

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою

_____ Віталій ІВАНОВ

«_____» грудня 2020 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ ВЕРХНЬОГО 317-110.04.050.001
КОМПРЕСОРА 2ГМ2,5-2200/20-55 ШЛЯХОМ
СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЇ
ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність 131 – прикладна механіка

Освітня програма – технології машинобудування

Студентка

Н. Р. Дмитренко

Керівники

А. В. Євтухов

Д. Мазуркевич

Консультант з розділу охорони праці
та безпеки в 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 та умов її експлуатації.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	12
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації.....	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	18
1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	22
1.6 Висновок	28
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі.....	29
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі	29
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки	31
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	35
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	37
2.5 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів	45
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристосувань, металорізального й вимірювального інструментів.....	47
2.7 Розрахунок режимів різання	50
2.8 Технічне нормування операції.....	57
2.9 Проектування верстатного пристрою	62
2.10 Проектування контрольно-вимірювального приладу	70
2.11 Висновок	83

Розділ 3 Динамічний та статичний аналіз контрольно-вимірювального приладу	85
3.1 Актуальність, мета та методи дослідження	85
3.2 Аналіз результатів динамічного дослідження	87
3.3 Аналіз результатів статичного дослідження	91
3.4 Висновок	97
Висновки	99
Список джерел посилань	100
Додаток А Креслення деталі	104
Додаток Б Розрахунок припусків на діаметральні розміри	105
Додаток В Верстатний пристрій (специфікація)	106
Додаток Г Контрольно-вимірювальний прилад (специфікація)	108
Додаток Д Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	110

ВСТУП

Актуальність теми. Деталь «Корпус верхній» є частиною вузла клапана III ступеню, що входить до складу поршневого компресора 2ГМ2,5–2200/20–55.

Компресор 2ГМ2,5–2200/20–55 є одним з найбільш поширених в країнах СНД, серед встановлених компресорів з продуктивністю до 100 м³/хв, призначений для стиснення природного і попутного нафтового газу. Технологія, застосована при розробці поршневої компресорної установки 2ГМ2,5–2200/20–55, використовується для стиснення газу на протязі вже довгого часу, в силу відносної простоти її технічної реалізації і ремонту надалі. Актуальною задачею є підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення компресорних деталей, спрямованих на підвищення якості продукції з урахуванням відносної економічності. Крім того, з плином часу, технології виробництва потребують періодичного вдосконалення, шляхом впровадження сучасного обладнання, верстатних пристосувань та металорізального та вимірювального інструментів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу верхнього 317-110.04.050.001 компресора 2ГМ2,5-2200/20-55 шляхом структурно-параметричної оптимізації операції технічного контролю.

Задачі дослідження:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталей;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки на операції комплексній на обробних центрах з ЧПК;
- 4) спроектувати спеціальну конструкцію контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального биття поверхні деталі;

5) виконати дослідження спроектованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою методами динамічного та статичного аналізу.

6) сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції пристрою та забезпечення його стійкої роботи в режимі динамічних та статичних навантажень.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «корпусу верхнього 317-110.04.050.001», операція технічного контролю.

Предмет дослідження – структурно-параметрична оптимізація операції технічного контролю, конструкція контрольно-вимірювального пристрою для контролю радіального биття поверхні деталі.

Методи дослідження. Результати роботи отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень. Твердотільну модель конструкції КВП розроблено у пакеті Solidworks. Динамічний та статичний аналіз конструкції КВП виконано у пакеті ANSYS Workbench.

Наукова новизна: в результаті теоретичних та експериментальних досліджень виконаний динамічний та статичний аналіз пропонованої конструкції контрольно-вимірювального приладу для вимірювання радіального биття поверхонь «корпусу верхнього 317-110.04.050.001», що дозволило сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції приладу та забезпечення його стійкої роботи в режимі динамічних навантажень та підвищення якості операції технічного контролю в цілому.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень сформульовані рекомендації, спрямовані на вдосконалення пропонованої конструкції контрольно-вимірювального пристрою для вимірювання радіального биття «корпусу верхнього 317-110.04.050.001», забезпечення його стійкої роботи та підвищення якості операції технічного контролю в цілому.

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані нововведення, спрямовані на вдосконалення існуючої технології. Спроектвані конструкції

верстатного та контрольо-вимірювальних пристроїв. Виконано дослідження конструкції КВП методами динамічного та статичного аналізу. Сформульовані висновки та рекомендації щодо удосконалення конструкції приладу та умов його використання.

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.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, трьох розділів, списку джерел посилань і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 103 сторінок, у тому числі 39 рисунків, 24 таблиць, бібліографії із 49 джерел на чотирьох сторінках, п'яти додатків на 14 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ БАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Розглянута деталь «Корпус верхній» 317–110.04.050.001 (додаток А) є частиною вузла клапана III ступеню, що входить до складу поршневого компресора 2ГМ2,5-2200/20-55.

Компресор 2ГМ2,5–2200/20–55 є одним з найбільш поширених в країнах СНД, серед встановлених компресорів з продуктивністю до 100 м³/хв, призначений для стиснення природного і попутного нафтового газу, виконані на опозитних базах. Технологія, застосована при розробці поршневої компресорної установки 2ГМ2,5-2200/20-55, використовується для стиснення газу на протязі вже довгого часу, в силу відносної простоти її технічної реалізації і ремонту надалі [1].

Основною перевагою поршневої компресорної установки 2ГМ2,5-2200/20-55 є її помітна дешевизна в порівнянні з компресорами інших типів, відносна простота виробництва, висока ремонтпридатність. Технічна характеристика компресора наведена в таблиці 1.1 [1].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики компресора 2ГМ2,5-2200/20-55

Характеристики	Числові значення
Продуктивність, м ³ /хв.	1,8
Тиск абсолютний, МПа всмоктування	2,0
Тиск абсолютний, МПа нагнітання	5,5
Маса без ел.двигуна, т	5,8
Габаритні розміри, м	4,3 × 2,6 × 1,8

Комбінований клапан III ступеню складається з верхнього 1 та нижнього 3 корпусів, пружин 7, трьох клапанних пластин 4, 5, 6 та кріплення (рисунок 1.1).

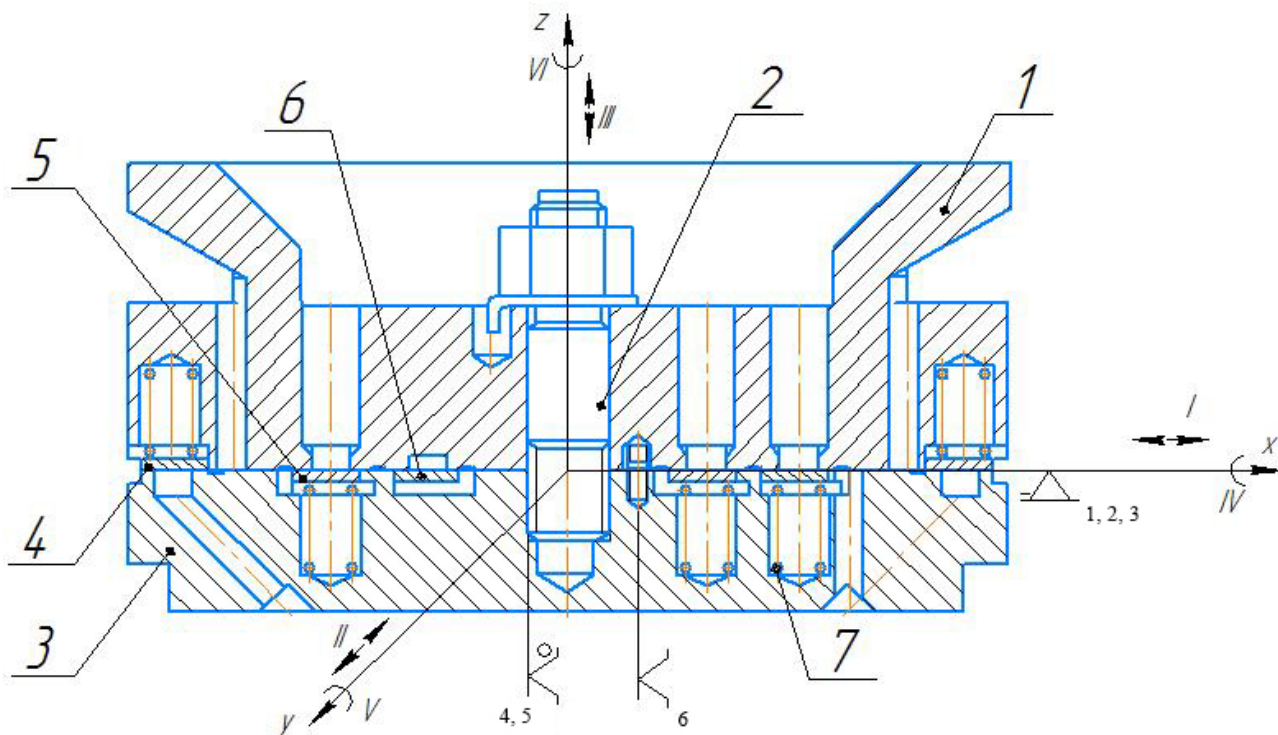


Рисунок 1.1 – Ескіз вузла

Комбінований клапан належить до відповідального вузла поршневого компресора 2ГМ2,5–2200/20–55, являє собою вузол, в якому поєднані всмоктуючий та нагнітальний клапани. Надає малий газодинамічний опір потоку протікаючого через нього газу; має розвинутий прохідний перетин; відкривається під дією невеликої різниці тисків до і після клапана, а в відкритому стані працює без вібрацій рухомих елементів.

Закриття клапана відбувається під дією пружного елемента, тобто в момент, коли різниця тисків до і після клапана стає рівною нулю.

У закритому стані клапан забезпечує герметичність робочої камери. Випробовується на герметичність наливанням гасу.

Клапан має малий обсяг мертвого простору – 34.222 см³, так як будь-який мертвий простір знижує продуктивність ступені. Пластини і пружини клапана

мають достатню міцність, так як вони повинні протягом тривалого часу витримувати статичні і динамічні (ударні) навантаження, що виникають при роботі клапана [1].

Запропонована деталь для проектування – «Корпус верхній» (рисунок 1.2) призначена для всмоктування та випуску повітря, розміщення пружин та обмеження підйому клапанних пластин. Деталь являє собою тіло обертання з відношенням – $l/d = 0,33$, габаритні розміри – $l \cdot d = 32 \cdot 96$ мм, маса деталі – 1,3 кг.

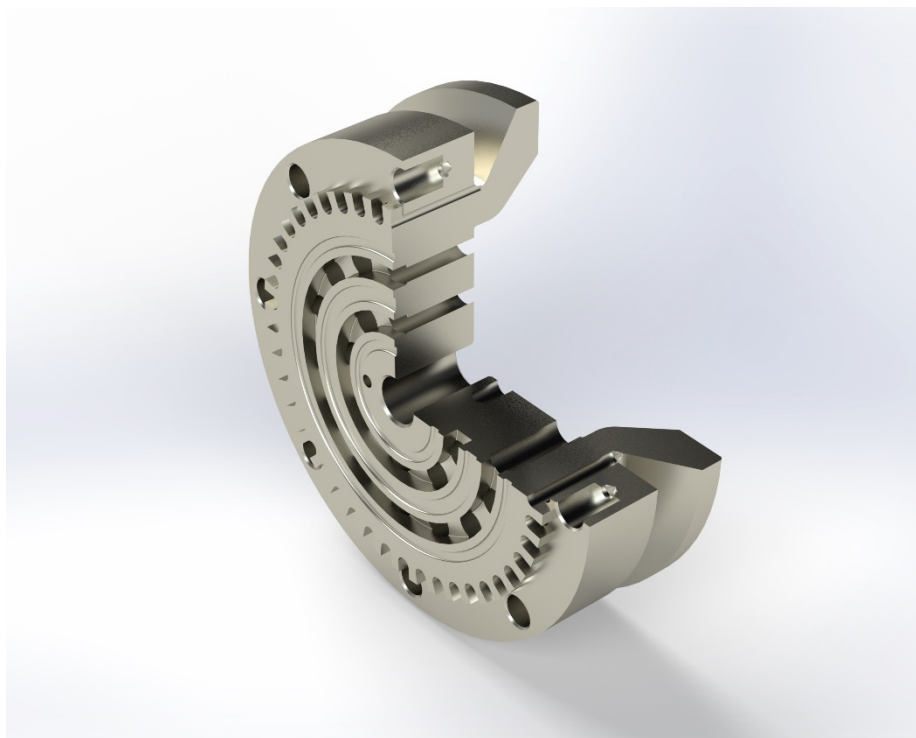


Рисунок 1.2 – 3D модель деталі

У вузлі (рисунок 1.1) «Корпус верхній» позбавляється 6–ти степенів вільності. Установчою базою є торець, деталь позбавляється 3–х степенів вільності (поступальне переміщення по осі z та обертання по осях x та y); подвійною опорною базою є отвір $\varnothing 9H9$, деталь позбавляється 2–х степенів вільності (поступальне переміщення по осям x та y); опорна база – отвір $\varnothing 2,5$, деталь позбавляється 1–го ступеня вільності – обертання навколо осі z.

Ступені вільності та найменування баз заносимо до таблиць 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	УБ
4,5	I, II	ПОБ
6	VI	ОБ

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
1	0	0	1	УБ
α	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	
1	0	0	0	ОБ
α	0	0	1	

Для пояснення функціонального призначення окремих поверхонь деталі на рисунку 1.4 наведено ескіз деталі з нумерацією відповідних поверхонь, їх номери та назви заносимо до таблиці 1.4.

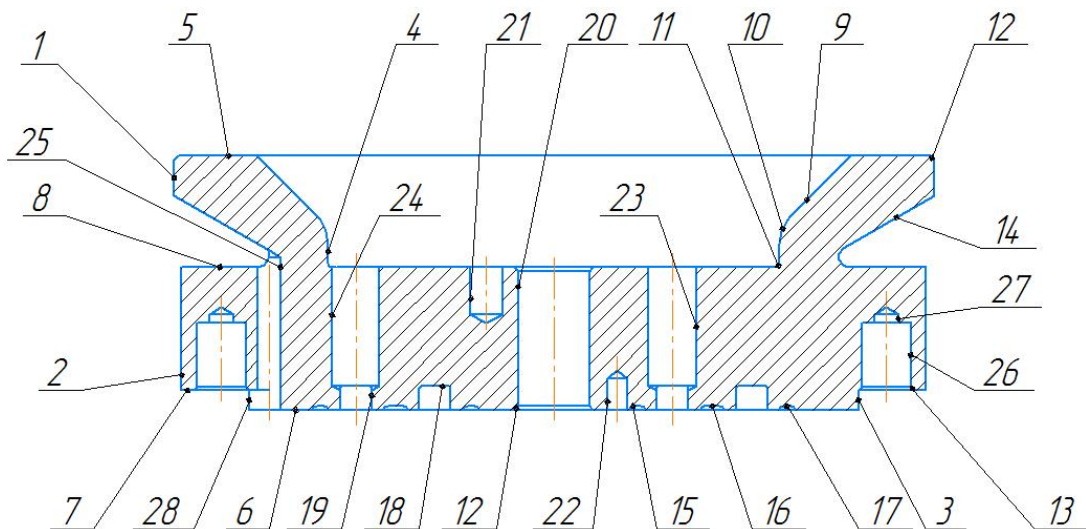


Рисунок 1.3 – Поверхні деталі

Таблиця 1.4 – Характеристика поверхонь деталі

Назва поверхні (мм)	Кількість	Точність (квалітет)	Шорсткість (Ra ,мкм)	Призначення
1	2	3	4	5
1– зовнішня циліндрична Ø96d9	1	9	6,3	ДКБ
2 – зовнішня циліндрична Ø94h11	1	11	6,3	ДКБ
3 – зовнішня циліндрична Ø77f9	1	9	3,2	ДКБ
4 –внутрішня циліндрична Ø57	1	14	6,3	виконавча
Торці на розмір:				
5 – 1 32	1	14	1,6	ДКБ
6 – 1 32	1	14	0,4	ОКБ
7 – 1 2,5	1	14	6,3	ДКБ
8 – 1 18	1	14	6,3	виконавча
Інші поверхні:				
9 – карман $\angle 45^\circ$, Ø75/Ø57	1	14	6,3	виконавча
11 – галтель R0,5	1	14	6,3	вільна
12 – фаски 0,5×45°	3	14	6,3	вільна
13 – фаска 0,4×45°	8	14	6,3	вільна
14 – фасонна поверхня	1	14	6,3	виконавча
15 – кільцева канавка «В»	1	14	6,3	виконавча
16 – кільцева канавка «Г»	1	14	6,3	виконавча
17 – кільцева канавка «Д»	1	14	6,3	виконавча
18 – канавка на Ø26/Ø34	1	14	6,3	виконавча
19 – канавка на Ø46/Ø54	1	14	6,3	виконавча
20 – отвір Ø9H9	1	9	3,2	ОКБ
21 – отвір Ø4, 1 6	1	14	3,2	ДКБ
22 – отвір Ø2,5, 1 4	1	14	3,2	ОКБ
23 – отвори Ø6 на Ø30	9	14	6,3	виконавча

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5
24 – отвори Ø6 на Ø50	15	14	6,3	виконавча
25 – отвори Ø3 на Ø72	45	14	6,3	виконавча
26 – отвори Ø6,2 на Ø84	8	14	6,3	ДКБ
27 – отвори Ø3 на Ø84	8	14	6,3	вільна
28 – пази 1 3	45	14	6,3	виконавча

Допоміжні конструкторські бази 3, 7 – слугують для розміщення клапанної пластини; 26 – отвори слугують для розміщення пружин; 21 – отвір для встановлення стопроної гайки, що перешкоджає розгвинчуванню вузла у процесі роботи. Основні конструкторські бази 6, 20, 22 – визначають положення деталі у вузлі (рисунок 1.1). Виконавчі поверхні: 4, 8, 9 – забезпечують вільний доступ повітря до всмоктуючої частини клапана; 18, 19, 23, 24 – забезпечують впуск повітря; 14, 25, 28 – забезпечують випуск повітря з нагнітальної частини клапана; 15, 16, 17 – забезпечують циркуляцію повітря у середині клапана. Поверхні 10, 11, 12, 13, 27 – призначені для підвищення технологічності деталі.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Розглянута деталь «Корпус верхній» являє собою тіло обертання з відношенням $l/d = 0,33$, габаритні розміри – $l \cdot d = 32 \cdot 96$ мм, маса деталі – 1,3 кг.

Технічні вимоги на виготовлення виробу або складальної одиниці характеризують основні параметри їх якості, що перевіряються при остаточному контролі або випробуваннях. Тому важливо правильно визначити технічні вимоги деталі.

Креслення деталі дає повне уявлення про конфігурацію, конструкцію, розміри, їх точність форми всіх поверхонь деталі, матеріал та його властивості, відповідає стандартам на оформлення конструкторської документації, зокрема

ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.305, ГОСТ 2.307. Наявних на кресленні видів, проекцій, розрізів, виносних елементів достатньо для розуміння загального вигляду виробу.

На креслення надаються технічні вимоги до деталі, згідно з якими:

– поковка Гр III НВ197 – 248 ГОСТ 25034. Даною вимогою обумовлюється отримання заготовки, а саме поковки третьої групи по ГОСТ 25034. Згідно ГОСТ кожна заготовка партії піддається 100 % контролю на твердість. Твердість заготовки повинна відповідати НВ 197÷248, що досягається загартуванням заготовки з наступним відпуском;

– не вказані граничні відхилення розмірів: H14 , h14 , ± IT14/2. Ці розміри не вимагають точної обробки. Досягнення більш високого квалітету точності вимагає часу на виконання обробки, викликає знос інструменту і повинно виконуватися більш кваліфікованим працівником, все це економічно не вигідним для підприємства, тому вільні розміри обробляються тільки при чорновій операції;

– контакт притертої поверхні не менше 80%, радіальні розриви на даній поверхні недопустимі – невиконання даної вимоги призводить до негерметичності клапана та зменшенню його ККД;

– маркування позначення креслення на бирці, що спрощує контроль та облік деталей.

Деталь виготовлена зі сталі 40 (таблиці 1.5 – 1.7). Дана марка відноситься до конструкційних вуглецевих якісних сталей [2].

Використання в промисловості: труби, поковки, кріпильні деталі, вали, диски, ротори, фланці, зубчасті колеса, втулки для тривалої і дуже тривалої служби при температурах до 425 град. Замінники: 35, 45, 40Г [2].

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сталі 40 ГОСТ 1050, у відсотках

C	Si	Mn	Ni	Cu	S	P
			не більше			
0,37 – 0,45	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	0,25	0,30	0,035	0,035

Таблиця 1.6 – Фізичні властивості сталі 40 ГОСТ 1050

Т, Град	Е 10 ⁻⁵ , МПа	Л, Вт/(м·град)	Р, кг/м ³	С, Дж/(кг·град)	Р 10 ⁹ , Ом·м
20	2.13	51.5	7850	483	160

Таблиця 1.7 – Механічні властивості сталі 40 ГОСТ 1050

σ_B , МПа	σ_T , МПа	σ_5 , %	Ψ , %
570	335	19	45

Всі ці та інші властивості роблять сталь 40 найбільш прийнятною в плані обробки, підбору ріжучого інструменту, а також режимів різання. Також потрібно врахувати вплив механічних і фізичних властивостей на функціональні характеристики виробу.

На кресленні наявні поверхні підвищеної точності (таблиця 1.4, рисунок 2.1), що зумовлено їх призначенням: $\varnothing 96d9$, $\varnothing 94h11$, $\varnothing 77f9$ – допоміжні конструкторські бази; $\varnothing 9H9$ – основна конструкторська база.

Інші поверхні – звичайної якості, що відповідає 14-му квалітету точності.

Шорсткість поверхонь, проставлена на кресленні, загалом відповідає квалітетам точності розмірів поверхонь деталі та їх призначенню. Шорсткість $Ra=0,4$ мкм на торці $l=32h14$ мм, отримується шляхом притирання та зумовлена тим, що поверхня являє собою основну конструкторську базу та забезпечує герметичність вузла. Шорсткість $Ra=1,6$ мкм на протилежному торці $l=32h14$ мм зумовлена тим, що поверхня являє собою допоміжну конструкторську базу та визначає положення вузла у виробі.

1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Для визначення типу виробництва табличним методом використовують річний обсяг випуску і масу деталі. Виходячи з цього, при річній програмі випуску $N_T=2000$ шт/рік і масі деталі 1,3 кг тип виробництва відповідає середньосерійному.

Серійним виробництвом називається таке виробництво, при якому виготовлення виробів проводиться партіями або серіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і одноманітних по розмірам виробів, запущених у виробництво одноразово.

Основним принципом цього виду виробництва є виготовлення всієї партії цілком як в обробці, так і збірці.

Залежно від кількості виробів у серії, їх характеру, трудомісткості і частоти повторюваності серій, протягом року розрізняють виробництва – дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне. Обсяг випуску підприємств серійного типу коливається від одиниць, десятків і сотень до тисяч регулярно повторюваних виробів за певні періоди часу – в залежності від складності виробів.

Використовується універсальне, спеціальне і частково спеціалізоване обладнання. Широко використовуються верстати з ЧПК, обробні центри; знаходять застосування гнучкі автоматизовані системи верстатів з ЧПК. Устаткування розставляються по технологічним групам з урахуванням положення основних вантажопотоків цеху по предметно-замкнутим ділянкам або ланцюгово – в послідовності технічних операцій для однієї або декількох деталей, потребуючих однакового порядку обробки, у тій же послідовності утворюється і рух деталей.

Технологічне оснащення, в основному універсальне, однак, у міру укрупнення серій, створюється високопродуктивне спеціальне оснащення. При цьому доцільність її створення повинна бути попередньо обгрунтована

техніко-економічними розрахунками. Велике поширення має універсально-збірне, переналагоджуване технологічне оснащення, що дозволяє істотно підвищити коефіцієнт оснащеності серійного виробництва. При такому виробництві застосовуються спеціалізовані пристосування для виконання окремих операцій, спеціальний і високопродуктивний ріжучий інструмент, спеціальний

вимірювальний інструмент у вигляді шаблонів, калібрів, скоб тощо. Застосування високопродуктивних і надійних ріжучих інструментів є головними резервами підвищення продуктивності, економічності та ефективності виробництва.

В якості вихідних заготовок використовується гарячий і холодний прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, поковки і точне штампування, пресування – доцільність застосування яких також обґрунтовується техніко-економічними розрахунками.

Необхідна точність досягається як методом автоматичного отримання розмірів, так і методами пробних ходів і промірів з частковим застосуванням розмітки.

Кваліфікація робітників – середня, вона вище, ніж в масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, і налагоджують, використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

Технологічна документація та технічне нормування докладно розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації та дослідно-статистичного нормування найпростіших заготовок.

Собівартість продукції, при серійному виробництві, значно нижча, ніж при одиничному завдяки застосуванню спеціального інструменту, пристосувань та устаткування, спеціалізації робітників, збільшення продуктивності праці.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску розраховуємо спрощеним методом за формулою [3]:

$$n = \frac{N \cdot a}{259},$$

де $a = 24$ – періодичність запуску в днях [3];

$$n = \frac{2000 \cdot 254}{259} = 185,2 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n = 185$ шт.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Аналіз технологічності проводиться з метою – виявлення недоліків конструкції з відомостей які містяться на кресленні і технічних вимогах, а також можливе покращення технологічності розглянутої конструкції.

Показники технологічності поділяються на якісні та кількісні.

Якісні показники характеризують технологічність конструкції більш загально на основі досвіду виконавця. До якісних показників відносяться: матеріал деталі, установка в верстаті (базування та закріплення), розміщення розмірів, допуски форми та розміщення, геометрична форма, можливість використання прогресивних способів обробки поверхонь.

Аналізуючи технологічність конструкції за застосовуваним матеріалам необхідно відзначити, що сталь 40 має ряд замінників, таких як: 35, 45, 40Г; тому в випадку збою поставки цього матеріалу на виробництво, його можна легко замінити іншим. Цей матеріал є технологічним, через свою невисоку вартість у порівнянні з більш дорогими конструкційними сталями.

Аналізуючи форму поверхонь деталі з точки зору можливості застосування високопродуктивного обладнання, можна зазначити, що більшість поверхонь є складними (конічні поверхні, кільцеві канавки, глухі

отвори), що значно ускладнює обробку, тому при аналізі поверхонь можна сказати, що за цим показником деталь нетехнологічна.

Аналізуючи деталь за використанням необроблюваних поверхонь можемо зробити висновок, що вона нетехнологічна. Корпус – відповідальна деталь, більшість поверхонь якої, контактують з іншими деталями вузла та виконують функціональні призначення, тому підлягають механічній обробці з дотриманням призначеної точності та шорсткості.

Аналізуючи креслення деталі можна зробити висновок, що виконане воно згідно зі стандартами, хоча має деякі неточності, такі як перетин розмірних ліній, нагромадження розмірів, дані зауваження незначні та розумінню креслення не заважають. Тому можна вважати що деталь за цим пунктом є технологічною.

Маса заготовки складає 2,7 кг, що свідчить про, те що при транспортуванні, установці заготовки на верстат не потрібно використовувати допоміжні підйомні механізми (кран-балки, мостові крани). Отже, за масою – заготовка технологічна, оскільки не потребує значних витрат часу на міжопераційне транспортування.

Конструкція деталі є достатньо жорсткою, що дозволяє, при механічній обробці її поверхонь, застосовувати продуктивні режими різання та багатоінструментальну обробку, що є технологічним.

На основі розглянутого креслення деталі «Корпус верхній», можемо зробити висновок, що існують нетехнологічні конструктивні елементи:

1) конічні поверхні: зовнішня – $\angle 60^\circ$ з $\varnothing 96d9$ до $\varnothing 72$, Ra 6,3 мкм; карман – $\angle 45^\circ$ з $\varnothing 75$ до $\varnothing 57$, Ra 6,3 мкм – для обробки поверхонь потрібен спеціальний ріжучий інструмент з відповідною геометрією, що є нетехнологічним, оскільки підвищується собівартість виготовлення деталі, збільшує припуск на механічну обробку і кількість етапів на оброблення цих поверхонь.

2) кільцеві канавки: «В», «Г», «Д», канавка на $\varnothing 26/\varnothing 34$, канавка на $\varnothing 46/\varnothing 54$ (рисунок 1.3) – нетехнологічні, так як вони збільшують

трудомісткість обробки, потребують спеціального ріжучого інструменту;

3) глухі отвори: отвори Ø3 на Ø84; отвори Ø6,2 на Ø84 з плоским дном (допуск позиціонування відносно бази Б – Ø3); отвір Ø2,5 – нетехнологічні, оскільки перешкоджають виходу стружки, отвори з плоским дном потребують спеціального ріжучого інструмента, значно збільшують трудомісткість обробки;

4) пази 3 мм – нетехнологічні, оскільки збільшується час на обробку поверхонь, врізання фрези відбувається на робочій подачі (45-ть пазів); при обробці на універсальних верстатах, потребується попередня розмітка заготовки за допомогою спеціальних пристроїв (ділильної голівки);

5) поверхні Ø96d9, Ø9H9, Ra=3,2 мкм – нетехнологічні, оскільки мають досить високу точність і якість оброблення, що підвищує собівартість виготовлення деталі, збільшує припуск на механічну обробку і кількість етапів на оброблення цих поверхонь;

6) торцеві поверхні: на діаметрі Ø94h11, Ra=0,4 мкм; на діаметрі Ø96d11, Ra=1,6 мкм – нетехнологічні, оскільки потребують високої якості обробки, що підвищує собівартість виготовлення деталі, збільшує припуск на механічну обробку і кількість етапів на оброблення поверхні,

Отже, більшість конструктивних елементів деталі є нетехнологічними, але необхідними для виконання службового призначення деталі у вузлі

Кількісний аналіз технологічності деталі.

Визначення коефіцієнта використання матеріалу:

$$K_{BM} = \frac{M}{M_M} > 0,7,$$

де M – маса готової деталі, M = 1,3 кг;

M_M – маса заготовки, M_M = 2,35 кг (прокат Ø100) .

$$K_{BM} = \frac{1,3}{2,7} = 0,55.$$

Розрахункове значення коефіцієнту використання матеріалу менше за необхідне, за цим параметром – деталь нетехнологічна.

Визначаємо коефіцієнт точності обробки:

$$K_{\text{ТИ}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{cp}}} = 1 - \frac{\sum n_i}{\sum T \cdot n_i} > 0,8,$$

де $\sum n_i$ – число розмірів відповідного класу точності;

T – клас точності обробки.

$$\sum n_i = 156 + 3 + 1 = 160,$$

$$\sum T \cdot n_i = 156 \cdot 14 + 3 \cdot 9 + 1 \cdot 11 = 2222,$$

$$K_{\text{ТИ}} = 1 - \frac{160}{2222} = 0,93 > 0,8.$$

За коефіцієнтом точності обробки деталь можна вважати технологічною.

Визначаємо коефіцієнт шорсткості:

$$K_{\text{Ш}} = \frac{1}{\text{Ш}_{\text{cp}}} = 1 - \frac{\sum n_{im}}{\sum \text{Ш} \cdot n_{im}} < 0,3,$$

де $\sum n_{im}$ – число поверхонь відповідного класу шорсткості.

$$\sum \text{Ш} \cdot n_{im} = 6,3 \cdot 154 + 3,2 \cdot 4 + 1,6 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1 = 985,$$

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{160}{985} = 0,16 < 0,3.$$

За коефіцієнтом шорсткості деталь можна вважати технологічною.

За результатами якісної та кількісної оцінки технологічності деталі, можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

1.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз проводимо на основі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність операцій механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу. На першій технологічній операції проводиться обробка поверхонь, які на подальших операціях будуть прийняті за базові (чистові). Технологічний процес виготовлення деталі наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8– Базовий технологічний процес

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	
010	Термічна	
015	Токарна	Верстат 16K20
020	Токарна	Верстат 16K20
025	Контроль ВТК	
030	Розмічальна	
035	Свердлильна	Верстат 2K52
040	Контроль ВТК	
045	Розмічальна	
050	Фрезерна	Верстат 6P13
055	Слюсарна	
060	Токарна	Верстат 16K20
065	Свердлильна	Верстат 2K52
070	Контроль ВТК	
075	Шліфувальна	Верстат 3Г71
080	Контроль ВТК	
085	Слюсарна	
090	Контроль ВТК	

005 Заготівельна

На операції проводиться відрізка заготовки з прокату.

010 Термічна

За рахунок загартовування заготовки та відпуску досягається критерій твердості HB 174 – 217.

015 Токарна

На операції проводиться обдирання прокату з припуском 1,5 мм на сторону під чистову обробку. Схема базування наведена на рисунку 1.5.

Обладнання – токарно-гвинторізний верстат 16К20.

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

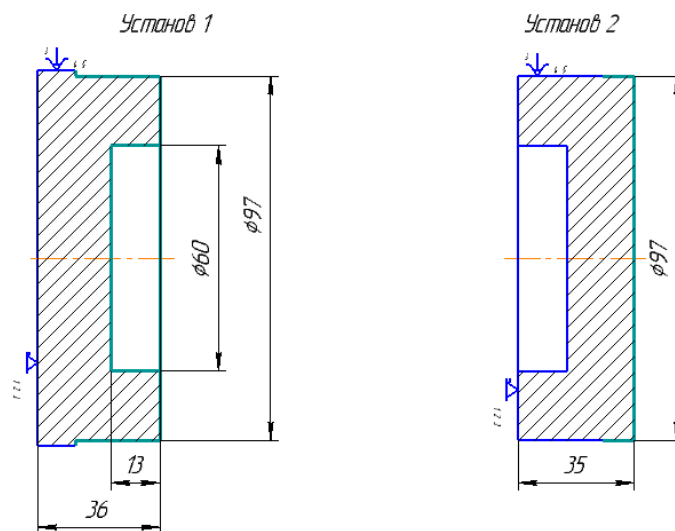


Рисунок 1.5 – Схема базування заготовки на операції 015

020 Токарна

На першому установі проводиться підрізання торцю, обточується $\varnothing 96d9$ на $L=22$, розточується канавка $\varnothing 75/\varnothing 57$ з $\angle 45^\circ$. Свердлиться отвір $\varnothing 8,7$ під розгортання. Розгортається отвір $\varnothing 9H9$. Точиться конусна поверхня $\varnothing 72$ до $\varnothing 80$. На другому установі підрізається торець р-р 32,3 мм (0,3 припуск під шліфування). Обточуються $\varnothing 94h11$ $L=18$, $\varnothing 77f9$ на $L=2,8$. Виконується точіння канавок «Д», «Е», «Ж», канавок $\varnothing 54/\varnothing 46$, $\varnothing 34/\varnothing 26$ з припуском 0,3 мм на шліфування торця.

Обладнання – токарно-гвинторізний верстат 16К20.

Пристрій – трьохкулачковий патрон, сирі розточені кулачки $\varnothing 96d9$.

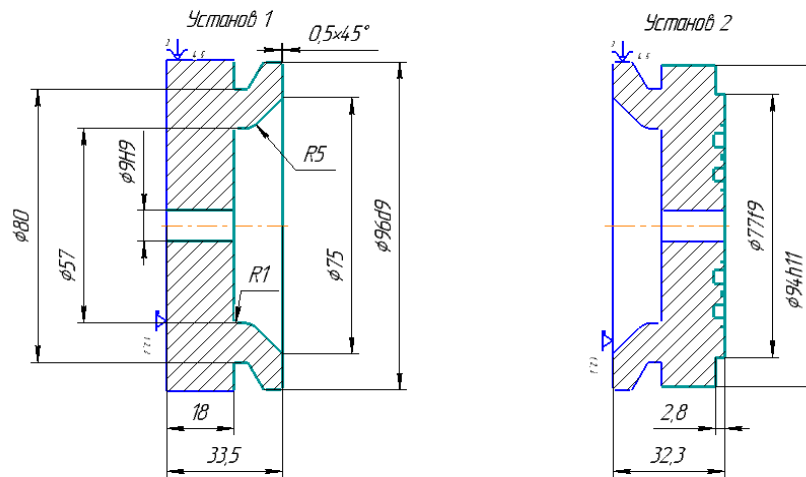


Рисунок 1.6 – Схема базування заготовки на операції 020

025 Контроль ВТК

Контроль усіх розмірів, перевіряється стан деталі. Контроль допуску биття перевіряється індикатором ІЧ02 кл0 ГОСТ 577-68.

030 Розмічальна

Розмічається 1 отвір $\varnothing 3$.

035 Свердлильна

Свердлиться 45 отворів $\varnothing 3$.

Обладнання – радіально-свердлильний верстат 2К52.

Пристрій – ділильна головка, УСП.

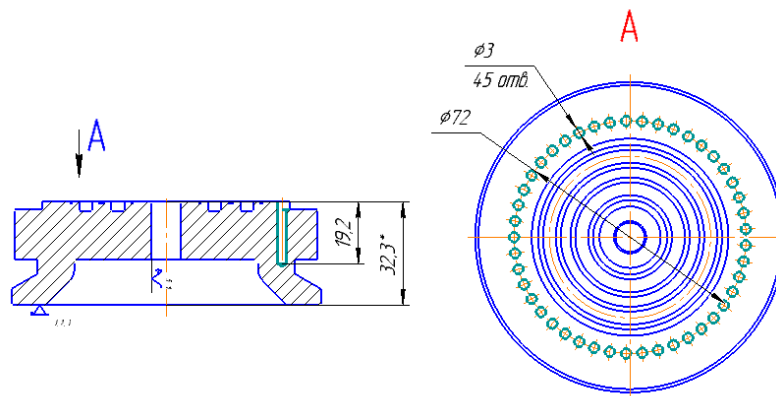


Рисунок 1.7 – Схема базування заготовки на операції 035

040 Контроль ВТК

Контроль 45 отворів $\varnothing 3$.

045 Розмічальна

Розмічаються: 1 паз $L=3$, 1 отвір $\varnothing 2.5$, 1 отвір $\varnothing 3$, по 1 отвору $\varnothing 6$ на діаметрах $\varnothing 30$ та $\varnothing 50$.

050 Фрезерна

На першому установі фрезерується 45 пазів $L=3$; свердлиться отвір $\varnothing 2.5$, 8 отворів $\varnothing 3$, 8 отворів $\varnothing 6,2$; зенкується фаска $0,5 \times 45^\circ$ центрального отвору. На другому установі свердлиться 9 отворів $\varnothing 6$ на $\varnothing 30$, 15 отворів $\varnothing 6$ на $\varnothing 50$.

Обладнання – фрезерний верстат 6Р13.

Пристрій – ділильна головка, УСП.

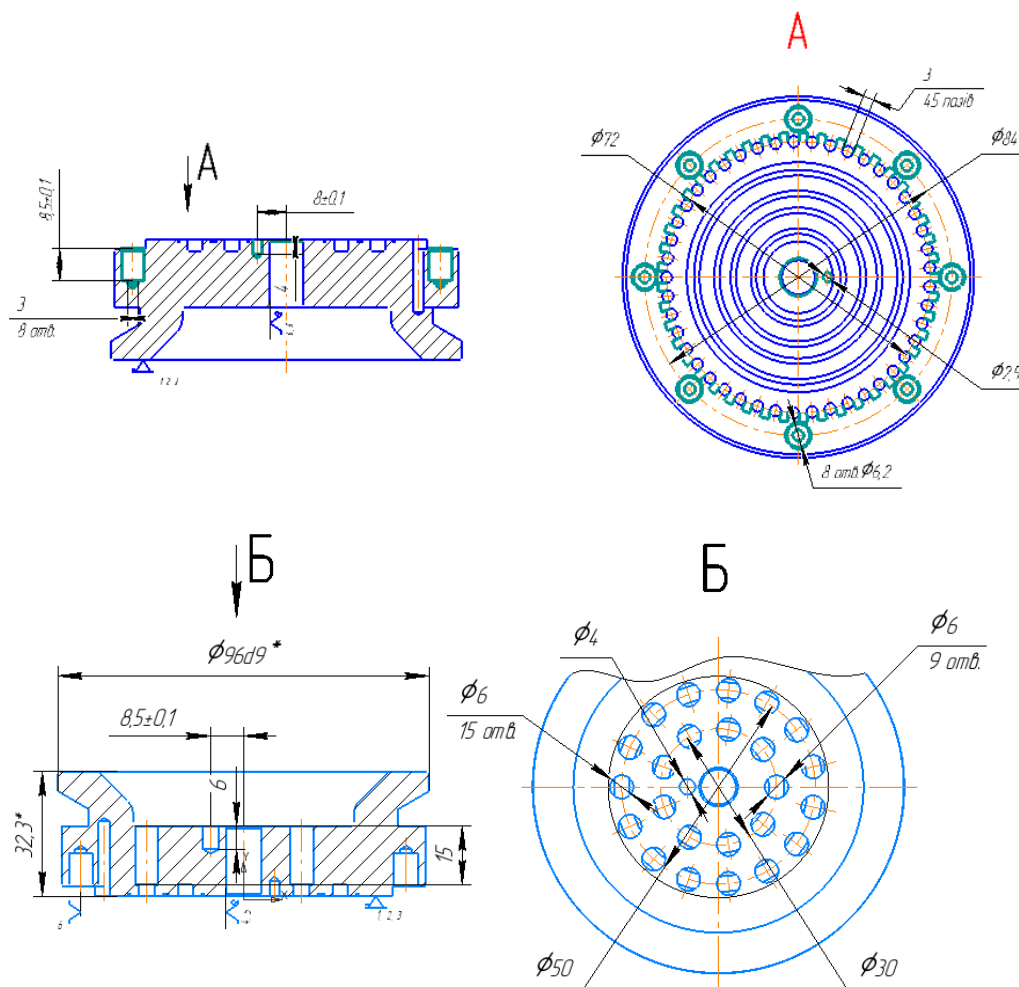


Рисунок 1.8 – Схема базування заготовки на операції 050

055 Слюсарна

Зачистка задирок та притуплення гострих кромки після механічних операцій.

060 Токарна

Оброблюється конусна поверхня $\varnothing 72$ з $\angle 60^\circ$.

Обладнання – токарно-гвинторізний верстат 16К20.

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

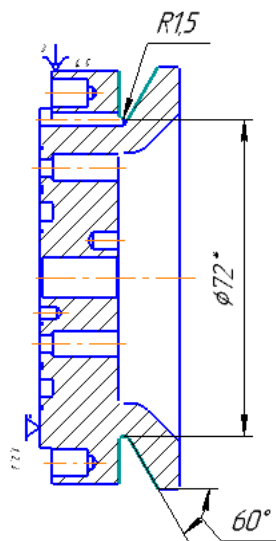


Рисунок 1.9 – Схема базування заготовки на операції 060

065 Свердлильна

Зенкуються фаски $0,4 \times 45^\circ$ в 8-ми отворах $\varnothing 6,2$.

Обладнання – радіально-свердлильний верстат 2К52.

Пристрій – УСП.

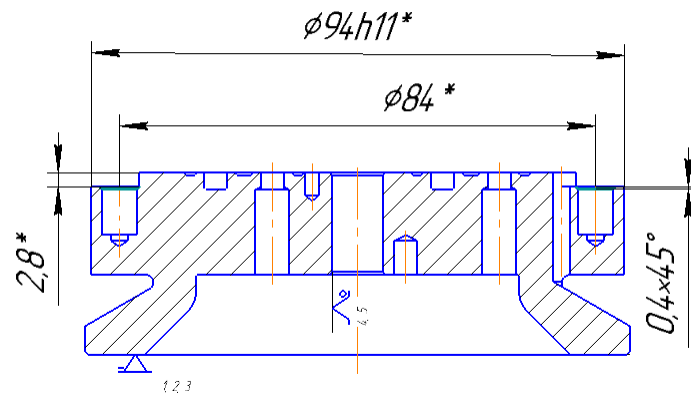


Рисунок 1.9 – Схема базування заготовки на операції 065

070 Контроль ВТК

Перевірка розмірів згідно креслення.

075 Шліфувальна

Шліфується торець р-р 32 до шорсткості Ra 0,8 мкм, витримуючи розмір $2,5^\circ$ мм під притирання.

Обладнання – плоскошліфувальний верстат 3Г71.

080 Контроль ВТК

Перевірка розмірів згідно операції 075.

085 Слюсарна

Притирання площини $\phi 77f9$ до шорсткості Ra 0,4 мкм.

Пристрій – плита притиральна ГОСТ 10905-86.

090 Контроль ВТК

Перевірка розмірів згідно операції 085.

У базовому технологічному процесі є ряд недоліків. Згідно ГОСТ 3.1129-93 при заповненні карт технологічного процесу мають вказуватися повні назви операцій. На багатьох операціях не вказані пристосування, металорізальний та вимірювальний інструмент. Відсутні номери цехів, дільниць, робочих місць. Також не вказані коди операцій, обладнання, пристроїв, інструментів, заготовки. Вказаний лише вид профілю заготовки. Взагалі відсутні як режими різання, так і карти ескізів. Більшість верстатів доцільно замінити на верстати з ЧПК, обробні центри або більш продуктивні сучасні верстати. Присутні

трудомісткі розмічальні операції, від яких доцільніше відмовитися за рахунок використання верстатів з ЧПК. Про базування заготовки можна лише здогадуватися по опису переходів операції та моделі верстату. Загалом, можна зробити висновок, що деталь має постійні базові поверхні, а для механічної обробки – достатньо стандартних пристосувань.

1.6 Висновок

1. Аналіз вихідних даних деталі «Корпус верхній» показав:

1.1 За більшістю показників, таких як використаний матеріал, коефіцієнти шорсткості та точності обробки, деталь можна назвати технологічною.

1.2 Нетехнологічними є деякі конструкційні елементи деталі, які обґрунтовані її функціональним призначенням та не можуть бути змінені.

1.3 Деталь є нетехнологічною за коефіцієнтом використання матеріалу. Тому доцільно розглянути інші методи виготовлення заготовки.

2. Аналіз базового технологічного процесу показав ряд недоліків:

2.1 Використання застарілого обладнання та інструменту.

2.2 Відсутність механізованих приводів верстатних пристосувань.

2.3 Проведення трудомістких розмічальних операцій.

2.4 Надлишкова диференціація операцій, які доцільніше провести за один установ заготовки.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі

Одними з основних принципів побудови технологічного процесу є принципи поєднання технічних, економічних і організаційних завдань, що вирішуються в даних виробничих умовах. Технологічний процес має забезпечити технічні вимоги, зазначені в кресленні, з урахуванням мінімальних витрат. Зазвичай є декілька способів обробки деталей, які задовольняють технічні вимоги, та вимоги проставлені на кресленні, але є різними за вартістю. Крім того на побудову технологічного процесу впливає масштаб виробництва.

Вихідними даними під час проектування технологічних процесів є: креслення деталі з технічними умовами, програма випуску деталей, матеріал деталі, її форма та розміри.

Для заданого середньосерійного типу виробництва актуальними є методи концентрацією і диференціацією операцій.

Для даного технологічного процесу є доцільним використання як принципу концентрації, так і диференціації операцій залежно від умов. Так в умовах середньосерійного виробництва доцільно розділити операцію 050 фрезерну, яка складається з двох установів з великою кількістю переходів на кожному. Та навпаки, операцію 035 свердлильну поєднати з фрезерною обробкою на операції 050; операцію 065 свердлильну, на якій оброблюються лише фаски – поєднати з іншим установом операції 050. Таким чином буде досягнуто принципу сумісності баз, що дозволить зменшити похибки при обробці поверхонь, залежних одна від одної. Впровадження сучасних верстатів з ЧПК дозволить автоматизувати виробництво та позбавитися від

двох розмічальних операцій з використанням спеціальних пристосувань, таких як ділильні головки. Після механічних операцій передбачено технічний контроль заготовок. На слюсарних операціях відбувається зачищення задирок та притирання торцевої поверхні згідно креслення. Пропонований маршрут обробки зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Пропонований маршрут обробки

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Обробка тиском	КГШП
010	Термічна	Термічна піч
015	Токарна з ЧПК	DMG СТХ 310
020	Токарна з ЧПК	16А20Ф3
025	Контроль ВТК	Стіл ВТК
030	Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК	VC0852
035	Контроль ВТК	Стіл ВТК
040	Свердлильна з ЧПК	ГФ217Ф3
045	Слюсарна	
050	Токарна з ЧПК	16А20Ф3
055	Контроль ВТК	Стіл ВТК
060	Плоско-шліфувальна	JET JPSC- 1020АН
065	Контроль ВТК	Стіл ВТК
070	Слюсарна	

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Метод отримання заготовки робить істотний вплив на техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення деталі. Правильний її вибір дозволяє знизити трудомісткість механічної обробки, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, знизити матеріаломісткість конструкції.

На вибір методу отримання заготовки впливають матеріал деталі, його призначення і технічні вимоги до виготовлення, обсяг випуску, конфігурація, форма поверхонь і розміри.

Вимоги, що пред'являються до заготовок, які обробляються на металорізальних верстатах:

- з метою зниження собівартості деталі заготовка повинна бути за формою та розмірами максимально наближеною до деталі;

- чорнові поверхні використовуються на першій механічній операції в якості технологічної бази повинні бути чистими і рівними, без штрихів, ливарних ухилів.

Вид заготовки встановлюємо в результаті аналізу креслення деталі, її матеріалу і технічних вимог до виготовлення, габаритів і маси, об'єму випуску, на основі техніко-економічного порівняння двох варіантів.

Розглянемо два альтернативні варіанти способів отримання вихідної заготовки:

- прокат гарячекатаний;
- поковка штампуванням на КГШП.

Для першого варіанту обираємо круглий гарячекатаний прокат діаметром 100 мм та висотою 38 мм за ГОСТ 2590–2006. Відповідно до розмірів – маса заготовки рівна – $M_{п}=2,35$ кг.

Розглянемо штамповку на КГШП (кривошипних гаряче штампувальних пресах). При об'ємному штампуванні формоутворення заготовки відбувається в порожнині спеціального інструменту (штампу).

Опис проектування заготовки.

Вибір класу точності [6]:

клас точності – Т3.

Визначення групи сталі [6]:

M2 – сталь з масовою часткою вуглецю понад 0,35 до 0,65%.

Визначення міри складності [6].

Фігура, що описує деталь, має форму циліндра. Визначаємо розміри циліндра, мм:

– діаметр – $101=96 \cdot 1,05$,

– довжина – $33,6=32 \cdot 1,05$,

де $K=1,05$ – розрахунковий коефіцієнт [6].

Відповідно маса фігури рівна – $M_{\phi}=2,46$ кг.

Виконуємо розрахунок орієнтованої маси заготовки за формулою [3]:

$$M_z = M_{\phi} \cdot K_p,$$

де $K_p=1,6$ – постійний коефіцієнт [6]:

$$M_z = 1,3 \cdot 1,6 = 2,08 \text{ кг.}$$

Визначаємо міру складності поковки штампованої з відношення $M_d/M_{\phi}=1,3/2,46=0,52 \Rightarrow C2$.

Вихідний індекс – 10.

Основні припуски на розміри, мм [6]:

1,5 – діаметр 96d9 та Ra 1,6 мкм;

1,2 – діаметр 57 та Ra 6,3 мкм;

1,2 – товщина 32 та Ra 6,3 мкм;

1,1 – товщина 18 та Ra 6,3 мкм.

Додаткові припуски, що враховують зміщення поверхні роз'єму штампку 0,2 мм. Відхилення від площинності 0,2 мм. Радіус округлення зовнішніх кутів

(мінімальне значення) 2.5 мм. Штампувальні ухили на зовнішні поверхні не більше 5° , на внутрішні не більше 7° [6].

Розрахунок розмірів поковки:

діаметр $96 + (1,5 \cdot 2) + (2 \cdot 0,2) = 99,4$ мм. Приймаємо 99 мм,

діаметр $57 - (1,2 \cdot 2) - (2 \cdot 0,2) = 54,2$ мм. Приймаємо 54 мм,

товщина $32 + (1,2 \cdot 2) + (2 \cdot 0,2) + (2 \cdot 0,2) = 35,2$ мм. Приймаємо 35 мм,

товщина $18 + (1,1 \cdot 2) + (2 \cdot 0,2) + (2 \cdot 0,2) = 21$ мм. Приймаємо 21 мм.

Допустимі відхилення розмірів:

$$\varnothing 99_{-0,5}^{+1,1}; \quad \varnothing 54_{-0,5}^{+1,1}; \quad 35_{-0,5}^{+0,9}; \quad 21_{-0,5}^{+0,9}$$

Значення припусків та розмірів заготовки заносимо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок розмірів заготовки, мм

Розмір деталі	Чистота поверхні	Основний припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Прийнятий розмір заготовки	Припуск фактичний
$\varnothing 96$	3,2	1,5	99,4	99	1,5
$\varnothing 57$	6,3	1,2	54,2	54	1,5
32	6,3	1,2	35,2	35	1,5
14	6,3	1,1	21	21	1,5

Відповідно до призначених розмірів орієнтована маса заготовки рівна – $M_0 = 1,73$ кг. Ескіз заготовки зображено на рисунку 2.1.

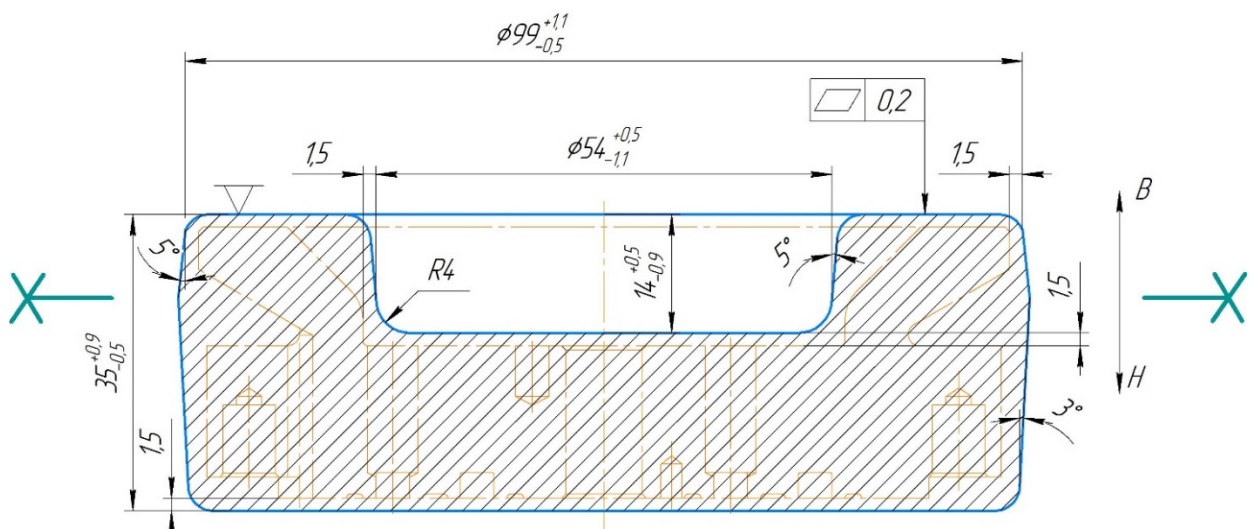


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Проводимо розрахунок собівартості заготовок.

Собівартість заготовки з прокату визначається за формулою [3]:

$$S_{\text{заг}} = S_i / 1000 \cdot Q - (Q - q) S_{\text{відх}} / 1000,$$

де $S_i = 22000$ грн – вартість тони прокату зі сталі 40;

$S_i = 27000$ грн – вартість тони поковок зі сталі 40;

$Q_{\text{пр}} = 2,33$ кг – маса заготовки з прокату;

$q = 1,3$ кг – маса готової деталі;

$S_{\text{відх}} = 5000$ грн – ціна 1 тони відходів;

$$S_{\text{пр}} = (22000 / 1000 \cdot 2,33) - (2,33 - 1,3) \cdot 5000 / 1000 = 46,11 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовки виконаної штампуванням визначається за формулою [3]:

$$S_{\text{заг}} = S_i / 1000 \cdot Q \cdot k_T \cdot k_c \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} - (Q - q) S_{\text{відх}} / 1000,$$

де $k_T, k_c, k_B, k_M, k_{\Pi}$ – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму випуску заготовок;

$S_i = 31000$ грн – вартість тони поковок зі сталі 40;

$Q_{\text{пок}} = 1,73$ кг – маса поковки штампованої.

$$S_{\text{пок}} = (31000 / 1000 \cdot 1,73 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,14 \cdot 0,8) - (1,73 - 1,3) \cdot 5000 / 1000 = 42,37 \text{ грн.}$$

Оскільки вартість заготовки, отриманої штампуванням, менша вартості заготовки, отриманої з прокату, то в якості способу отримання заготовки для даної деталі приймаємо штампування на КГШП.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Розрахунок припусків аналітичним методом згідно методу професора В. М. Кована [7] проводиться на поверхню деталі $\varnothing 96d9$ при цьому спосіб отримання заготовки – штампування на КГШП. Граничні відхилення на задану поверхню складають: $e_s = -0,120$ мм, $e_i = -0,207$ мм.

Маршрут обробки на задану поверхню:

- штампування на КГШП IT15 ($\begin{matrix} +1,10 \\ -0,50 \end{matrix}$);
- півчистове точіння h12 ($_{-0,35}$);
- чистове точіння d9 ($_{-0,207}^{-0,120}$).

Величина мінімального припуску при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск) визначається за формулою [8]:

$$2Z_{\text{mini}} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}),$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей поверхні на попередньому переході (операції), мкм [8];

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції), мкм [8];

ρ_{i-1} – сумарні значення просторових відхилень форми на попередньому переході (операції), мкм;

ε_{yi} – похибка установки на виконуваному переході, мкм [8].

Значення складових мінімального припуску [8], зводимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Складові мінімального припуску

Стадія	Rz	h	ρ	ε_y
Заготівельна	160	200	1029,6	-
Півчистова	50	50	51,48	500
Чистова	25	25	41,18	120

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень форми під час штампування [8]:

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

де $\rho_{\text{зм}}=900$ мкм – величина зміщення верхньої половини штампа відносно нижньої;

$\rho_{\text{кор}}=500$ мкм – величина короблення;

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{900^2 + 500^2} = 1029,6 \text{ мкм.}$$

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень форми по стадіям [8]:

$$\rho = \rho_{\text{заг}} \cdot K_y,$$

де K_y – коефіцієнт уточнення [8]: для точіння півчистового $K_y = 0,05$; для точіння чистового $K_y = 0,04$;

$$\rho_{\text{п/ч}} = 1029,6 \cdot 0,05 = 51,48 \text{ мкм,}$$

$$\rho_v = 1029,6 \cdot 0,04 = 41,18 \text{ мкм.}$$

Розрахунок припусків виконуємо за допомогою ПЕОМ, результати якого наведені у додатку Б. Схема припусків зображена на рисунку 2.2.

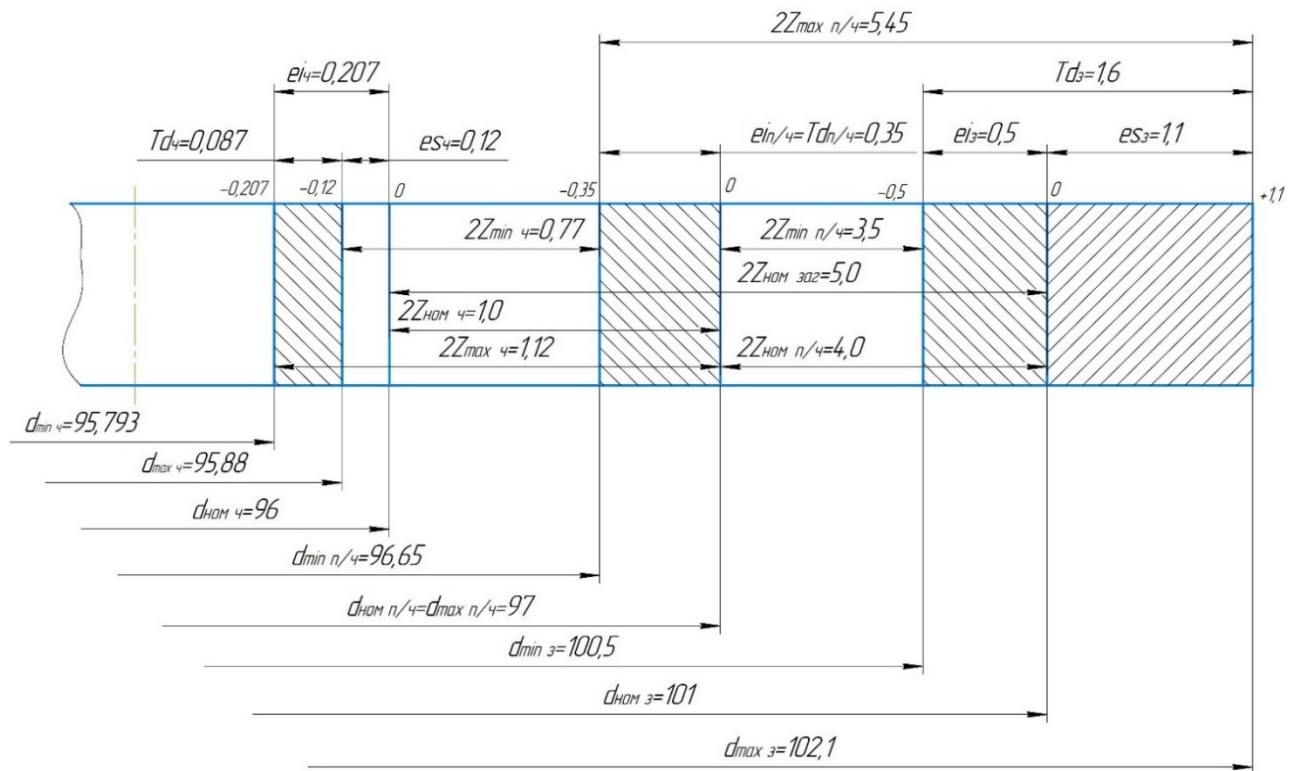


Рисунок 2.2 – Схема розташування припусків та допусків

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Для аналізу обираємо операцію 030 фрезерну з ЧПК. На даній операції виконується фрезерування пазів, свердління отворів та обробка фасок, відповідні поверхні зображені на рисунку 2.3.

На запропонованій схемі базування (рисунок 2.3) заготовка базується по торцю зі встановленням у кільце, позбавляється п'яти ступенів вільності. Встановлювальною базою є торець, заготовка позбавляється трьох ступенів вільності (поступальне переміщення по осі z та обертання по осях x та y); подвійною опорною базою є зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 96d_9$, деталь позбавляється двох ступенів вільності (поступальне переміщення по осям x та y). Степені вільності та найменування баз заносимо до таблиць 2.4, 2.5.

Таблиця 2.4 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	ВБ
4,5	I, II	ПОБ

Таблиця 2.5 – Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
1	0	0	1	ВБ
α	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	

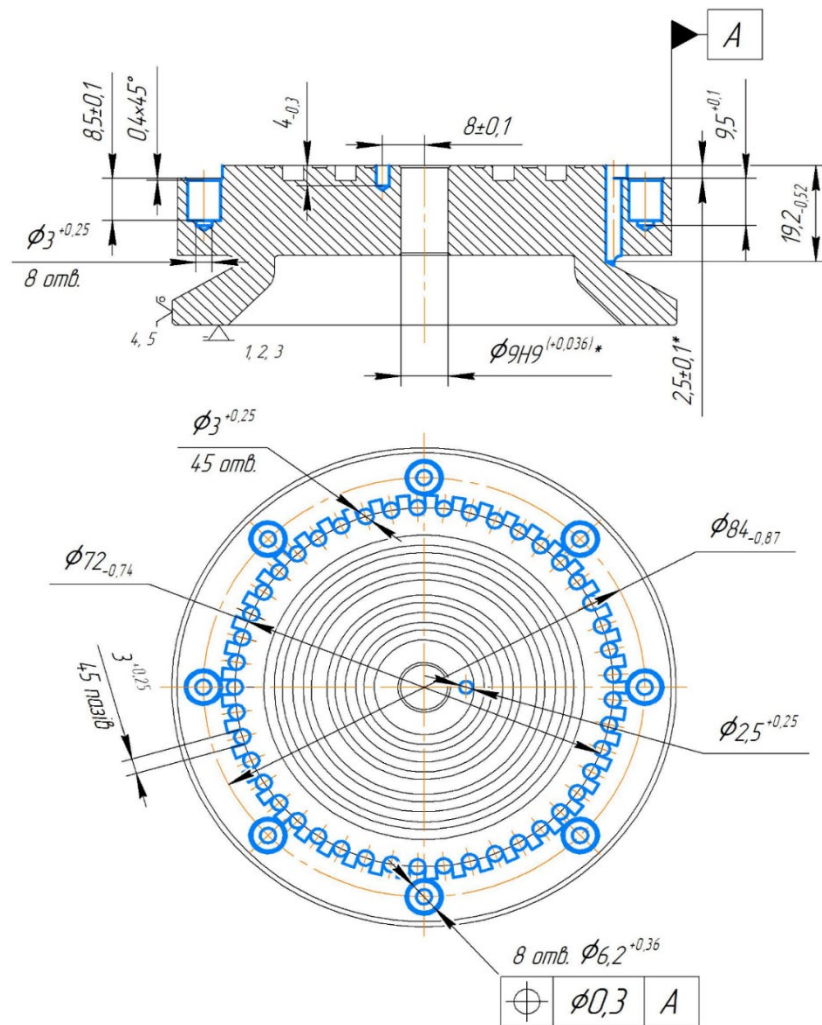


Рисунок 2.3 – Ескіз операції 030

Похибку базування заготовки в радіальному напрямі, при даному способі базування, визначаємо за формулою [3]:

$$\varepsilon_6 = \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta,$$

де $\delta_1 = 0,327$ мм – допуск на діаметр зовнішньої поверхні ($\varnothing 96d9$);

$\delta_2 = 0,054$ мм – допуск на діаметр кільця ($\varnothing 96H8$);

$\Delta = 0,12$ – мінімальний радіальний зазор для посадки $\varnothing 96d9/H8$.

$$\varepsilon_6 = 0,327 + 0,054 + 2 \cdot 0,12 = 0,621 \text{ мм.}$$

Порівнюємо похибку базування у радіальному напрямі з позиційним допуском розташування отворів (рисунок 2.3):

$$\varepsilon_6 > T_{п.д} \rightarrow 0,621 > 0,3 \text{ мм.}$$

Отже, при даній схемі базування допуск не забезпечується. Розглянемо альтернативну схему базування на рисунку 2.4.

Базування заготовки відбувається за рахунок встановлення на довгу оправку та по торцю, що позбавляє п'яти ступенів вільності. Установчою базою є торець, заготовка позбавляється трьох ступенів вільності (поступальне переміщення по осі z та обертання по осях x та y); подвійною опорною базою є внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 9H9$, деталь позбавляється двох ступенів вільності (поступальне переміщення по осям x та y). Степені вільності та найменування баз відповідають таблицям 2.2, 2.3.

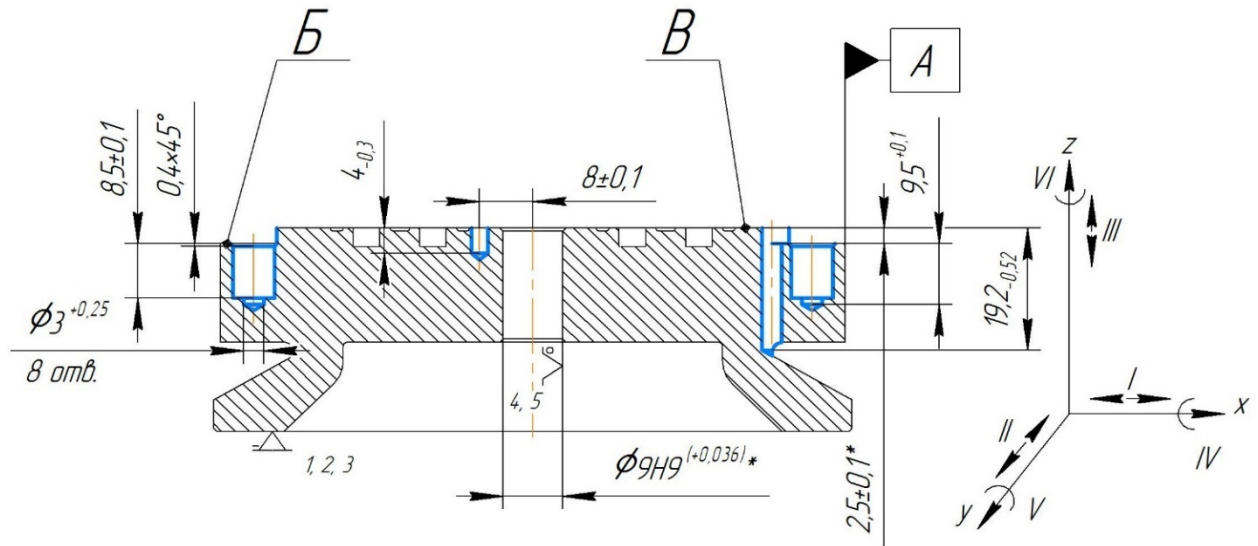


Рисунок 2.4 – Схема базування

Похибку базування заготовки в радіальному напрямі, при даному способі базування, визначаємо за відповідною формулою:

де $\delta_1 = 0,036$ мм – допуск на діаметр отвору ($\phi 9H9$);

$\delta_2 = 0,022$ мм – допуск на діаметр оправки ($\phi 9h8$);

$\Delta = 0$ – мінімальний радіальний зазор для посадки $\phi 9H9/h8$.

$$\varepsilon_6 = 0,036 + 0,022 + 2 \cdot 0 = 0,058 \text{ мм.}$$

Порівнюємо похибку базування у радіальному напрямі з позиційним допуском розташування отворів (рисунок 6.2):

$$\varepsilon_6 < T_{п.д} \rightarrow 0,058 < 0,3 \text{ мм.}$$

Порівнюємо похибку з допуском на розмір $l = 8$ мм:

$$\varepsilon_6 < T_8 \rightarrow 0,058 < 0,2 \text{ мм.}$$

Отже, значення похибки базування у радіальному напрямку менше за відповідні допуски, що є прийнятним.

Похибка базування на глибину отвору $\varnothing 3^{+0,25}$ (45 отв.) визначається допуском на розмір $l=32_{-0,62}$ мм:

$$\varepsilon_{619} < T_{32} \rightarrow 0,62 < 0,52 \text{ мм.}$$

Значення похибки більше за значення допуску, що є неприйнятним. Оскільки для обробки заготовки використовується верстат з ЧПК, то доцільно виконати прив'язку інструменту до поверхні В (рисунок 6.4).

Похибка базування на глибину отвору $\varnothing 3^{+0,25}$ (8 отв.) визначається сумарним допуском на розміри $l=32_{-0,62}$ мм та $l=2,5 \pm 0,1$ мм:

$$\varepsilon_{69,5} = T_{32} + T_{2,5} = 0,62 + 0,2 = 0,82 > T_{9,5} = 0,1 \text{ мм.}$$

Значення похибки більше за значення допуску, що є неприйнятним. Тому виконується прив'язка інструменту до поверхні Б.

Похибка базування на глибину отвору $\varnothing 6,2^{+0,36}$ (8 отв.) визначається сумарним допуском на розміри $l=32_{-0,62}$ та $l=2,5 \pm 0,1$, мм:

$$\varepsilon_{68,5} = T_{32} + T_{2,5} = 0,62 + 0,2 = 0,82 > T_{8,5} = 0,2 \text{ мм.}$$

Значення похибки більше за значення допуску, що є неприйнятним. Тому виконується прив'язка інструменту до поверхні Б.

Похибка базування на глибину отвору $\varnothing 2,5$ визначається допуском на розмір $l=32$ мм:

$$\varepsilon_{64} > T_{32} \rightarrow 0,62 > 0,3 \text{ мм.}$$

Значення похибки більше за значення допуску, що є неприйнятним. Тому виконується прив'язка інструменту до поверхні В.

Таким чином, запропонована схема базування заготовки на операції 030 Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК є прийнятною.

Розглянемо операцію 015 Токарна з ЧПК. На операції відбувається чорнова обробка поверхонь: точіння зовнішніх та внутрішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців. Ескіз операції зображено на рисунку 6.4.

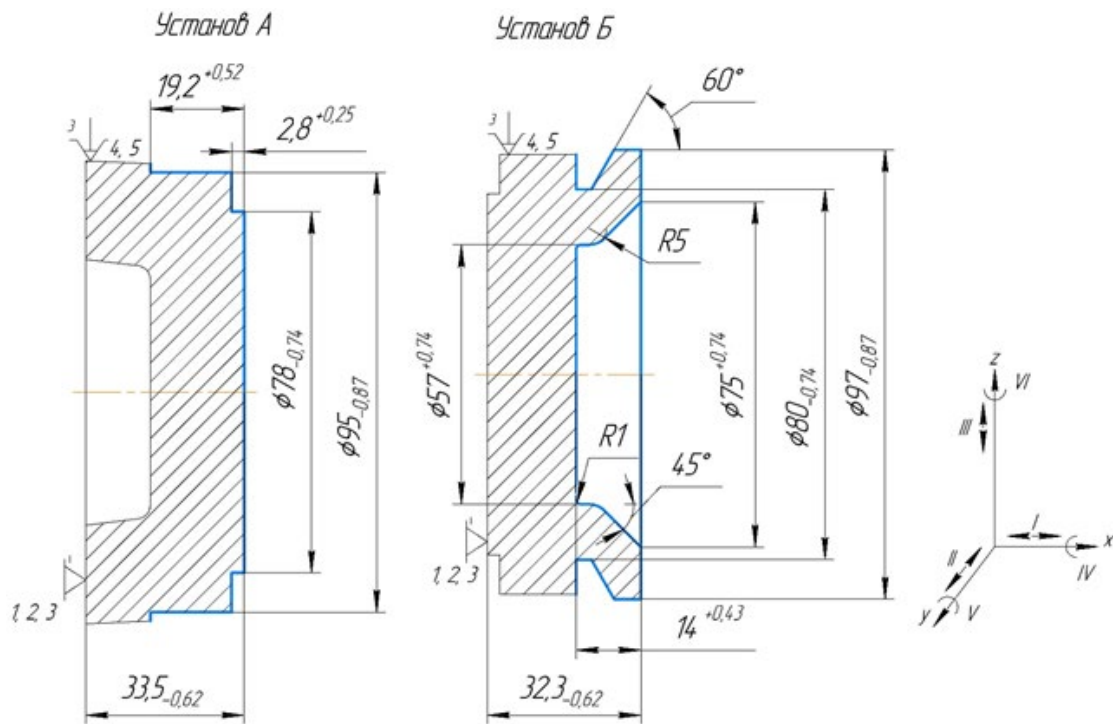


Рисунок 2.5 – Ескіз операції 015

На запропонованій схемі базування (рисунок 2.5) заготовка базується у трьохкулачковому патроні, позбавляється п'яти ступенів вільності. Установчою базою є торець, заготовка позбавляється трьох ступенів вільності; подвійною опорною базою є зовнішня циліндрична поверхня, деталь позбавляється двох ступенів вільності. Степені вільності та найменування баз заносимо до таблиць 2.6, 2.7.

Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	I, V, VI	ВБ
4,5	II, III	ПОБ

Таблиця 2.7 – Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
1	1	0	0	ВБ
α	0	1	1	
1	0	1	1	ПОБ
α	0	0	0	

При закріпленні в трикулачковому патроні похибка базування у радіальному напрямі відсутня.

Похибка базування на розмір $l=2,8$ мм визначається допуском на розмір $l=33,5$ мм:

$$\epsilon_{62,8} = T_{33} = 0,62 > T_{2,8} = 0,3 \text{ мм.}$$

Похибка базування на розмір $l=14$ мм визначається допуском на розмір $l=32,3$ мм:

$$\epsilon_{614} = T_{32} = 0,62 > T_{14} = 0,43 \text{ мм.}$$

Значення похибок більше за значення допуску, але обробка даних поверхонь виконується за один установ, що дає можливість знехтувати похибкою базування.

Розглянемо операцію 060 Плоско-шліфувальна. На операції відбувається шліфування торця на діаметрі 77f9 до шорсткості $Ra=0,8$ мкм. Ескіз операції зображено на рисунку 2.6.

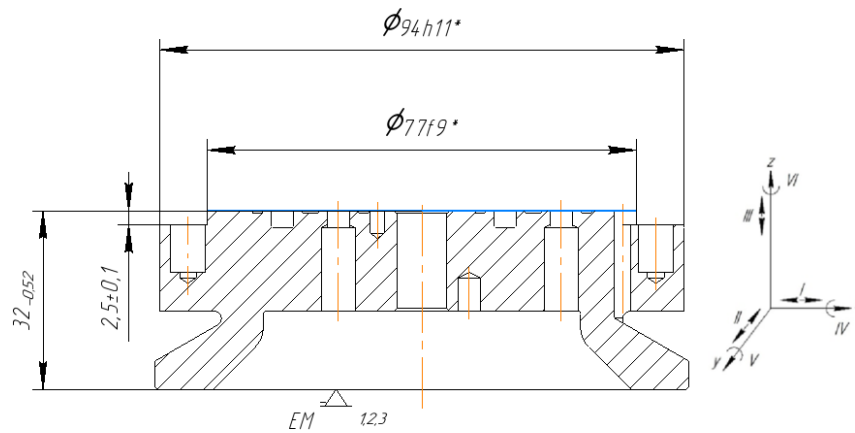


Рисунок 2.6 – Ескіз операції 060

На запропонованій схемі базування (рисунок 2.6) заготовка базується на електромагнітній плиті та позбавляється 3-х ступенів вільності. Установчою базою є торець. Степені вільності та найменування баз заносимо до таблиць 2.8, 2.9.

Таблиця 2.8 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, V, IV	УБ

Таблиця 2.9 – Матриця зв'язків

	x	y	z	Найменування бази
1	0	0	1	ВБ
α	1	1	0	

Похибка базування на розмір $l=2,5$ мм визначається допуском на розмір $l=32$ мм:

$$\varepsilon_{62,5} = T_{32} = 0,62 > T_{2,5} = 0,2 \text{ мм.}$$

Значення похибки більше за значення допуску, але обробка даних поверхонь виконується за один установ, що дає можливість знехтувати похибкою базування.

2.5 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Металорізальні верстати обирають за головним критерієм, що найбільше виявляє його функціональне призначення і технологічні можливості. Таким критерієм є вид обробки, на який розрахований верстат, відповідно до його службового призначення. Другим за важливістю критерієм є габаритні розміри робочої зони верстата, які повинні відповідати габаритним розмірам заготовки із врахуванням розмірів пристрою. Третім критерієм є відповідність верстата необхідній точності обробки.

Забезпечивши дотримання цих трьох основних вимог подальший аналіз ведуть у напрямку виявлення можливості роботи на оптимальних режимах, відповідності верстата за потужністю, продуктивністю, можливості його механізації та автоматизації. При цьому враховують також зручність обслуговування, можливість багатOVERSTATного обслуговування, вимоги техніки безпеки та промислової санітарії.

При виборі обладнання користуються паспортами верстатів, а за їх відсутності – каталогами металорізального та іншого обладнання.

У серійному та одиничному виробництві застосовують верстати широкого або загального призначення [9].

Для операції 030 Фрезерна з ЧПК обираємо 3-х осьовий вертикальний фрезерний центр, що дозволяє проводити фрезерні та свердлильні роботи. Порівнюємо з фрезерним верстатом із базового технологічного процесу – ГФ2171Ф3 (таблиця 2.10).

Таблиця 2.10 – Порівняльна характеристика ГФ2171Ф3 та VC0852

Характеристика	Одиниці вимірювання	ГФ2171Ф3	VC0852
Шпиндель/частота обертання	об/хв	BT50/2500	BT40/12000
Кількість інструментів	шт.	12	20
Хід X/Y/Z	мм	600/400/1500	860/520/610
Розмір столу	мм	400×1600	1000×520
Навантаження на стіл	кг	400	500
Потужність	кВт	8	11
Максимальний діаметр інструменту	мм	80	80
Габаритні розміри верстата	мм	3680×4170×3150	4957×3743×3099
Вага верстата	кг	6580	5250

Приймаємо вертикальний фрезерний центр VC0852, який відповідає середньосерійному типу виробництва та має: достатню потужність для здійснення відповідних режимів різання; менші габарити верстата та стола, які дозволяють встановлення пристрій; сучасну систему ЧПК; можливість одночасного встановлення до 20-ти інструментів з їх автоматичної зміною, що дозволяє збільшити продуктивність праці.

Для операції 015 Токарна з ЧПК порівнюємо токарний верстат 16A20Ф3 та запропонований токарний верстат DMG CTX 310. Характеристика верстатів наведена в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Порівняльна характеристика 16A20Ф3 та DMG CTX 310

Характеристика	Одиниці вимірювання	16A20Ф3	CTX 310
Шпиндель/частота обертання	об/хв	2500	5000
Максимальний діаметр точення	шт.	320	200
Потужність	кВт	11	16,5
Максимальний довжина обробки	мм	1000	450
Кількість інструментів	мм	8	12
Габаритні розміри верстата	мм	3700×3000×2100	3145×1539×2153
Вага верстата	кг	4000	3800

Обираємо токарний оброблювальний центр DMG CTX 310, який відповідає середньосерійному типу виробництва, має більшу потужність;

достатні габарити стола, сучасну систему ЧПК (SIMENS), можливість одночасного встановлення до 12-ти інструментів з їх автоматичної зміною, що дозволяє збільшити продуктивність праці, а також менші габарити та вагу.

Для операції 060 Плоскошліфувальна порівнюємо плоскошліфувальний універсальний верстат 3711 та запропонований верстат JET JPSG-1020AH. Характеристика верстатів наведена в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Порівняльна характеристика 3711 та JET JPSG-1020AH

Характеристика	Одиниці вимірювання	3Г71	JET JPSG-1020AH
Розміри робочої поверхні стола	мм	630x200	520x280
Число обертів шліфувального круга	об/хв	2680	2850
Потужність	кВт	2,2	4,12
Діаметр шліфувального круга	мм	170-250	170-250
Автоматизовані операції по 3-м координатам		-	+
Автоматизована система змащування		-	+
Габаритні розміри верстата	мм	2420×2050×1850	2480×1450×1750
Вага верстата	кг	3200	1810

Обираємо сучасний універсальний плоскошліфувальний верстат JET JPSG-1020AH, який має більшу потужність (майже у два рази) та частоту обертання шліфувального круга; достатні габарити стола, а також менші габарити та вагу. Крім того верстат оснащений автоматизованими системами змащення та переміщення по 3-м координатам.

2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристосувань, металорізального й вимірювального інструментів

При виборі верстатних пристроїв керуються наступними міркуваннями. В одиничному і дрібносерійному виробництвах широко застосовують універсальні пристрої У середньосерійному і масовому виробництвах

застосовуюють головним чином спеціальні пристрої, які скорочують допоміжний і основний час більше, ніж

універсальні, при більш високій точності. Вибір пристроїв повинен базуватися на аналізі затрат на реалізацію технологічного процесу у встановлений проміжок часу при заданій кількості виробів. При виборі оптимального варіанта пристрою повинні враховуватись: технічні вимоги на виготовлення деталі – кількість деталей та строки їх виготовлення; вимоги техніки безпеки та промислової санітарії; затрати на виготовлення пристрою.

При виборі типу і конструкції різального інструменту необхідно враховувати характер виробництва, метод обробки, тип верстата, розмір, конфігурацію та матеріал оброблюваної заготовки, необхідну якість поверхні, точність обробки [10].

На операції 030 при виборі пристосувань для базування і закріплення заготовки на верстаті скористаємося прийнятою схемою базування (рисунок 2.4).

Обираємо такі верстатні та допоміжні пристрої:

- спеціальний пристрій з пневмоприводом;
- свердлильний патрон BT40 – E3769508513;
- цанговий патрон BT40 – E346956751670;
- комплект цанг – ER16.
- Для виконання технологічних переходів операції обираємо

сучасний ріжучий інструмент:

- свердло спіральне $\varnothing 2,5$ і кутом при вершині 140° – SD205A-2.5-13-4R1;
- свердло спіральне $\varnothing 3,0$ і кутом при вершині 140° – SD205A-3.0-21-6R1;
- свердло $\varnothing 6,2$ з плоским торцем – B707A06200FBS;
- фреза кінцева $\varnothing 3,0$ та кутом в плані 0° – JS514030D2C.0Z4-NXT;
- фреза кінцева $\varnothing 8,0$ та кутом в плані 45° – JS509040N2CZ3.0-SIRA.

При виборі контрольно-вимірювальних інструментів до уваги беруться

точність вимірювання, трудомісткість вимірювання та тип виробництва. Виходячи з цих міркувань, в одиничному та дрібносерійному виробництвах перевагу необхідно надавати універсальним вимірювальним засобам, зокрема, штангенциркулям, мікрометрам та іншим. При визначенні точності інструментів потрібно враховувати, що ціна поділки повинна складати 0,2–0,3 допуску вимірювального параметра.

Обираємо універсальний вимірювальний інструмент:

- штангенциркуль – ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-73;
- штангенглибиномір – ШГ 160-0,05 ГОСТ 162-90.

На операції 015 при виборі пристосувань для базування і закріплення заготовки на верстаті скористаємося прийнятою схемою базування (рисунок 2.5).

У якості верстатного пристрій обираємо трикулачковий патрон DIN 6350 A 405012 0200 із сирими розточеними кулачками.

Для виконання технологічних переходів операції обираємо інструмент з механічним кріпленням ріжучої пластини:

- різець DCLNL2525M12 з пластиною CNMG120404-M3, TP2501;
- різець CFOR2020M-0317C з пластиною LPGN120404-03175E, TP2501;
- різець A20R-SCLCL09-R з пластиною CCMT 09T304-M3, TP2501.

Вимірювальний інструмент з операції 030.

На операції 060 при виборі пристосувань для базування і закріплення заготовки на верстаті скористаємося прийнятою схемою базування (рисунок 2.6). Оскільки обраний універсальний плоскошліфувальний верстат моделі JET JPSG- 1020AH оснащений електромагнітним столом, то немає потреби у використанні додаткових пристосувань для базування заготовки.

Для виконання операції приймає наступний ріжучий інструмент та оснащення:

- оправка гідропластова спеціальна;
- круг шліфувальний 25A40C16KA3 250x25x32 ГОСТ 2424-83.

Обираємо універсальний вимірювальний інструмент:

- штангенциркуль – ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-73;
- штангенглибиномір – ШГ 160-0,05 ГОСТ 162-90;
- зразки шорсткості на 0,8 мкм ГОСТ 9378-75.

2.7 Розрахунок режимів різання

На операції 030 режими різання для свердління отворів $\varnothing 3$ розраховуємо аналітичним методом [10]. Ескіз операції зображено на рисунку 6.2.

Вихідні дані. Діаметр отвору – 3 мм, глибина – 9,5 мм; матеріал заготовки – сталь 40 з межею міцності $\sigma_B=570$ МПа; заготовка – поковка штампована.

Характеристики верстату зазначені в пункті 2.5.

Свердло спіральне з твердого сплаву та циліндричним хвостовиком діаметром 3 мм, загальною довжиною 66 мм, довжиною ріжучої частини 21 мм. Геометричні параметри – $2\varphi=140^\circ$, $2\varphi_0=70^\circ$, кут нахилу поперечної кромки $\psi=55^\circ$, $\alpha=12^\circ$, $\omega=30^\circ$, $\alpha_1=6^\circ$, $f_v=0,4$ мм.

Розраховуємо глибину різання:

$$t=D/2=3/2=1,5 \text{ мм.}$$

Для свердла діаметром до 5 мм з твердого сплаву період стійкості $T=15$ хв [10].

Визначаємо подачу. При свердлінні отворів глибиною $l<3D$ з точністю Н14 в умовах жорсткої технологічної системи та сталі 40 $\sigma_B=570$ МПа та НВ=187 ГОСТ 1050-88 й діаметрі свердла 2...4 мм подача рекомендується в межах 0,08...0,10 мм/об. Приймаємо $S_{\text{табл}}=0,09$ мм/об. При $l<5D$ приймаємо поправочний коефіцієнт $K_{ls}=0,9$. Тоді $S=0,09 \cdot 0,9=0,081$ мм/об. Оскільки верстат має безступінчасте регулювання подач приймаємо $S_d=0,081$ мм/об [10].

Перевіряємо прийнятту подачу за міцністю свердла:

$$S = C_s \cdot D^{0,6} \cdot K_{ls},$$

де $C_s = 0,064$; $K_{ls} = 0,9$.

$$S_{\text{мл.с}} = 0,064 \cdot 3^{0,6} \cdot 0,9 = 0,11 \text{ мм/об.}$$

Оскільки $S_d < S_{\text{мл.с}} \rightarrow 0,081 < 0,11$ (мм/об), то умова міцності свердла виконується.

Визначаємо швидкість різання, що допускається інструментом, м/хв [10]:

$$v_p = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot S y_v} \cdot K_v,$$

де $C_v = 7,0$; $q_v = 0,40$; $y_v = 0,7$; $m = 0,2$.

Враховуємо поправочний коефіцієнт на швидкість різання

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{uv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv}.$$

Коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{0,9},$$

де $K_r = 1,0$; $n_v = 0,9$.

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{570} \right)^{0,9} = 1,28.$$

Коефіцієнт, що враховує властивості інструментального матеріалу – $K_{uv} = 1,0$.

Коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки – $K_{nv} = 0,8$.

Коефіцієнт, що враховує глибину різання – $K_{lv}=0,85$.

$$v_p = \frac{7 \cdot 3^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,081^{0,7}} \cdot 1,28 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,85 = 31,9 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя [10]:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 31,9}{3,14 \cdot 3} = 3386 \text{ об/хв.}$$

Оскільки верстат має безступінчасте регулювання частот обертання шпинделя, то приймаємо $n_p=n_d=3386$ об/хв. Тоді $v_p=v_d=31,9$ м/хв.

Визначаємо осьову силу [3]:

$$P_o=10C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p,$$

де $C_p=68$; $q=1,0$; $y=0,7$; $K_p=0,81$.

$$P_o=10 \cdot 68 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,081^{0,7} \cdot 0,81 = 284,5 \text{ Н.}$$

Визначаємо обертаючий момент та потужність, затрачену на різання.

Обертаючий момент [10]:

$$M_{кр}=10C_m \cdot D_m^q \cdot S_m^y \cdot K_p,$$

де $C_m=0,0345$; $q_m=2,0$; $y_m=0,8$; $K_p=0,81$.

$$M_{кр}=10 \cdot 0,0345 \cdot 3^{2,0} \cdot 0,081^{0,8} \cdot 0,81 = 0,05 \text{ Н·м.}$$

Потужність різання [10]:

$$N_p = \frac{M_{кр} \cdot n_\partial}{9750} = \frac{0,05 \cdot 3386}{9750} = 0,017 \text{ кВт.}$$

Що є прийнятним при потужності верстата 11 кВт.

Визначаємо машинний час [10]:

$$T_o = \frac{l_p}{n_\partial \cdot S_\partial} \cdot i,$$

$$l_p = l + l'_1 + l''_1,$$

де $l'_1 = 0,4D = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ мм}; l''_1 = 2 \text{ мм.}$

Тоді для 8 отворів $l_p = 8 \cdot (9,5 + 1,2 + 2) = 101,6 \text{ мм.}$

$$T_o = \frac{101,6}{3386 \cdot 0,081} = 0,37 \text{ хв.}$$

Розглянемо обробку інших поверхонь (рисунок 2.3). На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів SECO. Ріжучий інструмент зазначений у пункті 2.6. Обрані режими заносимо до таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Режими різання на операції 030

Перехід	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
Свердлити отвір Ø2,5 на глибину 4 мм	1	1,25	0,06	50	6370	7	0,02
Свердлити 8 отворів Ø3 на глибину 8,5 мм	8	1,5	0,81	31,9	3386	101,6	0,37
Свердлити 45 отворів Ø3 на глибину 19,2 мм	45	1,5	0,065	55	5836	1008	2,66
Розсвердлити 8 отворів Ø6,2 на глибину 9,5 мм	8	1,6	0,15	85	4366	1004	1,53
Фрезерувати 8 фасок розміром 0,4×45°	8	0,2	0,16	125	4976	23,2	0,03
Фрезерувати 45 пазів шириною 3 мм на глибину 2,5 мм	45	2,5	0,06	65	6900	315	0,76
Разом	-	-	-	-	-	-	5,64

На операції 015 режими різання для обточування поверхні Ø95 розраховуємо аналітичним методом. Ескіз операції зображено на рисунку 2.5.

Діаметр заготовки 97 мм, довжина оброблюваної поверхні 19,2 мм, заготовка – поковка штампована. Різець DCLNL2525M12 з пластиною CNMG120404-M3, TP2501.

Глибина різання $t=D-d/2=1$ мм.

Призначаємо період стійкості верстата $T_c=40$ хв (чорнова обробка) [10].

Призначаємо подачу для заготовки зі сталі 40 діаметром до 100 мм при глибині різання до 3 мм – $S_T=0,6\dots0,12$ мм/об. Приймаємо $S_T=0,8$ мм/об [10].

Розраховуємо швидкість різання за формулою [10]:

$$v = \frac{C_v}{T_c^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,2$.

Розраховуємо коефіцієнти K_v та K_{mv} ,

де $K_r=1$; $n_v=1$; $K_{nv}=0,8$; $K_{uv}=0,65$; $K_{jv}=0,9$ [10].

$$K_v = 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 = 0,5.$$

$$v_p = \frac{340}{40^{0,2} \cdot 1^{0,35} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,5 = 80,6 \text{ (м/хв)}.$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя [10]:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 80,6}{3,14 \cdot 97} = 270 \text{ об/хв}.$$

Для обраного верстата дійсні значення швидкості та частоти рівні розрахунковим.

Розраховуємо силу різання та підставляємо відповідні коефіцієнти [10]:

$$P_z = 10 C_{pz} \cdot t^{x_{pz}} \cdot S^{y_{pz}} \cdot v^{n_{pz}} \quad K_{pz} = 10 \cdot 300 \cdot 1^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 80,6^{-0,15} \cdot 1,0 = 298,6 \text{ кН}.$$

Розраховуємо потужність різання за формулою [10]:

$$N_p = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 1020} = \frac{298,6 \cdot 80,6}{60 \cdot 1020} = 0,39 \text{ кВт}.$$

Що є прийнятним при потужності верстата 16,5 кВт.

Розраховуємо основний час:

$$l_p = 19,2 + 1,5 + 1,3 = 22 \text{ мм},$$

$$T_o = \frac{22}{270 \cdot 0,8} \cdot 1 = 0,22 \text{ хв}.$$

Режими різання для інших переходів обираємо з каталогу SECO та заносимо до таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Режими різання на операції 015

Перехід	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
Підрізати торець на Ø78	1	1,5	0,3	130	517	50,5	0,33
Точити поверхню Ø95	1	1	0,8	80,6	270	22	0,22
Точити поверхню Ø78	3	2,5	0,14	105	418	4,8	0,1
Підрізати торець на Ø97	1	1,3	0,3	130	422	52	0,41
Точити поверхню Ø97	1	1	0,16	110	357	16	0,28
Точити канавку під кутом 60°	6	2	0,1	120	489	5	0,1
Розточити поверхню Ø75/Ø57	3	3	0,14	115	488	63	0,92
Разом	-	-	-	-	-	-	2,36

На операції 060 режими різання для шліфування торця на діаметрі 77f9 розраховуємо аналітичним методом. Ескіз операції зображено на рисунку 2.6.

Діаметр поверхні 77 мм, глибина шліфування – 0,3 мм, матеріал заготовка – сталь 40, $\sigma_B=570$ МПа. Характеристики верстату зазначені в таблиці 2.12.

За довідником [10] обираємо основні параметри різання при плоскому шліфуванні, а саме: швидкість обертання шліфувального круга, радіальну подачу, швидкість поступального руху заготовки.

Обрані режими різання:

- швидкість обертання шліфувального круга, $V_k = 32$ м/с=2445 об/хв;
- повздовжня подача, $S_p = 0,5 \cdot 0,025 = 0,0125$ м/хв;
- швидкість поступального руху заготовки, $V_z = 40$ м/хв.

Ефективна потужність при шліфуванні периферією круга повздовжньою розраховується за формулою:

$$N = C_N \cdot v_3^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q,$$

де $d=77$ мм – діаметр шліфування;

$b=25$ мм – ширина шліфування;

$t=0,3$ мм – глибина шліфування.

Значення коефіцієнта C_N та показників степенів приведені в таблиці

56 [10]:

$$C_N = 0,59;$$

$$r = 1,0;$$

$$y = 0,8;$$

$$x = 0,8.$$

Підставляємо в формулу отримані значення:

$$N = 0,59 \cdot 32^{1,0} \cdot 3^{0,8} \cdot 0,0125^{0,8} \cdot 77^0 = 1,36 \text{ кВт.}$$

2.8 Технічне нормування операції

Для операції 030 визначаємо допоміжний час за формулою [11]:

$$T_d = T_{д.у} + T_{д.оп} + T_{вим},$$

де $T_{д.у} = 0,32$ хв – час на установку і зняття заготовки [11];

$T_{д.оп} = 0,6$ – допоміжний час пов'язаний з операцією [11];

$T_{вим} = 0,22$ хв – допоміжний час на вимірювання [11].

$$T_d = 0,32 + 0,6 + 0,22 = 1,14 \text{ хв.}$$

Час циклу автоматичної роботи верстату за програмою розраховуємо за формулою [11]:

$$T_{ца} = T_o + T_{мв},$$

де $T_{мв} = 1,8$ хв – машинно-допоміжний час [11].

$$T_{ца} = 5,64 + 1,8 = 7,44 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час розраховуємо за формулою [11]:

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2} + T_{пр.обр},$$

де $T_{пз1} = 8$ хв – норма часу на налагодження та налаштування верстата [11];

$T_{пз2} = 14,1$ хв – норма часу на налагодження верстата, пристрій, інструмента, програмних пристроїв [11];

$T_{пр.обр} = 7,4$ хв – норма часу на пробну обробку [11].

$$T_{пз} = 8 + 14,1 + 7,4 = 29,5 \text{ хв.}$$

Розраховуємо норму штучного часу [11]:

$$T_{ш} = (T_{ца} + T_{\delta} \cdot K_t) \cdot \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{ос}}{100}\right),$$

де $K_t = 1,0$ – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної роботи в залежності від партії деталей [11];

$a_{тех} + a_{орг} + a_{ос} = 8\%$ – час на технічне та організаційне обслуговування робочого місця, на відпочинок та особисті [11].

$$T_{\text{ш}} = (7,44 + 1,14 \cdot 1,0) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 9,4 \text{ хв.}$$

Норма часу на виконання операції на верстаті з ЧПК [11]:

$$H_{\text{час}} = T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{п.з}}}{n},$$

де $n=47$ шт. – кількість деталей у партії.

$$H_{\text{час}} = 9,4 + \frac{29,5}{47} = 10,03 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час для операції 015 за формулою:

$$T_{\text{д}} = 0,1 + 0,6 + 0,2 = 0,9 \text{ хв.}$$

Час циклу автоматичної роботи верстату розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{ца}} = 2,36 + 1,6 = 3,96 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-заклучний час за формулою:

$$T_{\text{пз}} = 7 + 21,3 + 15,2 = 43,5 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час за формулою:

$$T_{\text{ш}} = (3,96 + 0,9 \cdot 1,0) \cdot \left(1 + \frac{9}{100}\right) = 5,6 \text{ хв.}$$

Розраховуємо норму часу на виконання операції на верстаті з ЧПК за формулою:

$$N_{\text{час}} = 5,6 + \frac{43,5}{47} = 6,53 \text{ хв.}$$

Нормуємо операцію 060 Плоскошліфувальна [14].

Вихідні дані:

- припуск на обробку – $\Pi = 0,3$ мм;
- довжина шліфування – $L = 77 + 25 = 102$ мм;
- ширина шліфування – $B = 77 + 25 = L = 102$ мм;
- швидкість переміщення стола – $v_3 = 15$ м/хв;
- поперечна подача стола – $S_o = 32$ мм/хід;
- вертикальна подача шліфувального круга – $S_b = 0,015$ мм/хід.

Розраховуємо основний технологічний час за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot B \cdot \Pi}{1000 v_3 \cdot S_o \cdot S_b} = \frac{102 \cdot 102 \cdot 0,3}{1000 \cdot 15 \cdot 32 \cdot 0,015} = 0,43 \text{ хв.}$$

Розраховуємо допоміжний час [14]:

$$T_d = 0,43 + 0,07 + 0,68 = 1,18 \text{ хв.}$$

Розраховуємо оперативний час [14]:

$$T_{\text{оп}} = 6,07 + 1,18 = 7,25 \text{ хв.}$$

Додатковий час виражається у відсотках від оперативного часу і розраховується за формулою:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot (\Pi_{\text{обс}} + \Pi_{\text{відп}})}{100}$$

де $P_{\text{обс}} = 9\%$;– час на обслуговування робочого місця; приймається урахуванням групи верстатів;

$P_{\text{відп}} = 4\%$.– час на відпочинок і особисті потреби працівника.

Звідки:

$$T_{\text{дод}} = \frac{7,25 \cdot (9 + 4)}{100} = 0,95 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = 7,25 + 0,2 = 7,45.$$

Підготовчо-заключний час включає час на:

- налагодження верстата, інструменту та пристосувань при установці в центрах для 1 групи верстатів – 10 хв;
- установку і зняття шліфувального круга – 6,0 хв;
- правку шліфувального круга після його установки по торцю – 1,5 хв;
- отримання інструменту і пристосувань до початку і здає їх після закінчення роботи – 7 хв.

Сумарний підготовчо-заключний час:

$$T_{\text{пз}} = 10 + 6 + 1,5 + 7 = 24,5 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 7,45 + \frac{24,5}{185} = 7,58 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

Згідно завдання було спроектовано пристрій, який призначений для встановлення та закріплення деталей типу «кільце», близьких за конструктивно-технологічними розмірами та за спільністю установчих поверхонь. Пристрій використовується на операції 030 Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПК. На операції відбувається обробка сорока п'яти пазів $l=3$ мм, сорока п'яти отворів $\varnothing 3$, восьми отворів $\varnothing 3$ та восьми отворів $\varnothing 6,2$ з фасками $0,4 \times 45^\circ$, отвору $\varnothing 2,5$.

Впровадження розроблюваного пристрою дає можливість встановлювати деталь на операції без попередньої вивірки за рахунок використання установчого пальця.

Завдяки використанню силового пневматичного приводу досягається швидкий затиск та розтиск деталі.

Жорсткість пристрою дозволить використовувати достатню для обробки потужність верстата.

Від точного базування деталі на верстатному пристрої буде залежати точність оброблюваних поверхонь. Розглядаючи креслення деталі можемо зробити висновок, що до оброблюваних поверхонь не пред'явлені жорсткі параметри.

До поверхонь, які на кресленні задані вільними, відповідно до технічних вимог до виготовлення деталі, допуски обираємо за 14 квалітетом точності згідно з ГОСТ 25347-82:

- значення допуску до пазів $l=3$ мм та отворів $\varnothing 3$ – $T_3=0,25$ мм, $ES=+0,25$ мм та $EI=0$.
- значення допуску на глибину $l=19,2$ мм 45 отворів $\varnothing 3$ – $T_{19,2}=0,52$ мм, $ES=+0,52$ мм та $EI=0$.
- значення допуску до отворів $\varnothing 6,2$ – $T_{6,2}=0,36$ мм, $ES=+0,36$ мм та $EI=0$.

- значення допуску до отвору $\varnothing 2,5$ – $T_{2,5}=0,25$ мм, $ES=+0,25$ мм та $EI=0$.
- допуск на глибину $l=4$ мм отвору $\varnothing 2,5$ – $T_{1,4}=0,3$ мм, $ES=+0,3$ мм та $EI=0$.
- значення допуску до фасок $0,4 \times 45^\circ$ – $T_{0,4}=0,20$ мм, $ES=+0,10$ мм та $EI=-0,10$ мм, $45^\circ \pm 1^\circ$ (ГОСТ 8908-81).

На глибину пазів $l=2,5$ мм на кресленні проставлений допуск $T_{1,2,5}=0,20$ мм; значення допуску не відповідає стандартному: для IT13 допуск – 0,14 мм, а для IT14 допуск – 0,25 мм. Оскільки не можна брати більш грубий допуск, ніж той, що зазначив конструктор, то стандартне значення допуску буде дорівнювати – $T_{1,2,5}=0,14$ мм.

На розмір $l=8 \pm 0,1$ мм, що зумовлює розташування отвору $\varnothing 2,5$ проставлений допуск $T_{1,8}=0,20$ мм; значення допуску не відповідає стандартному IT14: для IT13 допуск – 0,22 мм, а для IT12 допуск – 0,15 мм, тоді приймаємо стандартне значення допуску – $T_{1,8}=0,15$ мм.

На глибину $l=8,5 \pm 0,1$ мм отворів $\varnothing 6,2$ на кресленні проставлений допуск $T_{1,8,5}=0,20$ мм; значення допуску не відповідає стандартному: для IT13 допуск – 0,22 мм, а для IT12 допуск – 0,15 мм, тоді приймаємо стандартне значення допуску – $T_{1,8,5}=0,15$ мм.

На глибину $l=9,5^{+0,1}$ мм отворів $\varnothing 3$ на кресленні проставлений допуск $T_{1,8,5}=0,10$ мм; значення допуску не відповідає стандартному: для IT12 допуск – 0,15 мм, а для IT11 допуск – 0,09 мм, тоді приймаємо стандартне значення допуску – $T_{1,9,5}=0,09$ мм.

Конструктором не відзначена точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо її відповідно з нормальною відносною геометричною точністю – А, згідно з ГОСТ 24643-81 (60%, або 30% для допуску циліндричності, круглості та профілю повздовжнього січення, від допуску на розмір). Відповідно назначимо в відсотковій частині від допуску на розмір такі відхилення.

Допуск циліндричності та круглості, котрі складатимуть 30% від допуску

для розміру:

– $\varnothing 2,5^{+0,25}$, $\varnothing 3^{+0,25}$, $T\varnothing=0,25 \cdot 0,3=0,075$ мм приймаємо 60 мкм – 8 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81;

– $\varnothing 6,2^{+0,25}$, $T\varnothing=0,36 \cdot 0,3=0,108$ мм приймаємо 100 мкм – 9 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81.

На кресленні задане значення позиційного допуску розташування отворів $\varnothing 6,2H14$ відносно бази Б.

Позиційний допуск за кресленням складає $T_{\text{п}}=0,3$ мм. Допуск є стандартним та відповідає 12 степені точності згідно з ГОСТ 24643-81.

Оскільки оброблювані поверхні відповідають 14 квалітету точності, то пред'явлені вимоги до шорсткості не є жорсткими. Шорсткість усіх поверхонь складає $Ra=6,3$ мкм.

Аналіз схеми базування та характеристика верстата проводяться в пунктах 6.2 та 6.3 відповідно.

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил і поля врівноважуючих сил побудуємо графічну модель збурюючих сил у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування (рисунок 2.7).

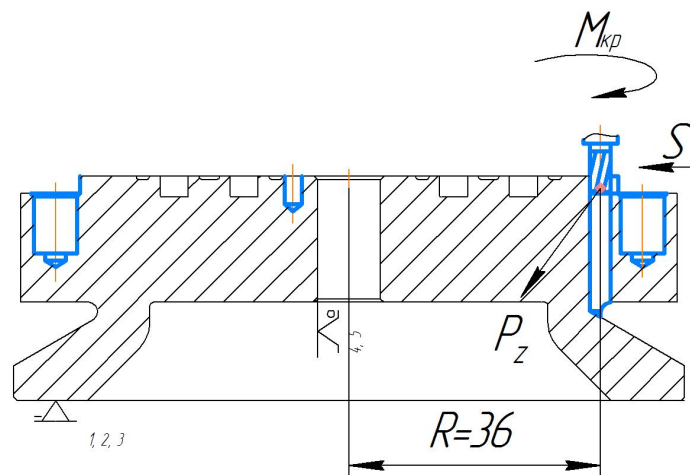


Рисунок 2.7 – Структура поля збурюючих сил

Побудуємо поле врівноважуючих сил, створених затискним механізмом пристрою (рисунок 2.8).

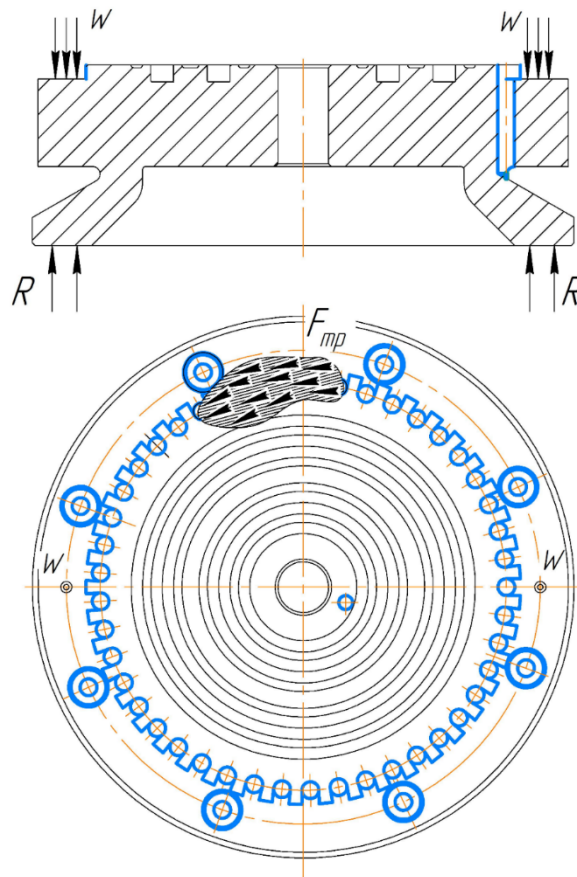


Рисунок 2.8 – Структура поля урівноважуючих сил

Розрахуємо величину сумарного зусилля закріплення за формулою [10]:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр}}{R \cdot f},$$

де W – сила затиску деталі;

$M_{кр}$ – крутний момент на фрезі, Н·м;

$R=0,036$ – приведений радіус точки прикладання сил, м;

f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затискачів (для гладких поверхонь $f = 0,25$) [10];

K – коефіцієнт запасу.

Визначаємо коефіцієнт запасу [10]:

$$K=K_0 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6,$$

де $K_0=1,5$ – коефіцієнт гарантованого зазору [10];

$K_1=1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях [10];

$K_2=1,3$ – коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення різального інструменту [10];

$K_3=1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при фрезеруванні [10];

$K_4=1,0$ – коефіцієнт постійності сили закріплення [10];

$K_5=1,0$ – коефіцієнт ергономіки [10];

$K_6=1,5$ – коефіцієнт моментів, що прагнуть повернути заготовку [10].

$$K=1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0=1,95.$$

Приймаємо $K = 2$.

Визначаємо крутний момент [10]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100},$$

де P_z – головна сила різання, Н;

$D=3$ – діаметр фрези, мм.

Визначаємо головну складову сили різання [10]:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP},$$

де $C_p=68,2$; $x=0,86$; $y=0,72$; $n=1,0$; $q=0,86$; $w=0$ – відповідні коефіцієнти;

$t=3$ – глибина різання, мм;

$S_z=0,05$ – подача на зуб, м/зуб;

$B=2,5$ – ширина фрезерування, мм

$z=4$ – число зубів фрези;

$n=3300$ – частота обертання шпинделя, об/хв;

$K_{MP}=1,0$ – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 2,5^{1,0} \cdot 4}{3^{0,86} \cdot 3300^0} \cdot 1 = 789 \text{ Н.}$$

$$M_{кр} = \frac{789 \cdot 3}{2 \cdot 100} = 11,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$W = \frac{2 \cdot 11,8}{0,036 \cdot 0,25} = 2622 \text{ Н.}$$

Для закріплення заготовки використовується два симетрично розташованих прихвата з пневмоприводом. Оскільки сила закріплення $W = 2622$ Н, то значення сили яка діє на кожен із прихватів – $Q = 1311$ Н.

Для розкріплення заготовки достатньо ходу штока у межах 15-20 мм. У зв'язку з цим у якості пневмоприводу доцільно прийняти тарільчатую резино-тканну пневмокамеру односторонньої дії .

Визначаємо основні параметри пневмокамери [12]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4} - q,$$

де D – діаметр пневмокамери, мм;

$q=200$ – сила опору пружини, Н;

$\eta=0,85$ – ККД;

$p=0,4$ – тиск у пневмережі, МПа.

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

$$D = \sqrt{\frac{4(1311+200)}{3,14 \cdot 0,85 \cdot 0,4}} = 75,2 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр зі стандартного ряду значень – $D=125$ мм [12].

Розраховуємо фактичну силу, яка діє на прихват:

$$Q = \frac{3,14 \cdot 125^2 \cdot 0,4 \cdot 0,85}{4} - 200 = 3970 \text{ Н.}$$

Діаметр опорної шайби – $d=0,7 \cdot D=0,7 \cdot 125=87,5$ мм.

Довжину хода штоку – $l=(0,18 \dots 0,22) \cdot 125 \approx 25$ мм.

Приймаємо товщину мембрани – $t=3$ мм.

Розрахункову похибку пристрою розраховуємо за формулою 8.5 [3].
Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовують у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{\text{пр.}} \leq T \cdot k_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_B)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_Y^2 + \varepsilon_{II}^2 + \varepsilon_{II}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)^2},$$

де $T=0,3$ – допуск позиціонування отворів, мм;

$k_T=1,2$ – коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу;

$k_{T1}=0,8$ – коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налаштованих верстатах;

$k_{T2}=0,6$ – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки в сумарній похибці, спричиненої факторами, незалежними від пристрою [3];

$\varepsilon_6=0,058$ – похибка базування заготовки в пристрої, мм [3];

$\varepsilon_z=0$ – похибка закріплення заготовки, що виникає в результаті дії сил затиску, мм [3];

$\varepsilon_y=0,045$ – похибка установки пристрою на верстаті, мм [3];

$\varepsilon_{\pi}=0,01$ – похибка положення заготовки, що виникає в результаті зносу установчих елементів пристрою, мм [3];

$\varepsilon_{\text{и}}=0,005$ – похибка від перекосу (зміщення) інструменту, мм (відсутні постійні або змінні напрямні втулки) [3];

$\omega=0,1$ – економічна точність обробки [3].

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{пр}} &\leq 0,3-1,2\sqrt{(0,8 \cdot 0,058)^2+0+0,045^2+0,01^2+0,005^2 + (0,6 \cdot 0,1)^2}= \\ &=0,193\text{мм}.\end{aligned}$$

Розрахункова величина точності пристрою складає 0,193 мм. Округляємо ваце значення до найближчого меншого значення згідно з ГОСТ 24643-81 – 0,16 мм. Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що допуск зміщення вісі установчого пальця відносно загальної вісі шпонок в поперечному напрямі – не більше 0,16 мм.

Пристрій в складанні повинен відповідати технічним вимогам креслення загального виду та забезпечувати якісну обробку заготовки за заданими розмірами.

Базовою деталлю пристрою є корпус 4, у якому знизу розташовані шпонки 22 для базування на столі верстата та дві порожнини, що слугують для розміщення пневмокамер односторонньої дії. Пневмокамери складаються з втулок 1, які запресовуються в отвори корпусу 4. Через втулку проходить шток 14, на якому розміщена пружина 11 та між шайбами 7, 13 затиснута мембрана 8. Знизу пневмокамери закриваються кришками 5, які кріпляться гвинтами 17 до корпусу 4. Зверху на корпусі розташовані: дві опори 6 на яких кріпляться прихвати 9; кільце 3 та установчий палець 12, котрі слугують для базування деталі на пристрої.

Пристрій установлюють на верстаті з урахуванням його нульової точки.

Виконують підготовку базових поверхонь до встановлення заготовки. Виконавши установку заготовки, її закріплюють. Після обробки й розкріплення, деталь знімають з пристрою та готують його базові поверхні до встановлення наступної заготовки.

При повороті рукоятки пневморозподільвача, в безштокову порожнину пневмокамери надходить стиснуте повітря 0,4 МПа. У зв'язку з чим тарільчата мембрана 8 переміщується зі свого початкового положення у верхню порожнину пневмокамери. Відбувається переміщення штока 14, який у свою чергу тисне на прихват 9, котрий притискає заготовку.

При повороті рукоятки пневморозподільвача в іншу сторону, повітря з пневмокамери виходить. За допомогою зворотної пружини 11 тарільчата мембрана 8 повертається у вихідне положення – відбувається розкріплення заготовки.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального приладу

На даний момент контроль радіального биття поверхні $\varnothing 96d9$ виконується на робочому місці токаря за допомогою індикатора годинникового типу та індикаторної стійки. Даний метод не можна вважати прийнятним через велику трудомісткість на встановлення, контроль та зняття виробу і неналежні умови для проведення контролю: ЗОР, стружку та бруд на робочому місці та довготривалість даної операції. Під час контролю на робочому місці деталь базується так як і при обробці, по поверхні $\varnothing 94h11$ відносно якої потрібно контролювати радіальне биття, але так як ця поверхня ще не оброблена остаточно, то контроль є неточним, тому окрім контролю на робочому місці необхідно додати контроль \varnothing після остаточної обробки деталі у відділі технічного контролю.

В цілому контроль радіального биття поверхні $\varnothing 96d9$ відносно базової поверхні $\varnothing 94h11$ не викликає труднощів, оскільки допуск проставлений правильно, базові поверхні достатньо розвинуті та точні. Є можливість

дотриматися принципу суміщення баз.

Контрольований параметр визначає величину радіального биття поверхні $\varnothing 96d9$ (рисунок 2.9).

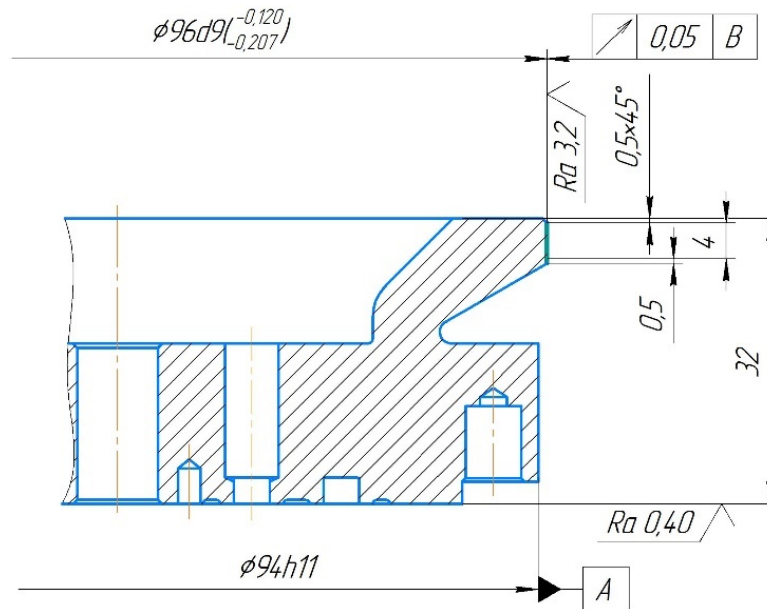


Рисунок 2.9 – Точки в яких знімається інформація про параметр

На операції проводиться контроль радіального биття на поверхні $\varnothing 96d9$ мм. Визначимо параметри точності даної поверхні.

Як вже встановлено, номінальний розмір контрольованої поверхні — 96 мм, що відповідає дев'ятому квалітету точності ($\varnothing 96d9$). Верхнє відхилення $es = -120$ мкм; нижнє відхилення $ei = -207$ мкм, допуск ІТ = 87 мкм згідно з ГОСТ 25347-2013.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 96$ характерною похибкою форми є відхилення від циліндричності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Для нормальної геометричної точності А величину допуску циліндричності визначимо як 30% від допуску на діаметральний розмір контрольованої поверхні:

$$T_{f/O/\varnothing 96} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 96} = 0,3 \cdot 87 = 26,1 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 25 мкм, що

відповідає восьмій степені точності за ГОСТ 24643-81

Визначаємо точність розташування поверхонь.

Як зазначено вище, значення радіального биття, складає 60 мкм, що відповідає 8-й степені точності за ГОСТ 24643-81.

В даному випадку для нас має значення різниця найбільшої R_{max} та найменшої R_{min} відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової вісі в перерізі площиною, перпендикулярній до базової вісі (рисунок 2.10).

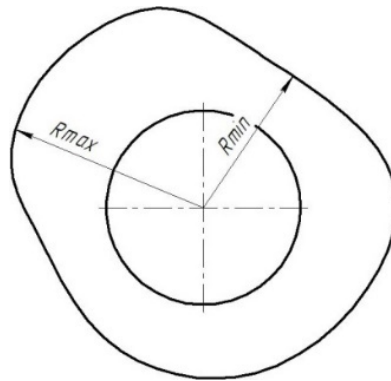


Рисунок 2.10— Можливі відхилення розташування поверхонь реальної деталі

Шорсткість задана на кресленні й прийнята конструктором – $Ra=3,2$ мкм.

Радіальне биття контролюється після остаточної механічної обробки на столі у відділенні технічного контролю. Деталь за конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технічними – до класу короткий циліндр. Маса деталі після обробки 1,3 кг. Матеріал деталі – сталь конструкційна вуглецева якісна (ГОСТ 1050-2013) марки 40. Сталь має високу міцність, твердість та в'язкість, твердість HB 167...241; щільність $7,8$ т/м³; межа текучості 800 МПа.

З усіх поверхонь, що утворюють деталь, на роль базових претендують зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 94h11$, торці на $\varnothing 77f9$ та $\varnothing 94h11$. За встановлювальну базу беремо торець на $\varnothing 77f9$, оскільки даний вибір обґрунтований можливістю суміщення конструкторської та технологічної баз. Проведемо уточнення і аналіз точності параметрів цих поверхонь.

Діаметр зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 94h11$. Квалітет точності

IT11. Нижнє відхилення – $e_i = 220$ мкм, верхнє $e_s = 0$. Величина допуску $IT = 220$ мкм згідно ГОСТ 25347-82.

Визначаємо точність форми.

Розглянемо можливі відхилення форми базової циліндричної поверхні, котрі можуть вплинути на точність розміщення деталі при контролі. Перш за все до них відносяться відхилення від круглості.

Відхилення форми поздовжнього перерізу виражається відхиленням від площинності, до якого відносять: конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність.

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 94h11$ характерною похибкою форми є відхилення від циліндричності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Для нормальної геометричної точності А величину допуску циліндричності визначимо як 30% від допуску на діаметральний розмір даної поверхні:

$$T_{f/O/\varnothing 94} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 96} = 0,3 \cdot 220 = 66 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 60 мкм, що відповідає 10-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Для торця на $\varnothing 77f9$ характерною похибкою форми є відхилення від площинності, допустима величина якого не регламентується кресленням деталі. Величину визначимо як 30% від допуску на довжину даної поверхні:

$$T_{f32} = 0,3 \cdot T_{p-p} = 0,3 \cdot 620 = 186 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 200 мкм, що відповідає 14-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Визначаємо точність розташування.

У зв'язку з тим, що на кресленні немає обмежень на відхилення розташування базової циліндричної поверхні $\varnothing 94h11$, призначаємо допуск радіального биття, який складає 30% від допуску на

діаметральний розмір даної поверхні:

$$T_{\text{O}/\varnothing 94} = 0,3 \cdot T_{\varnothing 96} = 0,3 \cdot 220 = 66 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 60 мкм, що відповідає 10-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Для торця на $\varnothing 77f9$ призначаємо допуск торцевого биття, який складає 30% від допуску на довжину даної поверхні:

$$T_{\text{B2}} = 0,3 \cdot T_{\text{p-p}} = 0,3 \cdot 620 = 186 \text{ мкм.}$$

Найближче значення допуску зі стандартного ряду рівне 200 мкм, що відповідає 13-й степені точності за ГОСТ 24643-81

Визначаємо степінь шорсткості.

На кресленні зазначена шорсткість зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 94h11$ – $Ra=6,3$ мкм, торця на $\varnothing 77f9$ – $Ra=0,4$ мкм.

Складемо таблицю параметрів точності базових і контрольованих поверхонь. Оцінюючи дані параметри (табл. 2.15) приходимо до висновку, що якість базових поверхонь забезпечує задану точність положення деталі під час контролю.

Таблиця 2.15 – Показники точності поверхонь

Параметри точності	Контрольована поверхня	Базові поверхні	
		Циліндрична поверхня $\varnothing 94h11$	Торець на $\varnothing 77f9$
Точність розміру (квалітет)	9	11	14
Точність форми (ступінь точності)	8	10	14
Точність розташування (ступінь точності)	8	10	13
Шорсткість поверхні, Ra (мкм)	3,2	6,3	0,4

На рисунку 2.5 показана схема базування та закріплення. Попередньо для встановлення деталі обираємо мембранній патрон. Зовнішня циліндрична

поверхня $\varnothing 94h11$ затискається у розточених кулачках, при цьому реалізується подвійна опорна база, що позбавляє деталь двох ступенів вільності. Торець на $\varnothing 77f9$ являється установлювальною базою та позбавляє деталь трьох ступенів вільності.

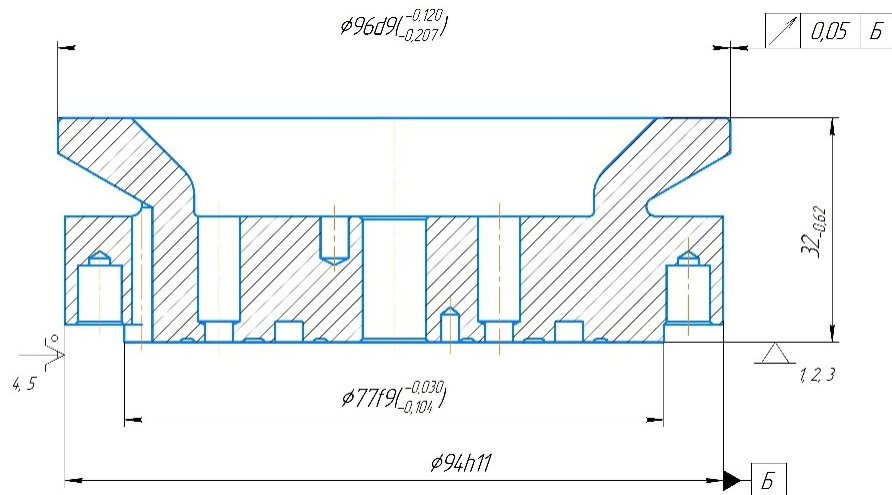


Рисунок 2.11 – Схема базування та закріплення деталі на операції контролю

Якщо розташувати вісь деталі вертикально, то сила тяжіння буде притискати опорну поверхню до установчої поверхні пристосування, а базова циліндрична поверхня затискатиметься кулачками мембранного патрону. Таким чином необхідність в жорсткому закріпленні деталі на операції контролю відпадає. Виходячи з цього, похибка що враховує вплив сил закріплення буде рівна нулю $\epsilon_j=0$.

Контроль заданого параметра буде проводитися після остаточної механічної обробки на столі у відділенні технічного контролю. Виходячи з цього, робимо висновки про прийнятні умови експлуатації КВП. Температура робочої зони – $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$. Відносна вологість повітря – $\varphi_n 80\%$. Атмосферний тиск – $P_{\text{ат}} = 86 \dots 106 \text{ кПа}$; швидкість руху повітря – $V_c \leq 0,5 \text{ м/с}$. Частота вібрацій, створюваних обладнанням та верстатами 20-30 Гц. Місцева освітленість робочої дільниці $E_{\text{ф}} = 1000 \text{ люкс}$. Можливий контроль деталей, що не охолонули після обробки. Їх температура може досягати 50°C .

З усіх можливих варіантів прямого і не прямого методів контролю віддаємо перевагу прямому методу, бо його простіше реалізувати при контролі

радіального биття. При цьому відпадає необхідність в перерахунках значення параметру і точність контролю є достатньою для заданого допуску.

При виборі між контактним та безконтактним методом контролю віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що міцність і твердість матеріалу деталі високі, тому контрольована поверхня може без деформацій сприймати значне вимірювальне зусилля.

Для забезпечення точкового контакту обираємо наконечник зі сферичною формою головки при радіусі сфери не менше ніж 5 мм. Наконечник має бути з твердого сплаву для підвищення зносостійкості.

Враховуючи високу міцність та твердість контрольованої поверхні, допуск та геометричні параметри головки наконечника, орієнтовно призначаємо зусилля вимірювання рівним 5Н.

В такому разі очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

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

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

K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника

($K=0,81$ для твердого сплаву);

$P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм;

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

Деталь можливо контролювати або в стані спокою (статичний метод), або переміщувати/обертати (динамічний метод). Характер контрольованого параметра (радіальне биття) потребує обертати деталь під час контролю тому будемо користуватися динамічним методом.

Питання про розташування контрольованої деталі на операції контролю

було розглянуто в пункті 2.6, де обґрунтовано горизонтальне положення деталі, оскільки при такому розташуванні не потрібні закріплювальні пристрої.

Між абсолютним і відносним методом контролю перевагу надаємо абсолютному, бо такий метод є більш точним, не потребує додаткових перетворювальних пристроїв, виготовлення еталонів тощо.

Використовуємо пасивний метод контролю, оскільки контролюється вже готова деталь після повної механічної обробки і потрібно оцінити показники її якості перед операцією складання.

КВП повинен мати вимірювальний прилад зі шкалою, що забезпечує достатню точність відліку без надмірного навантаження на зір.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення обумовлено в більшій мірі контактним методом контролю. На його користь вказує великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічне випробування на точність та надійність роботи на робочих місцях.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних характеристик і надійності, яким має відповідати ЗВ.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП визначається як частина допуску T контрольованого параметру (радіальне биття 0,05 мм):

$$|\delta_{\text{вим}}| = k \cdot IT,$$

де k – залежить від квалітету чи ступеня точності контрольованого параметру і може приймати значення від 0,2 до 0,35. Для 8-ї ступені точності радіального биття $k = 0,25$

$$|\delta_{\text{вим}}| = 0,25 \cdot 50 = 12,5 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051 рекомендовано прийняти $|\delta_{\text{вим}}| = 13 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку засобу вимірювання (інструментальна похибка):

$$|\Delta_{\text{ін}}| = 0,7 \cdot |\delta_{\text{вим}}| ;$$

$$|\Delta_{\text{ін}}| = 0,7 \cdot 13 = 9,1 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки розраховується в залежності від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Приймаємо $C \leq \Delta_{\text{ін}}$, $C = 5 \text{ мкм}$

Інтервал ділення шкали (а) беремо 2 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може викликати труднощі при зчитуванні показників ЗВ. Тут необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і насамперед освітленість.

Межа вимірювань за шкалою А повинна бути більшою за допуск Т, щоб зчитування показників не викликало труднощів.

$$\text{Приймаємо } A = 4 \cdot T = 4 \cdot 50 = 200 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювань засобу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Приймаємо $B = 1 \text{ мм}$.

Зусилля вимірювання $P_{\text{зус}}$ обумовлюється характером контрольованих поверхонь, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску контрольованого параметра. Значення вимірювального зусилля прийнято в пункті 3. Оскільки обмежень на дану величину немає, приймаємо $P_{\text{зус}} = 5 \text{ Н}$, а допустиме коливання вимірювального зусилля $\Delta P_{\text{зус}} = 1 \text{ Н}$.

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови за ймовірності безвідмовної роботи Р. Задаємо кількість циклів контролю, що відповідає заданій кількості контрольних операцій:

$$t(P) = 2 \cdot 4500 = 9000 \text{ циклів.}$$

Після того, як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним показникам та надійності, можна почати пошук ЗВ.

Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходиться в такому співвідношенні з допустимими:

$$\Delta_{\text{ін}} \leq |\Delta_{\text{ін}}|;$$

$$C \leq |C|;$$

$$a \geq |a|;$$

$$A \geq |A|;$$

$$B \geq |B|;$$

$$P_{\text{зyc}} \leq |P_{\text{зyc}}|;$$

$$\Delta P \leq |\Delta P|;$$

$$t(P) \geq |t(P)|;$$

$$p \geq |p|;$$

$$Ц \leq |Ц|.$$

Пошук виконано згідно з каталогами важільно-зубчастих вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками є важільно-зубчастий індикатор годинникового типу Mitutoyo моделі 2124SB-10 з наступними параметрами:

$\Delta_{\text{ін}}=7$ мкм; $C=5$ мкм; $A=1$ мм; $B=5$ мм; $P_{\text{зyc}}=1,5$ Н; $\Delta P=0,4$ Н; $t(P)=50000$ циклів; $p=0,9$; $Ц=1000$ грн .

Зіставивши ці значення з допустимими (розрахунковими), робимо висновок про те, що задані умови точності, надійності та економічності витримано.

Інші ЗВ мають надлишкову точність та є менш надійними, тому для нашого КВП найбільш прийнятним вважаємо важільно-зубчастий індикатор годинникового типу моделі 2124SB-10.

Ескіз обраного індикатора представлений на рисунку 2.11. Габаритні розміри: $l \cdot \varnothing \cdot b = 110 \cdot 57 \cdot 38$ (мм), маса – 0,2 , кг, стандарт на повірку згідно з інструкцією 141–55. Вимірювальний наконечник оснащений вставкою з твердого сплаву.

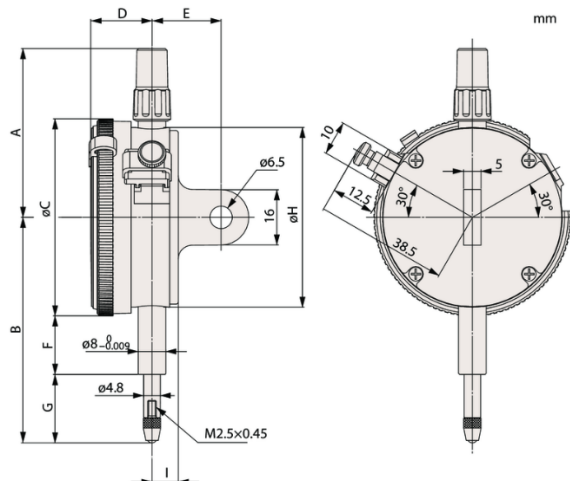


Рисунок 2.12 – Ескіз індикаторної головки

На рисунку 2.13 зображене креслення КВП. Контрольована деталь 1 встановлена на опори 2 та затиснута гвинтами 3, які вкручені в ріжкову мембрану 4. Мембрана розташована в корпусі патрону 5, що обертається на радіально-упорному підшипнику 6. Індикаторна стійка 7 може повертатися в опорній втулці 8 на 90° , при чому може займати одне з двох положень – робоче або для встановлення вимірювальної деталі.

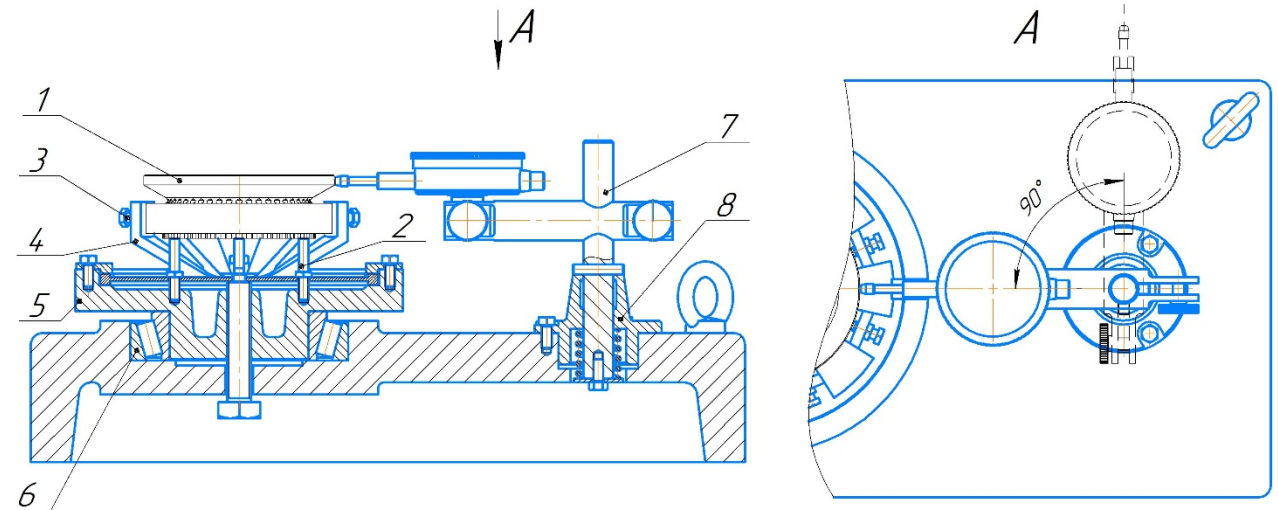


Рисунок 2.13 – Креслення КВП

Сумарна похибка КВП розраховується за наступною формулою:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_p^2 + \Delta_e^2 + \Delta_{\text{інстр}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_{\text{зус}}^2},$$

де ε – похибка положення контрольованої деталі в пристрої. Вона розраховується як:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}$$

де ε_6 – похибка базування. В нашому випадку вона рівна 0 (п. 2.8).

ε_3 – похибка закріплення. $\varepsilon_3 = 0$ мкм. (п.2.8)

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – похибка виготовлення елементів пристрою. $\varepsilon_{\text{пр}} = 5$ мкм.

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

Δ_p – у формулі це похибка передатного пристрою. Так як конструкцією нашого КВП його не передбачено, то $\Delta_p=0$.

Δ_e – похибка виготовленої еталонної деталі. Наш метод вимірювання не потребує виготовлення еталонної деталі, за нашим методом можливо отримувати фактичні показники з кожного проведеного вимірювання, тому $\Delta_e=0$.

$\Delta_{\text{інст}}$ – похибка вибраного вимірювального інструменту, $\Delta_{\text{інст}}=1$ мкм.

Δ_t – похибка викликана зміною температури навколишнього середовища. Так як контроль буде проводитися в лабораторії ВТК, то там температура має сталі значення і перепади відсутні, тому $\Delta_t=0$.

$\Delta_{\text{зус}}$ – похибка, викликана вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації.

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

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

K – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника

($K=0,81$ для твердого сплаву);

$P_{\text{зус}}=1,5$ Н – вимірювальне зусилля;

$r=3$ мм радіус сфери наконечника, мм;

$$\Delta_{\text{зус}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5^2}{3}} = 0,35 \text{ мкм.}$$

Підставимо знайдені значення елементарних похибок у формулу:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{5^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 0^2 + 0,35^2} = 5,11 \text{ мкм}$$

Порівняємо фактичну сумарну похибку $\varepsilon_{\text{КВП}} = 5,11$ мкм із допустимою $\delta_{\text{ВИМ}} = 8$ мкм, робимо висновок, що необхідна умова точності виконується.

$$\varepsilon_{\text{КВП}} \leq [\delta_{\text{ВИМ}}] \rightarrow 5,11 \leq 8 \text{ мкм}$$

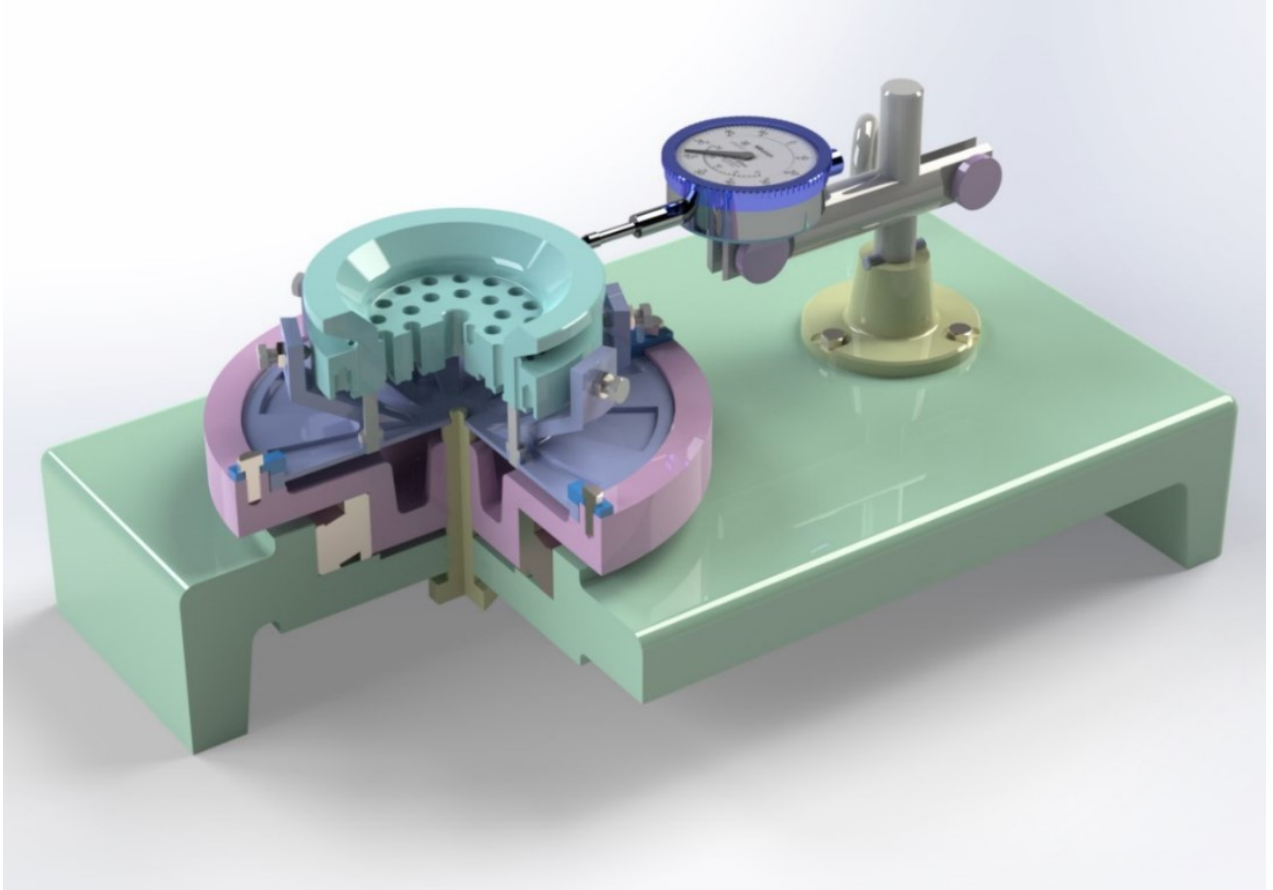


Рисунок 2.14 – Конструкція КВП

Базовою деталлю КВП (рисунок 2.14) є корпус 2, у який встановлено оправку 11, що закріплена в корпусі на конічному радіально-упорному підшипнику 18. У оправці 11 встановлена ріжкова мембрана 8, в яку загвинчені гвинти 10 для базування деталі у радіальному напрямку. Мембрана закріплюється в оправці за допомогою прихватів 9. Опори 12, загвинчені в оправку, слугують для базування деталі по торцю. Розтиск мембрани 8 здійснюється за рахунок загвинчування штовхача 13, торець якого тисне на мембрану знизу та розводить кулачки. Індикатор 1 закріплюється через «вушко» в кронштейні 4, який в свою чергу пригвинчений до штоку 3. Сам шток базується у втулці 5, яка пригвинчена до корпусу. Шток може

здійснювати поворот на 90° відносно втулки, при чому позиціонування відбувається за допомогою пазів та штифта 19. Для транспортування пристрою конструкцією передбачено рим-болти 15.

Процес контролю величини радіального биття деталі наступний: індикатор разом з кронштейном та штоком переводиться в положення від оправки для завантаження, встановлення та закріплення контрольованої деталі. Під час загвинчування штовхача 13, який торцем тисне на ріжкову мембрану 8, відбувається розтиск кулачків. Деталь встановлюється по торцю на опори 12. Під час розгвинчування штовхача 13, мембрана повертається у початкове положення та фіксує деталь кулачками з гвинтами 10. Після чого індикатор повертається у вихідне положення, проводиться його регулювання (встановлення шкали на «0»). Переконавшись у надійному закріпленні деталі, фіксації індикатора в кронштейні та правильному його положенні відносно контрольованої поверхні, можна починати контроль. Під час обертання деталі, на шкалі індикатора відображається величина радіального биття контрольованої поверхні. Інженер-контролер фіксує показники, та повторює вимірювання два-три рази поспіль для отримання достовірного результату.

2.11 Висновок

Під час виконання роботи було проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме:

1. У якості заготовки прийнята поковка, виготовлена штампуванням на КГШП, оскільки вона є більш економічно вигідною, ніж заготовка з прокату.
2. За принципом концентрації об'єднані відповідні операції, які можна виконати за один установ заготовки, що дало змогу зменшити допоміжний час.
3. Розглянуто можливі схеми базування для трьох механічних

операцій та прийнято найбільш доцільні.

4. Підібрано сучасне обладнання з ЧПК, що дало змогу відмовитися від проведення двох розмічальних операцій з використанням ділильної головки.

5. Використання прогресивного обладнання та металорізальних інструментів дозволило застосувати високопродуктивні режими різання спрямовані на інтенсифікацію виробництва, що відповідно зменшило основний час на обробку заготовок.

6. Для стабілізації якості оброблення поверхонь заготовки спроектовано спеціальне верстатне пристосування з пневмоприводом для її базування та закріплення.

7. Для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні деталі спроектовано спеціальний контрольно-вимірювальний прилад.

РОЗДІЛ 3

ДИНАМІЧНИЙ ТА СТАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОНТРОЛЬНО- ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИЛАДУ

3.1 Актуальність, мета та методи дослідження

У природі не існує машин, механізмів і їх частин, навіть найпростіших. Їх потрібно виготовити з матеріалів, які вимагають попередньої обробки. Перш, ніж виготовити ту чи іншу деталь, її необхідно спроектувати, а згодом – сконструювати.

При конструюванні особливо важливий досвід, а також природжене і розвинене практикою почуття пропорційності окремих деталей і їх елементів. Цим почуттям володіє практично кожна людина, але воно розвивається по мірі виконання відповідних задач та набуття професійних навичок. У той же час, при конструюванні відповідальних деталей, механізмів чи машин не можна покладатися лише на досвід. Актуальним залишається аналіз міцності, стійкості, власної і вимушеної динаміки конструкцій при статичних і динамічних силових і температурних впливах, що дає змогу забезпечити надійність та довговічність об'єкта конструювання.

Сьогодні стрімкий розвиток технологій дозволяє використовувати низку систем автоматизованого розрахунку, проектування механічного обладнання і конструкцій для вирішення зазначених вище задач.

У даному випадку для спроектованого КВП є актуальними проведення динамічного та статичного аналізу конструкції, що дасть змогу переконатися у надійності приладу та забезпечити нормальні умови його експлуатації.

Враховуючи, що однією із важливих сучасних задач є інтенсифікація виробничих процесів, яка в кінцевому підсумку супроводжує зростанням робочих швидкостей, що, в свою чергу, призводить до необхідності більш глибокого і різноманітного обліку динамічних факторів. Виявилося, що ігнорування пружних властивостей елементів конструкцій і збуджуючих

коливань може призвести не тільки до погіршення експлуатаційних характеристик приладів, але і до серйозних пошкоджень окремих деталей та вузлів. Коливання створюють пряму загрозу міцності приладів та нерідко призводять до істотних спотворень показань під час вимірювань [18].

У нашому випадку функцією КВП є вимірювання відхилення від форми, а точніше – радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні. В ході проведення вимірювань, наконечник індикатора, торкаючись поверхні деталі, фіксує відхилення, при цьому стрілка на циферблаті відхиляється на відповідну величину. Оскільки робота КВП відбувається на виробництві у безпосередній близькості до робочих органів машин, то зростає ймовірність збільшення похибок вимірювання, обумовлених явищем резонансу. Незважаючи на те, що шлях поширення коливань від джерел вібрації (робочих органів машин) достатньо великий, все ще можливе виникнення явища резонансу, що спричиняє збільшення амплітуди коливань. Власні коливання елементів приладу являють собою коливання, які виникають в системі при відсутності перемінних зовнішніх збудників і виникають внаслідок початкового відхилення одного з параметрів системи від стану рівноваги. Вони залежать як від виду матеріалів, форми елементів конструкції, так і від умов їх обпирання. Амплітуда цих коливань визначається величиною початкового відхилення і початкової швидкості, тобто величиною тієї енергії, що збуджує тіло початковим поштовхом. Внаслідок дії сили тертя ці коливання затухають. Вимушені ж коливання відрізняються тим, що їх частота визначається не характеристиками самої системи, а частотою зовнішнього впливу [18]. Резонансними властивостями, тобто властивостями особливо сильно відгукуватися на коливання однієї частоти, володіють тільки системи з малими затуханнями. Тому, коли явище резонансу необхідно усунути, слід по можливості збільшувати затухання коливань системи.

Виходячи з того, що індикатор КВП працює контактним методом, дотикаючись до поверхні деталі, то значення відхилень форми поверхонь будуть рівні деформаціям, пов'язаним з резонансом. Оскільки прилад

розташовується на виробництві, певний перелік частот вимушених коливань зазвичай виникає у результаті рухів робочих органів верстатів чи процесів різання. Які в свою чергу викликають гармонічні коливання, що мають певну періодичність. Джерела вільних коливань на механічній дільниці є джерелами низьких частот. Саме тому вкрай бажано уникати джерел коливань, які дають частоту коливань близьку до вільних коливань КВП.

Оскільки конструкція спроектованого приладу може піддаватися динамічним навантаженням, актуальним є проведення динамічного або частотного аналізу, який допоможе уникнути явища резонансу.

Необхідно зазначити, що реальний КВП має нескінченну множину частот власних коливань. Проте, його математична модель обмежується множиною частот, що дорівнює кількості ступенів свободи, які обумовлюються характером контактів елементів конструкції.

У даному випадку для визначення частот власних коливань та їх форм (мод) використовуємо принцип модального аналізу, який проводимо за допомогою універсальної програмної системи скінченно-елементного аналізу – Ansys Workbench [14, 15]. Дане середовище є основним інструментом, на якому базується концепція «Проектування виробів на основі результатів інженерних розрахунків» [19].

3.2 Аналіз результатів динамічного дослідження

Для проведення динамічного аналізу конструкції КВП виконуємо побудову твердотільної моделі приладу за допомогою програмного комплексу автоматизованого проектування – Solidworks (рисунок 3.1). Для скорочення часу проведення аналізу виконуємо спрощення моделі – виключаємо складні елементи контрольованої деталі, які не впливають на вимірюваний допуск; виключаємо з розрахунку метизи; окремі вузли відображаємо як одне суцільне тіло.

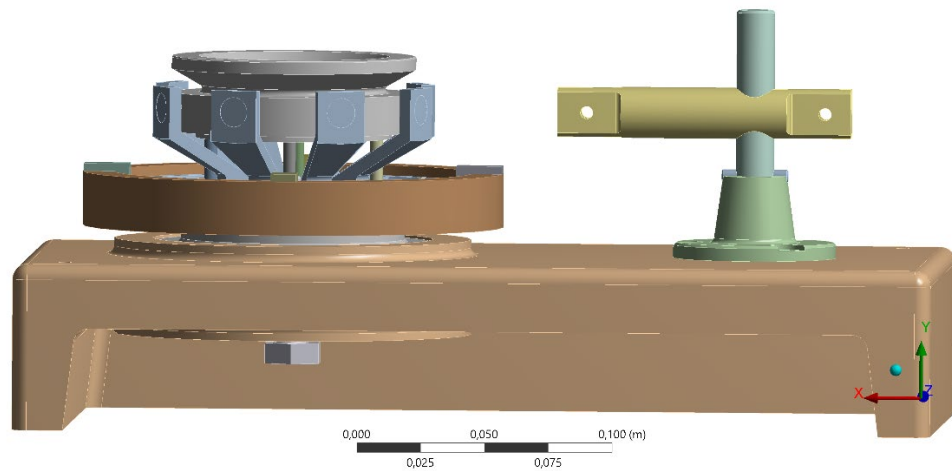


Рисунок 3.1 – Спрощена модель КВП для модального аналізу

Матеріал елементів конструкції приймаємо за замовчуванням – це середньовуглецева сталь з межею міцності близько 460 МПа та модулем Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа.

Наступним етапом є побудова скінченно-елементної сітки (рисунок 3.2). Мінімальна довжина грані сітки рівна $9,93 \cdot 10^{-3}$ мм; кількість елементів сітки – 41471 шт.

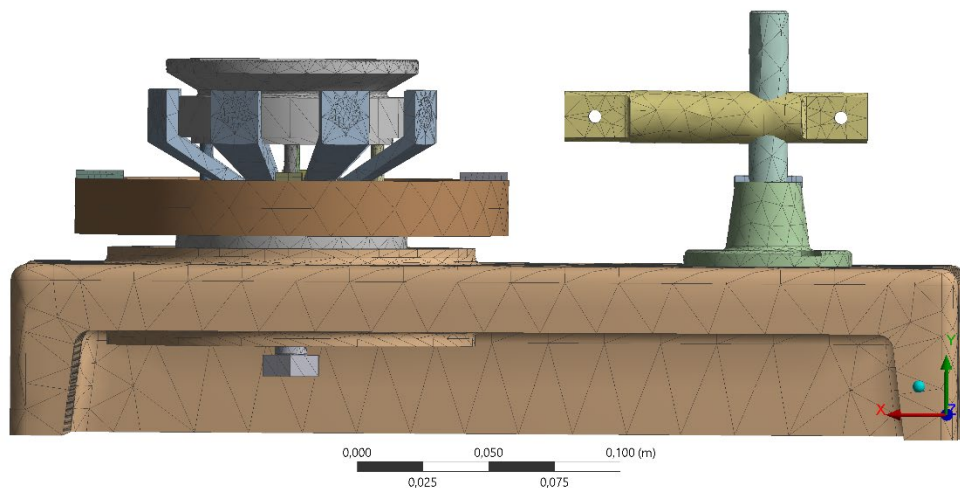


Рисунок 3.2 – Побудова сітки

Для забезпечення більш точних результатів аналізу – задаємо контактні сполучення, які присутні в моделі. Наприклад, між поверхнею контрольованої

деталі, та опорами, на які вона спирається – задаємо тертя (Friction) з коефіцієнтом 0,16. Для елементів, які мають жорстке сполучення, наприклад, посадку з натягом, обираємо параметр – Bonded. У просторі система зафіксована за допомогою команди Fixed Support по поверхні нижнього торця корпусу КВП.

У результаті розрахунку отримуємо графік, на якому відображені 10 перших власних частот коливань (рисунок 3.3).

На практиці, найбільш небезпечними є перші три частоти власних коливань, оскільки вони мають найменшу величину, що може призвести до явища резонансу через співпадіння частот вільних та вимушених коливань. З графіка бачимо, що для даної системи частоти знаходяться в межах 800- 900 Гц.

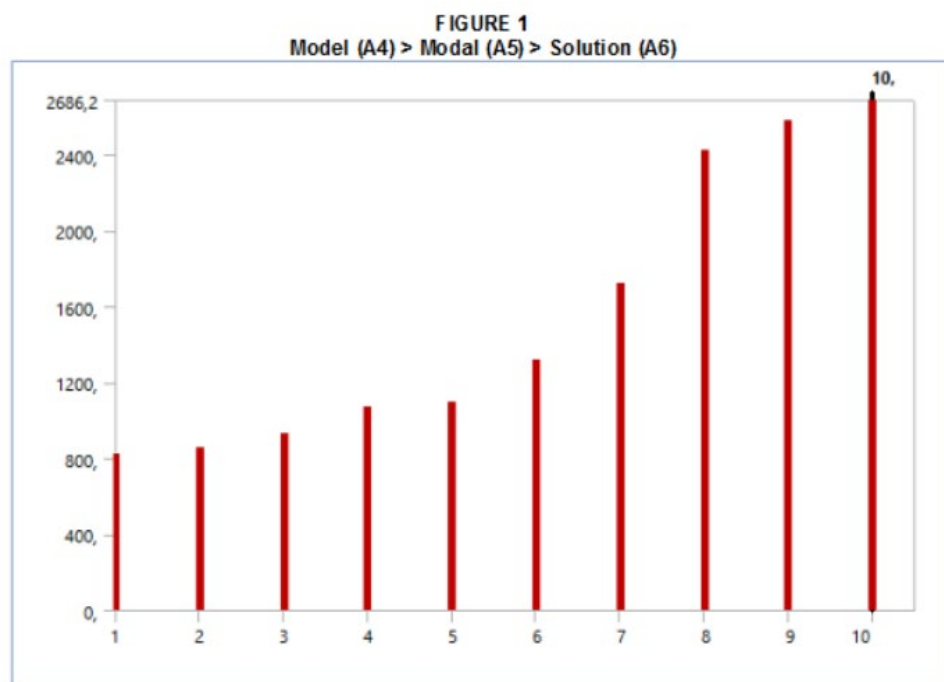


Рисунок 3.3 – Графік величини власних коливань системи

На рисунках 3.4, 3.5, 3.6 відображені епюри перших трьох форм власних коливань системи.

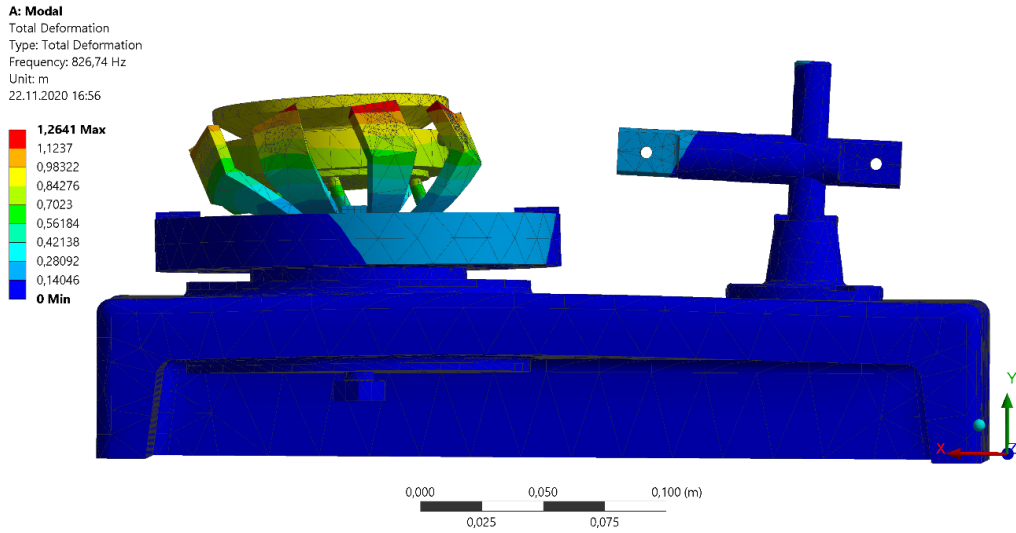


Рисунок 3.4 – Перша мода коливань

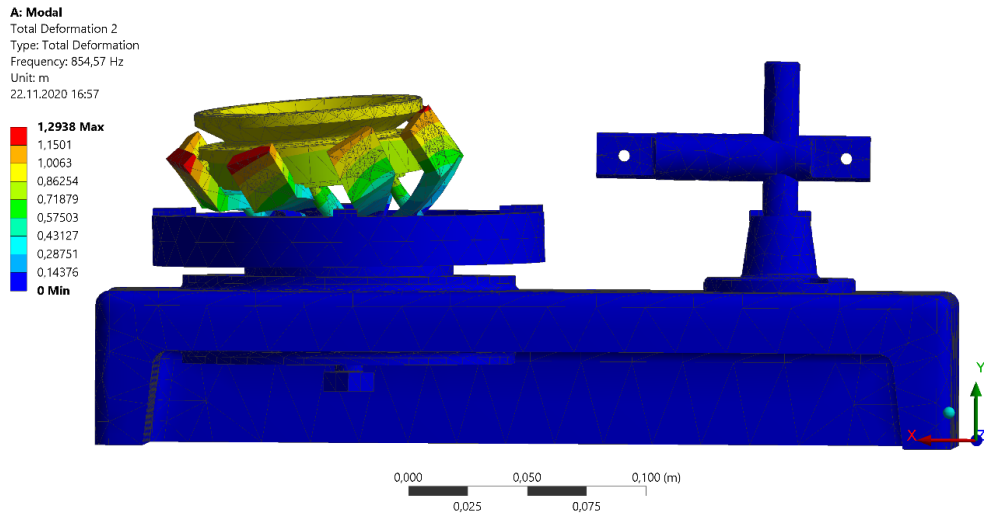


Рисунок 3.5 – Друга мода коливань

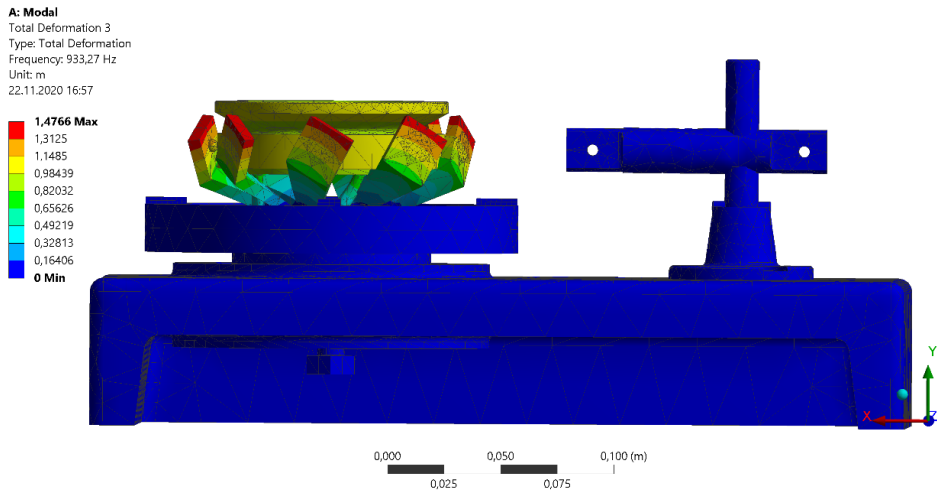


Рисунок 3.6 – Третя мода коливань

Як бачимо з епюр, найбільш вразливим елементом конструкції КВП є пружний елемент – ріжкова мембрана.

Для запобігання виникнення резонансу, рекомендується уникати режимів різання, які можуть співпасти з частотами вільних коливань системи. Для прикладу, на операції 030 (пункт 2.7) при фрезеруванні пазів кінцевою трьохзубою фрезою з частотою обертання шпинделя 4000 об/хв – частота обертання фрези з урахуванням кількості зубців складає – 200 об/с (Гц).

Виходячи з того, що частота власних коливань елементів КВП мінімум у чотири рази перевищує величину ймовірних вимушених коливань (рисунок 3.3), можна зробити висновок, що спроектована конструкція володіє достатньою стійкістю до динамічних навантажень та відповідає умовам експлуатації. У даному випадку, динамічний аналіз системи дозволив переконатися у надійності конструкції приладу та у відсутності явища резонансу, що може безпосередньо вплинути на точність вимірювань. У випадку ж виникнення несприятливих умов – постає задача у коректуванні режимів різання, що може негативно відзначитися на продуктивності виробництва та якості виробів або у перегляді конструкції вимірювального пристрою в цілому.

3.3 Аналіз результатів статичного дослідження

Наступним етапом розрахунків є проведення статичного аналізу системи. У даному випадку твердотільна модель скрадатиметься безпосередньо з вузла фіксації деталі (рисунок 3.7), до якого входять: болт-штовхач, оправка, прихвати, контрольована деталь та ріжкова мембрана зі сферичними гвинтами. При проведенні вимірювань не має необхідності у великих силах закріплення деталі, достатнім є центрування деталі та фіксації її у даному положенні при контакті з датчиком індикатора.

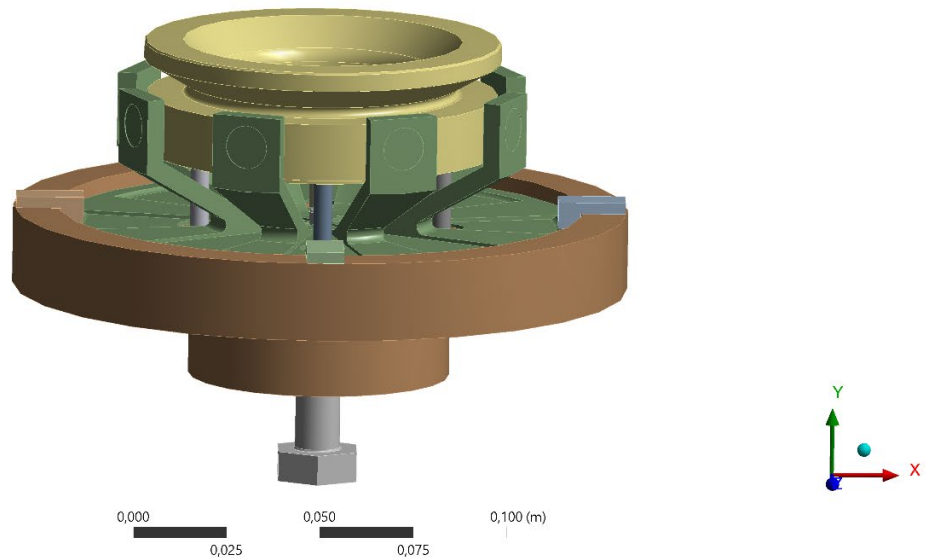


Рисунок 3.7 – Спрощена модель вузла

Виходячи з конструкції КВП установка та зняття деталі проводяться у момент коли різки мембрани розводяться за рахунок пружної деформації самої мембрани. Деформація відбувається за рахунок загвинчування штовхача, який з відповідною осьовою силою діє на поверхню пружного елемента.

Для визначення сили, яка діє на мембрану при затягуванні болта-штовхача, спочатку визначаємо момент на гайковому ключі [17]:

$$M_{\text{кл}} = P_{\text{кл}} \cdot L,$$

Де $P_{\text{кл}} = 75 \text{ Н}$ – сила прикладена на рукоятку ключа працівником, за умови його періодичної роботи (рисунок. 1) [17];

$L = 15 \cdot d_2$ – довжина рукоятки гайкового ключа;

$d_2 = 12 \text{ мм}$ – номінальний діаметр різі.

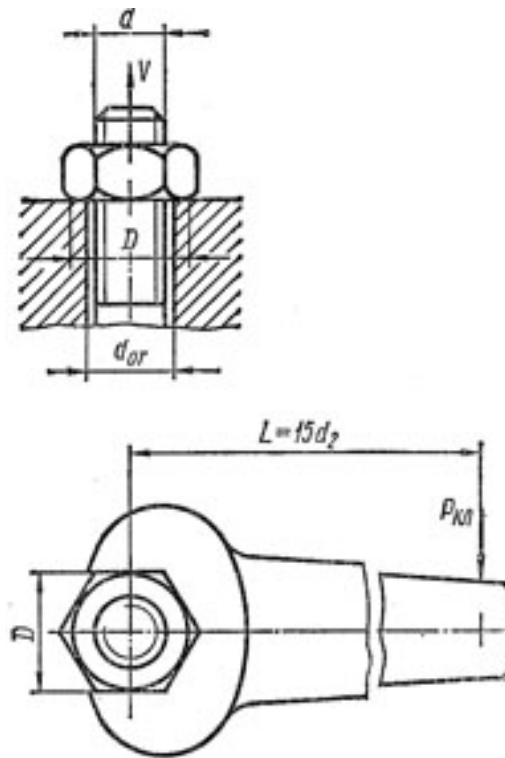


Рисунок 1 – Схема затягування болтового з'єднання

Момент на гайковому ключі повинен подолати момент тертя у різі:

$$M_p = V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\lambda + \rho'),$$

та момент тертя на опорній поверхні головки болта:

$$M_{\text{оп}} = V \cdot \frac{f_{\text{оп}}(D^3 - d_{\text{от}}^3)}{3(D^2 - d_{\text{от}}^2)},$$

де V – осьова сила затягування;

$f_{\text{оп}}$ – коефіцієнт тертя на опорних поверхнях шляпки болта та деталі;

$D=1,7d_2$ – зовнішній діаметр опорної поверхні болта, рівний розміру під ключ;

$d_{\text{от}}=d=(1/1,5) \text{ мм} = 1,2 d_2$ – внутрішній діаметр опорної поверхні болта.

Тоді повний момент на ключі:

$$M_{\text{кл}} = P_{\text{кл}} \cdot L = V \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\lambda + \rho') + V \cdot \frac{f_{\text{оп}}(D^3 - d_{\text{от}}^3)}{3(D^2 - d_{\text{от}}^2)}$$

Звідки осьова сила затягування, що діє на мембрану рівна:

$$V = (P_{\text{кл}} \cdot L) / \left(\frac{d_2}{2} \cdot \text{tg}(\lambda + \rho') + \frac{f_{\text{оп}}(D^3 - d_{\text{от}}^3)}{3(D^2 - d_{\text{от}}^2)} \right)$$

Середні значення для метричної різі: $\lambda=230'$; $\text{tg}\rho'=f_p=0,20$; $d_{\text{от}}=1$, $f_{\text{оп}}=0,15$.

Звідки осьова сила затягування рівна:

$$V = \frac{75 \cdot 15 \cdot 12}{\left(\frac{12}{2} \cdot \frac{0,35 + 0,2}{1 - 0,35 \cdot 0,2} + \frac{0,15((1,7 \cdot 12)^3 - (1,2 \cdot 12)^3)}{3((1,7 \cdot 12)^2 - (1,2 \cdot 12)^2)} \right)} = 2600 \text{ Н} \approx 2,6 \text{ кН.}$$

Аналогічно модальному розрахунку системи, приймаємо характеристики матеріалу елементів за умовчужанням.

Наступним етапом є побудова сітки. Мінімальна довжина грані сітки рівна 10^{-2} мм; кількість елементів сітки – 54974 шт.

У просторі модель зафіксована по нижньому торцю оправки на діаметрі 164 мм.

Граничними умовами аналізу є: напрямок дії осьової сили – уздовж осі болта; точка прикладання сили – торець шестигранної шляпки болта.

У результаті проведених розрахунків отримано епюру деформації Total Deformation (рисунок 3.8) та епюру внутрішніх напружень системи Equivalent Stress (рисунок 3.9).

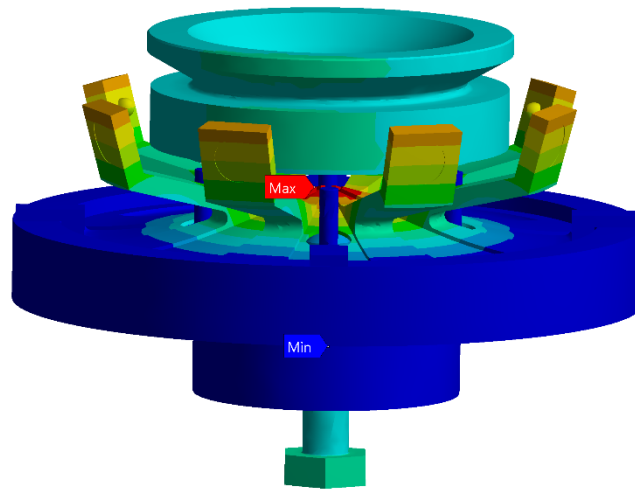
Як можна побачити з епюри деформації, найбільша величина деформацій характерна саме пружному елементу конструкції – ріжковій мембрані, що обумовлено її службовим призначенням. Величина деформації склала 0,028 мм. Окрім цього, деформація кожного з ріжків мембрани від початкового положення склала 0,024 мм. З чого можна зробити висновок, що прикладеної робітником сили (75 Н) на рукоятку ключа достатньо для

розтиску мембранного патрону та встановлення чи зняття деталі.

Проведений розрахунок дає можливість переконатися у тому, правильні чи хибні рішення були прийняті при проектуванні приладу. Так, наприклад, товщина мембрани, рівна 1,25 мм у найтоншому місці, приймалася у пропорційному відношенні до ескізів мембранних патронів [13]. Цей параметр безпосередньо впливає на силу, яку необхідно прикласти для розтиску ріжків.

A: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
22.11.2020 19:27

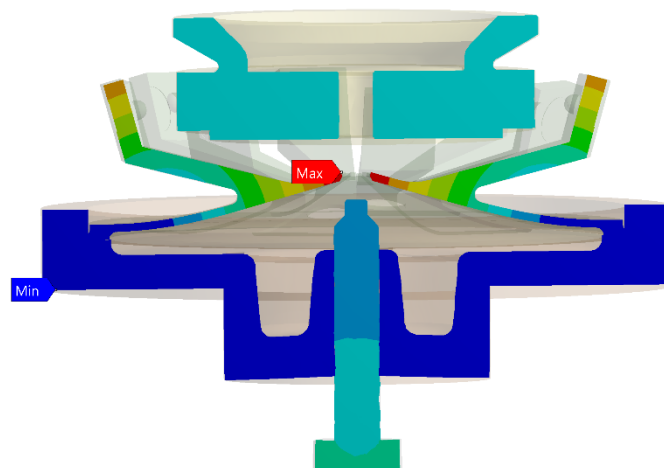
2,801e-5 Max
2,4897e-5
2,1785e-5
1,8673e-5
1,5561e-5
1,2449e-5
9,3365e-6
6,2243e-6
3,1122e-6
0 Min



0,000 0,025 0,050 0,075 0,100 (m)

A: Static Structural
Total Deformation 2
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
22.11.2020 19:28

2,7984e-5 Max
2,4874e-5
2,1765e-5
1,8656e-5
1,5546e-5
1,2437e-5
9,3279e-6
6,2186e-6
3,1093e-6
7,125e-26 Min



0,000 0,025 0,050 0,075 0,100 (m)

Рисунок 3.8 – Епюра деформацій системи

З епюри внутрішніх напружень (рисунок 3.9) можна зробити висновок, що максимальні напруження виникають на болті, точніше в місці переходу з

шестигранника на циліндричну поверхню, та складають 57 МПа, що знаходиться у допустимих межах. Оскільки, як було зазначено вище, межа міцності середньовуглецевої конструкційної сталі складає 460 МПа. При цьому галтель з опорної поверхні шестигранника на циліндричну поверхню складає R0,5 мм. Для зменшення напружень збільшуємо її радіус до R2,5 мм (рисунок 3.10).

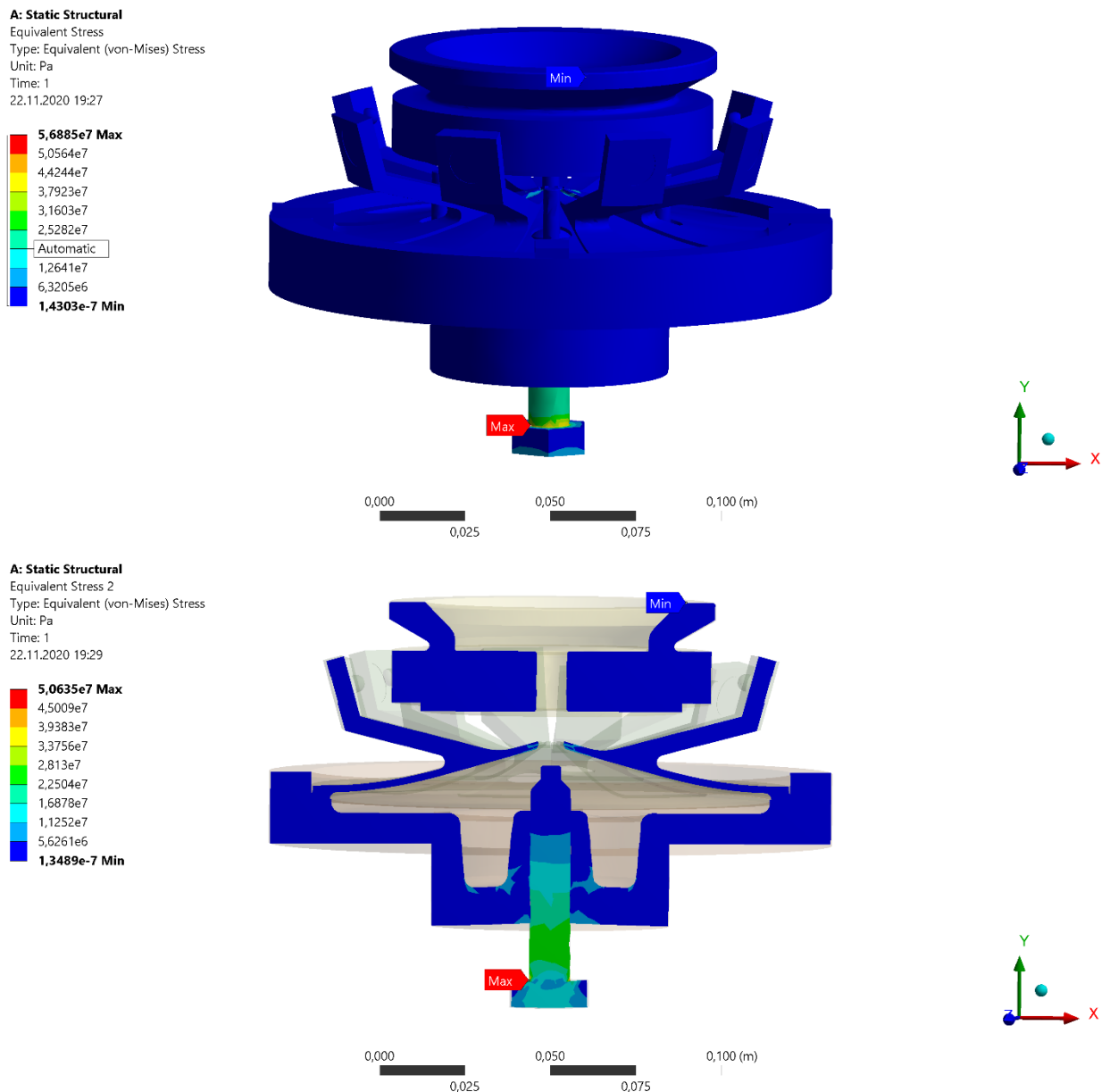


Рисунок 3.9 – Епюра внутрішніх напружень системи

Як бачимо з рисунка 3.10, максимальні внутрішні напруження, що діють на систему, зменшилися до 30 МПа. З чого можна зробити висновок, що вибір

оптимальних величин галтелей значно сприяє зменшенню концентрації напружень. У нашому випадку – значення напружень зменшилися на 48%, тобто майже у два рази.

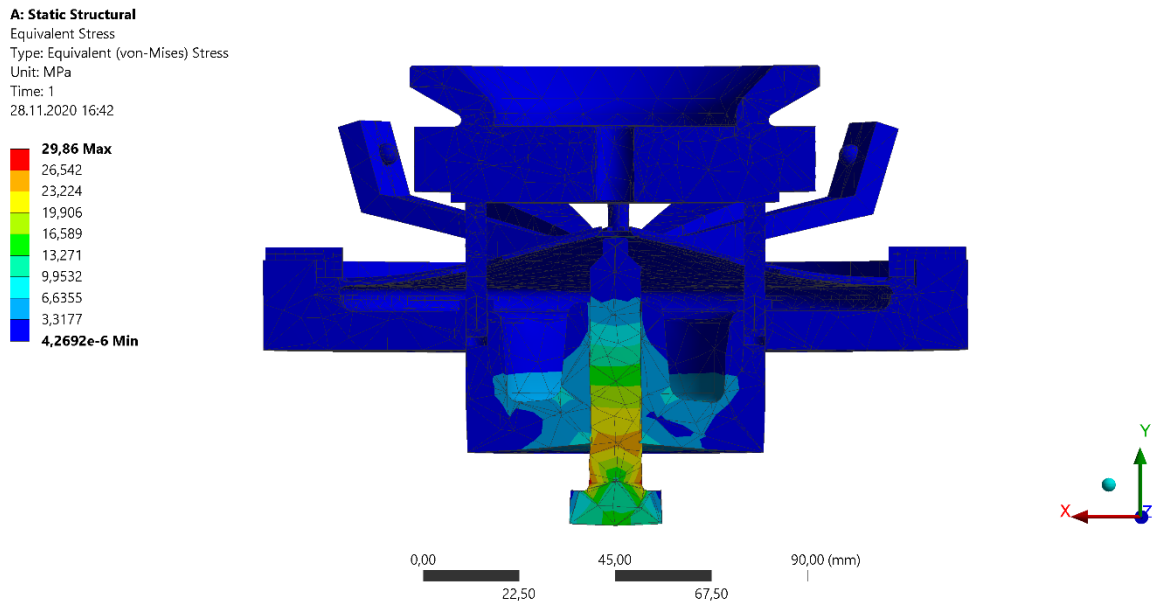


Рисунок 3.10 – Епюра внутрішніх напружень системи при збільшенні галтели

3.4 Висновок

1. У результаті проведення динамічного аналізу конструкції КВП для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні:

1.2 Виявлено форми власних коливань системи. З відповідних епюр, бачимо, що найуразливішим елементом системи є ріжкова мембрана. Проте, її конструкція та пружні властивості обумовлені функціональним призначенням.

1.3 Отримано графік, на якому відображені значення десяти частот власних коливань системи. При цьому значення перших трьох «небезпечних» частот знаходиться у межах 800...900 Гц. Відповідно до чого, можна зробити висновок, що ризик виникнення явища резонансу є досить низьким, оскільки частоти вимушених коливань, які можуть бути викликані робочими органами обладнання складають 160- 250 Гц.

1.4 Виходячи з результатів динамічного аналізу системи – спроектована конструкція КВП володіє достатньою стійкістю до динамічних навантажень.

2. У результаті проведення статичного аналізу конструкції КВП:

2.1 Розраховано оптимальну осьову силу, що необхідно прикласти до болта-штовхача.

2.2 Отримано епюру деформацій системи, з якої можна зробити висновок, що найбільші переміщення, відносно положення в стані спокою, відбуваються на різках мембрани, що обумовлено функціональним призначенням пружного елемента системи.

2.3 Отримано епюру внутрішніх напружень системи, з якої можна зробити висновок, що максимальні напруження, які виникають в системі, не перевищують допустимі значення. При цьому, для зменшення концентрації напружень (майже у два рази), достатньо збільшити галтель на поверхні болта.

ВИСНОВКИ

1) У результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення "корпусу верхнього" було виявлено основні недоліки виробництва, які полягають головним чином у використанні морально і фізично застарілих верстатів та технологічного обладнання. Під час виготовлення деталі майже не використовуються засоби автоматизації, чим обумовлена низька продуктивність обробки.

2) Аналіз недоліків базового технологічного процесу дозволив розробити перспективний маршрут обробки, що характеризується високим рівнем автоматизації та механізації виробництва за рахунок використання верстатів з ЧПК, фрезерного обробного центру з ЧПК та верстатних пристроїв, оснащених механічним приводом. Для підвищення якості операції контролю спроектовано спеціальну конструкцію КВП для контролю радіального биття поверхонь заготовки.

3) Виконано дослідження розробленої конструкції КВП методами статичного та динамічного аналізу, що підтвердило стійкість системи до статичних та динамічних навантажень. Крім того, встановлено умови експлуатації для підвищення якості операції технічного контролю в цілому.

4) Проблеми охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях під час виробництва деталі "корпус верхній" розглянуто у додатку Д.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бондаренко Г. А., Кирик. Г. В. Компрессорні станції: підручник. Суми : СумДУ, 2016. 385 с.
2. Марочник сталей и сплавов: справочник / Под ред. В.Г. Сорокина. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
3. Горбацевич, А.Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. / 4-е изд., перераб. и доп. Минск : Высшаяшкая шк., 1983. 256 с.
4. ГОСТ 3.1121-84 Единая система технологической документации (ЕСТД). Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции).. Общие положения. М. : Изд-во стандартов, 1986. 16 с.
5. Кузьмін О.Є. Пашенко І. Н., Чернобай Л. І., Босак А. О. .Економіка інноваційного підприємства: навч. посіб. Львів : Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2009. 456 с.
6. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. М. : Изд-во стандартов, 1990. 13 с.
7. Кован, В. М. Расчет припусков на обработку в машиностроении. Справочное пособие : учебник . М. : МАШГИЗ, 1953. –496 с.
8. Косилова, А. Г. Справочник технолога машиностроителя. Т.1. М. : МАШГИЗ, 1956. 660 с.
9. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів. навч. посіб. /К.: Вища школа, 1993. 414 с.
10. Косилова А. Г. 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, 1985. 496 с.
11. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на унив. и многоцел. станках с ЧПУ. Ч.1 : Нормативы времени. М. : Экономика, 1990. 206 с.

12. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков: расчеты и конструкции / Л. : Госстройиздат, 1960. 624 с.
13. Березюк О. В. Безпека життєдіяльності. навч. Посіб. Вінниця: ВНТУ, 2011. 204 с.
14. ANSYS/LS-DYNA User's Guide, Release 5.7, Swanson Analysis Systems, Inc., 2001
15. ANSYS Structural Analysis Guide, Release 5.7, Swanson Analysis Systems, Inc., 2000
16. Stelzmann, U., Groth, C., Müller, G.: FEM für Praktiker Band 2: Strukturodynamik, 5. Auflage, expert verlag, 2000.
17. Куклин Н. Г. Детали машин: Учеб. для машиностроит. спец. техникумов. М.: Высш. шк., 1987. 383 с.
18. Вульфсон В. И. Краткий курс теории механических колебаний. Библиотека ВНТР. М.: ВНТР, 2017. 241 с.
19. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eco-live.com.ua/>
20. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pro-techinfo.ru/prisposobleniya-dlya-metallorzhushhih-stankov/universalnye-i-universalno-naladochnye-prisposobleniya/patrony-i-opravki-membrannye/>.
21. John M. Biggs. Introduction to Structural Dynamics. McGraw-Hill, Inc., 1964. isbn: 978-0070052550.
22. K. Scott Smith Tony L. Schmitz. Mechanical Vibrations. Springer Science+Business Media, LLC, 2012. isbn: 978-1-4614-0459-0.
23. Anders Wirje and Kristian Carlsson. “Modeling and Simulation of Peak Load Events Using Adams - Driving Over a Curb and Skid Against a Curb”. In: SAE International, 2011.
24. Dmytrenko N., Evtuhov A., Savchuk V. (2020) Analysis of the amplitude-frequency characteristic of the round plunge grinding dynamic system. Modern Technologies in Industrial Manufacturing, April, 2020, Sumy, Ukraine.
25. Бедрий Я. І. Охорона праці: Навчальний посібник. – К.: ЦУЛ, 2002, – 322 с.

26. [Електронний ресурс]. – <https://studepedia.org/index.php?vol=4&post=5174>.
27. [Електронний ресурс]. – <https://www.metalcutting.ru/content/membrannye-tokarnyy-patron>
28. [Електронний ресурс]. – <https://mash-xxl.info/page/081036055176253207238090106104190208129173027030/>
29. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.snpo.ua.
30. Бедрій Я. І. Охорона праці: Навчальний посібник. – К.: ЦУЛ, 2002, – 322 с.
31. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства.
32. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.
33. ДСТУ 2890-94. Тара і транспортування. Терміни та визначення.
34. ДСН 3.3.6.037-99. Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука.
35. ДБН Д.2.6-3-2000. Сборник 3. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха.
36. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
37. ГОСТ Р 54431-2011. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.
38. ДСТУ 2867-94 Шум. Методи оцінювання виробничого шумового навантаження. Загальні вимоги.
39. ГОСТ 12.3.002-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности.
40. ДСТУ 7237:2011. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
41. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом.
42. ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука.

43. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.
44. СН 3.3.6.042-99 Санитарные нормы микроклимата производственных помещений.
45. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення.
46. ДБН В.2.5-56:2014 Системы противопожарной защиты.
47. ДСТУ 7239:2011. Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.
48. ГОСТ 12.1.005-88. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.
49. ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука.