торець	Вертикальний обробний центр моделі V-1100
050	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Установ А. Свердли $\varnothing 10,2$ (вид В), цекувати $\varnothing 40$, розсвердли отв. до $\varnothing 17$, нарізати різь М12-6Н. Свердли отв. $\varnothing 20,85$, цекувати $\varnothing 50$, зенкувати фаску $2 \times 45^\circ$, нарізати різь М24-6Н Установ Б. Свердли отв. $\varnothing 10,43$ напрохід (вид Б), зенкувати фаску, нарізати різь М12-6Н. Свердли отв. $\varnothing 14,43$ напрохід (И-И), зенкувати фаску, нарізати різь М16 \times 1,5-6Н. Установ В. Свердли отв. $\varnothing 18,7$ (Е-Е), цекувати $\varnothing 40$, зенкувати фаску, нарізати різь G $\frac{1}{2}$ -В. Свердли отв. $\varnothing 18,43$ (И-И), цекувати $\varnothing 40$, зенкувати фаску, нарізати різь М20 \times 1,5-6Н. Установ Г. Свердли отв. $\varnothing 14,43$ (И-И), зенкувати фаску, нарізати різь М16 \times 1,5-6Н.	По внутрішнім поверхням з упором в торець в спеціальному пристрої з ділильною головкою	Вертикальний обробний центр моделі V-1100

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
055	Довбальна	Довбати шпонковий паз шириною 12 мм	В спеціальному пристрої по зовнішній поверхні з упором в торець	Довбальний півавтомат моделі 7Д420
060	Технічний контроль	Контролювати основні параметри точності деталі згідно з кресленням		Стіл ВТК

З таблиці 2.3 видно, що в новому варіанті маршруту технологічного процесу механічної обробки «кронштейна» ми точніше дотримуємося принципу поетапності. Виняток становлять дві останні комплексні операції 045 і 050 й довбальна операція 060. Однак, ця міра вимушена, оскільки, якщо просвердлимо отвори і обробити паз до виконання токарних операцій, то при точінні циліндричних поверхонь по отворах і пазу, обробка різцями буде відбуватися з ударами, що призведе до їх поломки і зниження точності поверхні.

Перерозподіл переходів на токарно-карусельних і комплексних операціях дозволило підняти рівень їх синхронізації, вирівнявши тривалість обробки заготовки на зазначених операціях. При цьому ми домоглися обробки поверхонь заготовки з точністю по IT7 за три етапи – чорнове, півчистове і чистове розточування ($\varnothing 325H7$ і $\varnothing 150J7$).

Як вже зазначалося раніше, в заводському технологічному процесі використовується застаріле обладнання. У проектованому технологічному процесі механічної обробки «кронштейна» будемо ширше використовувати верстати з ЧПК, що усуне попереднє, ручне розмічування, підвищить продуктивність обробки, знизить її собівартість. Відбувається це за рахунок скорочення штучного часу на операціях з високопродуктивними верстатами з ЧПК і зниженні кваліфікації робітників.

Як видно з таблиці 2.3, в новому варіанті маршруту технологічного процесу механічної обробки «кронштейна» порівняно з заводським технологічним процесом, незважаючи на додавання однієї комплексної операції, скорочено загальну кількість операцій – з 20 до 12. Це пояснюється скасуванням ряду

контрольних операцій ВТК, замінивши їх на контроль виконавцями робіт, а також усуненням ручного розмічування, за рахунок використання верстатів з ЧПК. Застосування більш прогресивної спеціальної технологічної оснастки дозволяє змінити схеми базування і закріплення заготовки на токарно-карусельних операціях. В результаті, відпадає необхідність у додатковій механічній обробці зовнішніх поверхонь $\varnothing 425$ і $\varnothing 359$ з більш жорсткими технологічними допусками по IT11 і IT8, відповідно. Остаточні питання про базування і закріплення заготовки на операціях механічної обробки вирішимо після їх відповідного обґрунтування в наступних пунктах цього розділу пояснювальної записки.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Згідно з завданням необхідно визначити припуски, допуски і міжопераційні розміри на обробку отвору $\varnothing 150J7$. При цьому слід використовувати розрахунково-аналітичний метод проф. Кована В.М. [3], в основі якого знаходиться розрахунок мінімального припуску за формулою:

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

де Rz_{i-1} – шорсткість поверхні, отримана на попередньому переході (етапі оброблення);

H_{i-1} – величина дефектного шару, отримана на попередньому переході (етапі оброблення);

ρ_{i-1} – величина просторових відхилень, отримана на попередньому переході (етапі оброблення);

$E y_i$ – похибка установки заготовки на даному переході.

Усі необхідні розрахунки виконуємо на ЕОМ з використанням програми «Припуск».

Виходячи з пропонованого маршруту механічної обробки даної поверхні, останню обробляють в три етапи: чорнове, півчистове і чистове розточування. Усі необхідні дані для розрахунку на ЕОМ зводимо до таблиці (див. додаток В). Тут значення Rz_{i-1} і H_{i-1} визначалися з [3, 6], а величини просторових відхилень ρ_{i-1} розраховувалися за формулою:

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

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

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

В свою чергу:

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot D,$$

де Δ_k – питома величина короблення заготовки, мкм/мм;

D – діаметр заготовки в розглянутому перетині, мм.

В такому разі отримуємо:

$$\rho_{кор} = 1 \cdot 150 = 150 \text{ мкм.}$$

Величину зміщення елементі виливка визначимо за формулою:

$$\rho_{зм} = S_1 / \cos\beta,$$

де S_1 – величина розміру знака виливка, мм;

β – кут нахилу знака виливка, град.

В результаті отримуємо:

$$\rho_{зм} = 0,5 / \cos 10^\circ = 0,508 \text{ мм,}$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{150^2 + 508^2} = 530 \text{ мкм.}$$

Залишкові значення величин просторових відхилень визначалися з урахуванням коефіцієнта уточнення K_y :

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

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

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

$K_{y3} = 0,04$ – для чистового розточування.

В результаті маємо:

$$\rho_1 = 530 \cdot 0,06 = 32 \text{ мкм;}$$

$$\rho_2 = 530 \cdot 0,05 = 27 \text{ мкм;}$$

$$\rho_3 = 530 \cdot 0,04 = 21 \text{ мкм.}$$

Значення похибок базування при обробці заготовки в трикулачних патронах не враховуємо, а значення похибок закріплення беремо з [3].

Подальші розрахунки припусків і операційних розмірів заготовки здійснюємо на ЕОМ. Результати розрахунків представлені в додатку В.

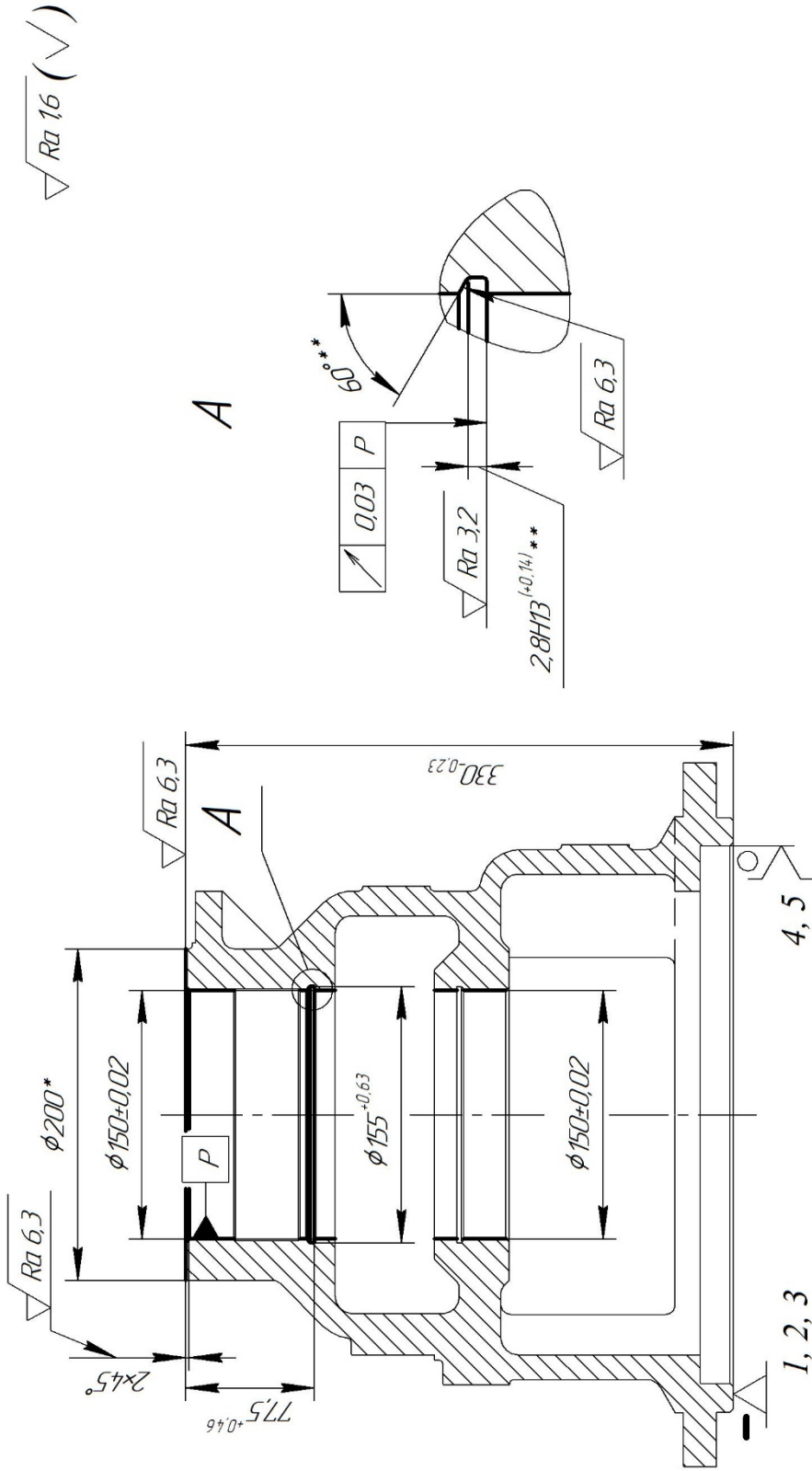
2.4 Обґрунтування вибору схеми базування й закріплення заготовки

Згідно з завданням, розглянемо вибір схем базування і закріплення заготовки на токарну операцію 040 технологічного процесу механічної обробки «кронштейна Н 06.74.30.07».

На даній операції виконується чистова токарна обробка поверхонь заготовки з боку правого торця заготовки за один установ, див. рисунок 2.3. При цьому підрізається торець $\varnothing 200$ в розмір $330_{-0,23}$, розточуються: отвір напрохід в розмір $\varnothing 150_{J7}$, внутрішня фаска $2 \times 45^\circ$ й канавка на тій же внутрішній поверхні в розміри - $\varnothing 155^{+0,63}$, $2,8H13$, $\angle 60^\circ$ на відстані $77,5^{+0,46}$ від правого торця заготовки.

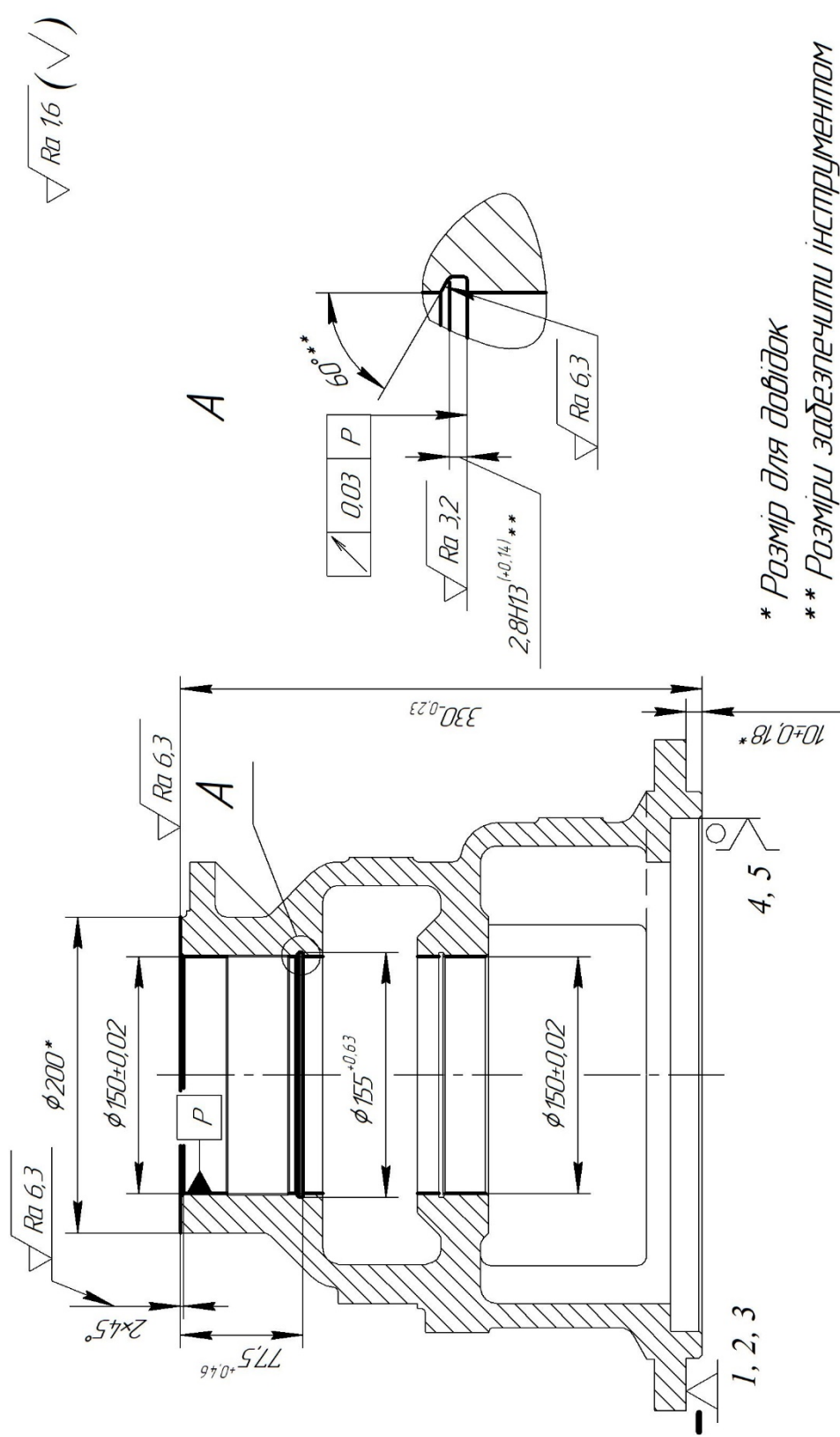
Виконаємо аналіз можливих схем базування на даному установі розглянутої операції. На малюнках 2.3 і 2.4 представлено альтернативні схеми базування на розглянутому установі токарної операції. Тут найбільш розвинені поверхні – раніше оброблені начисто зовнішні циліндричні поверхні заготовки та її торці з лівого боку. Точність циліндричних і торцевих поверхонь на даному етапі обробки після чистової токарної операції є такою. Циліндрична поверхня $\varnothing 359_{-0,23}$ оброблена остаточно з допуском по IT10; внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 325H7$ виконана з допуском по IT7; торцева поверхня по $\varnothing 359$ виконана в розмір $330,33_{-0,23}$, тобто з допуском по IT10, а торець $\varnothing 425 / \varnothing 359$ – в розмір $10 \pm 0,18$ – з допуском по IT14.

У зв'язку з цим, розглянемо такі можливі схеми базування заготовки на даній операції. На малюнку 2.3 в якості головної базової поверхні приймаємо зовнішній торець заготовки $\varnothing 359 / \varnothing 325H7$, який є установчою технологічною базою, яка позбавляє заготовку трьох ступенів свободи: поступального переміщення уздовж осі Z (при вертикальному розташуванні осі заготовки на токарно-карусельному верстаті) і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y. У якості подвійної опорної бази використовуємо циліндричну поверхню заготовки $\varnothing 325H7$, яка позбавляє заготовку ще двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Таким чином, заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи і вакантним залишається обертання навколо центральної осі Z. Для реалізації такої схеми базування необхідно використовувати спеціальне верстатне пристосування.



**** Розміри задезлечити інструментом**

Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки, операція 040



* Розмір для довідок

** Розміри забезпечити інструментом

Рисунок 2.4 – Альтернативна схема базування заготовки, операція 040

На малюнку 6.3 в якості головної базової поверхні приймаються торець фланця заготовки $\varnothing 425 / \varnothing 359$, який також є установчою технологічною базою, яка позбавляє заготовку трьох ступенів свободи: поступального переміщення уздовж осі Z (при вертикальному розташуванні осі заготовки на токарно-карусельних верстаті) і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y.

В якості подвійної опорної бази використовуємо знову ж циліндричну поверхню заготовки $\varnothing 325H7$, яка позбавляє заготовку ще двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Таким чином, заготовка і в цьому випадку позбавляється п'яти ступенів свободи і вакантним залишається обертання навколо центральної осі Z. Для реалізації такої схеми базування також необхідно використовувати спеціальне верстатне пристосування.

При таких схемах базування поєднуються технологічні бази з вимірювальними базами, що усуває похибки базування в радіальному напрямку і забезпечує необхідну точність обробки поверхонь. При цьому, в проектованому верстатному пристрої слід передбачити безззорну установку заготовки по отвору $\varnothing 325H7$. Однак на лінійні розміри заготовки похибки базування не скрізь дорівнюють нулю.

При базуванні на малюнку 2.3 при отриманні розміру $330_{-0,23}$ мм вимірювальна і технологічна бази збігаються і значить похибка базування на даний розмір відсутній: $E_{6\ 330} = 0$ мм. А ось при виконанні канавки на відстані $77,5^{+0,46}$ мм від верхнього торця заготовки похибка базування присутня і дорівнює допуску на розмір заготовки, що з'єднує вимірювальну і технологічну бази:

$$e_{6\ 77,5} = T_{330} = 0,23 \text{ мм.}$$

Таким чином, для розглянутого розміру похибка базування є меншою допуску на операційний розмір:

$$e_{6\ 77,5} = 0,23 \text{ мм} < T_{77,5} = 0,46 \text{ мм,}$$

Що нас цілком влаштовує.

При базуванні згідно зі схемою на малюнку 2.4, як і в попередньому випадку, похибки базування в радіальному напрямку відсутні, а ось на лінійні розміри вони не дорівнюють нулю:

$$\varepsilon_{\phi 330} = T_{10} = 0,36 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\phi 77,5} = T_{10} + T_{330} = 0,36 + 0,23 = 0,59 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибки базування на оброблювані розміри 330 мм і 77,5 мм значно перевищують їх допуски:

$$\varepsilon_{\phi 330} = 0,36 \text{ мм} > T_{330} = 0,23 \text{ мм,}$$

$$\varepsilon_{\phi 77,5} = 0,59 \text{ мм} > T_{77,5} = 0,46 \text{ мм,}$$

що може привести до появи браку.

Таким чином, аналіз представлених на малюнках 2.3 і 2.4 схем базування віддає перевагу першій схемі на малюнку 2.3, як більш точній схемі обробки.

Розглянемо вибір схеми базування і закріплення заготовки на комплексній операції 045. На даній операції в заводському технологічному процесі механічної обробки «кронштейна» проводиться комплексна обробка ряду отворів у заготівлі на радіально-свердлильному верстаті моделі 2A55 за шість установів із застосуванням розмічування й кондукторів. У пропонованому технологічному процесі механічної обробки «кронштейна» зазначена операція розбита на дві комплексні операції. В даному розділі розглянемо комплексну операцію з ЧПК 045. Тут на установі А проводиться обробка отворів з лівого торця заготовки: свердлити 16 отворів напрохід $\varnothing 18^{+0,43}$ на $\varnothing 390 \pm 0,7$ з дотриманням кутів $11^\circ 15'$ й $22^\circ 30'$; 3 кріпильних отвори $\varnothing 10,2^{+0,27}$ напрохід з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 390 \pm 0,7$ й кути $22^\circ 30'$

з подальшим нарізанням різі М12-6Н; 4 кріпильних отвори $\varnothing 8,43^{+0,22}$ глибиною $21,5^{+2,1}$ з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 180 \pm 0,5$ й куті 45° з подальшим нарізанням різі М10-6Н на глибину $12,5^{+1,8}$.

В свою чергу, на установі Б виконується обробка кріпильних отворів з правого торця заготовки: свердяться чотири отвори $\varnothing 8,43^{+0,22}$ глибиною $21,5^{+2,1}$ з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 180 \pm 0,5$ й куті 45° з подальшим нарізанням різі М10-6Н на глибину $12,5^{+1,8}$, а також свердяться 2 кріпильних отвори на плоскому приливі заготовки $\varnothing 8,43^{+0,22}$ напрохід з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ з дотриманням розмірів $120 \pm 0,5$ й $50 \pm 0,5$ з подальшим нарізанням різі М10-6Н.

У зв'язку з вищевикладеним на малюнках 2.5 й 2.6 пропонуються альтернативні схеми базування заготовки на установі А комплексної операції 045, а на малюнку 2.7 – схема базування на установі Б зазначеної операції.

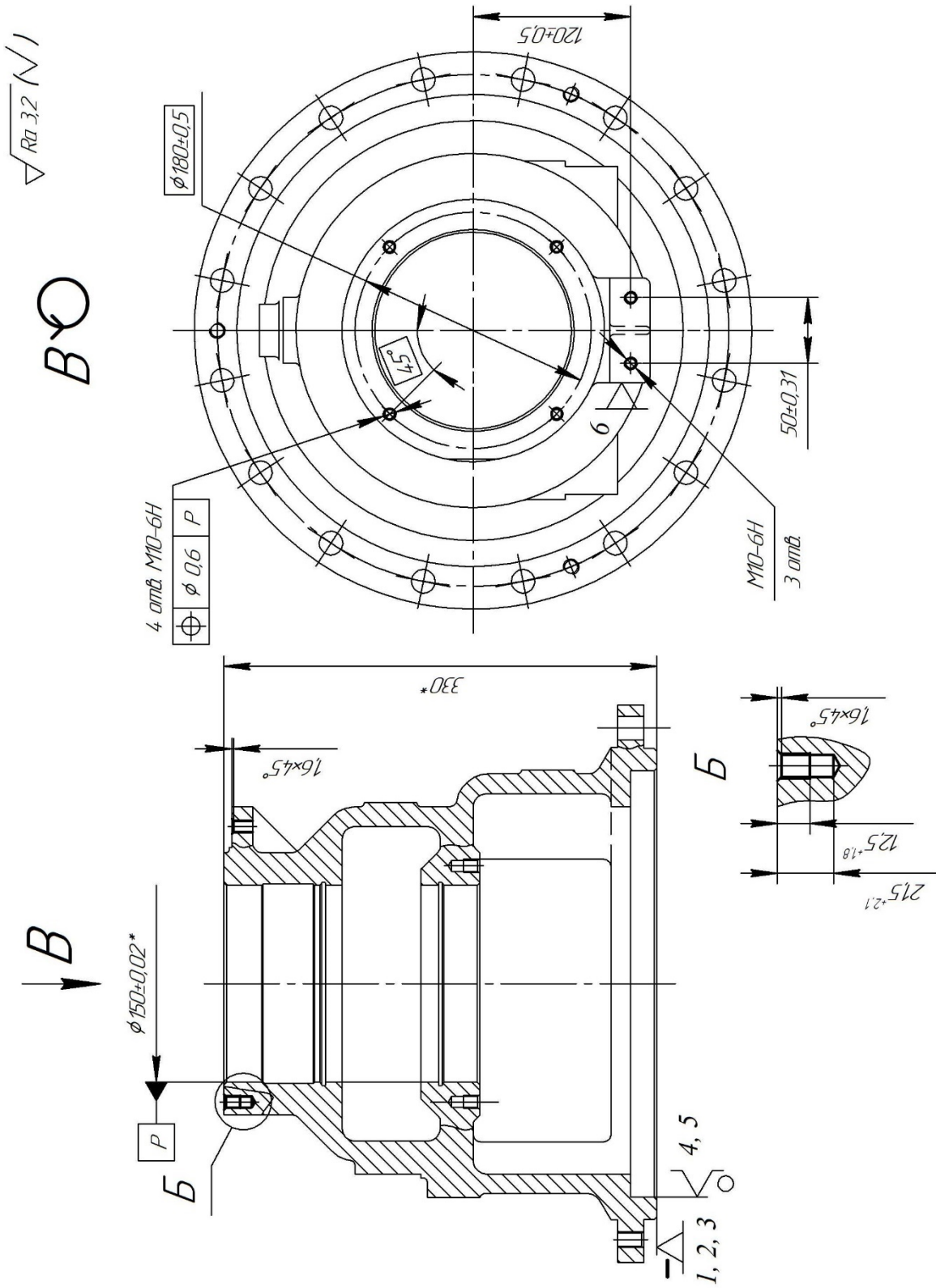


Рисунок 2.7 – Схема базування заготовки на операції комплексній з ЧПК 045, установ Б

Як видно з малюнка 2.5 заготовка позбавляється всіх шести ступенів свободи. При цьому позбавлення заготовки ступенів свободи розподіляється наступним чином. За торцем $\varnothing 425 / \varnothing 360$ реалізується установча база, що позбавляє заготовку трьох ступенів свободи – поступального переміщення уздовж осі Z (вертикальне розташування осі заготовки й осі Z) і двох обертальних переміщень навколо осей X і Y, по зовнішній циліндричній поверхні $\varnothing 360$ реалізується подвійна опорна база, що позбавляє заготовку ще двох ступенів свободи – двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y й останнього шостого ступеня свободи заготовка позбавляється за рахунок опорної бази по торцю прямокутного приливу – обертання навколо центральної осі Z. Аналіз представленої схеми показує, що торець $\varnothing 425 / \varnothing 360$ і циліндрична поверхня $\varnothing 360$ оброблені остаточно з точністю по IT12, лінійні зовнішні розміри фланця і всередині заготовки виконані по IT11, а торець приливу – не був оброблений. Таким чином, при обробці зазначених на установі А отворів, пропонована схема базування не впливає на точність отримання діаметральних розмірів, які залежать від точності виготовлення мірних інструментів – свердел і мітчиків, а ось на точність розташування міжосьових діаметральних розмірів ($\varnothing 390$ і $\varnothing 180$) вплине величина зазору між посадочною поверхнею $\varnothing 360$ заготовки і посадковим отвором в пристосуванні. Точність кутових розмірів забезпечується точністю позиціонування ріжучих інструментів верстата з ЧПК, оскільки саме верстат з ЧПК пропонується використовувати на даній операції. Забезпечення точності лінійних розмірів по глибині оброблюваних отворів пов'язане з появою похибок базування на деякі розміри через розбіжність вимірювальних і технологічних баз. При обробці отворів $\varnothing 18$ і M12-6H напрохід – похибка базування не впливає на їх точність, а ось при забезпеченні розмірів 21,5 мм і 12,5 мм вона дорівнює:

$$\varepsilon_{6\ 21,5} = \varepsilon_{6\ 12,5} = T_{10} + T_{20} + T_{135} = 0,09 + 0,13 + 0,25 = 0,47 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибки базування значно менше допусків на операційні розміри:

$$\varepsilon_{6\ 21,5} = 0,47 \text{ мм} < T_{21,5} = 2,1 \text{ мм}, \varepsilon_{6\ 12,5} = 0,47 \text{ мм} < T_{12,5} = 1,8 \text{ мм},$$

Що цілком нас влаштовує.

На малюнку 2.6 пропонується, на наш погляд більш краща схема базування заготовки на установі А комплексної операції 045. Як і в попередньому випадку, заготовка позбавляється всіх шести ступенів свободи. Як центруючу базову поверхню використовуємо отвір $\varnothing 150\text{J7}$, що є подвійною опорною базою, яка позбавляє заготовку 2-х ступенів свободи – двох поступальних переміщень уздовж осей X і Y. Установча база – нижній торець заготовки позбавляє заготовку 3-х ступенів свободи – поступального переміщення уздовж осі Z (центральної осі) і обертань навколо осей X і Y. Як і в попередньому випадку останнього шостого ступеня свободи заготовка позбавляється за рахунок опорної бази по торцю прямокутного приливу – обертання навколо осі Z (центральної осі). Дана схема базування відрізняється від попередньої більш високою точністю обробки базових поверхонь, оскільки $\varnothing 150$ виконаний з точністю по IT7, а торець заготовки – в розмір 330 з допуском по IT10. Таким чином, при такій схемі базування більш точно будуть забезпечуватися і розташування міжосьових діаметральних розмірів $\varnothing 390$ і $\varnothing 180$. У разі ж використання по посадковій поверхні $\varnothing 150\text{J7}$ – розтискної (беззazorної) оправки похибка базування і зовсім буде відсутня. В даному випадку забезпечується точність і лінійних розмірів отворів по їх глибині:

$$\varepsilon_{6\ 21,5} = \varepsilon_{6\ 12,5} = T_{330} + T_{135} = 0,23 + 0,25 = 0,48 \text{ мм}.$$

Таким чином, і тут похибки базування значно менше допусків на оброблювані розміри:

$$\varepsilon_{\phi 21,5} = 0,48 \text{ мм} < T_{21,5} = 2,1 \text{ мм},$$

$$\varepsilon_{\phi 12,5} = 0,48 \text{ мм} < T_{12,5} = 1,8 \text{ мм},$$

що нас знов таки влаштовує.

На користь останньої схеми базування на малюнку 2.6 говорить той факт, що схему базування на малюнку 2.6 простіше реалізувати технічно у верстатному пристрої. До того ж, при обробці на установі Б комплексної операції 045, див. рисунок 2.7, базувати заготовку за схемою на малюнку 2.5 не можна, а значить треба ставити на верстат інше пристосування. У той же час, за схемою на малюнку 2.6 заготовку можна базувати і на установі Б (див. рисунок 2.7). В цьому випадку точність всіх кріпильних отворів є аналогічною обробці на установі А, а точність лінійних розмірів визначається похибкою базування:

$$\varepsilon_{\phi 21,5} = \varepsilon_{\phi 12,5} = T_{330} = 0,23 \text{ мм}.$$

Таким чином, похибки базування значно менше допусків на операційні розміри:

$$\varepsilon_{\phi 21,5} = 0,23 \text{ мм} < T_{21,5} = 2,1 \text{ мм}, \quad \varepsilon_{\phi 12,5} = 0,23 \text{ мм} < T_{12,5} = 1,8 \text{ мм},$$

що нас цілком влаштовує.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального устаткування

У заводському технологічному процесі на токарно-карусельній і радіально-свердлильній операціях використовують універсальне устаткування: токарний карусельний верстат моделі 1512 і радіально-свердлильний верстат моделі 2А55. При цьому, свердлильній операції передують розмічування поверхонь заготовки.

Аналіз обладнання, що застосовується показує, що воно відповідає дрібносерійному типу виробництва й прийнятій груповій формі його організації. Методи обробки визначені з урахуванням етапу обробки, форми оброблюваних поверхонь, їх необхідної точності і шорсткості. У той же час, використання зазначеного універсального обладнання передбачає досягнення необхідної точності заданих розмірів з застосуванням методу пробних проходів і ручного розмічування. Все це вимагає додаткових витрат висококваліфікованої, малопродуктивної ручної праці, знижує продуктивність обробки, збільшує час і собівартість виготовлення деталі. Кваліфікація верстатників є досить високою – токар 5-го розряду, а свердлувальник – 4-го розряду.

У зв'язку з цим, на основі аналізу застосовуваних методів обробки поверхонь, конфігурації заготовки та етапу обробки, а також з огляду на потужність електродвигунів приводів, габарити робочого простору і тип виробництва, як металорізальне устаткування на зазначених операціях пропонується використовувати верстати з ЧПК, зокрема на токарно-карусельній операції 040 пропонується використовувати токарний карусельний верстат з ЧПК моделі 1А512МФ3, а на комплексній з ЧПК операції 045 (радіально-свердлильний за базовим технологічним процесом) – вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-1100, див. таблицю 2.3.

Пропоноване металорізальне обладнання з ЧПК дозволяє вести високопродуктивну обробку заданих поверхонь на попередньо налаштованих верстатах методом автоматичного отримання необхідної точності розмірів, незалежно від кваліфікації робітників. При цьому враховані рекомендації [3, 4] з

використання в умовах дрібносерійного виробництва верстатів з ЧПК, що є основними засобами автоматизації зазначеного виробництва.

Таблиця 2.3 – Перелік металорізального устаткування

№ з/п опер.	Найменування операції	Найменування устаткування за базовим технологічним процесом	Пропоноване устаткування
1	2	3	4
040	Токарна з ЧПК	Токарно-карусельний верстат моделі 1512	Токарний карусельний верстат з ЧПК моделі 1А512МФ3
045	Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Радіально-свердлильний верстат моделі 2А55	Вертикальний свердлильно-фрезерно-розточувальний верстат з ЧПК типу обробний центр моделі V-1100

В результаті відпадає необхідність у використанні ручної малопродуктивної праці з управління верстатом, а також ручного розмічування, підвищується продуктивність обробки, поліпшуються умови техніки безпеки і праці робітників, скорочується тривалість і собівартість механічної обробки заготовок.

Токарний карусельний верстат з ЧПК моделі 1А512МФ3 – одностійковий з чотирма керованими координатами за програмою і дискретністю системи управління 0,01 мм, оснащений інструментальним магазином і планшайбою діаметром 1120 мм, що дозволяє обробляти заготовки діаметром до 1450 мм і висотою до 1000 мм. Потужність електродвигунів приводів верстата – 55 кВт, вертикальна і горизонтальна подачі супорта – безступінчасті.

Вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-1100 – з поворотним робочим столом й інструментальним магазином на 20 (24) ріжучих інструментів, має робочу поверхню столу 1350×600 мм, точність позиціонування робочих органів верстата – 0,01 мм, максимальна частота обертання шпинделя – 10000 об/хв. Потужність електродвигуна приводу головного руху – 7,5 кВт.

2.6 Обґрунтування вибору технологічної оснастки

На основі попереднього аналізу і з урахуванням дрібносерійного типу виробництва в проектуваному технологічному процесі застосовуємо збірно-розбірні пристосування (ЗРП), призначені для компонування зі стандартизованих деталей і складальних одиниць обернених пристосувань нормальної точності багаторазового застосування, а також спеціальні пристосування з механізованим приводом (пневматичним), див. таблицю 2.4 графу 2.

Таблиця 2.4 – Перелік технологічної оснастки

Найменування операції	Верстатний пристрій	Ріжучий інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4
Токарна з ЧПК	Спеціальний верстатний пристрій з пневматичним приводом	Різець К.01.4979.000-06 ВК6 ТУ 2-035-892-82; різець 035-2128-0551 ВК6 ОСТ 2И10-8-84; різець К.01.4991.000-12 ВК6 ТУ 2-035-892-82	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89; пробка 150J7 ПР/НЕ ГОСТ 14810-69; фаскомір М5-205А; шаблон на канавку М4-7441.00-01.
Комплексна на обробних центрах з ЧПК	Оправка Ø150h6; прихвати (2) 7011-0580 ГОСТ 14732-69	Свердло 035-2301-1051 Р6М5 ОСТ 2И20-2-80; свердло 2310-0373 Р6М5 ОСТ 2И20-7-84; свердло 2310-0372 Р6М5 ОСТ 2И20-7-84; мітчик 035-2620-0535 ОСТ 2И52-1-74; мітчик 035-2620-0523 ОСТ 2И52-1-74	Штангенциркуль ШЦ-III-400-0,1 ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89; пробки різьбові М12-6Н й М10-6Н ГОСТ 16093-70

При виборі ріжучих інструментів враховувалися: метод обробки поверхонь, габарити деталі і верстата, матеріал заготовки. За конструктивними параметрами вибиралися універсальні стандартизовані ріжучі інструменти для верстатів з ЧПК [6, 7], див. таблицю 2.4, графу 3. Для свердління отворів для кріплення і одночасного зняття фасок $1,6 \times 45^\circ$ використовуємо комбіновані свердла 2310-0373 і 2310-0372 за ОСТ 2И20-7-84.

Для закріплення свердел в якості допоміжних інструментів для верстатів з ЧПК використовуємо втулки перехідні 191831062 ТУ 2-035-978-85; для закріплення східчастих комбінованих свердел з циліндричним хвостовиком використовуємо патрони цангові 191113040 ТУ 2-035-986-85 (дві одиниці) з цангами 191113050.002-03 (дві одиниці) і для закріплення машинних мітчиків – патрони регульовані різьбонарізні 191221030А ТУ 2-035-975- 85 (дві одиниці).

В умовах дрібносерійного виробництва при виборі контрольних вимірювальних інструментів перевага віддавалася універсальним («шкальним») інструментам, зокрема, штангенциркулям, різьбовим пробкам, а для контролю отвору з точністю по ІТ7 використовуємо гладку пробку, див. таблицю 2.4 графу 4.

2.7 Визначення режимів різання

Визначимо режими різання розрахунково-аналітичним методом на аналізовані операції технологічного процесу механічної обробки «кронштейна Н06.78.30.03».

Виконаємо розрахунок режимів різання на найбільш навантажений перехід чистої токарної (карусельної) операції з ЧПК 040 при підрізанні верхнього торця $\varnothing 200$ в розмір $330_{-0,23}$ мм.

Вихідні дані для розрахунку.

Оброблювана поверхня: торець заготовки діаметром 200 мм.

Матеріал заготовки – чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85, НВ 170 – 241, $\sigma_B = 196$ МПа.

Розмір заготовки до обробки – 330,33 мм.

Розмір заготовки після обробки – 330 мм.

Максимальний діаметр обробки – 200 мм.

Довжина обробки – 25 мм.

Шорсткість поверхні – $R_a = 3,2$ мкм.

Для обробки поверхонь заготовки використовуємо токарний карусельний верстат з ЧПК моделі 1А512МФ3.

Верстатний пристрій: спеціальна планшайба, забезпечена посадковим фланцем і механізованими прихватами.

Ріжучий інструмент: прохідний різець ($\varphi = 45^\circ$). Матеріал: твердий сплав ВК6 ГОСТ 3882-74. Розміри поперечного перетину державки різця 32×32 мм, довжина: 170 мм.

Режими різання визначимо за методикою [8].

Припуск на обробку визначимо за формулою

$$Z = L_z - L_d = 330,33 - 330 = 0,33 \text{ мм},$$

де L_z, L_d – довжина заготовки відповідно до і після підрізання торця, мм.

Тоді глибина різання складатиме:

$$t = Z/i = 0,33/1 = 0,33 \text{ мм},$$

де i – кількість проходів.

Таблична величина поперечної подачі різця [8]: $S_m = (0,55 - 0,6)$ мм/об.

Подачі, допустимі за параметром шорсткості (3,2 мкм Ra) при чистовому точінні різцями з радіусом при вершині – 1,2 мм: $S = 0,42$ мм/об. Беремо паспортне значення величини подачі: $S_n = 0,4$ мм/об.

Швидкість різання допустиму умовами точіння, визначимо за формулою [8]:

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

де $C_V = 292$ – для точіння твердосплавними різцями з $S \leq 0,4$ мм/об [8];

$T = 60$ хв – період стійкості різця;

$m = 0,2$;

$t = 0,33$ мм – глибина різання;

$x = 0,15$;

$$y = 0,2;$$

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{PIV} \cdot K_{IIV},$$

$K_{MV} = (190/HV)^n$ – поправочний коефіцієнт, що враховує міцність оброблюваного матеріалу;

$$n = 1,25;$$

$K_{PIV} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки (обробка без корки);

$K_{IIV} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу (ВК6);

$$K_{MV} = (190/190)^{1,25} = 1,0;$$

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

Таким чином маємо:

$$V = \frac{292}{60^{0,2} \cdot 0,33^{0,15} \cdot 0,4^{0,2}} \cdot 1,0 = 155,7 \text{ м/хв.}$$

В такому випадку частота обертання шпинделя верстата дорівнює:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 155,7}{3,14 \cdot 200} = 247,9 \text{ об/хв.}$$

Беремо частоту обертання шпинделя 250 об/хв.

Тож фактична швидкість різання дорівнюватиме:

$$V_\phi = (\pi \cdot D \cdot n_\phi) / 1000 = (\pi \cdot 200 \cdot 250) / 1000 = 157 \text{ м/хв.}$$

Визначимо силу та потужність різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де $C_p = 92$ – для поперечного точіння твердосплавними різцями [8];

$$x = 1,0;$$

$$y = 0,75;$$

$$n = 0;$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp},$$

где $K_{mp} = (HB/190)^n = (190/190)^{0,4} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує міцність оброблюваного матеріалу;

$K_{\varphi p} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив головного кута в плані ($\varphi = 45^\circ$);

$K_{\gamma p} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив переднього кута різця ($\gamma = 10^\circ$);

$K_{\lambda p} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив кута нахилу головної ріжучої кромки різця ($\lambda = 0^\circ$);

$K_{rp} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує радіус при вершині різця.

В результаті маємо:

$$K_p = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0.$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 0,33^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 157^0 \cdot 1,0 = 462,7 \text{ Н.}$$

Визначимо потужність різання:

$$N_p = (P_z \cdot V) / (60 \cdot 1020) = (462,7 \cdot 157) / (60 \cdot 1020) = 1,2 \text{ кВт.}$$

$$N_e = N_{\text{дв}} \cdot \eta = 55 \cdot 0,7 = 38,5 \text{ кВт} > N_p = 1,2,$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність електродвигуна привода головного руху, кВт;

η – коефіцієнт корисної дії привода головного руху верстата.

Таким чином, визначені режими різання можуть бути реалізовані.

Тепер визначимо машинний (основний) час обробки на даному переході токарної операції з ЧПК 040 (підрізання торця заготовки за один прохід):

$$T_{o1} = L \cdot i / (S_n \cdot n),$$

де $L = (l_{\text{вр}} + l + l_{\text{пер}})$ – загальна довжина обробки торця заготовки з урахуванням величини врізання та перебігу інструмента;

$l = 25$ мм – довжина обробки торця заготовки, мм;

$l_{\text{вр}} = 3,5$ мм – довжина врізання;

$l_{\text{пер}} = 3,5$ мм – довжина перебігу;

В результаті маємо:

$$T_{o1} = (25 + 3,5 + 3,5) \cdot 1 / (0,4 \cdot 250) = 0,32 \text{ хв.}$$

В результаті розрахунків нами отримані такі елементи режимів різання:
 $t = 0,33$ мм; $S_n = 0,4$ мм/об; $V = 157$ м/хв; $n = 250$ об/хв; $T_{o1} = 0,32$ хв.

Зробимо розрахунок режимів різання під час свердління отворів найбільшого діаметра ($\varnothing 18$) установа А комплексної операції з ЧПК 045.

Вихідні дані для розрахунку.

Оброблювана поверхня: 16 отворів $\varnothing 18$.

Матеріал заготовки – чавун СЧ20 ГОСТ 1412-85, HB 170–241, $\sigma_B=196$ МПа. Діаметр свердління – $D = 18$ мм. Глибина свердління – $l = 20$ мм. Шорсткість поверхні – 12,5 мкм Ra.

Устаткування: вертикальний обробний центр з ЧПК моделі V-1100.

Верстатний пристрій: спеціальний верстатний пристрій з пневмоприводом.

Ріжучий інструмент: свердло з конічним хвостовиком. Матеріал свердла: швидкоріжуча сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73. Діаметр свердла: 18 мм; довжина робочої частини свердла: 135 мм; загальна довжина свердла: 235 мм; геометричні параметри ріжучої частини інструменту: $2\varphi_1 = 118^\circ$; $\alpha = 11^\circ$ [7].

Режими різання на свердління отвору визначимо за методикою [8].

Визначимо глибину різання. Як відомо, глибина різання під час свердління визначається, як половина діаметра свердла (отвору):

$$t = D/2 = 18/2 = 9 \text{ мм.}$$

Осьова подача: $S_o = (0,41 - 0,47)$ мм/об [8].

Беремо величину осьової подачі $S_n = 0,4$ мм/об.

Згідно з рекомендаціями [8] беремо стійкість свердла – $T = 60$ хв.

Швидкість різання визначимо з урахуванням умов свердління за формулою [8]:

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

де $C_V = 17,1$;

$q = 0,25$;

$m = 0,125$;

$y = 0,4$ – коефіцієнти та показники степенів, що залежать від умов свердління;

K_V – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість свердління;

$$K_V = K_{Vm} \cdot K_{Vn} \cdot K_{Vu} \cdot K_{Vz},$$

$K_{Vm} = (190/HV)^n = (190/190)^{1,3} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної заготовки;

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

$K_{Vu} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

$K_{Vz} = 0,75$ – коефіцієнт, що враховує геометрію заточки свердла;

$$K_V = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,75,$$

$$V = \frac{17,1 \cdot 18^{0,25} \cdot 0,75}{60^{0,125} \cdot 0,4^{0,4}} = 23,0 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя складатиме:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 23,0}{3,14 \cdot 18} = 406,9 \text{ об/хв.}$$

Беремо частоту обертання шпинделя верстата: $n_\phi = 355$ об/хв.

Фактична швидкість різання складатиме:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} = \frac{3,14 \cdot 18 \cdot 355}{1000} = 20,07 \text{ м/хв.}$$

Визначимо хвилинну осьову подачу:

$$S_{x\phi} = S_o \cdot n_\phi = 0,4 \cdot 355 = 142 \text{ мм/хв.}$$

Крутний момент під час свердління:

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

де $C_M = 0,021$; $q = 2$; $y = 0,8$; $K_M = 1,0$ – коефіцієнти, показники степенів, поправочні коефіцієнти, що враховують змінені умови різання.

$$M = 10 \cdot 0,021 \cdot 18^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1,0 = 32,7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Потужність різання визначим за формулою:

$$N_p = \frac{M \cdot n}{9750} = \frac{32,7 \cdot 355}{9750} = 1,2 \text{ кВт}.$$

Потужність привода головного руху верстата має бути достатньою для реалізації процесу свердління, тобто має виконуватися умова

$$N_p < N_{un},$$

де

$$N_{un} = N_d \cdot \eta.$$

Для верстата V-1100:

$$N_{un} = 7,5 \cdot 0,86 = 6,45 \text{ кВт},$$

$$1,2 \text{ кВт} < 6,45 \text{ кВт}.$$

Таким чином, визначені режими різання можуть бути реалізовані.

Визначимо машинний (основний) час на даний перехід:

$$T_o = L \cdot i / S_{xв},$$

де $L = l_{сп} + l + l_{пер},$

L – довжина обробки, мм;

$l_с = 4$ мм – довжина врізання;

$l = 20$ мм – глибина оброблюваного отвору;

$l_{пер} = 4$ мм – довжина перебігу;

$i = 1$ – кількість проходів.

$$L = 4 + 20 + 4 = 28 \text{ мм},$$

$$T_o = 28 \cdot 1 / 142 = 0,197 \text{ хв.}$$

В результаті розрахунків отримані такі режими різання: $t = 9$ мм; $S_o = 0,4$ мм/об; $V = 20,07$ м/хв; $n = 355$ хв⁻¹; $T_o = 3,16$ хв. (оброблення 16 отворів в сумі потребує 3,16 хв).

2.8 Технічне нормування операцій

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

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

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

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

n – кількість деталей в партії запуску, шт.

В свою чергу, штучний час дорівнює:

$$t_{ум} = t_o + t_\delta + t_{обс} + t_{вдп}, \quad (2.2)$$

где t_o – основний час на операцію, хв.;

t_δ – допоміжний час на операцію, хв.;

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

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

Основний час на операцію підсумовується по всіх переходах розглянутої операції при їх послідовному виконанні:

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

де n – кількість переходів в операції;

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою [9]:

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

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

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

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

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок робітника визначається за формулою:

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

де α , β – відповідно, норми часу на обслуговування робочого місця і відпочинок робочого, у % від оперативного часу [9].

В п. 2.7 цієї роботи визначено основний час на перший перехід токарної карусельної операції 040 – $t_{oA1} = 0,32$ хв.

Основний час на інших переходах токарної операції визначаємо з урахуванням наступних режимів різання, які визначені табличним методом згідно [10] й зведені до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими різання на операцію 040

№ пере-ходу	Вміст переходу	Елементи режимів різання					
		Добр, мм	L, мм	t, мм	S _п , мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Розточити отв. напрохід в розмір Ø150J7	150	195	0,2	0,2	400	188,4
3	Точити внутрішню фаску на Ø150 в розмір 2×45°	154	2,0	2,0	0,2	315	152,3
4	Точити внутрішню канавку Ø155×2,8H13	155	2,5	2,8	0,2	315	153,3

Для зазначених режимів різання визначимо норми часу t_o :

$$t_{o2} = (4+195+4) \cdot 1 / (0,2 \cdot 400) = 2,54 \text{ хв};$$

$$t_{o3} = (3,0+2+0) \cdot 1 / (0,2 \cdot 315) = 0,08 \text{ хв};$$

$$t_{o4} = (3,0+2,5+0) \cdot 1 / (0,2 \cdot 315) = 0,09 \text{ хв};$$

В результаті основний час на операцію відповідно до (2.3) становитиме:

$$t_o = 0,32+2,54+0,08+0,09 = 3,03 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою (2.4). За умови, що $t_{уст} = 5,2$ хв, $t_{np} = 0,12 \cdot 3 = 0,36$ хв, $t_{вим} = 0,22+0,13 \cdot 2 = 0,48$ хв:

$$t_{\partial} = 5,2+0,36+0,48 = 6,04 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок робочого розрахуємо за формулою (2.5):

$$t_{\text{обс}+t_{\text{вон}}} = (3,03 + 6,04) \frac{6+4}{100} = 0,91 \text{ хв.}$$

Таким чином, штучний час на операцію за формулою (2.2) становитиме:

$$t_{\text{шт}} = 3,03+6,04+0,91 = 9,98 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час на операцію складає [9]:

$$t_{\text{н.з}} = 22+10 = 32 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію визначимо за формулою (2.1):

$$t_{\text{шт.к}} = 8,38+32/19 = 11,66 \text{ хв.}$$

В п. 2.7 цієї роботи визнаено основний час на 1-й перехід установка А комплексної операції з ЧПК 045 – $t_{\text{ОА1}} = 3,16$ хв.

Основний час на інших переходах операції визначаємо з урахуванням режимів різання, що визначені табличним методом згідно з [10], див. таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Режими різання на операцію 045

№ переходу	Вміст переходу	Елементи режимів різання					
		Добр, мм	L, мм	t, мм	S _п , мм/об	n, об/хв	V, м/хв
1	2	3	4	5	6	7	8
А.2	Свердлити 3 отв. Ø10,2 напрохід зі зняттям фасок	10,2	20,0	5,1	0,28	315	10,1
А.3	Нарізати різь в 3 отв. М12 напрохід	12;	20,0	-	1,75	250	9,4
А.4	Свердлити 4 отв. Ø8,43 зі зняттям фасок	8,43	21,5	4,215	0,28	315	8,3
А.5	Нарізати різь в 4 отв. М10	10	12,5	-	1,5	250	7,85
Б.1	Свердлити 6 отв. Ø8,43 зі зняттям фасок	8,43	21,5 16,0	4,215	0,28	315	8,3
Б.2	Нарієати різь в 6 отв. М10	10	12,5 16,0	-	1,5	250	7,85

Для зазначених режимів різання маємо t_o :

$$t_{oA.2} = (3,0+20+3,0) \cdot 3 / (0,28 \cdot 315) = 0,88 \text{ хв};$$

$$t_{oA.3} = (3,0+20+3,0) \cdot 3 / (1,75 \cdot 250) = 0,18 \text{ хв};$$

$$t_{oA.4} = (2,0+21,5+0) \cdot 4 / (0,28 \cdot 315) = 1,07 \text{ хв};$$

$$t_{oA.5} = (3,0+12,5+0) \cdot 4 / (1,5 \cdot 250) = 0,17 \text{ хв};$$

$$t_{oB.1} = [(2,0+21,5+0) \cdot 4 + (2,0+16+2,0) \cdot 2] / (0,28 \cdot 315) = 1,52 \text{ хв};$$

$$t_{oB.2} = [(3,0+12,5+0) \cdot 4 + (3+16+3) \cdot 2] / (1,5 \cdot 250) = 0,28 \text{ хв}.$$

Основний час на операцію становитиме:

$$t_o = 3,16 + 0,88 + 0,18 + 1,07 + 0,17 + 1,52 + 0,28 = 7,26 \text{ хв}.$$

Допоміжний час на операцію визначимо за формулою (2.4):

$$t_{\partial} = 4,8 + 4,8 \cdot 0,8 + 0,02 \cdot 28 + 0,1 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,35 \cdot 16 + 0,1 \cdot 16 + 0,16 \cdot 8 = 18,68 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця і відпочинок робочого розрахуємо за формулою (2.5):

$$t_{\text{обс}} + t_{\text{омд}} = (7,26 + 18,68) \frac{4 + 4}{100} = 2,08 \text{ хв.}$$

Штучний час на операцію згідно з формулою (2.2) становитиме:

$$t_{\text{шт}} = 7,26 + 18,68 + 2,08 = 28,02 \text{ хв.}$$

Підготовчо-завершальний час на операцію становить [9]:

$$t_{\text{п.з}} = 23 + 17 = 40 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію згідно з формулою (2.1) складає:

$$t_{\text{шт.к}} = 28,02 + 40/19 = 30,13 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

Для базування і закріплення заготовки «кронштейна» на комплексній операції з ЧПК 045 спроектуємо спеціальне верстатне пристосування з пневматичним приводом, яке дозволить знизити розряд верстатника на цій операції, трудомісткість обробки, підвищить стабільність параметрів точності оброблюваних поверхонь.

На даній операції виконується за два установи свердління ряду отворів, зенкування фасок і нарізання різьб на торцевих поверхнях заготовки, див. п. 2.2 цієї роботи.

На установі А виконується обробка отворів з лівого торця заготовки: свердляться 16 отворів напрохід $\varnothing 18^{+0,43}$ на $\varnothing 390 \pm 0,7$ з дотриманням кутів $11^\circ 15'$ й $22^\circ 30'$; 3 кріпильних отворів $\varnothing 10,2^{+0,27}$ напрохід з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 390 \pm 0,7$ й куті $22^\circ 30'$ з подальшим нарізанням різі М12-6Н; 4 кріпильних отворів $\varnothing 8,43^{+0,22}$ глибиною $21,5^{+2,1}$ з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 180 \pm 0,5$ й куті 45° з подальшим нарізанням різі М10-6Н на глибину $12,5^{+1,8}$.

На установі Б проводиться обробка кріпильних отворів з правого торця заготовки: свердляться чотири отвори $\varnothing 8,43^{+0,22}$ глибиною $21,5^{+2,1}$ з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ на $\varnothing 180 \pm 0,5$ й куті 45° з подальшим нарізанням різі М10-6Н на глибину $12,5^{+1,8}$, а також свердляться 2 кріпильних отвори на плоскому приливі заготовки $\varnothing 8,43^{+0,22}$ напрохід з фаскою $1,6 \times 45^\circ$ з дотриманням розмірів $120 \pm 0,5$ й $50 \pm 0,5$ й з подальшим нарізанням різі М10-6Н.

У проектованому технологічному процесі заготовка обробляється на вертикальному обробному центрі з ЧПК моделі V-1100. Обробка заготовки проводиться відразу після остаточної чистової токарної карусельної операції. Тому, при базуванні заготовка встановлюється в пристосуванні по чисто оброблених поверхнях.

В процесі виконання операції оброблювані поверхні отворів $\varnothing 18$ свердлять остаточно з точністю розмірів по IT14, а кріпильні отвори виконують з точністю по

IT13. Лінійні розміри по глибині різі виконуються з точністю по IT17. Точність форми і взаємного розташування оброблюваних поверхонь на кресленні деталі не вказано, і ми приймаємо їх в межах відповідних допусків на оброблювані розміри. Зокрема, за точністю форми отворів обговорюємо відхилення від циліндричності. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності А допуск форми становить 30% від допуску на діаметр отвору:

$$T_{\varphi} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 18} = 0,3 \cdot 0,43 = 0,129 \text{ мм},$$

що відповідає 13 ступеню точності, з найближчим стандартним допуском – 0,12 мм.

За точністю взаємного розташування поверхонь обговорюємо відхилення від перпендикулярності осі оброблюваних отворів відносно площини лівого торця заготовки. Тут для нормальної відносної геометричної точності А допуск взаємного розташування поверхонь становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\perp} = 0,6 \cdot T_{\varnothing 18} = 0,6 \cdot 0,43 = 0,258 \text{ мм},$$

що відповідає 14 ступеню точності, з найближчим стандартним допуском – 0,25 мм.

Степінь шорсткості оброблюваних отворів – 12,5 мкм за критерієм Ra, а різі – 3,2 мкм Ra.

В п. 2.4 обґрунтовано вибір схеми базування на дану операцію, див. рисунки 2.6 й 2.7.

Аналіз точності базових поверхонь показує, що отвір $\varnothing 150J7$ виконано з точністю за IT7, а торець – в розмір 330 мм за IT10, та має такі допуски: $T_{\varnothing 150J7} = 0,04$ мм, $T_{330} = 0,23$ мм.

Точність форми і взаємного розташування базових поверхонь на кресленні деталі не вказано, і ми приймаємо їх в межах відповідних допусків на операційні

розміри. Зокрема, за точністю форми отвору обговорюємо відхилення від циліндричності. В цьому випадку, для нормальної відносної геометричної точності А допуск форми становить 30% від допуску на діаметр отвору:

$$T_{\varphi} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 150J7} = 0,3 \cdot 0,04 = 0,012 \text{ мм},$$

що відповідає 6 ступеню точності.

Аналогічним чином визначаємо допуск відхилення від площинності торця заготовки, який для нормальної відносної геометричної точності А становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\square} = 0,6 \cdot T_{330} = 0,6 \cdot 0,23 = 0,138 \text{ мм},$$

що відповідає 10 ступеню точності, з найближчим стандартним допуском – 0,1 мм.

За точністю взаємного розташування поверхонь обговорюємо радіальне биття внутрішньої циліндричної поверхні отвору і торцеве биття площини торця заготовки. Для нормальної відносної геометричної точності А допуск взаємного розташування поверхонь становить 60% від допуску на розмір:

$$T_{\uparrow} = 0,6 \cdot T_{\varnothing 150J7} = 0,6 \cdot 0,04 = 0,024 \text{ мм},$$

що відповідає 5 ступеню точності, з найближчим стандартним допуском – 0,02 мм.

Кресленням деталі регламентується допуск на торцеве биття лівого торця заготовки: $T_{\uparrow} = 0,03$ мм, що відповідає 6 ступеню точності, з найближчим стандартним допуском – 0,025 мм.

Степінь шорсткості базових поверхонь – 1,6 мкм Ra.

Таким чином, точність і якість обробки базових поверхонь значно перевищують точність і якість оброблюваних на даній операції поверхонь, що нас цілком влаштовує.

Розрахунок сил закріплення будемо здійснювати з умови непровороту заготовки на опорних поверхнях площини і центруючого конуса від тангенціальної складової сили різання P_z при свердлінні отвору з максимальним діаметром $\varnothing 18$, див. малюнок 2.8.

Умова «невідриву» заготовки від опори під дією осьової сили P_o перевіряти не будемо, оскільки її напрямок – «на опору». В підсумку маємо:

$$M_{\text{тр}} \geq M_p,$$

$$M_{\text{тр}} = K_{\text{зап}} \cdot M_p,$$

де $M_{\text{тр}}$ – момент тертя, утворюваний силами закріплення;

M_p – момент різання від сил різання;

$K_{\text{зап}}$ – коефіцієнт запасу.

Момент тертя визначимо з рівняння:

$$M_{\text{тр}} = P_z \cdot f \cdot r,$$

де P_z – сила закріплення;

r – середній радіус прикладення сили закріплення;

f – коефіцієнт тертя.

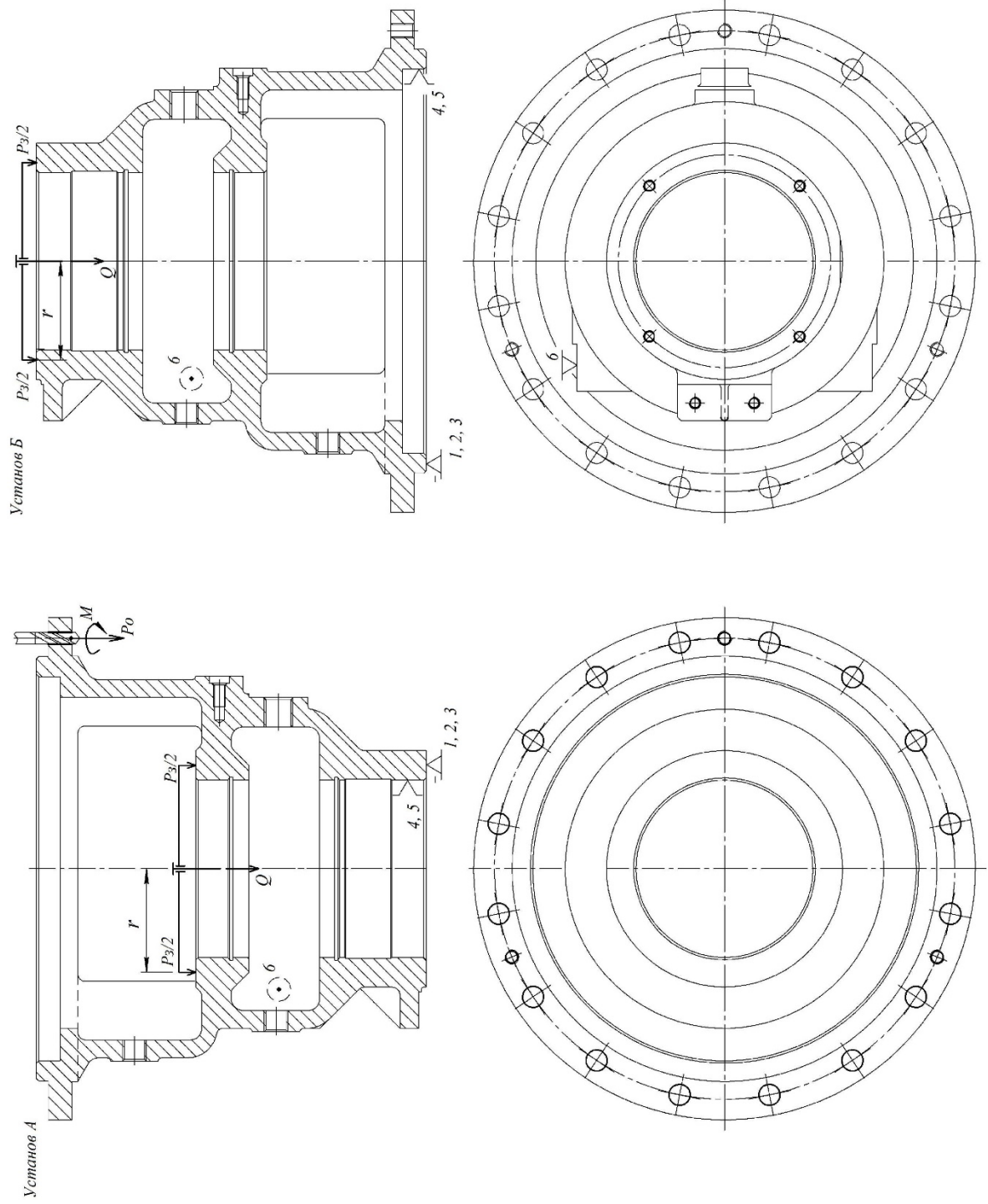


Рисунок 2.8 – Схема базування та закріплення заготовки

З іншого боку момент різання дорівнює крутному моменту M свердління отвору. Виходячи з цього рівняння для визначення сили закріплення заготовки матиме такий вид:

$$P_3 = \frac{K_{\text{зап}} \cdot M}{r \cdot f},$$

Коефіцієнт запасу визначимо згідно з [6, 11]:

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

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

$K_1 = 1,15$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання за наявності нерівностей на оброблюваних поверхнях;

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення свердла;

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

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

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

$K_6 = 1,5$ – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що намагаються повернути заготовку на постійних опорах з обмеженою площиною контакту.

В результаті отримаємо:

$$K_{\text{зап}} = 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,6.$$

Момент різання під час свердління отворів $\varnothing 18$ визначений в п. 2.7 цієї роботи $M = 32,7$ Н·м.

При $r = (r_1 + r_2)/2 = (75 + 100)/2 = 87,5$ мм й коефіцієнтах тертя: $f = 0,2$ [6] сила закріплення дорівнює:

$$P_3 = \frac{2,6 \cdot 32,7}{0,0875 \cdot 0,2} = 4858 \text{ Н.}$$

У проєктованому пристосуванні сила закріплення передається безпосередньо на шток пневмокамери. Тому сила на штоку пневмокамери дорівнюватиме:

$$Q = P_3 = 4858 \text{ Н.}$$

Приймаємо пневмокамеру односторонньої дії з діаметром $D = 160$ мм з тарілчастою мембраною та ущільнюючим кільцем на штоку і зворотною пружиною. У цьому випадку зусилля на штоку пневмокамери можна визначити за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{um}^2) \cdot p}{4} - (T_k \cdot \pi \cdot d_{um} + q + q_0),$$

де D – діаметр пневмокамери, см;

d_{um} – діаметр штоку пневмокамери, см;

p – тиск повітря в пневмосистемі, кгс/см²;

T_k – сила тертя на штоку пневмокамери при ущільнюванні його однією резиною манжетою, кгс;

q – жорсткість зворотної пружини, кгс;

q_0 – жорсткість пружини центруючого конусу пристрою, кгс.

При діаметрі штока $d_{um} = 26$ мм, тиску в пневмережі $p = 4$ кгс/см², $T_k = 10$ кгс й жорсткості пружин $q = 33,5$ кгс та $q_0 = 20,0$ кгс, отримаємо зусилля на штоку пневмокамери:

$$Q = \frac{\pi}{4} (16^2 - 2,6^2) \cdot 4 - (10 \cdot 3,14 \cdot 2,6 + 33,5 + 20,0) = 647,5 \text{ кгс} = 6475 \text{ Н.}$$

Таким чином, пневмокамера з діаметром 160 мм забезпечує вихідне зусилля на штоку 6475 Н, що більше необхідної сили закріплення 4858 Н і, отже, в процесі обробки відбудеться надійне закріплення заготовки.

До розрахункових параметрів, що в більшій мірі вплинуть на досягнення заданих допусків оброблюваної заготовки, буде відхилення від паралельності установчої площини пристосування щодо площини його основи. Недотримання цієї вимоги може привести до відхилення від перпендикулярності осей оброблюваних отворів відносно площини лівого торця заготовки. Допуск на відхилення від перпендикулярності осей оброблюваних отворів відносно площини торця заготовки ми прийняли рівним $T_{\perp} = 0,25$ мм.

Тож допустиму похибку виготовлення верстатного пристрою визначимо за формулою [6, 11]:

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

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

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

E_{σ} – похибка базування, $E_{\sigma\perp} = 0$;

E_z – похибка закріплення, в нашому випадку напрямок сили закріплення не впливає на дотримуваний параметр: $E_z = 0$;

E_y – похибка установки пристрою на столі верстата, беремо $E_y = 20$ мкм;

E_{zn} – похибка від зношення установчих елементів пристрою; беремо $E_{zn} = 20$ мкм;

E_n – похибка установки й прекоосу інструмента на верстаті; беремо $E_n = 20$ мкм;

$K_2 = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки;

$\omega = 200$ мкм [9] – середня економічна точність обробки.

Таким чином маємо:

$$E_{np} = 250 - 1,2 \cdot \sqrt{0 + 0 + 20^2 + 20^2 + 20^2 + (0,8 \cdot 200)^2} = 53 \text{ мкм.}$$

З урахуванням отриманих даних приймаємо допуск на відхилення від паралельності установчої площини пристосування щодо площини його основи в межах 0,05 мм.

Будова пристрою. Спроектоване пристосування складається з литого, коробчастої форми корпусу 6, у верхній, центральній частині якого за допомогою чотирьох гвинтів 24 встановлено опорне кільце 4 і змінне кільце 3. У середині зазначених кілець по циліндричній напрямній корпусу 6, рухомо в осьовому напрямку встановлено конус 5, з двома посадочними конічними поверхнями різних діаметрів, для установки заготовки на різних установках даної операції. При цьому, конус 5 підтискається знизу пружиною 13. У нижній частині корпусу 6 по осі посадочних кілець 4, 3 і конуса 5 за допомогою восьми гвинтів 22 закріплено пневмокамеру односторонньої дії, що складається з кришки 7, діафрагми 2, двох шайб 15 і 16, штока 17 і зворотної пружини 12. У верхній частині штока 17 по його осі закріплено тягу 14, у верхній частині якої виконано дві кільцеві канавки для установки в них швидкоз'ємного прихвата 9. З боку, на верхній площині корпусу 6 за допомогою двох гвинтів 23 і двох штифтів 29 встановлений упор 1 з двома висувними базуючими болтами-упорами, розташованими під кутом 90° один до одного і на різній висоті. У нижній частині корпусу 6 по його поздовжній осі діаметрально протилежно встановлено дві призматичні шпонки 28, за якими пристосування базується в Т-подібних пазах вертикального обробного центра з ЧПК моделі V-1100. При цьому, для установки пристосування на столі верстата, у верхній частині корпусу 6 встановлено два рим-болти 27.

При базуванні заготовки на різних установках (з різних торців), остання встановлюється відповідним торцем на плоску поверхню опорного кільця 4 або змінного кільця 3 і центрується за відповідним більшому посадковому конусу 5

(для отвору $\varnothing 325H7$) або меншому посадковому конусу 5 (для отвору $\varnothing 150J7$), що підтискається пружиною 13. В результаті заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи. Останнього шостого ступеня свободи заготовка позбавляється при повороті навколо своєї осі на посадковому конусі 5 до упору з висувним, попередньо налаштованим, болтом-упором стійки-упору 1 пристосування. При цьому, для базування на різних установах на стійці-упорі 1 застосовується два регульованих по висоті та вильоту болти-упори. Після цього в верхню штокову порожнину пневмокамери краном управління (на кресленні пристосування не вказано) подається стиснене повітря, яке переміщує діафрагму 2, шток 17 з тягою 14 і прихватом 9 вниз, здійснюючи закріплення заготовки за рахунок притискання останньої до опорного кільця 4 або 3. Після обробки заготовки її розкріплення відбувається в зворотній послідовності. Краном управління перебивається подача повітря у верхню порожнину пневмокамери і під впливом зворотної пружини 12 діафрагма 2 зі штоком 17, тягою 14 і прихватом 9 переміщуються вгору, звільняючи заготовку від сил закріплення.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Згідно з завданням, спроектуємо контрольно-вимірювальне пристосування (КВП) для контролю торцевого биття на верхньому торці ($\varnothing 359 / \varnothing 325H7$) і торці фланця ($\varnothing 425 / \varnothing 359$) «кронштейна Н06.78.30.03», допуски на які задані в межах 0,03 мм щодо внутрішньої поверхні Р ($\varnothing 150J7$), див. рисунок 1.1.

В цілому контроль торцевого биття поверхонь «кронштейна» не викликає будь-яких труднощів, оскільки проставлення відхилень розташування поверхонь вірна і є досить розвинені і точні базові поверхні. Однак, заданий допуск на торцеве биття в 0,03 мм не відповідає стандартному значенню. Найближче менше стандартне значення допуску становить 0,025 мм, що відповідає 6-му ступеню точності [1].

Продукція, що випускається за своїми техніко-економічними показниками відповідає сучасним вимогам діючих стандартів та технічних умов. Таку продукцію відносять до 1-ї категорії якості. Обмежимося 3-й категорією контролю [11]. Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно освоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю ГОСТ 20736-75. Встановимо наступні показники операції контролю: за обсягом – суцільний контроль; за часом – постійний; за структурою – одноразовий [11]. Виходячи з цього, а також в навчальних цілях спроектуємо нерозбірне спеціальне пристосування.

Торцеве биття визначається сумарним відхиленням торцевої поверхні від площинності і відхиленням цієї поверхні від перпендикулярності щодо базової осі і чисельно дорівнює різниці між найбільшою та найменшою відстанями від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі. Торцеве биття іноді визначають на заданому діаметрі d [1].

Виходячи з вищевказаного, при контролі торцевого биття, перше визначатимемо по лівому торцю фланця «кронштейна» на колі діаметром 415 мм, а друге – по лівому торцю деталі на колі діаметром 350 мм. Таким чином, за контрольовані поверхні, як вже зазначалося вище, беремо ліві торці фланця і всієї деталі «кронштейн» на колах діаметрами 290 мм і 240 мм, відповідно. Визначимо кількісно параметри точності цих поверхонь.

Положення лівого торця фланця визначається розміром 20 мм без вказівки точності. Тому, виходячи з технічних вимог креслення «кронштейна Н06.78.30.03» обговорюємо його точність за 14 квалітетом з допуском: $T_{20} = 0,52$ мм. При цьому, номінальний розмір – 20 мм, верхнє відхилення $e_s = 0$ мм; нижнє відхилення $e_i = -0,52$ мм [1]. У свою чергу, лівий торець деталі виконаний в розмір 330 мм з допуском 0,3 мм. Однак вказаний допуск не відповідає стандартному значенню. Найближчий менший стандартний допуск – 0,23 мм, що відповідає 10 квалітету точності. При цьому верхнє відхилення $e_s = 0$ мм; нижнє відхилення $e_i = -0,23$ мм [1]. Точність форми контрольованих поверхонь кресленням «кронштейна» не регламентується. Тому беремо відхилення від площинності в межах допуску на

розглянуті розміри. За точністю взаємного розташування поверхонь на кресленні «кронштейна» розглядаються торцеві биття лівих поверхонь фланця $\varnothing 425 / \varnothing 359$ і $\varnothing 359 / \varnothing 325H7$ щодо внутрішньої поверхні $\varnothing 150J7$ з допусками в 0,03 мм, що відповідає 6-му ступеню точності [1]. Шорсткість торцевих поверхонь задано на кресленні «кронштейна» і дорівнює вона для лівої поверхні фланця $\varnothing 425 / \varnothing 359$ 3,2 мкм за критерієм Ra, а для лівого торця деталі $\varnothing 359 / \varnothing 325H7$ – 1,6 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789-73, що цілком відповідає точності розглянутих поверхонь.

З усієї сукупності поверхонь претендувати на базові можуть лише дві поверхні: внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 150J7$, щодо якої і заданий контроль торцевого биття, а також – правий торець деталі $\varnothing 200 / \varnothing 150J7$. Цей вибір обумовлений можливістю поєднання конструкторської та вимірювальної баз, що визначають контроль заданого параметра. Визначимо кількісно параметри точності цих поверхонь.

Параметри точності торцевої поверхні, виконаної в розмір 330_{-0,3} мм, ми розглянули раніше. Тому тепер розглянемо точність виготовлення циліндричної поверхні $\varnothing 150J7$. Поверхня $\varnothing 150J7$ виконана з точністю по IT7 і допуском 0,04 мм, ГОСТ 25347-82 [1]. Номінал розміру – 150 мм. Верхнє відхилення ES = +0,02 мм; нижнє відхилення EI = -0,02 мм. Точність форми циліндричної поверхні на кресленні «кронштейна» не обумовлено і ми приймаємо її в межах допуску на відповідний розмір: $\varnothing 150J7$. Точність взаємного розташування розглянутих поверхонь на кресленні «кронштейна» обумовлено торцевим биттям лівих торців фланця і деталі в цілому щодо циліндричної поверхні $\varnothing 150J7$ з допусками в 0,03 мм, що відповідає 6-му ступеню точності згідно з СТ СЕВ 636-77 [1]. Шорсткість циліндричної поверхні $\varnothing 150J7$ «кронштейна» задана на кресленні і дорівнює 1,6 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789-73, що цілком відповідає розмірній точності поверхні.

Аналізуючи параметри точності базових поверхонь приходимо до висновку про їх придатність на роль базових для проведення операцію контролю.

(всього п'ять), позбавляючи поступального переміщення уздовж осі Z. Вакантним залишається обертання навколо власної центральної осі (осі Z).

Якщо побудувати таблицю жорстких односторонніх координатних зав'язків (див. таблицю 2.7), то можна побачити, що за такої схеми базування деталі буде реалізовано 9 односторонніх зав'язків ($x, x', y, y', z', \omega_x, \omega'_x, \omega_y, \omega'_{yz}$) й вільними залишаються тільки три (z, ω_z, ω'_z). Оскільки вибрана схема базування дозволяє забезпечити суміщення конструкторських та вимірювальних баз, то похибка базування під час вимірювання торцевого биття зазначених поверхонь $\varepsilon_{\delta} \hat{=} 0$ мм.

Таблиця 2.7 – Таблиця односторонніх координатних зав'язків

Характер зв'язку	Індекс односторонньої координати											
	x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Реакція опори	R	R	R	R		R	R	R	R	R		

У процесі контролю торцевого биття поверхонь «кронштейна», вісь деталі буде розташовано вертикально, в зв'язку з чим сили гравітації будуть притискати деталь до опорних поверхонь КВП. При цьому, для контролю торцевого биття поверхонь деталі необхідно провертати навколо своєї осі, але зусиль закріплення, як таких, докладати не потрібно, в зв'язку з чим похибки закріплення будуть відсутні.

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

При виборі контактної або безконтактної способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі є досить високими (чавун СЧ 20 ГОСТ 1412-85) і контрольовані поверхні без помітних деформацій можуть сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому

незначне вимірювальне зусилля сприятиме видаленню бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

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

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

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

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина допуску T контрольованого параметра, зокрема, торцевого биття контрольованої поверхні – $T_{\uparrow} = 0,03$ мм:

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

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

Для 6-го ступеня точності беремо $K = 0,3$ [12]:

$$[\delta_{\text{вим}}] = 0,3 \cdot 30 = 9 \text{ мкм.}$$

Беремо найближче стандартне значення похибки згідно з ГОСТ 8.051-81 [1]: 8 мкм.

Визначимо допустиму похибку засоби вимірювання (інструментальну похибку) для контролю торцевого биття [12]:

$$[\Delta_{\text{ін}}] = 0,7 \cdot [\delta_{\text{вим}}] = 0,7 \cdot 8 = 5,6 \text{ мкм.}$$

Ціну поділки ЗВ беремо залежно від допустимої інструментальної похибки ЗВ:

$$C = \Delta_{ін} = 5,6 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали (а) беремо 1,5 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Тут необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і понад усе – освітленість.

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

$$A = 4 \cdot IT = 4 \cdot 30 = 120 \text{ мкм} = 0,12 \text{ мм.}$$

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

Вимірювальне зусилля $P_{зус}$ обумовлюється характером контрольованих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Оскільки обмеження на величину $P_{зус}$ відсутні, беремо $P_{зус} = 15 \text{ Н}$. Допустиме коливання вимірювального зусилля беремо в межах $\Delta P_{зус} = 500 \text{ сН}$.

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

$$t(P) = 1250 \cdot 4 = 5000 \text{ циклів.}$$

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

Згідно сталим цінами на контрольно-вимірювальні засоби вітчизняного і імпортного виробництва, встановимо витрати на придбання СІ: $\text{Ц} = 200$ грн.

Пошук ЗВ здійснюємо відповідно до паспортів й таблиць технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким ЗВ за показниками для контролю торцевого биття є індикатор годинникового типу ЗИЧТ ГОСТ 577-68, що має такі метрологічні характеристики: $\Delta_{\text{ін}} = 0,005$ мм; $C = 0,005$ мм; $A = 0,6$ мм; $B = 0,6$ мм; $P_{\text{зус}} = 10$ Н; $a = 2,0$ мм; $t(P) = 100000$; $p = 0,9$; $\text{Ц} = 1100$ грн.

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

$$\Delta_{\text{ін}} = 0,005 \text{ мм} < 0,0056 \text{ мм} = [\Delta_{\text{ін}}];$$

$$C = 0,005 \text{ мм} < 0,0056 \text{ мм} = [C];$$

$$P_{\text{зус}} = 10 \text{ Н} < 15 \text{ Н} = [P_{\text{зус}}];$$

$$a = 2 \text{ мм} > 1,5 \text{ мм} = [a];$$

$$A = 0,6 \text{ мм} > 0,12 \text{ мм} = [A];$$

$$B = 0,6 \text{ мм} > 0,5 \text{ мм} = [B];$$

$$P = 0,9 > 0,85 = [P];$$

$$t(P) = 100000 > 5000 = [t(P)];$$

$$\text{Ц} = 1100 \text{ грн} < 1600 \text{ грн} = [\text{Ц}].$$

Інші ЗВ мають надлишкову точність і меншу надійність. Тому для нашого КВП найбільш підходящим вважаємо індикатор годинникового типу ЗИЧТ ГОСТ 577-68.

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

$$\Delta_{\phi} = (\Delta_y^2 + \Delta_{\text{ін}}^2 + \Delta_{\text{в}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{\text{зус}}^2)^{1/2},$$

де Δ_y – похибка установки деталі в КВП:

$$\Delta_y = (\Delta_6^2 + \Delta_3^2 + \Delta_{\text{пр}}^2)^{1/2},$$

Δ_6 – похибка базування, для базування деталі по торцю в осьовому напрямку

$$\Delta_6 = 0;$$

Δ_3 – похибка закріплення; за умови відсутності зусилля закріплення беремо

$$\Delta_3 = 0;$$

$\Delta_{\text{пр}}$ – похибка виготовлення елементів КВП; для вибраної схеми контролю ця похибка буде визначатися похибкою виготовлення упорних підшипників. В нашому за умови селективного складання підшипників маємо $\Delta_{\text{пр}} = 5$ мкм;

$$\Delta_y = \Delta_{\text{пр}} = 5 \text{ мкм};$$

$\Delta_{\text{ін}}$ – інструментальна похибка ЗВ. Для індикатора ЗИЧТ беремо $\Delta_{\text{ін}} = 5$ мкм;

$\Delta_{\text{в}}$ – похибка спричинена використанням важільних передаточних пристроїв.

За умови відсутності важільних пристроїв в конструкції КВП беремо $\Delta_{\text{в}} = 0;$

Δ_t – похибка, викликана змінами температури навколишнього середовища. За умови відсутності перепаду температури матеріалів деталі та КВП беремо $\Delta_t = 0;$

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі. За умови відсутності використання еталонних зразків беремо $\Delta_e = 0;$

$\Delta_{\text{зус}}$ – похибка спричинена вимірювальним зусиллям за умови використання контактного методу вимірювання. За умови $P_{\text{зус}} = 10\text{Н}$ маємо:

$$\Delta_{\text{зус}} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{\text{зус}}^2}{r}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{10^2}{5}} = 0,95 \text{ мкм},$$

де K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу вимірювального наконечника. За умови використання твердосплавного наконечника беремо $K = 0,81$;

$P_{\text{зус}}$ – зусилля вимірювання, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм.

Таким чином, сумарна фактична похибка при контролі торцевого биття становитиме:

$$\Delta_{\phi} = (5^2 + 5^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0,95^2)^{1/2} \approx 7,1 \text{ мкм}.$$

Таким чином $\Delta_{\phi} = 7,1$ мкм при $[\delta_{\text{вим}}] = 8$ мкм, тож необхідна умова забезпечення точності контролю виконується – $[\delta_{\text{вим}}] \geq \Delta_{\phi}$.

Будова та принцип дії КВП. Спроектований КВП складається з корпусу 2, по краях якого з допомогою чотирьох гвинтів 5 і чотирьох штифтів 7 встановлені і закріплені дві індикаторні стійки 1 з двома індикаторами 8 пристосування. У середній частині корпусу 2 в двох упорних підшипниках кочення 9 і 10 вертикально встановлено оправку 3 зі стопорною гайкою 4, що фіксується від повороту навколо своєї осі за допомогою гвинта 6.

Контрольований «кронштейн» встановлюється вертикально на жорстку оправку 3 по внутрішній поверхні $\varnothing 150\text{J7}$, спираючись своїм нижнім торцем на її посадковий фланець. Потім до контрольованих поверхонь підводяться вимірювальні наконечники індикаторів 8. Після повороту деталі на 360° по різниці найбільшого і найменшого показань кожного з індикаторів і судять про величину торцевого биття контрольованих поверхонь «кронштейна».

2.11 Висновок

В результаті досліджень з підвищення ефективності існуючої технології виготовлення деталі виконано такі види робіт:

1. Шляхом техніко-економічного обґрунтування доведено ефективність отримання заготовки литтям у піщано-глинисті форми, що відповідає базовому способу отримання заготовки. Табличним способом визначені розміри вилівка та припуски на обробку поверхонь заготовки.
2. Запропоновано раціональний з точки зору дотримання принципів поетапності обробки поверхонь, диференціації та інтеграції операцій, суміщення та постійності технологічних баз, підвищення рівня механізації та автоматизації, маршрут оброблення заготовки.
3. Виконано уточнення операційних припусків та розмірів на оброблення поверхні отвору діаметром 150Js7.
4. Обґрунтовано вибір схем базування і закріплення заготовки, вибір металорізального устаткування, технологічної оснастки на операції токарну карусельну з ЧПК та комплексну на обробних центрах з ЧПК.
5. Визначені режими різання та технічні норми часу на операції токарну карусельну з ЧПК та комплексну на обробних центрах з ЧПК.
6. Спроектовано верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції комплексній на обробних центрах з ЧПК. Для підвищення ефективності запропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки пропонується провести дослідження його моделі шляхом статичного та динамічного аналізу з використанням методів скінчених елементів.
7. Спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття поверхонь деталі.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОРОЮ ДЛЯ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ ШЛЯХОМ СТАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ

3.1 Актуальність, мета і завдання дослідження. Методи дослідження

Проектування ставить перед собою завдання, що зазвичай не має суворого формулювання. Його місце зазвичай займають загальні вимоги, які в цілому можна звести до таких [12]:

1. Ефективність: проектована конструкція повинна найкращим чином відповідати своєму призначенню.

2. Надійність: елементи конструкцій і вся конструкція в цілому повинні без пошкоджень протистояти зовнішнім впливам (збуренням) і тим умовам, в яких вони будуть знаходитися.

3. Довговічність: повинна бути забезпечена безвідмовна робота конструкції протягом спеціально встановленого раціонального терміну її експлуатації.

4. Технологічність: при проектуванні конструкції повинні бути доцільно враховані існуючі можливості її виготовлення, транспортування і монтажу, а також передбачені зручність експлуатації й посилення конструкції.

5. Естетичні вимоги: конструкція повинна відповідати певним умовам технічної естетики.

6. Економічність: витрати на матеріали, виготовлення, транспортування, монтаж та експлуатацію конструкції повинні бути мінімальними.

7. Обмеження: сюди відносять можливі обмеження щодо терміну проектування і виготовлення об'єкту, обмеження в ресурсах і в виборі матеріалів тощо.

Перераховані вимоги є суперечливими в тому сенсі, що прагнення найбільш повно задовольнити одній з них призводить до невиконання інших.

Для розв'язання кожного завдання проекту в розпорядженні інженера, як правило, є кілька шляхів, тому під час проектування немає однозначних рішень. Це, з одного боку, полегшує завдання, але, з іншого боку, змушує продумано і обережно поєднувати деталі рішення. Зазвичай потрібні «солідний досвід, прониклива інтуїція, винахідливість і спритність, щоб пов'язати всі багатобічні й суперечливі вимоги у вдалому вирішенні. Тому, не без підстав, іноді кажуть, що проектування – це мистецтво» [12].

Подібні завдання називають завданнями оптимального проектування, так як їх мета полягає в отриманні найкращого проектного рішення за умови дотримання суперечливих вимог.

Серед завдань оптимального проектування конструкцій найбільший розвиток отримало завдання про мінімум ваги або вартості конструкції за умови забезпечення вимог надійності.

Таким чином основне питання оптимального проектування конструкцій збігається з центральним питанням проектної справи – як слід призначити параметри проєктованого об'єкта, щоб здійснити його максимальну техніко-економічну ефективність при забезпеченні умов надійності, довговічності, технологічності, естетичних вимог та інших обмежень. При проектуванні це питання до сих пір вирішується багато в чому традиційно або інтуїтивно.

Все вищесказане стосується і проектування верстатних пристроїв: не зважаючи на велику кількість рекомендацій щодо вибору компоновки, використання різноманітних уніфікованих конструктивних рішень, велика кількість завдань розв'язуються проектантом на інтуїтивному рівні. Завдяки наявності сучасних методів досліджень, таких як метод скінчених елементів, наявності потужних пакетів математичного аналізу, таких як Ansys Workbench, проектант має чудову можливість щодо підтвердження правильності або заперечення прийнятих рішень, шляхом досліджень пропонованої конструкції, зокрема, верстатного пристрою, методами статичного та динамічного аналізу.

З урахуванням сказаного, можна сформулювати мету даного дослідження, що полягає у підвищенні ефективності пропонованої конструкції верстатного

пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції, шляхом виявлення її слабких місць з точки зору наявності критичних деформацій окремих елементів конструкції та надлишкових внутрішніх напружень в їх матеріалі, та формулювання рекомендацій щодо структурно-параметричної оптимізації як досліджуваної конструкції, так і технологічної операції в цілому.

Для реалізації зазначеної мети дослідження необхідно виконати такі завдання:

- 1) побудувати твердотільну модель досліджуваної конструкції;
- 2) імпортувати модель досліджуваної конструкції до пакету математичного аналізу Ansys Workbench;
- 3) побудувати скінченоелементну модель досліджуваної конструкції;
- 4) задати граничні обмеження щодо модель досліджуваної конструкції;
- 5) виконати статичний аналіз моделі досліджуваної конструкції;
- 6) виконати динамічний аналіз моделі досліджуваної конструкції;
- 7) сформулювати висновки та рекомендації щодо коригування структури та параметрів досліджуваної конструкції за необхідності.

Побудову твердотільної моделі досліджуваної конструкції верстатного пристрою виконаємо з використанням графічного пакету Компас-Графік, див. рисунок 3.1. При цьому до складу моделі необхідно додати тільки ті елементи системи «пристрій-заготовка», що беруть участь у реалізації силової взаємодії: корпус, упор, інші установчі елементи, прихват, тяга, заготовка.

Імпорт твердотільної моделі до пакету Ansys Workbench дозволяє задати геометрію досліджуваної конструкції, див. рисунок 3.2.

Побудова скінченоелементної сітки, див. рисунок 3.3, здійснюється в автоматичному режимі: мінімальна довжина елемента – 0,047 мм, загальна кількість скінчених елементів – 88404.

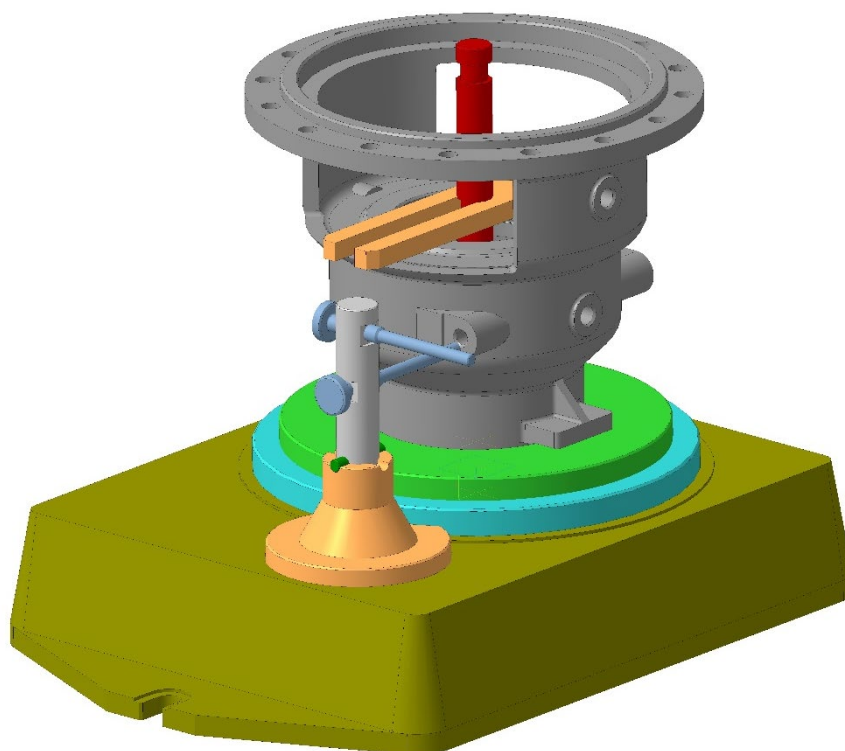


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель досліджуваної конструкції

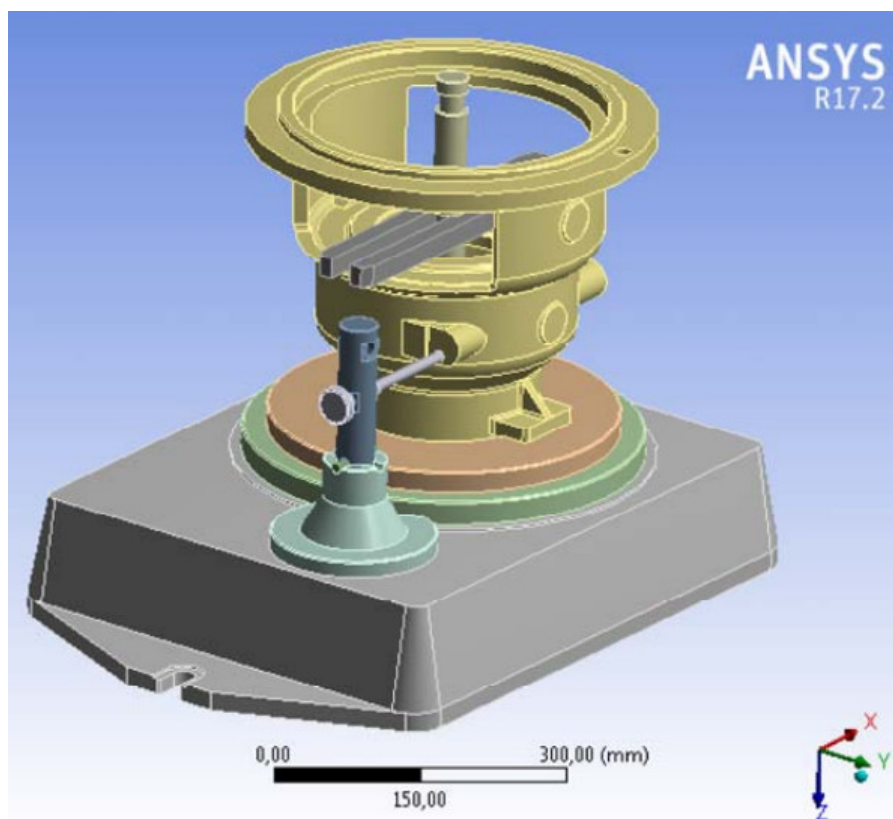


Рисунок 3.2 – Імпорт моделі досліджуваної конструкції до пакету математичного аналізу Ansys Workbench

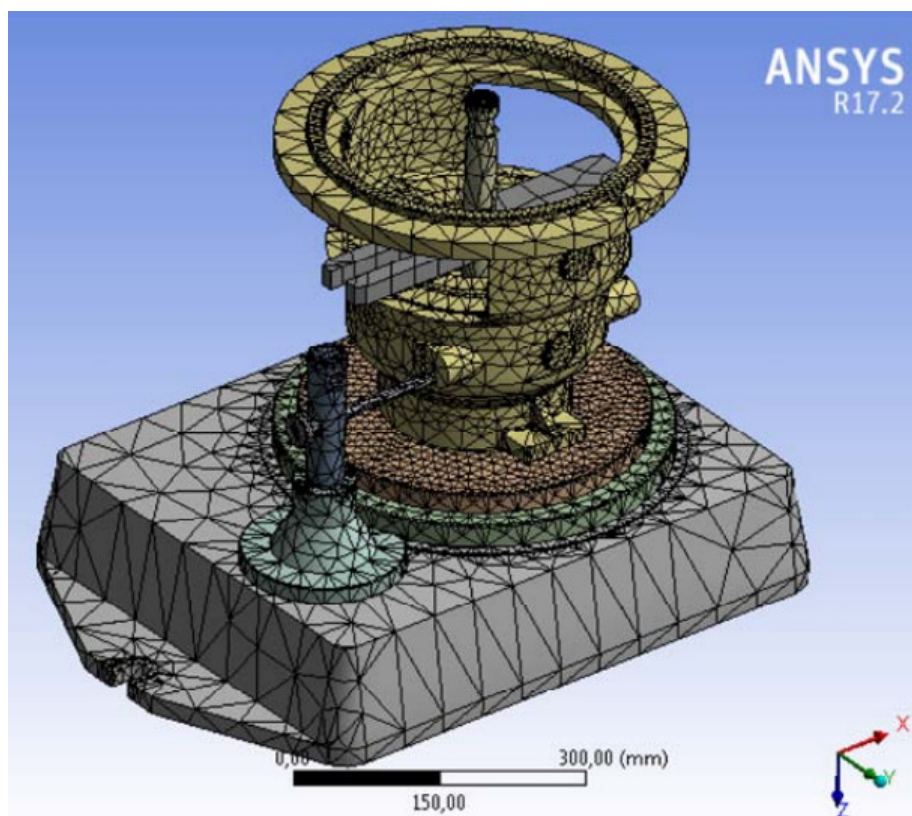


Рисунок 3.3 – Побудова скінченоеlementної сітки досліджуваної моделі

Для підвищення рівня адекватності досліджуваної моделі необхідно задати відповідні граничні обмеження: величину та напрямок дії сили (моменту) різання, що діє на заготовку, величину та напрямок дії сили закріплення, що діє на заготовку, а також характеристики спряжених поверхонь елементів верстаного пристрою.

З п. 2.9 цієї роботи маємо: під час оброблення отвору діаметром 18 мм свердлінням на заготовку діє момент різання $M_p = 32,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$, див. рисунок 3.4. Для забезпечення стійкого положення заготовки та компенсації моменту різання на заготовку з боку прихвата діє сила закріплення, що виникає під дією тяги з силою $P = 6475 \text{ Н}$, див. рисунок 3.5.

Характеристики спряжених поверхонь елементів верстаного пристрою, задаємо, як тертя ковзання (Friction) з коефіцієнтом тертя 0,2, див. рисунки 3.6 та 3.7.

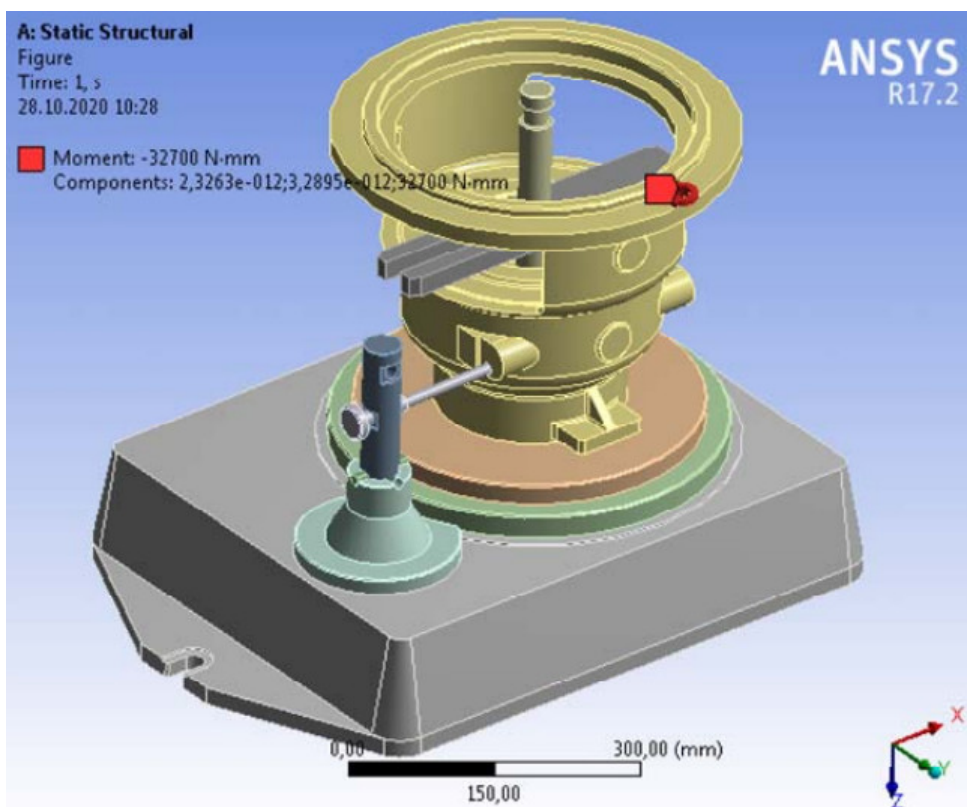


Рисунок 3.4 – Дія моменту різання на заготовку

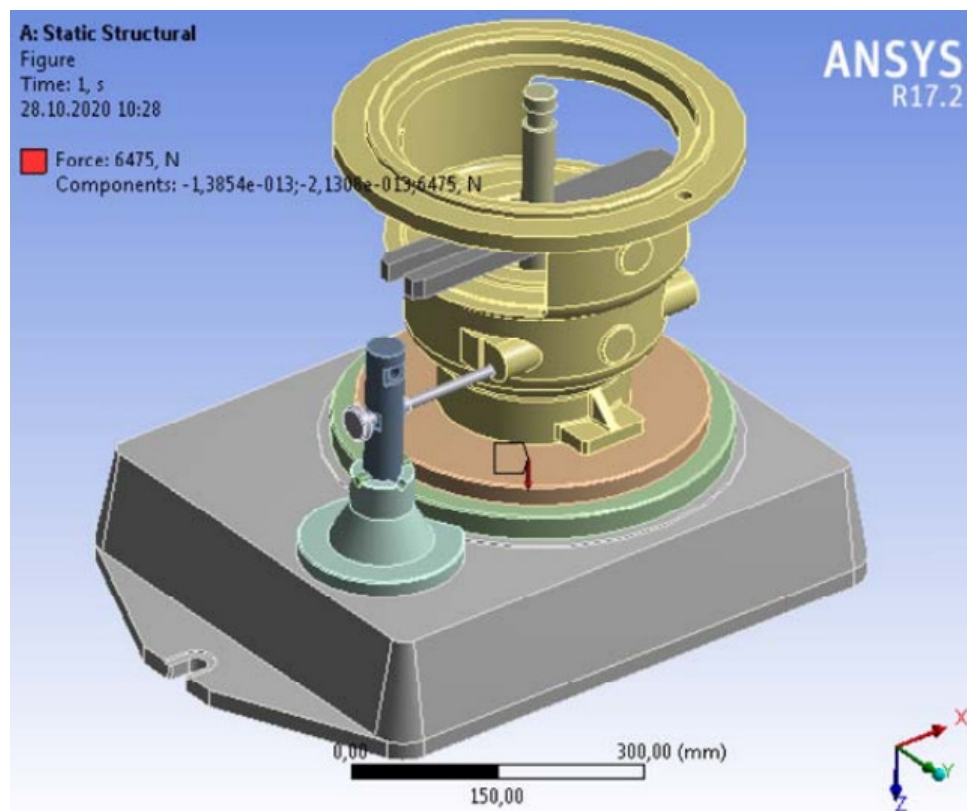


Рисунок 3.5 – Дія сили закріплення на заготовку

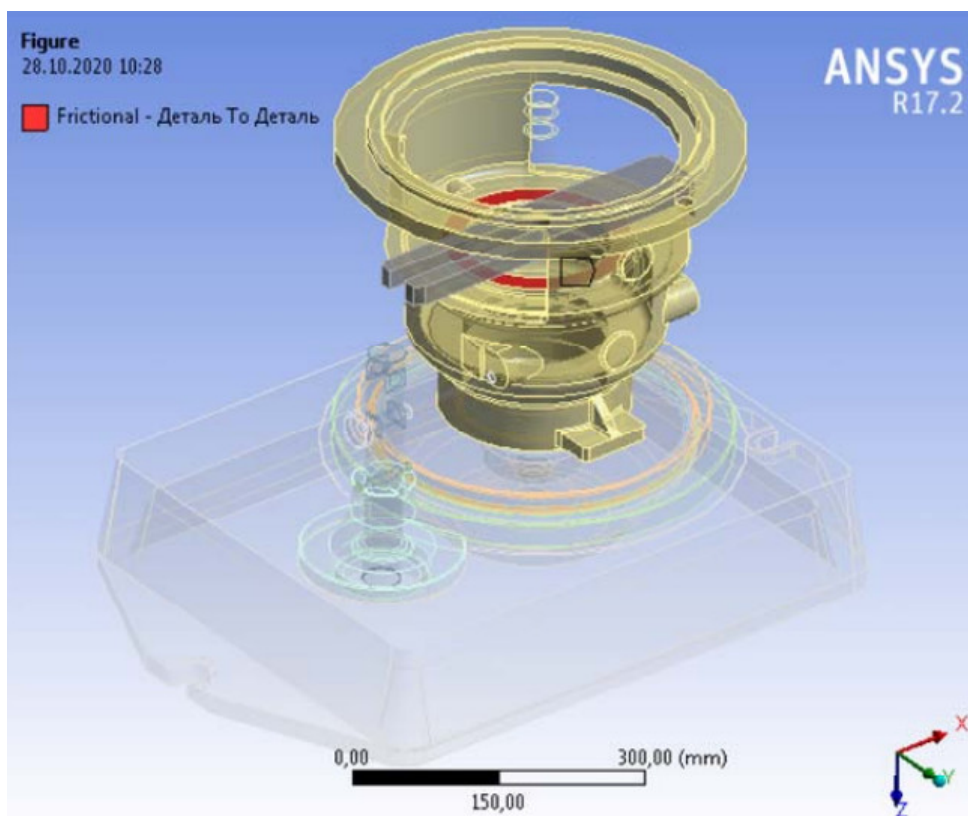


Рисунок 3.6 – Характеристика контакту між прихватом та заготовкою

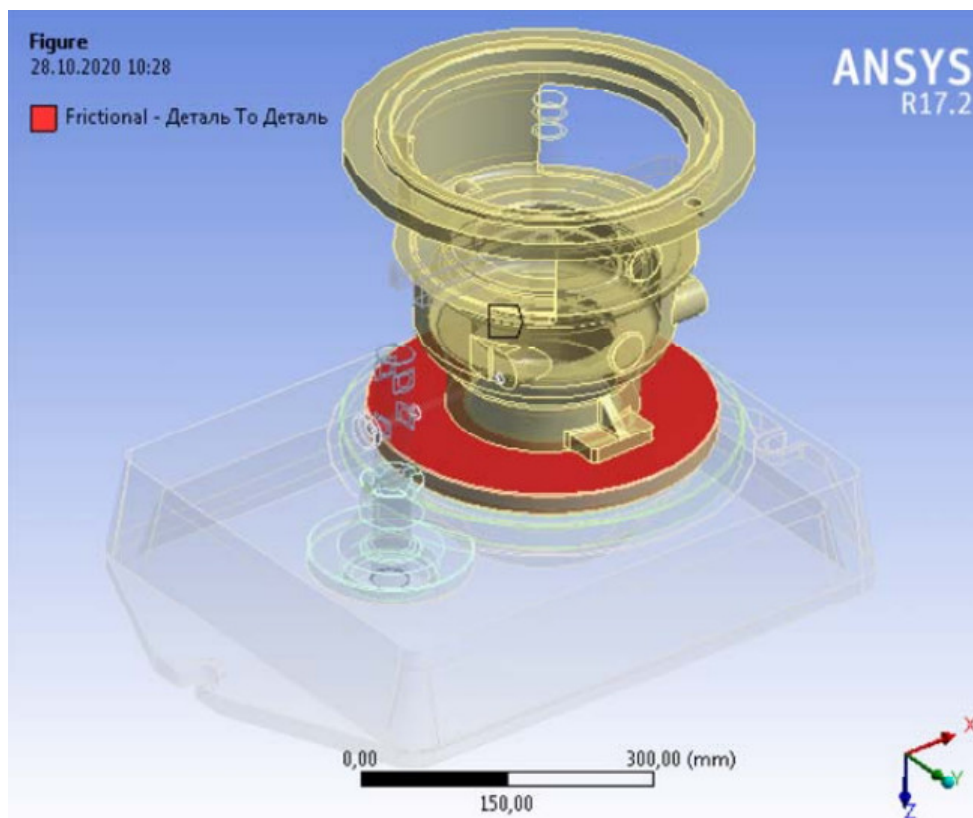


Рисунок 3.7 – Характеристика контакту між заготовкою та опорою

До граничних обмежень також можна віднести характеристики матеріалів елементів досліджуваної системи. Фізико-механічні властивості матеріалів беремо за замовчуванням: межа міцності – 460 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа.

3.2 Статичний аналіз системи «пристрій-заготовка». Аналіз результатів дослідження

В результаті проведення статичного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» отримані епюри деформацій. див. рисунок 3.8 та внутрішніх напружень, див. рисунок 3.9.

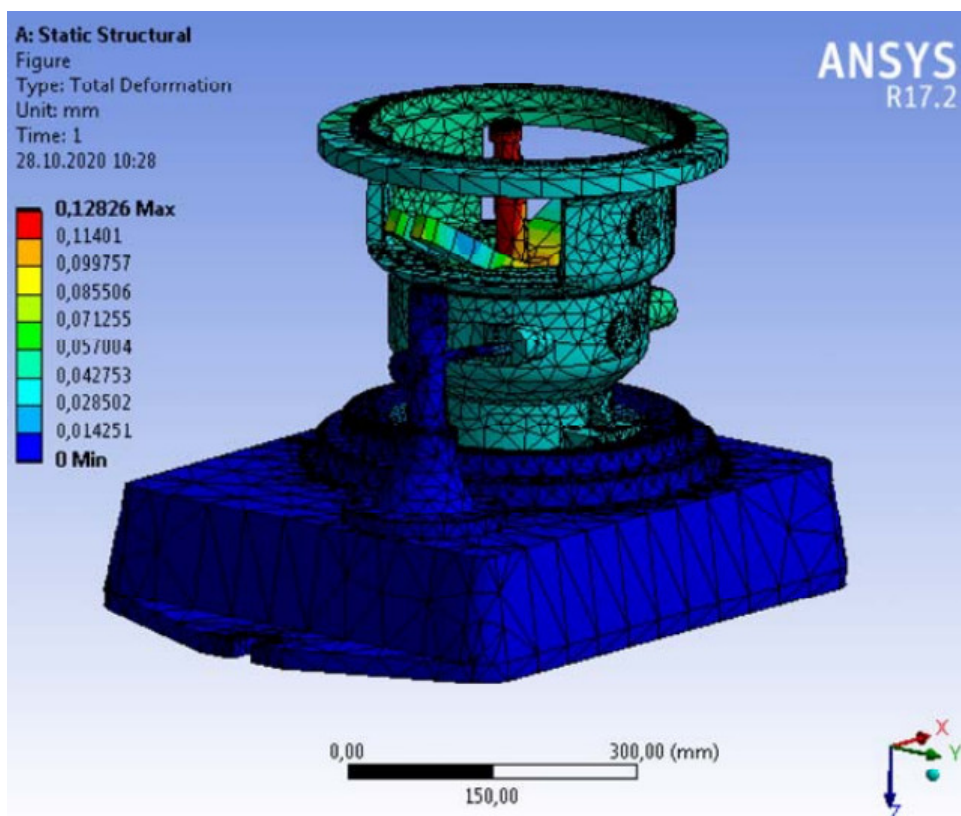


Рисунок 3.8 – Епюра деформацій досліджуваної конструкції

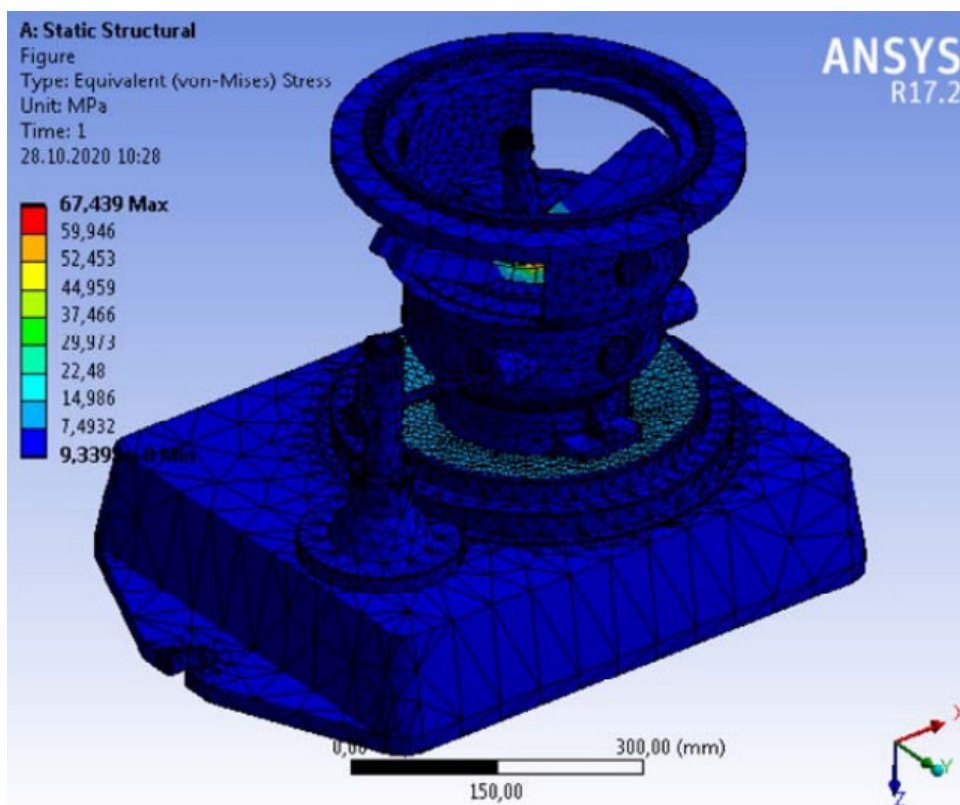


Рисунок 3.9 – Епюра внутрішніх напружень досліджуваної конструкції

Аналіз епюри деформацій показав, що найбільші деформації спостерігаються для деталі «прихват» – (0,1 – 0,11) мм, що можна вважати прийнятним. Деформації інших елементів досліджуваної системи практично відсутні, що говорить про досить високу їх жорсткість.

Аналіз епюри внутрішніх напружень показав, що найбільші напруження також спостерігаються для деталі «прихват» – 67 МПа, що також можна вважати прийнятним порівняно з міцністю конструкційної сталі (450 МПа). Незначні внутрішні напруження спостерігаються в матеріалі «опорної шайби» (до 15 МПа), що також є прийнятним.

Експериментальне дослідження дозволило визначити, що за рахунок збільшення товщини «прихвата» з 22 мм до 27 мм його деформації зменшилися до (0,08 – 0,09) мм (див. рисунок 3.10), а внутрішні напруження зменшилися – до 43 МПа (див. рисунок 3.11). Збільшення товщини «опорної шайби» з 12 мм до 13 мм також дозволило помітно знизити рівень внутрішніх напружень – до (5 – 10) МПа.

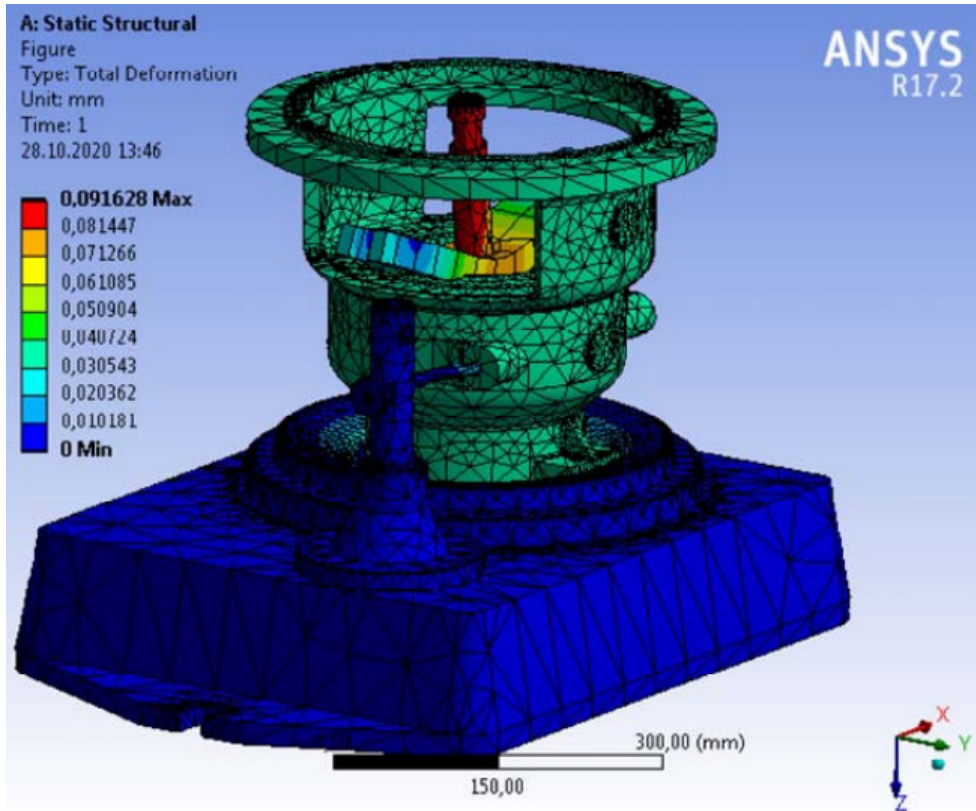


Рисунок 3.10 – Епюра деформацій досліджуваної конструкції (виконання 2)

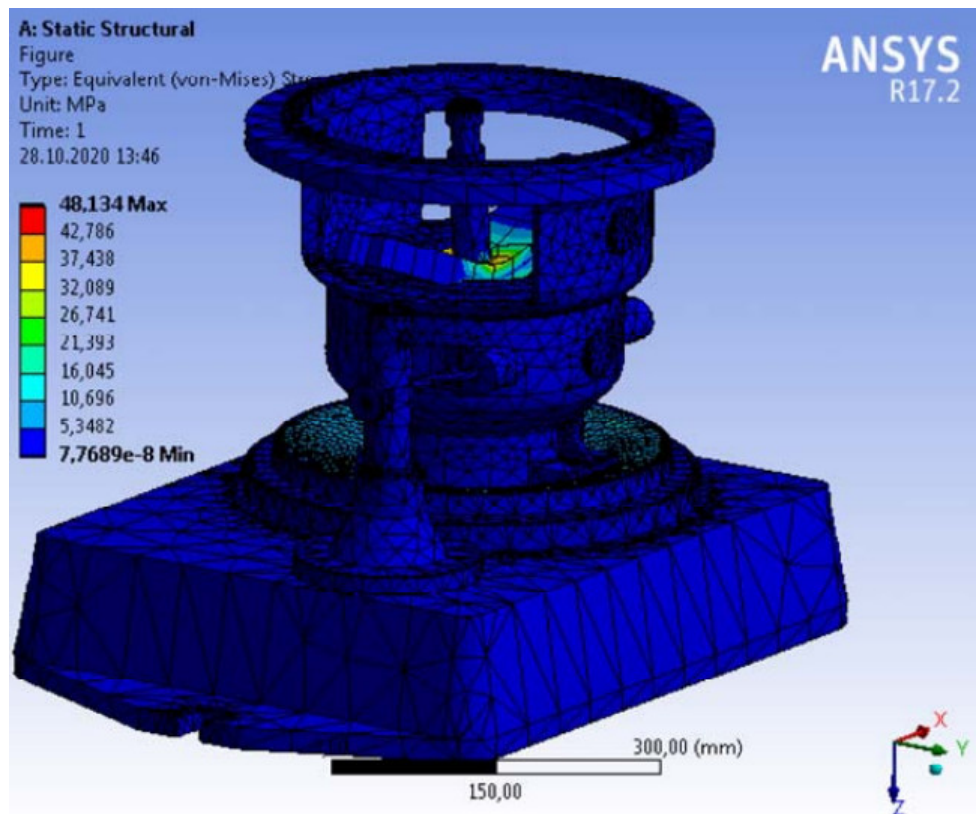


Рисунок 3.11 – Епюра внутрішніх напружень досліджуваної конструкції (виконання 2)

3.3 Динамічний аналіз системи «пристрій-заготовка». Аналіз результатів дослідження

В результаті проведення динамічного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» отриманий ряд частот перших шести форм власних коливань, див. рисунок 3.12, та епюри деформацій, див. рисунки 3.13, 3.14.

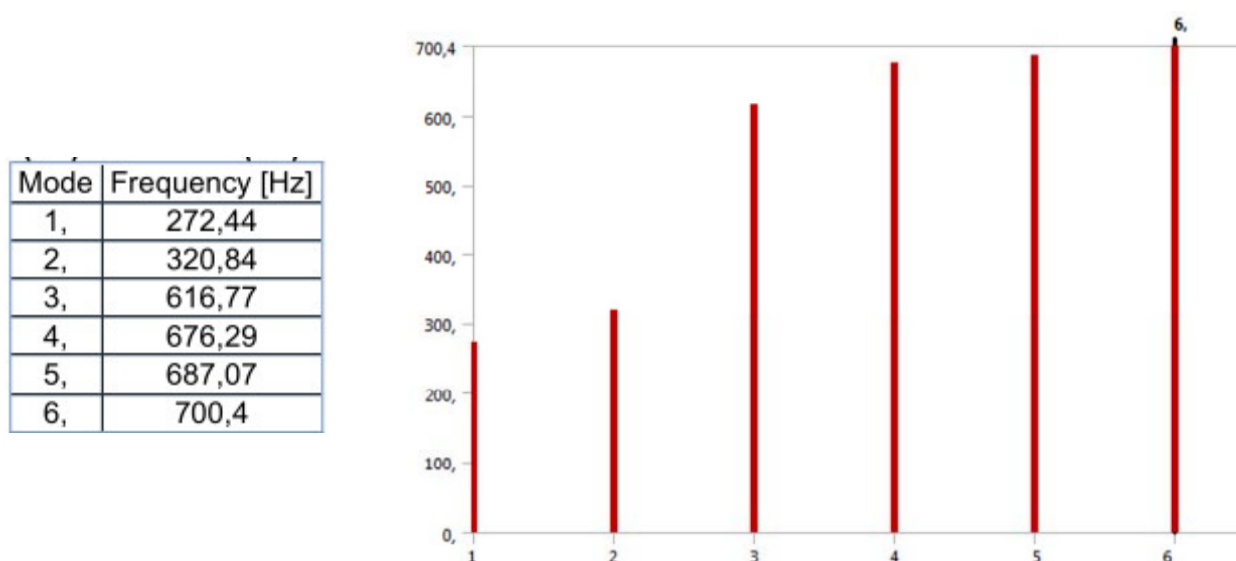


Рисунок 3.12 – Ряд частот перших шести форм власних коливань досліджуваної системи

Як видно з рисунків 3.12 – 3.14, перші форми вільних коливань відповідають конструкції заготовки у взаємно перпендикулярних напрямках та мають величини 272 Гц та 320 Гц. Те, що перші форми коливань відповідають деформаціям саме заготовки, опосередковано говорить про недостатню жорсткість її конструкції у співвідношенні до її маси.

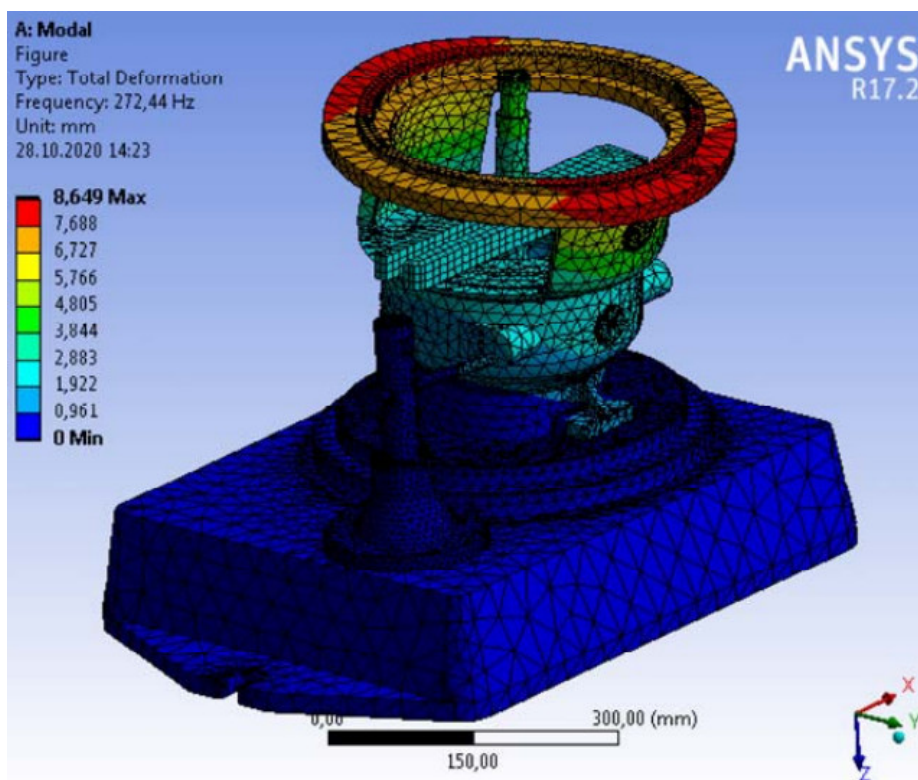


Рисунок 3.13 – Епюра деформацій досліджуваної системи
(перша форма власних коливань)

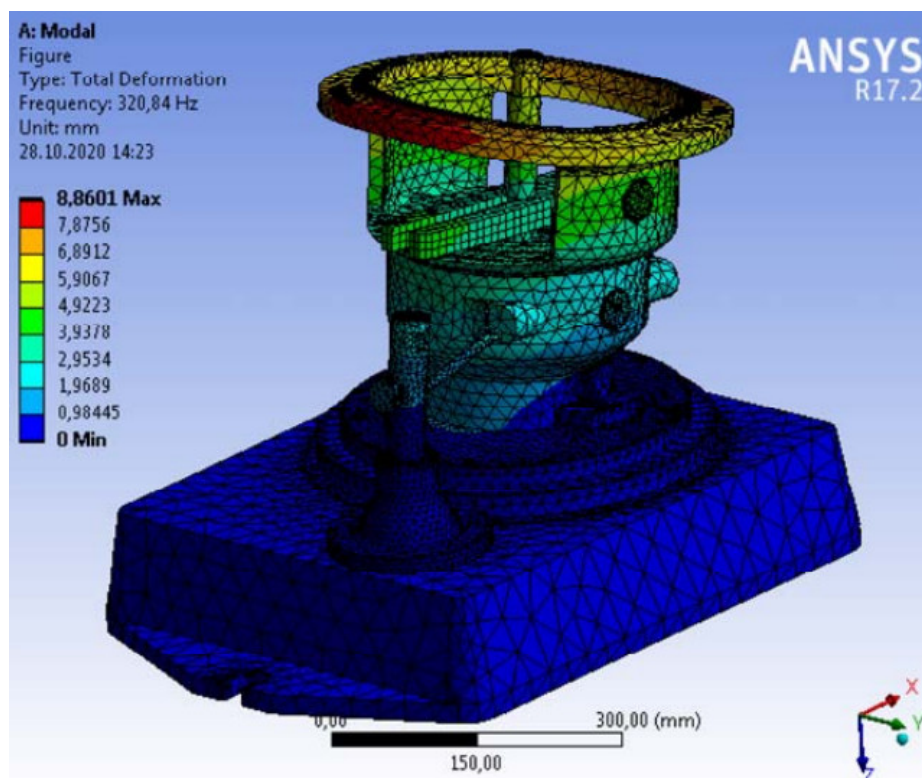


Рисунок 3.14 – Епюра деформацій досліджуваної системи
(друга форма власних коливань)

Відомо, що співпадіння частот вільних та вимушених коливань призводить до появи резонансу в коливальній системі. В результаті амплітуда коливань такої системи може збільшитися до критичного рівня. Для конструкції досліджуваної системи «пристрій-заготовка» поява резонансу може призвести до втрати стійкості заготовки під час оброблення її поверхонь.

Для визначення ймовірності появи резонансу необхідно визначити можливі джерела вимушених коливань, визначити частоти цих коливань, та порівняти їх величини з частотами перших форм власних коливань досліджуваної системи (співпадіння вимушених та власних коливань на низьких частотах є найбільш імовірним).

Так, джерелами вимушених (періодично повторюваних) коливань при використанні технологічних оброблювальних систем, можуть бути переривчасте різання, дисбаланс обертових частин верстата та інструмента, приводи верстата, дефекти в механізмах верстата, коливання, що передаються з боку інших верстатів.

На операції комплексній з ЧПК, для реалізації якої спроектовано досліджувану конструкцію верстатного пристрою, зокрема здійснюється свердління циліндричних отворів діаметром 18 мм. Зазвичай процес свердління не розглядають, як переривчастий процес різання. Тим не менше, якщо припустити, що початок свердління отвору характеризується як переривчастий процес, то частота вимушених коливань, спричинена свердлінням на частоті обертання свердла 355 об/хв (див. п. 2.7 цієї роботи) буде дорівнювати:

$$355 \cdot 2 / 60 = 11,8 \text{ Гц},$$

де 2 – кількість лез свердла;

60 – коефіцієнт для переведення «хвилин» в «секунди» для визначення частоти коливань у «Герцах».

Як бачимо, різниця між ймовірними частотами вимушених та вільних коливань є досить великою. Висновок: ймовірність виникнення явища резонансу на прийнятих режимах обробки поверхонь є дуже низькою.

Тим не менше, за результатами динамічного аналізу досліджуваної системи «пристрій-заготовка» можна сформулювати такі рекомендації: під час обробки поверхонь заготовки з використанням пропонованої конструкції верстатного пристрою, слід уникати режимів різання, що реалізуються з частотами 272 Гц та 320 Гц. Такі частоти вимушених коливань можуть бути реалізовані наприклад за умови різання двоперовим ріжучим інструментом (фрезою) з частотою обертання 8160 об/хв ($8160 \cdot 2/60 = 272$ Гц) або 9600 об/хв ($9600 \cdot 2/60 = 320$ Гц).

3.4 Висновок

В результаті дослідження пропонованої у п. 2.9 цієї роботи конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції технологічного процесу виготовлення «кронштейну» методами статичного та динамічного аналізу встановлено:

1. Пропонована конструкція верстатного пристрою в цілому відповідає вимогам міцності та жорсткості, що дозволяє забезпечити дотримання вимог креслення деталі під час оброблення її поверхонь в межах аналізованої операції (рівень пружних деформацій та внутрішніх напружень в елементах системи «пристрій-заготовка» є задовільним).

2. Ймовірність виникнення явища резонансу в елементах системи «пристрій-заготовка» за умови використання прийнятих в п. 2.7 цієї роботи режимів різання практично відсутня, що говорить про досить високу якість пропонованої конструкції верстатного пристрою з точки зору протидії динамічним навантаженням.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз базового технологічного процесу виготовлення «кронштейна Н06.78.30.03» дозволив виявити його основні недоліки, що полягають у дисбалансі окремих технологічних операцій з точки зору дотримання принципів диференціації та інтеграції, низькому рівні механізації та автоматизації, зокрема, використанні малопродуктивної висококваліфікованої ручної праці, що визначає низьку продуктивність виготовлення виробу та нестабільність технологічного процесу з точки зору дотримання технічних вимог креслення деталі.

2. В перспективному технологічному процесі механічного оброблення заготовки запропоновано раціональний маршрут оброблення заготовки. При цьому розв'язано питання надлишкової диференціації та інтеграції окремих технологічних операцій, обґрунтовано вибір способу отримання заготовки, визначені припуски та технічні вимоги на її виготовлення, обґрунтовано вибір схем базування та закріплення заготовки, вибір верстатів та засобів технологічного оснащення, визначені раціональні режими різання та норми часу на операції. В конструкторській частині роботи розроблені спеціальні конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції та КВП для контролю торцевого биття поверхонь деталі.

3. В результаті дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою для установки заготовки на комплексній з ЧПК операції технологічного процесу виготовлення «кронштейну» методами статичного та динамічного аналізу сформульовані рекомендації щодо вдосконалення цієї конструкції та структурно-параметричної оптимізації комплексної з ЧПК операції в цілому.

4. В додатку Е цієї роботи розглянуто питання з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя [Электронный ресурс] : в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев ; Под ред. И.Н. Жестковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.
2. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 496 с.
3. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Электронный ресурс] : учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 5-е изд., стереотип. Перепечатка с 4-го издания 1983 г. – М. : Альянс, 2007. – 256 с.
4. Технология машиностроения (специальная часть) / Отв. А. А. Гусев и др. – Москва : Машиностроение, 1986. – 480 с.
5. ГОСТ 26645-85 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 38 с
6. Справочник технолога-машиностроителя: справочник. В 2-х т. Т.1 / Под ред.: А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.
7. Кузнецов Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Б. Байков. – М.: Машиностроение, 1983. – 359 с.
8. 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.
9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч. 2 : Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 465 с.
10. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для

технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

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

12. Сергеев Н. Д. Проблемы оптимального проектирования конструкций / Н. Д. Сергеев, А. И. Богатырев. – Л. : Стройиздат, 1971. – 136 с.