

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 ВТУЛКИ ФЛАНЦЕВОЇ Н16.358.610-04 ШЛЯХОМ
ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОБРОБЛЕННЯ ШПОНКОВИХ ПАЗІВ НА
КОМПЛЕКСНІЙ З ЧПК ОПЕРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність 8.131– прикладна механіка

Освітня програма – технології машинобудування

Студент

А. В. Бараненко

Керівник

А. О. Нешта

Консультант з розділу охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

Суми – 2020

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	6
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	11
1.3 Визначення типу виробництва та організаційних умов роботи.....	13
1.4 Аналіз технологічності конструкції	16
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	17
1.6 Висновки	19
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	20
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	20
2.2 Вибір та обґрунтування отримання способу отримання заготовки ..	22
2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку	27
2.4 Аналіз та обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки .	31
2.5 Обґрунтування вибору металорізального верстата.....	38
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	41
2.7 Розрахунки режимів різання	45
2.8 Технічне нормування операцій.....	60
2.9 Проектування верстатного пристрою	65
2.9.1 Обґрунтування вибору верстатного пристрою.....	65
2.9.2 З'ясування кількісних та якісних даних про заготовку що надходить на операцію. Аналіз точності поверхонь, які можуть бути базовими.....	65
2.9.3 Розробка та обґрунтування схеми базування.....	68

	3
2.9.4 Розрахунок сил закріплення	69
2.9.5 Точнісні розрахунки пристрою	70
2.10 Висновки	72
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	74
3.1 Автоматизація проектування та вибору раціональної системи конструкції верстатних пристроїв	74
3.2 Значення верстатних пристроїв у виробничому процесі.....	77
3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв	78
3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою.....	81
3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою	86
3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою	90
3.7 Висновки	91
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	95
ДОДАТОК А.....	97
ДОДАТОК Б	98
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	98

ВСТУП

Актуальність роботи. Машинобудування є головним технологом усіх галузей народного господарства. У зв'язку з цим ця галузь повинна на базі новітніх досягнень науки і техніки безупинно розробляти нові технологічні процеси, для здійснення яких потрібно створювати і випускати в необхідних кількостях знаряддя виробництва і машини, що відповідають своєму службовому призначенню при найменшій собівартості. У дипломному проекті будемо рухатись у наступних напрямках:

- а) розробка і впровадження малоопераційних, безвідходних, ресурсо та енергозберігаючих ТП;
- б) наближення конфігурації вихідних заготовок до конфігурації готових деталей за рахунок удосконалення заготівельного виробництва;
- в) підвищення продуктивності та ефективності механічної обробки за рахунок багато інструментальної обробки, удосконалення обладнання та інструменту, підвищення режимів різання.

Мета та завдання роботи. Удосконалити технологічний процес виготовлення Втулки фланцевої Н16.358.610-04 шляхом інтенсифікації оброблення шпонкових пазів на комплексній з ЧПК операції.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес виготовлення Втулки фланцевої.

Предмет дослідження. Верстатний пристрій для обробки деталі.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічною оснасткою. Щоб реалізувати завдання графічна частина кваліфікаційної роботи виконувалась за допомогою

програмних середовищ КОМПАС – 3D, а для оптимізації конструкції верстатного пристрою пакет Solidworks.

Наукова новизна. Удосконалена методика проведення та виявлення резервів оптимізації компонувань верстатних пристроїв на прикладі обробки деталі «Втулка фланцева» з метою визначення оптимальних параметрів елементів верстатного пристрою на комплексній з ЧПК операції, при яких забезпечується необхідна точність обробки та жорсткість системи «ВП – заготовка».

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати дають змогу визначення можливості застосування або незастосування конкретного механізму для виконання конкретної задачі. Також за допомогою результатів можливо отримати загальну картину обробки шпонкових пазів втулки на комплексній з ЧПК операції для того, щоб задати питання, а взагалі доцільно чи не доцільно застосовувати спеціально спроектовані пристрої в у механічній обробці та чи можливо з їх допомогою форсувати режими обробки

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати дослідження, що виносяться на захист, одержані автором самостійно або за його активної участі.

Апробація роботи. Не має.

Публікації. Не має.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, трьох розділів, списку джерел посилань і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 110 сторінок, у тому числі 29 рисунків, 32 таблиці, бібліографії із 17 джерел.

НАСОС, ВТУЛКА ФЛАНЦЕВА, УЩІЛЬНЕННЯ, ЗАГОТОВКА, ВЕРСТАТ, РІЗУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Агрегат електронасосний живильний ЖЕ 1650-80 призначений для подачі води в парогенераторні установки УПГ60/160, які використовуються для розробки нафтових родовищ. Технічні характеристики агрегату наведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики агрегату ЖЕ 1650-80

Частота обертання, об/хв	1479
Подача, м/год	1650
Потужність, кВт	715
Тиск, МПа	
На вході	10
На виході	180
ККД, %	80,8
Середовище	Хімічно очищена вода

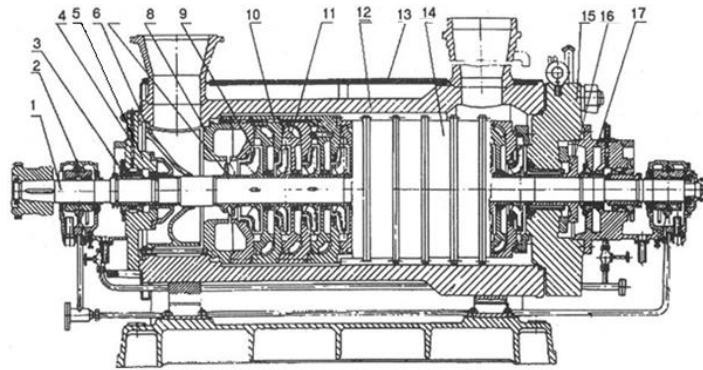


Рисунок 1.1 – Агрегат електронасосний живильний ЖЕ 1650-80

Даний агрегат складається із двигуна, насоса та зубчатої муфти з'єднання. Розглянемо кожен складову агрегату. Насос, який входить до установки горизонтальний, секційний, одинадцятиступінчастий, однокорпусний із одностороннім розположенням робочих коліс та патрубків. Насос відцентровий складається із лопатного робочого колеса, яке встановлено на валу. В робоче колесо рідина надходить в осьовому напрямку. Відцентрової сила, котра виникає при роботі робочого колеса, рідину притискає до стінки корпуса та виштовхує у нагнітальний отвір по дотичній до робочого отвору. На вході в насос тиск рідини зменшується, і рідина направляється в робоче колесо.

Корпус насоса складається із вхідної та вихідної кришок, набору секцій. Секції центруються між собою та загвинчуються шпильками. Корпус має бути герметичним, це забезпечується контактом ущільнюючих поясків секцій та кришок. Також, додатково встановлюються гумові ущільнюючі кільця.

Відцентрові насоси досить широко розповсюджені тому, що вони мають певні переваги, у порівнянні з іншими типами насосів. Переваги наступні: простота конструкції, рідина подається безперервно, надійність у роботі, ККД становить 60-80%, також ними можливо керувати автоматизовано. Подача регулюються в різних діапазонах. Недолік насосів даного типу є те, що при запуску насоса (при стандартному виконанні) його потрібно наповнювати водою, якщо рівень рідини яка перекачується знаходиться нижче вхідного патрубка.



1 – Вал 2 – Підшипник 3 – Торцеве ущільнення валу 4 – Вхідна кришка. 5 – Втулка фланцева 6 – Підведення кільцевої 7 – Попередньо включене колесо 8 – Кришка 9 – Робоче колесо 10 – Секція 11 – Спрямувальний апарат 12 – Корпус зовнішній 13 – Кожух насоса ЖЕ 14 – Корпус внутрішній 15 – Кришка напірна 16 – Диск розвантаження 17 – Корпус кінцевого ущільнення

Рисунок 1.2 – Складові частини агрегату ЖЕ 1650-80

Деталь «Втулка фланцева Н16.358.610-04» представляє собою порожнисте тіло обертання типу «втулка з буртом». Призначена для базування підшипників опор у корпусних деталях. Втулка входить у корпусну деталь і додатково кріпиться болтами або штифтами через отвори. Дана втулка застосовуються у підшипниках ковзання, тому що вона зменшує витрати дорогого антифрикційного матеріалу (олов'яні бронзи), а при ремонті зношену втулку замінюють на нову.

Матеріал деталі – сталь 20Х13 ГОСТ 25054-81 корозійностійка. Такий матеріал був вибраний, тому що у процесі роботи робочими поверхнями контактує з водою, і у даних умовах роботи треба запобігти корозії.

Втулка відноситься до пристроїв фіксації деталей на валу насосу. На кінці валу насосу встановлений перший фіксуєчий елемент у вигляді втулки, котра з'єднана по її внутрішній різі з валом та контактує по одному її торцю з робочим колесом. Другий фіксуєчий елемент виконаний у вигляді циліндричної деталі із зовнішньою різзю, за допомогою якої з'єднується із втулкою і своїм торцем упирається в торець вала. Така конструкція пристрою забезпечує достатню силу тертя у різьбовому з'єднанні валу та втулки за

рахунок додаткових розтяжних зусиль у даному з'єднанні, обумовлених упором другого фіксуючого елементу у вал насосу. В цей же час сили тертя у площині контакту другого фіксуючого елементу запобігають відгвинчуванню останнього.

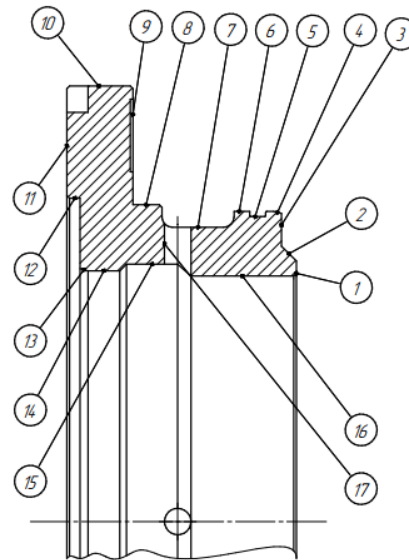


Рисунок 1.3 – Поверхні базування деталі «Втулка фланцева» у вузлі

Поверхні на деталі «Втулка фланцева» розділяються на 3 види: базові, виконавчі та вільні.

Базові – це поверхні, за допомогою яких виконується базування, визначається положення виробу у виробі більш високого порядку. До них відносяться поверхні 1,2,4,7,8,10,11,12.

Виконавчі – це поверхні, за допомогою яких виріб безпосередньо виконує своє службове призначення. До них відносяться поверхні 14, 15, 16,17.

Вільні – це поверхні, що не контактують з поверхнями інших виробів, але визначають габарити, масу, жорсткість і інші параметри деталей. До них відносяться всі інші поверхні, що були не зазначені вище.

Деталь «Втулка фланцева Н16.358.610-04» із вхідною кришкою скріпляється шпильками. Торцеве ущільнення з графітовими кільцями встановлюється у внутрішню порожнину втулки. Дане ущільнення одночасно виконує функції підшипника ковзання.

Втулка фланцева має радіальні отвори, через які в торцеве ущільнення надходить масло. Деталь може переміщуватися вздовж осі рухомої обойми. Це переміщення в отворі деталі забезпечується наявністю посадки із зазором $\text{Ø}112\text{H}9/\text{g}8$.

Втулка має 3 канавки, 2 – внутрішніх та 1 – торцева. Поверхні канавок мають шорсткість R_a 1,6 мкм, так як по них розміщуються ущільнення. Також, паз під штифт має радіусний профіль це конструктивна особливість.

Щодо умов експлуатації, то деталь «Втулка фланцева Н16.358.610-04» при роботі у вузлі та у самому насосі не зазнає циклічних та ударних навантажень. Середовище у якому вона працює є вода, із навколишнім середовищем поверхні втулки не контактують. При складанні, транспортуванні, установці, можливий ударно-механічний вплив. Працюють виріб та деталь при температурі від +5 до + 40°C. При роботі деталь шуму не створює, а двигун та насос створюють шум у 60-65 ДБ.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

За службовим призначенням визначаються технічні вимоги на виготовлення деталі. Проаналізувавши робоче креслення деталі, можна зробити наступний висновок, наявних проєкцій і перерізів достатньо. Згідно до існуючих стандартів вони розміщені вірно, на всіх поверхнях показані вихідні дані: розміри, точність, шорсткість, проставлені технічні вимоги на виготовлення деталі.

Деталь «Втулка фланцева» відноситься до порожнистих тіл обертання. Виготовляється із сталі 20X13 ГОСТ 25054-81.

Відповідно до ГОСТ 25054-81 механічні властивості та хімічний склад представлені в таблиці 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 20X13 ГОСТ 5632-72

σ_b , МПа	σ_t , МПа	НВ
630	400	190-260

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 20X13 ГОСТ 5632-72
у відсотках

C	Cr	Fe	Mn	P	S	Si
0,16-0,25	12,0-14,0	осн.	≤0,8	≤0,030	≤0,025	≤0,8

Варто відзначити, що сталь 20X13 має високу стійкість в атмосферних умовах (крім морської атмосфери), у річковій і водопровідній воді. Застосовується в енергетичному машинобудуванні, в крекінг-установках з тривалим терміном служби при температурах до 500°C для деталей печей. Має хорошу технологічність при гарячій пластичній деформації. Сталь 20X13 задовільно зварюється електродуговим і аргонодуговим автоматичним

і ручним зварюванням. Цей матеріал конструктор вибрав обґрунтовано, тому що деталь безпосередньо контактує з водним середовищем, тому не повинна піддаватися корозії. Хоч застосування корозійностійких матеріалів і збільшує ціну деталі, але в результаті буде забезпечена безвідмовна робота всього механізму.

Необхідно вказати, яким чином впливають на роботу вузла технічні вимоги, які вказані на кресленні деталі конструктором.

Втулка має внутрішні циліндричні поверхні, по яким базуються інші деталі вузла, тому до даних поверхонь висуваються наступні вимоги.

Допуск радіального биття поверхні $\text{Ø}240\text{h}6$ відносно бази Е дорівнює 0,04 мм.

Допуск радіального биття отвору $\text{Ø}186\text{H}9$ відносно бази Е дорівнює 0,05мм.

Допуск радіального биття отвору $\text{Ø}190\text{H}7$ відносно бази Е дорівнює 0,03мм.

Вказані вище отвори слугують для базування втулки на валу, а поверхня $\text{Ø}240\text{h}6$ разом із торцем упирається в торець валу. Конструктивна особливість деталі це 3 канавки, – 2 внутрішніх та 1 торцева із шорсткістю всіх 3 поверхонь канавок по критерію Ra 1,6 мкм. Така шорсткість обумовлена розміщенням ущільнень.

1.3 Визначення типу виробництва та організаційних умов роботи

Тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, що визначається за ознакам широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску продукції. Однією з основних кількісних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о} = \Sigma O / \Sigma P$. Маса деталі дорівнює 14,5 кг, та річна програма $N_p = 1500$ шт деталей.

Визначимо розрахункову кількість обладнання:

$$m_p = \frac{N_{\text{річ}} \cdot T_{\text{шт-к}}}{60 \cdot F_d \cdot n_{з.н.сер}}$$

де $N_{\text{річ}}$ – річна програма випуску деталей, 1500 шт;

$n_{з.н.сер}$ – середнє значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання.

$T_{\text{шт-к}}$ - штучно-калькуляційний час обробки деталі на механічній операції.

Проведемо розрахунок необхідної кількості обладнання для операції 025:

$$m_p = \frac{1500 \cdot 7,01}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,05$$

Кількість робочих на кожній операції становить

$$P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = 1 \text{ чел.}$$

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання робочого місця для операції 025:

$$n_{з.ф.} = \frac{m_p}{P} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

Тоді кількість операцій, які виконуються на робочому місці становить:

$$O = \frac{n_{з.н.сер}}{n_{з.ф.}} = \frac{0,8}{0,05} = 16$$

Коефіцієнт закріплення операцій дорівнює:

$$K_{з.о.} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P} = \frac{67}{6} = 11,2$$

Тип виробництва – середньосерійний.

Таблиця 1.4 – Визначення типу виробництва

№	Операція	Т _{шт-к,} хв	m _{p,} шт	P, чол	n _{з.ф.}	O
1	2	3	4	5	6	7
020	Токарно-гвинторізна	8,33	0,03	1	0,03	18
025	Токарна з ЧПК	7,01	0,05	1	0,05	16
035	Токарна з ЧПК	6,85	0,045	1	0,045	14
040	Токарна з ЧПК	5,89	0,22	1	0,22	9
050	Фрезерна з ЧПК	4,36	0,57	1	0,57	7
055	Вертикально-свердлильна	3,97	0,13	1	0,13	3
		Σ36,41		ΣP=6		ΣO=67

Середньосерійне виробництво характеризується певною періодичністю запуску стабільних партій оброблених предметів. Це дозволяє порівняно з дрібносерійним виробництвом, підвищити спеціалізацію устаткування і рівень механізації виробничого процесу. Даний тип виробництва займає проміжне положення між одиничним та масовим за технологічними та виробничими характеристиками. В середньосерійному виробництві технологічний процес переважно диференційований, тобто поділений на окремі операції, які закріплені за визначеними верстатами. Верстати застосовуються різноманітних видів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегатні. Верстатний парк повинен бути спеціалізований в такій мірі, щоб був можливий перехід від виробництва однієї серії деталей до виробництва іншої, яка відрізняється від першої в конструктивному відношенні. Вони розміщуються у послідовності виконання технологічного процесу для однієї або декількох деталей, що потребують однакового порядку обробки. Рух деталей утворюється в тій же послідовності. Виробництво деталей – партійне, деталі кожної партії можуть різнитися одна від одної розмірами, формою, але можуть оброблятися на одному і тому ж обладнанні. Виробничий процес побудований наступним чином, виконується

обробка заготовок (деталей) спочатку на одній операції, а потім ця ж сама партія заготовок (деталей) обробляється на наступній операції.

Визначимо кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{254}$$

де N – річна програма, шт.;

a – періодичність запуску в днях (рекомендовано періодичність 3,6,12, 24 дні). Вибираємо 3 дні. [2]

$$n = \frac{1500 \cdot 3}{254} = 17,7 \approx 18 \text{ шт.}$$

Точність вихідних заготовок деталей суттєво залежить від обсягу випуску однакових деталей і тому можуть використовуватися виливки в піщано-глинисті форми, гарячий і холодний прокат, поковки на молотах, пресах, горизонтально-кувальних машинах, точні способи лиття (в кокіль, під тиском, в оболонкові форми, за виплавними моделями) та ін. Кваліфікація робітників у середньому нижча, ніж в одиничному виробництві але вища, ніж в масовому, разом з робітниками високої кваліфікації, що працюють на складних універсальних верстатах (у т. ч. з ЧПК), використовуються і робітники-оператори нижчої кваліфікації, які працюють на спеціалізованих верстатах. Технологічна документація детально розробляється тільки для складних виробів.

1.4 Аналіз технологічності конструкції

Якісні показники характеризують технологічність конструкції більш загально, на основі досвіду виконавця. Якісні показники включають в себе матеріал деталі, базування та закріплення деталі у верстаті, допуски форми та розташування, розміщення розмірів, геометричну форму, можливість обробки деталі більш продуктивними способами.

Деталь «Втулка фланцева», відноситься до порожнистих тіл обертання з вираженою фланцевою частиною, виготовляється із сталі 20Х13 ГОСТ 25054-81. В таблиці 2.1 представлений хімічний склад, в таблиці 2.2 – механічні властивості. Проаналізувавши матеріал, використаний для виготовлення деталі, то він гарно піддається лезовій обробці. В якості заміників даної марки сталі можна використовувати наступні марки сталей: 12Х13 ГОСТ 5632-72, 14Х17Н2 ГОСТ 25054-81.

Маса деталі готової становить 14,5 кг, а значить заготовка має більшу вагу, тому для на початкових механічних операціях треба застосовувати підйомно-транспортні пристрої. Застосування такого обладнання веде за собою збільшення допоміжного часу і собівартості деталі. За масою деталь технологічна. Габарити деталі дорівнюють $\text{Ø}330 \times 87$ мм. Розміри потрібно робочої зони для обробки такої деталі повинні бути великі, так як застосовуване обладнання має великі габарити. Обладнання нормальної точності, тому його обслуговування має не велику вартість.

Щодо креслення деталі, то воно виконане відповідно до ГОСТу. На ньому наявна достатня кількість видів, розрізів. Креслення можна прочитати без ускладнень. По даному пункту деталь технологічна.

Деталь «Втулка фланцева» має як прості так і складні поверхні. Але високопродуктивне обладнання можна застосувати для обробки.

Нетехнологічною в даній деталі, є наявність на шпонковому пазу, поверхні, яка має кут нахилу 15° . І поверхні самого пазу мають радіусний

профіль та шорсткість Ra 3,2 мкм. Також наявні 3 канавки, 2 – внутрішніх та 1 торцева із шорсткістю поверхонь Ra 1,6 мкм. Знизити вимоги до даного елемента неможливо, так як ці канавки слугуватимуть для розміщення ущільнень. Тому за цим пунктом деталь не технологічна.

Деталь має як точні поверхні (6-9 квалітети) із шорсткістю Ra 1,6-3,2 мкм. Тому для забезпечення відповідної якості необхідна відповідна кількість операцій. Але це відзначиться на собівартості виробу в цілому, та за грубим квалітетом з шорсткістю Ra 12,5 мкм. Для отримання даних вимог треба використовувати точне чистове обладнання, достатню кількість операцій та переходів (чорнові, напівчистові та чистові), відповідні режими різання та технологічну оснастку. Вартість готової деталі збільшиться, тому що буде використовуватися точне обладнання, технологічна оснастка (вимірювальний інструмент, та пристрій).

Конструктор поставив досить жорсткі вимоги до базових поверхонь, до форми та їхнього розміщення. Щоб забезпечити дані вимоги, потрібна відповідна кількість операцій та режимів обробки, за допомогою яких отримаємо необхідну якість та забезпечені допуски.

1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Проаналізуємо базовий технологічний процес, у ньому послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічних процесів. Спочатку виконується обробка чорнових поверхонь, котрі надалі будуть оброблюватися і слугувати базовими. Маршрутний технологічний процес показано в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Втулка фланцева Н16.358.610-04»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Ковальська	
010	Термічна	Стіл ВТК
015	Технічний контроль	Стіл ВТК
020	Токарно-гвинторізна	16К30
025	Токарна з ЧПК	16К20Ф3
030	Технічний контроль	Стіл ВТК
035	Токарна з ЧПК	16К20Т1
040	Токарна з ЧПК	16К20Т1
045	Технічний контроль	Стіл ВТК
050	Фрезерна з ЧПК	6Р13РФ3
055	Вертикально-свердлильна	2554Ф2
060	Слюсарна	Верстак слюсарний
065	Технічний контроль	Стіл ВТК

Технологічний процес виготовлення деталі «Втулка фланцева» в заводському варіанті відповідає середньосерійному типу виробництва. Він складається з 13 операцій, 7 операцій механічної обробки, 3 операції технічного контролю, 1 – заготівельна, 1 – термічна та 1- слюсарна. Дивлячись та аналізуючи ТП, можна сказати, що операції вибрані правильно і грамотно. Враховуючи сучасні особливості виробництва потрібно б замінити модельний ряд верстатів на більш нові аналоги, задля розширення технологічних можливостей, скорочення часу на обробку. Потрібно деякі операції скомбінувати в одну, задля їх зменшення числа, переглянути режими різання, за потреби призначити більш прогресивні, зважаючи на

технологічні можливості сучасного ріжучого інструменту та верстатів. На контрольних операціях використовувати інструмент з електронним знаттям показників.

1.6 Висновки

Аналізуючи вищевикладену інформацію розділу 1 можна зробити наступний висновок, деталь Втулка фланцева є пристроєм фіксації деталей на валу насосу. Технічні вимоги на її виготовлення пред'явлені досить високі, так як деталь є ланкою, котра безпосередньо відповідає за роботу головних робочих органів агрегату. Її виготовлення буде прооводитись за середьосерійним типом виробництва, вибір якого підтверджений розрахунком у розділі 1.3. Базовий заводський технологічний процес виготовлення деталі, вцілому, побудований вірно, але враховуючи сучасні можливості і терміни виготовлення деталей, потребує перегляду на рахунок вибору технологічного обладнання. Тому цим питанням детально будемо займатися у наступному розділі роботи.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Для виконання цього розділу потрібні знання про складання типових маршрутів обробки поверхонь або груп поверхонь.

У більшості випадків укрупнені операції включають переходи, котрі не можливо виконати за одини установ. Тому, треба прийняти рішення про принцип подальшого проектування - диференціації або концентрації побудови операцій.

При проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

- а) технологічні процеси рекомендується проектувати згідно з принципом поетапності, тобто необхідно забезпечити виконання чорнових, а потім чистових способів обробки;
- б) в першу чергу обробляють бази для наступних операцій;
- в) потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, так як використовуються форсовані режими різання, а отже і будуть великі сили різання;
- г) обробка поверхонь, в яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;
- д) найбільш точні поверхні обробляються в останню чергу.

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Кування заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Токарна чистова

030 Вертикально-свердлильна

035 Слюсарна

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Штампування заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Токарна чистова

025 Фрезерна

030 Координатно-свердлильна

035 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Ковка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Слюсарна

030 Фрезерна

035 Токарна чистова

Маршрут №2 є більш правильним, адже при попередніх свердлильних операціях в маршрутах №1 та №3 на подальшій токарній чистовій буде відбуватись обробка з ударами, що призведе до поломки інструменту та небажаним дефектам поверхонь.

2.2 Вибір та обґрунтування отримання способу отримання заготовки

На вибір заготовки впливають: тип виробництва, матеріал, маса, габаритні розміри, наявність тонких стінок, ребер жорсткості. Крім того для зменшення трудомісткості обробки та для економії металу, форма заготовки повинна бути наближена до конфігурації готової деталі. Собівартість заготовки та трудомісткість виготовлення повинні бути зведені до мінімуму. Для виготовлення деталі «Втулка фланцева», розглянемо 2 способи отримання заготовки: вільне кування на молотах, та штампування КГШП.

Для того щоб остаточно вирішити, який спосіб вибрати для отримання заготовки розглянемо переваги та недоліки кожного з методів.

Вільне кування на молотах. До переваг даного методу можна віднести: універсальність устаткування та інструменту, висока якість металу та можливість виготовлення великогабаритних заготовок на обладнанні, яке має невелику потужність. Недоліки наступні: підвищені витрати матеріалу на напуски та припуски, низька продуктивність праці, підвищена кваліфікація робітників, велика трудомісткість.

Штампування на КГШП. До переваг даного методу можна віднести: висока продуктивність, багатофункціональність, простота конструкції, можливість забезпечення витримки будь-якого тривалості при постійній силі, можливість отримати поковки, більш близькі до форми готової деталі, ніж на молотах, можливість в широкому діапазоні змінити замкнуту висоту і довжину ходу рухомого перетину та довершена конструкція штампів зменшує кількість припусків та напусків, тим самим збільшує коефіцієнт використання металу. До недоліків треба віднести тихохідність. Вартість виготовлення дорожча чим на молотах. Складна конструкція. Підвищення швидкості переміщення рухомої поперечини сприяє виникненню гідравлічних ударів в трубопроводах в момент зіткнення робочого

інструмента з заготовкою. В результаті відбувається розгойдування преса, порушення ущільнень трубопроводів тощо. [11]

Розглянувши обидва способи отримання заготовки, робимо наступний висновок, вільне кування на молотах поступається штампуванню на КГШП. Остаточне рішення щодо вибору способу отримання заготовки, приймемо після розрахунку собівартості кожного з методів.

Собівартість вільного кування на молотах:

Визначимо собівартість вільного кування за наступною формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} \times Q \times K_T \times K_M \times K_{\Pi} \times K_H \times K_B \right) - (Q - q) \times \frac{S_{\text{відх}}}{1000}$$

де $C=45000$ грн – базова вартість 1 тони заготовки, грн;

$Q = 26,1$ кг – маса заготовки;

$q=14,5$ кг – маса деталі;

$K_T=1$ – коефіцієнт враховуючий точність поковки;

$K_M=0,93$ – коефіцієнт враховуючий властивості матеріалу;

$K_{\Pi}=1,15$ – коефіцієнт враховуючий групу серійності;

$K_H=1$ – коефіцієнт враховуючий групу складності;

$K_B=1$ – коефіцієнт враховуючий масу поковки;

$S_{\text{відх}}=10000$ грн – ціна 1 тони відходів.

$$Q = q \times K_p$$

де K_p – коефіцієнт визначення орієнтовної маси поковки

$$Q = 14,5 \times 1,8 = 26,1 \text{ кг}$$

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{45000}{1000} \times 26,1 \times 1 \times 0,93 \times 1,15 \times 1 \times 1 \right) - (26,1 - 14,5) \times \frac{10000}{1000} = 12445,3 \text{ грн}$$

Визначимо собівартість заготовки при штампуванні на КГШП для цього способу:

$C=45000$ грн – базова вартість 1 тони заготовки, грн;

$Q = 18,75$ кг – маса заготовки;

$q=14,5$ кг – маса деталі;

$K_T=1$ – коефіцієнт враховуючий точність поковки;

$K_M=0,93$ – коефіцієнт враховуючий властивості матеріалу;

$K_P=1,15$ – коефіцієнт враховуючий групу серійності;

$K_H=1$ – коефіцієнт враховуючий групу складності;

$K_B=1$ – коефіцієнт враховуючий масу поковки;

$S_{\text{відх}}=10000$ грн – ціна 1 тони відходів.

$$Q=14,5 \times 1,5=21,75 \text{ кг}$$

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{45000}{1000} \times 18,75 \times 1 \times 0,93 \times 1 \times 1,15 \times 1 \right) - (18,75 - 14,5) \times \frac{10000}{1000} \\ = 10395,2 \text{ грн}$$

Отже, за економічними розрахунками доцільно штампування на КГШП.

Вихідні дані для розрахунку припусків:

- а) матеріал – сталь 20Х13 ГОСТ5632-72;
- б) маса деталі – 14,5 кг;
- в) клас точності – Т4
- г) група сталі – М1
- д) ступінь складності – С2
- е) вихідний індекс – 14

Призначимо припуски на розміри:

3,0 мм – на $\varnothing 330$ мм, шорсткість поверхні Ra 12,5 мкм

2,5 мм – на довжину 87 мм, шорсткість поверхні Ra 12,5 мкм

3,0 мм – на $\varnothing 235$ мм, шорсткість поверхні Ra 3,2 мкм

2,5 мм – на довжину 25 мм, шорсткість поверхні Ra 1,6 мкм

Додаткові припуски, що враховують зміщення до поверхні рознімання – 0,2 мм, відхилення від площини – 0,2 мм.

Таблиця 2.1 – Розрахунок розмірів поковки

Номинальний розмір елемента деталі, мм	Припуск на сторону, мм	Додаткові припуски	Допустимі відхилення розмірів заготовки, мм	Остаточний розмір елемента заготовки, мм
1	2	3	4	5
Ø330	3,0	0,2	+3,3 -1,7	Ø336 ^{+3,3} _{-1,7}
довжина 87	2,5	0,2	+2,4 -1,2	92 ^{+2,4} _{-1,2}
Ø235	3,0	0,2	+3,0 -1,5	Ø241 ^{+3,0} _{-1,5}
довжина 25	2,5	0,2	+1,8 -1,0	30 ^{+1,0} _{-1,0}
Ø179	3,0	0,2	+3,3 -1,7	Ø182 ^{+3,3} _{-1,7}
довжина 25	2,5	0,2	+1,8 -1,0	30 ^{+1,0} _{-1,0}
Ø179	3,0	0,2	+3,3 -1,7	Ø182 ^{+3,3} _{-1,7}

Підведемо підсумок, заготовку отримаємо штампуванням на КГШП.

Технічні вимоги

- а) Заготовка – поковка, штампована на КГШП;
- б) Припуски та допуски згідно з ГОСТ 7505-89;
- в) Зміщення до поверхні рознімання – 0,2;
- г) Відхилення від площини – 0,2 мм;
- д) Незазначені радіуси заокруглень 1,0 мм.

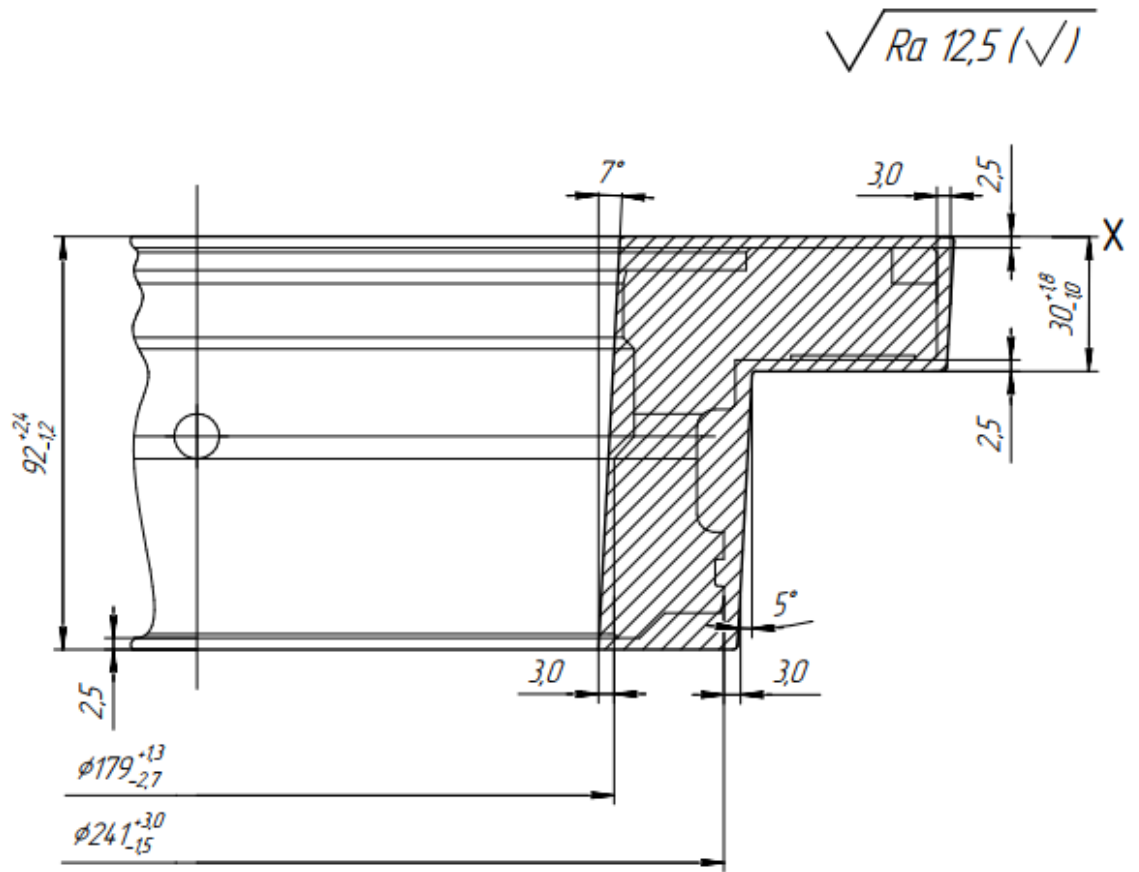


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

2.3 Розрахунок припусків на механічну обробку

Розрахуємо припуски на операцію 040 для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 235h6_{(-0,029)}$ на 4-х переходах:

- а) Чорнове точіння;
- б) Напівчистове точіння;
- в) Чистове точіння;
- г) Шліфування.

Так як ведеться обробка зовнішньої поверхні обертання, то припуск знаходиться за наступною формулою:

$$2Z_{min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2})$$

де Rz_{i-1} - величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході), мкм;

h_{i-1} - глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході), мкм;

ρ_{i-1} - похибка просторового відхилення форми і взаємного розміщення поверхонь, отримана на операції (переході), мкм;

ε_i - похибка устаноновки на даній операції (переході), мкм.

Показники, які перераховані вище, є табличними величинами, окрім ρ_{i-1} , яка розраховується за наступною формулою:

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

де $\rho_{зм}$ - похибка заготовки пов'язана із зміщенням осі;

$$\rho_{зм} = \delta,$$

де δ - допуск на поверхню, $\delta=1,6$ мм.

$\rho_{кор}$ - похибка короблення заготовки;

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot D$$

Δ_k - питома кривизна заготовки, $\Delta_k = 0,1$ [5, с.186]

D – найбільший діаметр заготовки, $D=336$ мм.

$$\rho_{\text{кор}} = 0,1 \cdot 336 = 33,6 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{1,6^2 + 33,6^2} = 33,6 \text{ мкм}$$

$$\rho = \rho_{\text{заг}} \cdot k_y$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми:

однократне та чорнове точіння штампованих заготовок, $k_y= 0,06$; [5, с.190]

напівчистове точіння штампованих заготовок, $k_y= 0,05$; [5, с.190]

чистове точіння штампованих заготовок, $k_y= 0,04$. [5, с.190]

шліфування $k_y= 0,02$ [5, с.190].

Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{\text{чор.точ.}} = 33,6 \cdot 0,06 = 2,02 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{напівчист.точ.}} = 33,6 \cdot 0,05 = 1,68 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{чист.точ.}} = 33,6 \cdot 0,04 = 1,34 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{шліфуван.}} = 33,6 \cdot 0,02 = 0,67 \text{ мкм}$$

Вихідні дані для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку припусків на розмір $\varnothing 235h6_{(-0,029)}$ мм

Назва переходу	Квалітет точності	Допуск, мкм	Елементи припуску, мкм			
			Rz_{i-1}	h_{i-1}	ρ_{i-1}	ε_i
Обробка тиском	IT 17	$3600^{(+2,4)}_{(-1,2)}$	250	300	33,6	-
Чорнове точіння	IT 12	$460_{(-0,46)}$	50	50	2,02	600
Напівчистове точіння	IT 10	$185_{(-0,185)}$	25	25	1,68	0
Чистове точіння	IT 9	$115_{(-0,115)}$	10	15	1,34	0
Шліфування	IT 6	$29_{(-0,029)}$	5	5	0,67	0

Дані для розрахунку припусків на ЕОМ для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 235h6_{(-0,029)}$ мм, показані в додатку А пояснювальної записки.

Відповідно до даних додатка А, побудована схема розташування припусків та допусків, яка показана на рисунку 2.2.

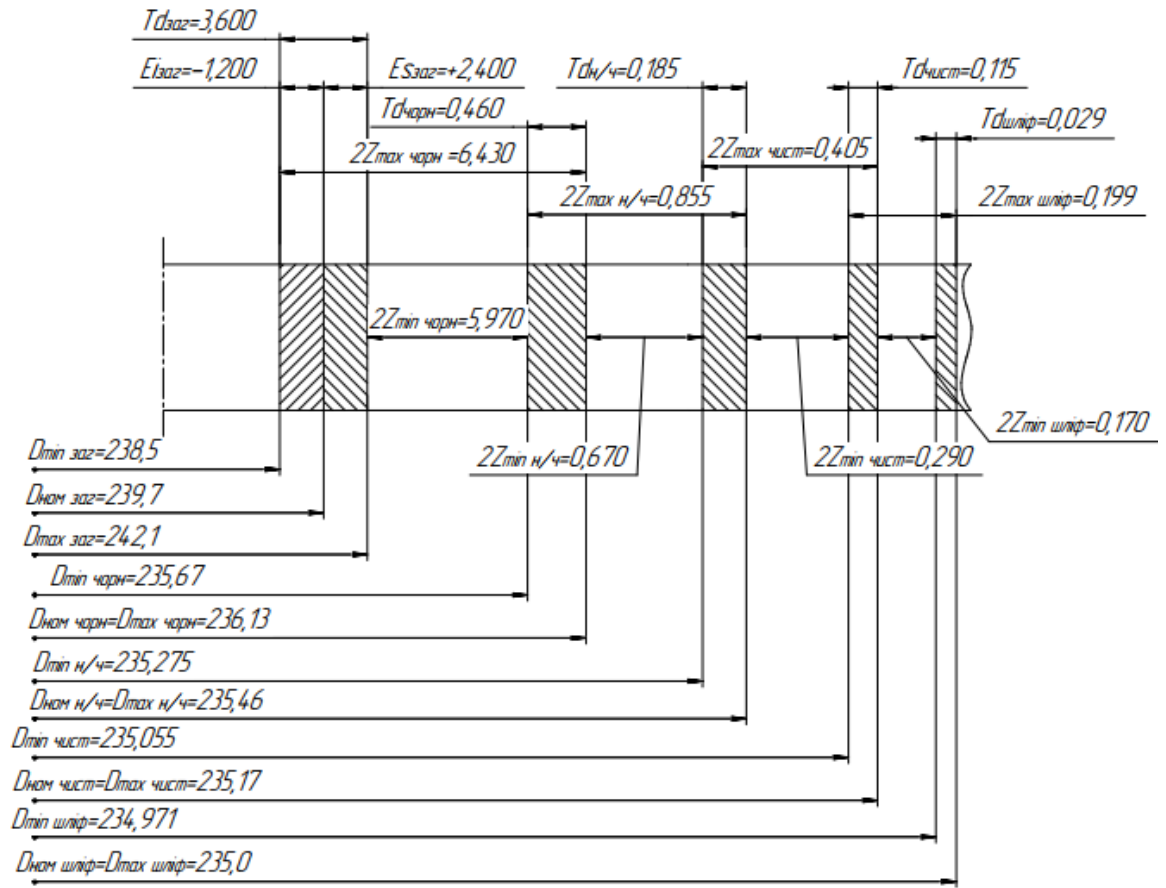


Рисунок 2.2 – Схема розташування допусків та припусків на розмір $\text{Ø}235\text{h}6(-0,029)$ мм

2.4 Аналіз та обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки

Проаналізуємо схему базування заготовки, та її можливі варіанти для операції 025 Токарна з ЧПК. На цій операції проводиться обточування поверхонь 1,6,7,8, рис. 1.3. Схеми базування заготовки приведено на рисунках 2.3 та 2.4

Для цієї операції можливі дві схеми базування:

- а) в тьохкулачковий патрон з упором в лівий торець (базування по діаметру 330 мм і прилеглому торцю 28_{-0,5} мм);
- б) на оправці з упором в лівий торець (по діаметру 186 мм та лівому торцю).

Розглянемо спосіб базування заготовки по діаметру 330 мм і прилеглому торцю 28_{-0,5} мм, рисунок 2.3. В даному випадку під час базування виникають 2 бази: встановлювальна (ВБ), подвійна опорна (ПОБ).

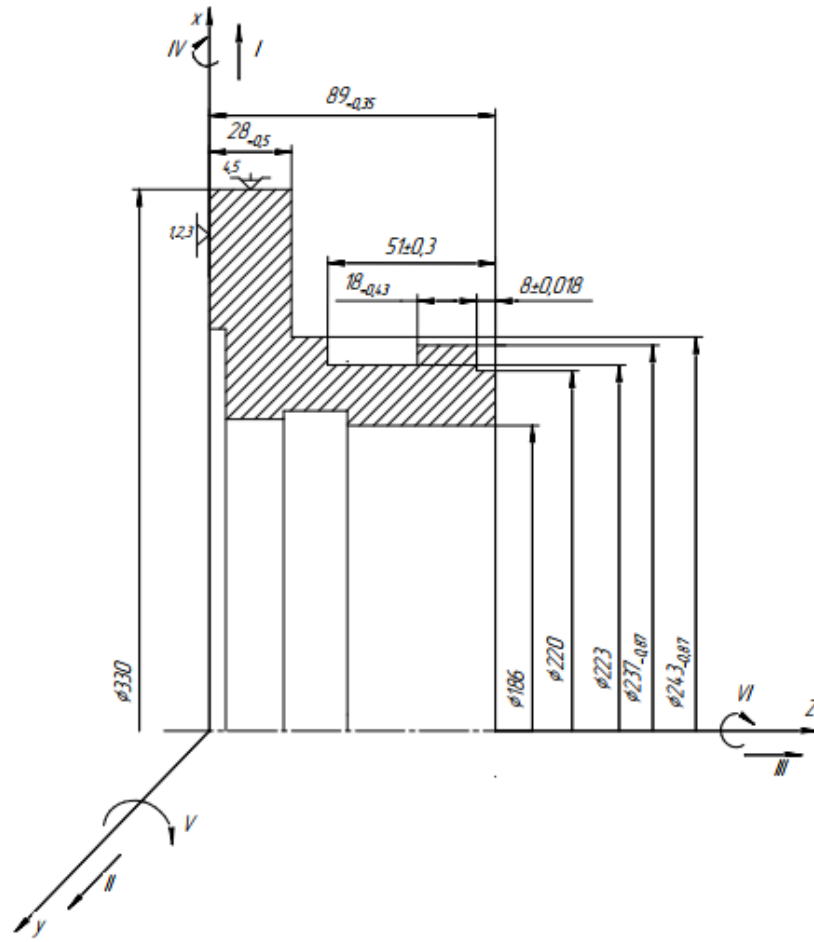


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки по діаметру 330 мм і прилеглому торцю $28_{-0,5}$ мм

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідності базування заготовки по діаметру 330 мм і прилеглому торцю 28_{-0,5} мм

Зв'язки	Ступені вільності	Назва бази
1,2,3	III,IV,V	Встановлювальна
4,5	I,II	Подвійна опорна

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків базування заготовки по діаметру 330 мм і прилеглому торцю 28_{-0,5} мм

X,Y,Z/l, α	X	Y	Z	Назви баз
l	0	0	1	Встановлювальна
α	1	1	0	
l	1	1	0	Подвійна опорна
α	0	0	0	
Σ	2	2	1	5 ступенів

Для діаметральних розмірів похибка базування рівна нулю, тому що патрон самоцентруючий.

Похибка базування для лінійних розмірів: $51 \pm 0,3$, $18_{-0,43}$ і $8 \pm 0,018$ складатиме величину допуску розміру, який з'єднує технологічну і вимірювальну бази Першим переходом є підрізання торцю в розмір $89_{-0,35}$, тоді похибка базування становитиме $\varepsilon_{651} = T_{89} = 0,35$ мм. Значить, відповідно виконувани на даній операції розміри можна забезпечити.

Розглянемо спосіб базування по діаметру 186 мм та лівому торцю. Даний спосіб можливо реалізувати із застосуванням оправки з перехідною посадкою. Схема базування зображена на рисунку 2.4. Під час базування заготовки в даному випадку виникають такі ж бази як і в попередньому способі базування. Аналогічно матриці відповідності та зв'язків залишаються незмінними, як в попередньому випадку. Похибка базування складатиме

величину допуску одного із розмірів, який був отриманий на попередній операції, це розмір $89_{-0,35}$. Але даний спосіб використовувати не зовсім вірно, тому що поверхня з діаметром 186 мм буде підлягати подальшій обробці, тобто вона остаточно не оброблена. Як відомо, базування із застосуванням оправок використовується по остаточно оброблених поверхнях, тому виходячи із двох випадків віддаємо перевагу способу базування за першою схемою.

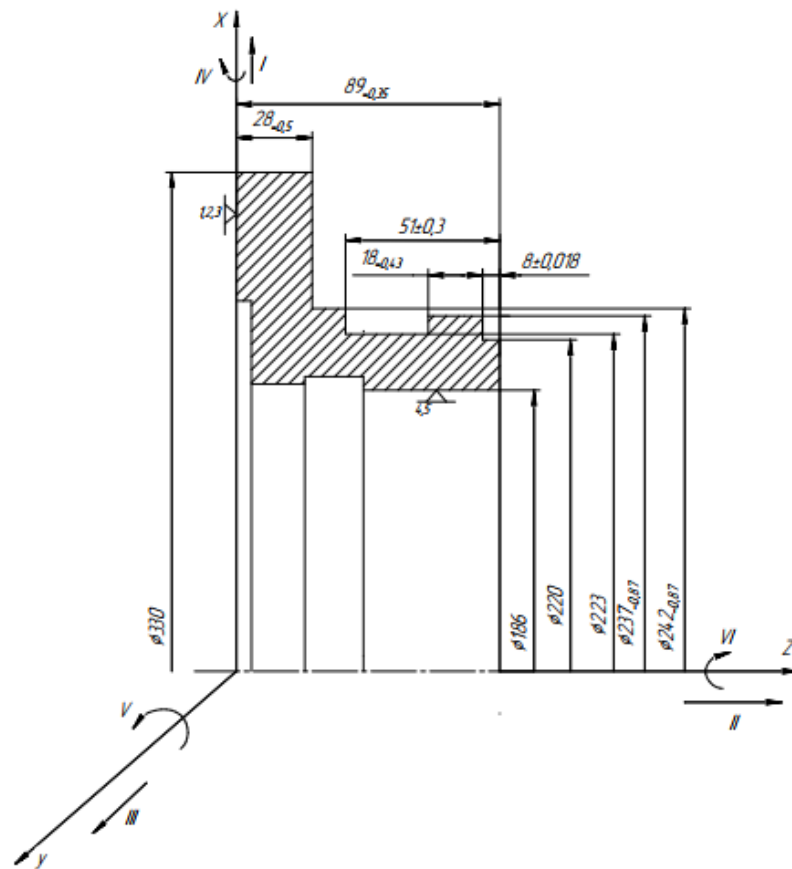


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки по діаметру 186 мм і прилеглому торцю $28_{-0,5}$ мм

Проаналізуємо схему базування для операції «050 Фрезерна з ЧПК»

На цій операції проводиться оброблення отворів $\varnothing 24H14^{(+0,52)}$ мм. (6 шт.), $\varnothing 10,2_{-0,43}$ мм. (4 шт.) та $\varnothing 14_{-0,43}$ мм. (3 шт.) та паз шириною 10 мм. (3 шт.), рисунок 6.4.

Для цієї операції можливі дві схеми базування, рисунок 2.5:

- а) в стакан з упором в торець $\varnothing 200$ (базування по діаметру $\varnothing 235h6$ мм);
- б) на оправці з упором в торець $\varnothing 200$ (базування по діаметру $\varnothing 186H9$ мм).

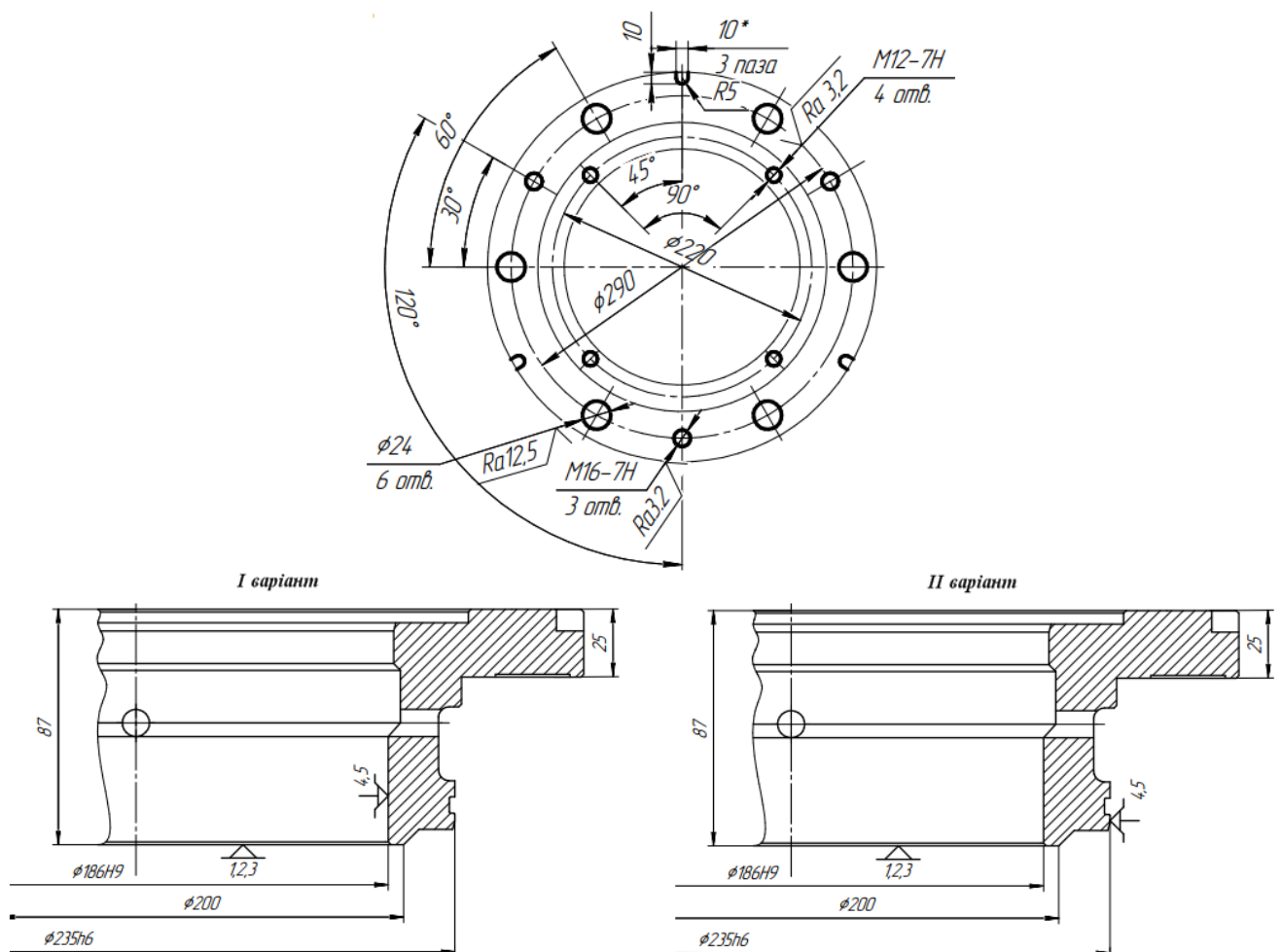


Рисунок 2.5 – Можливі варіанти базування на операції «050 Фрезерна з ЧПК»

Розглянемо першу схему базування (варіант I, рисунок 2.5).

Функції встановлювальної бази виконує торець $\varnothing 200$. Похибка базування буде відсутня, так як на даній операції буде проводитися наскрізне свердлення отворів, тобто лінійні розміри отримані на попередній операції.

Функції подвійної опорної бази виконує поверхня $\varnothing 235h6$. На її користь свідчить таке:

- а) вона найбільш точно оброблена: $IT6, T_{\varnothing 235} = 29$ мкм;
- б) вона досить чисто оброблена: шорсткість її поверхні $Ra = 3,2$ мкм;
- в) саме ця поверхня є вимірювальною базою для перевірки биття $\varnothing 235h6$.

Тому, беручи дану поверхню як базову, нам вдається поєднати технологічну базу з вимірювальною за параметром биття. Крім того, застосування цієї поверхні як базової не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

При цій схемі базування в стакан з діаметром отвору $235H7(+0,046)$ по поверхні $\varnothing 235h6(-0,029)$ та торцю $\varnothing 200$ між заготовкою та пристроєм може виникнути максимальний зазор рівний $0,075$ мм. Похибка базування для міжвісєвих відстаней $\varnothing 220 \pm 0,575$ та $\varnothing 290 \pm 0,65$ рівна величині зазору. Отже, ці розміри виконати можна, тому що $T_{\varnothing 220} > E_{б\varnothing 220}$ ($1,15$ мм $> 0,075$ мм), а $T_{\varnothing 290} > E_{б\varnothing 290}$ ($1,3$ мм $> 0,075$ мм).

Діаметральні розміри оброблюваних отворів виконуються мірним інструментом, тому похибка відсутня.

Похибка базування для лінійних розмірів також відсутня, тому що ведеться наскрізна обробка.

Розглянемо другу схему базування (варіант II, рисунок 2.5).

При цій схемі базування на оправці діаметром $186h8(-0,072)$ та торцю $\varnothing 200$. В такому випадку між заготовкою та пристроєм може виникнути максимальний зазор рівний $0,187$ мм. Похибка базування для міжвісєвих

відстаней $\varnothing 220 \pm 0,575$ та $\varnothing 290 \pm 0,65$ рівна величині зазору. Таким чином $T_{\varnothing 220} > E_{\varnothing 220}$ ($1,15 \text{ мм} > 0,187 \text{ мм}$), а $T_{\varnothing 290} > E_{\varnothing 290}$ ($1,3 \text{ мм} > 0,187 \text{ мм}$). Хоча ці розміри виконати можна, застосування оправки на цій операції не доцільно, так як базування заготовки при першій схемі виконується по більш точній поверхні, а отже й похибка базування менша. Тому приймаємо першу схему базування, рис.2.5.

2.5 Обґрунтування вибору металорізального верстата

Для виконання операції 025 Токарна з ЧПК розглянемо 2 верстати, на яких можна реалізувати обробку деталі, враховуючи, що тип виробництва – дрібносерійне. Моделі верстатів наступні: 1 – 16K20T1; 2 – Trens SE 520 Numeric. Операція – 25 передбачає підрізання торців, зовнішнє точіння та точіння канавки. Технологічні можливості запропонованих вище верстатів дозволяють виконати ці переходи. Розглянемо технічні характеристики верстатів (таблиця 2.5) та остаточно затвердимо оптимальний варіант верстату.

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстатів для токарної операції з ЧПК

Характеристики	Моделі верстатів	
	16K20T1	Trens SE 520 Numeric
1	2	3
Діаметр оброблюваної заготовки, мм	400	520
Довжина оброблюваної заготовки, мм	1000	1500
Частота обертання шпинделя, об/хв	12,5-2000	0-2600
Число швидкостей шпинделя	22	22
Найбільше переміщення супорта, мм		
поздовжнє	900	905
поперечне	250	210
Число ступенів подач	Б/С	Б/С
Клас точності	П	П
Швидкість швидкого переміщення супорта, мм/хв.		
поздовжня	4800	7500
поперечна	2400	2400
Модель системи ЧПК	Електроніка НЦ-31	Fanuc 21iT
Кількість одночасно керованих координат	2	2
Кількість позицій інструментальної головки	8	12
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	11	11

Висновок: проаналізувавши технічні характеристики обох вищезазначених верстатів на операції 020 Токарно-гвинторізна, будемо використовувати верстат моделі С10MSM. Тому що, його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі та він є сучасною моделлю.

Для виконання операції 055 Координатно-свердлильна розглянемо 2 варіанти верстатів, на яких можна забезпечити обробку. Це верстати 2554Ф2 та ГФ 2171С5. Операція 055 включає в себе наступні переходи: свердління отворів (8шт) Ø10 мм витримуючи розмір 45° між отворами. Щоб вибрати остаточно модель верстата розглянемо їхні технічні характеристики (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстатів для операції 055

Характеристики	Моделі верстатів	
	2К550В	2554Ф2
Розміри стола, мм	900×1670	1000×1600
Потужність головного двигуна, кВт	4,0	5,5
Наявність системи ЧПК	-	ЧПК 2У32-61
Клас точності	Н	Н
Макс. крутний момент на шпинделі, Нм	710	830
Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв	40-1730	18-2000
Маса, кг	4000	9000
Габаритні розміри (Д×Ш×В, мм)	3000×1300×3000	4200×3500×3780

Висновок: проаналізувавши технічні характеристики обох вищезазначених верстатів на операції 055 Координатно-свердлильна, будемо використовувати верстат моделі 2554Ф2. Тому що, його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі.

Для виконання операції 020 Токарна з ЧПК розглянемо 2 верстати, на яких можна реалізувати обробку деталі, враховуючи, що тип виробництва –

дрібносерійне. Моделі верстатів наступні: 1- 16К30; 2 – С10MSM. Операція – 20 передбачає підрізання торця, зовнішнє точіння, розточування та точіння канавки. Технологічні можливості запропонованих вище верстатів дозволяють виконати ці переходи. Розглянемо технічні характеристики верстатів (таблиця 2.7) та остаточно затвердимо оптимальний варіант верстату.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстатів для операції 020 токарно-гвинторізна

Характеристики	Моделі верстатів	
	16К30	С10MSM
1	2	3
Діаметр оброблюваної заготовки, мм	630	730
Довжина оброблюваної заготовки, мм	2800	3000
Частота обертання шпинделя, об/хв	12,5-2000	8-1250
Число швидкостей шпинделя	24	22
Найбільше переміщення супорта, мм		
поздовжнє	2600	2800
поперечне	470	420
Клас точності	Н	Н
Кількість позицій різцетримача	4	4
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	17	15

Для виконання операцій 035 та 040 «Токарна з ЧПК» розглянемо 2 верстати, на яких можна реалізувати обробку деталі, враховуючи, що тип виробництва – дрібносерійне. Моделі верстатів наступні: 1- 16К20Т1; 2 – СКЕ6163Z. Операція – 035 передбачає підрізання торця, розточування та точіння канавки. Технологічні можливості запропонованих вище верстатів дозволяють виконати ці переходи. Розглянемо технічні характеристики верстатів (таблиця 2.8) та остаточно затвердимо оптимальний варіант верстату.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики верстатів для операції 040 «Токарна з ЧПК»

Характеристики	Моделі верстатів	
	16K20T1	СКЕ6163Z
1	2	3
Діаметр оброблюваної заготовки, мм	400	630
Довжина оброблюваної заготовки, мм	1000	2000
Частота обертання шпинделя, об/хв	12,5-2000	0-2600
Число швидкостей шпинделя	22	22
Найбільше переміщення супорта, мм		
поздовжнє	900	1235
поперечне	250	320
Число ступенів подач	Б/С	Б/С
Клас точності	П	П
Швидкість швидкого переміщення супорта, мм/хв.		
поздовжня	4800	7500
поперечна	2400	2400
Модель системи ЧПК	Електроніка НЦ-31	Fanuc OiMate
Кількість одночасно керованих координат	2	2
Кількість позицій інструментальної головки	8	12
Потужність електродвигуна головного привода, кВт	11	11

2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

Верстатні пристрої становлять 50% від загального об'єму технологічної оснастки. За допомогою верстатних пристроїв можливо реалізувати наступні дії:

- а) розширити технологічні можливості використовуваного обладнання;
- б) стабільно забезпечувати високу якість оброблених деталей;
- в) забезпечувати жорсткість у процесі обробки;
- г) надійно базувати та закріплювати деталь.

Зведемо до таблиці 2.9, 2.10 2.11, 2,12 ріжучий та вимірювальний інструмент, який використовується при механічній обробці на операціях 025, т 050, 020 та 040.

Таблиця 2.9 – Перелік ріжучого інструменту для операції 025 «Токарна з ЧПК»

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
Підрізання торця в розмір 89 _{-0,5}	Різець 2103-0057 ВК6М ГОСТ 18880-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 166-89
Точіння зовнішніх поверхонь розміри Ø242 _{-0,87} ; Ø237 _{-0,87} ; Ø220 (мм)	Різець 2103-0057 ВК6М ГОСТ 18880-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 166-89
Підрізання торця в розмір 27 (мм)	Різець 2103-0057 ВК6М ГОСТ 18880-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 166-89
Точити канавку витримуючи розміри Ø223; 51±0,3 (мм)	Різець прорізний спеціальний ВК6М	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 166-89

Таблиця 2.10 – Перелік ріжучого інструменту для операції 055 «Координатно-свердлильна»

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
Свердлити 8 отв. Ø10 мм, витримуючи розмір 45°	Свердло Ø10 Р6М5 ГОСТ 10903-77	–	Штангенциркуль ШЦ 125-0,1 ГОСТ 166-89

Таблиця 2.11 – Перелік ріжучого інструменту для операції 020 «Токарно-гвинторізна»

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
Підрізання торця в розмір 90,5 ^{-0,5}	Різець 2100-0009 ВК6М ГОСТ 18877-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точіння зовнішньої поверхні розміром Ø330 (мм) на прохід	Різець 2100-0009 ВК6М ГОСТ 18877-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Розточування отворів Ø184 ^{+0,72} на прохід, Ø188 ^{+0,72} , Ø244	Різець 2141-0059 ВК6М ГОСТ 18883-73	–	Штангенциркуль ШЦ 320-0,1 ГОСТ 266-89

Таблиця 2.12 – Перелік ріжучого інструменту для операції 040 «Токарна з ЧПК»

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
Точити поверхні витримуючи розміри: 1,0; Ø320 та Ø265	Різець прорізний ВК6М спеціальний	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Підрізати торець витримуючи розміри: 87 та 8	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точити поверхню витримуючи розміри: Ø200 і 45°	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точити зовнішню конусну поверхню і циліндричну поверхню попередньо витримуючи розміри: 3; 15° і Ø235,8	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точити зовнішню поверхню попередньо витримуючи розмір Ø240,8	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Підрізати торець витримуючи розмір 25	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точити остаточно зовнішні поверхні Ø235h6 на прохід і Ø240h6 витримуючи розмір 25	Різець 2100-2188 ВК3М ГОСТ 26611-85	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89
Точити канавку витримуючи розміри: 6, 6° та 4+0,2 за програмою	Різець канавочний спеціальний ВК6М	-	Штангенциркуль ШЩ 320-0,1 ГОСТ 266-89

2.7 Розрахунки режимів різання

Проведемо розрахунок режимів різання для операції «025 Токарна з ЧПК». Аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні $\varnothing 237_{-0,87}$, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом.

Вихідні дані: матеріал сталь 20X13, межа міцності $\sigma_B=630\text{МПа}$, матеріал ріжучої частини різця ВК6М, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на КГШП. Ескіз заготовки на рисунку 2.6.

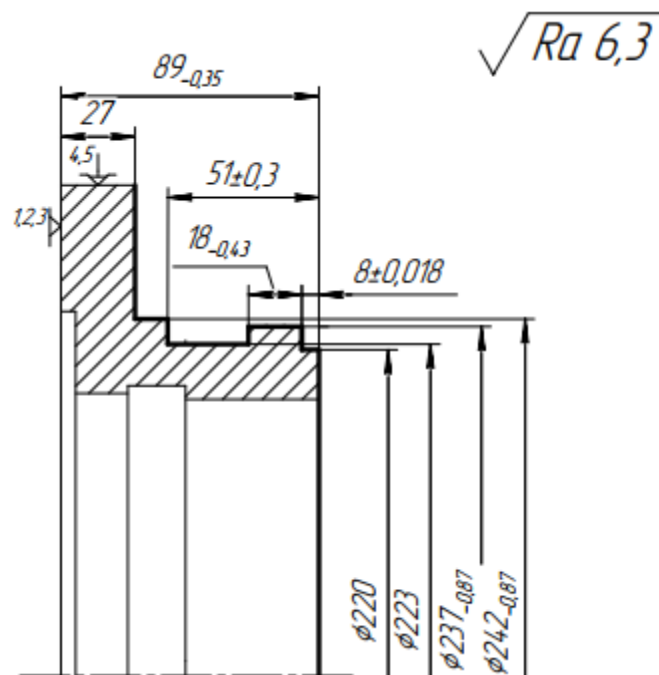


Рисунок 2.6 – Ескіз операції «025 Токарна з ЧПК»

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{обт}}{2} \quad (2.1)$$

де D_3 – діаметр в стані заготовки;

$D_{обт}$ – діаметр після точіння.

$$t = \frac{244 - 237}{2} = 3,5 \text{ (мм)}$$

Визначимо подачу

$$S=0,20 \text{ мм/об} \quad [4, \text{ с.265}]$$

Стійкість інструменту $T=30$ хв. Визначимо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v \quad (2.2)$$

де $C_v=243$; $x=0,15$; $y=0,40$; $m=0,20$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання. [4, с.269]

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.3)$$

K_M - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [4, с.262]

K_t - поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [4, с. 263]

K_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [4, с. 263]

$$K_v = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 1,2$$

Враховуючи показники визначимо швидкість різання

$$V = \frac{243}{30^{0,2} \cdot 3,5^{0,15} \cdot 0,20^{0,4}} \cdot 1,2 = 258,9 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 258,9}{3,14 \cdot 237} = 347,9 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату $n=350$ об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.5)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 237 \cdot 350}{1000} = 260,4 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо силу різання

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.6)$$

де $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі [4, с.273].

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою

$$K_p = K_{mp} \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r \quad (2.7)$$

де $K_{mp} = 0,95$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [4,с.264];

$K_\varphi = 0,94$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [4,с.275];

$K_\gamma = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності [4,с.275];

$K_\lambda = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [4,с.275];

$K_r = 0,9$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності [4,с.275].

$$K_p = 0,95 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,83$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3,5^{1,0} \cdot 0,20^{0,75} \cdot 260,4^{-0,15} \cdot 0,83 = 3154 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.8)$$

$$N = \frac{3154 \cdot 149}{1020 \cdot 60} = 9,68 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого, отже обробка на верстаті Trens SE 520 Numeric буде забезпечена.

Визначимо основний час

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{S \cdot n} \quad (2.9)$$

де $l_1^* = 0$ мм – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2$ мм – виліт різця.

$$T_o = \frac{51+0+2}{0,20 \cdot 350} = 0,76 \text{ хв}$$

Таблиця 2.13 – Режим різання визначений за табличним методом для операції «025 Токарна з ЧПК»

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Підрізання торця в розмір 89,0,5 (мм)	2	3,0	0,30	144,8	200	165	1,09
Точити зовнішню поверхню в розмір Ø242-0,87 (мм)	1	2,5	0,20	266	350	62	0,62
Точити зовнішню поверхню в розмір Ø220 (мм)	1	3,0	0,40	345,4	550	8	0,12
Підрізання торця в розмір 27 (мм)	1	1	0,3	180,0	250	88	0,77
Точити канавку в розмір Ø223 та 51±0,3 (мм)	2	3,5	0,15	156,1	300	25	0,32

Проведемо розрахунок режиму різання для операції «055 Координатно-свердлильна». Аналітичним методом розрахуємо режим різання для свердління 8 шт. отворів Ø10 мм.

Вихідні дані: матеріал сталь 20X13, межа міцності $\sigma_B=630$ МПа, матеріал ріжучої частини свердла Р6М5, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампування на КГШП.

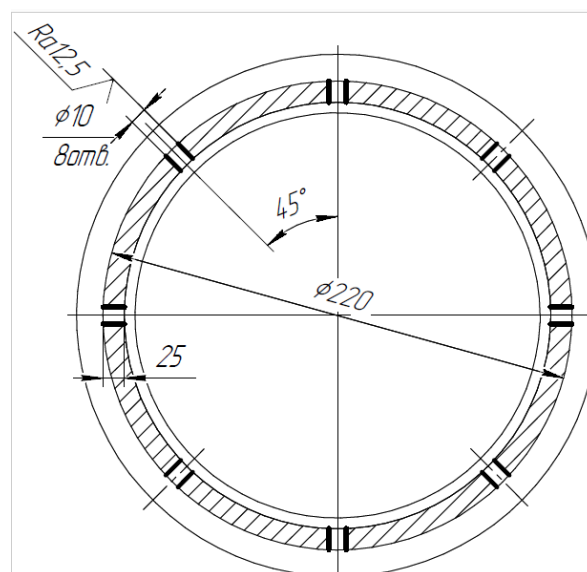


Рисунок 2.7 – Ескіз операції «055 Координатно-свердлильна»

Визначимо глибину різання:

$$t = 0,5D \quad (2.10)$$

де D – діаметр інструменту

$$t = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ (мм)}$$

Визначимо подачу $S=0,25$ мм/об [4, с.277]

Стійкість інструменту $T=8$ хв. Визначимо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^{m \cdot S^y}} \cdot K_v \quad (2.11)$$

де $C_v=9,8$; $q=0,40$; $y=0,50$; $m=0,20$ - коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання. [4, с.277]

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.12)$$

K_M - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [4, с.262]

K_t - поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [4, с. 263]

K_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [4, с. 263]

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

Враховуючи показники визначимо швидкість різання

$$V = \frac{9,8 \cdot 10^{0,40}}{8^{0,20} \cdot 0,25^{0,50}} \cdot 0,8 = 25,92 \text{ (м/хв)}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.13)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 25,92}{3,14 \cdot 10} = 825 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату $n=800$ об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.14)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 800}{1000} = 25,12 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо крутний момент і осьову силу:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.15)$$

де $C_M=0,041$; $q=2,0$; $y=0,7$; - коефіцієнти та показники у формулі для визначення крутного моменту. [4, с.281]

$K_p = K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{630}{750}\right)^{0,75} = 0,88$ - коефіцієнт, котрий враховує фактичні умови обробки, в даному випадку залежить від матеріалу заготовки

$$M_{\text{кр}} = 10 \cdot 0,041 \cdot 10^{2,0} \cdot 0,25^{0,7} \cdot 0,88 = 13,67 \text{ (Н} \cdot \text{м)}$$

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.16)$$

де $C_p=143$; $q=1,0$; $y=0,7$; - коефіцієнти та показники у формулі для визначення крутного моменту. [4, с.281]

$$P_o = 10 \cdot 143 \cdot 10^{1,0} \cdot 0,25^{0,7} \cdot 0,88 = 4781,9 \text{ (Н)}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9750} \quad (2.17)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент,

n – частота обертання шпинделя.

$$N_e = \frac{13,67 \cdot 800}{9750} = 1,12 \text{ (кВт)}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого, отже обробка на верстаті 2554Ф2 буде забезпечена.

Визначимо основний час

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{S \cdot n} \quad (2.18)$$

де

$l_1^* = ctg\varphi \cdot t = ctg60^\circ \cdot 5 = 2,85 \text{ мм}$ – величина врізання інструменту;

$l_1^{**} = 0 \text{ мм}$ – виліт.

$$T_o = \frac{25+2,85+0}{0,25 \cdot 800} = 0,14 \text{ (хв)}$$

Таблиця 2.14 – Режим різання для операції «055 Координатно-свердлильна»

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _o , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Свердлити отвори 8 шт Ø10 (мм)	8	5	0,25	25,12	800	25	1,2

Проведемо розрахунок режимів різання для операції «020 Токарно-гвинторізна». Аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні Ø330 на прохід, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом.

Вихідні дані: матеріал сталь 20Х13, межа міцності $\sigma_b=630$ МПа, матеріал ріжучої частини різця ВК6М, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на КГШП.

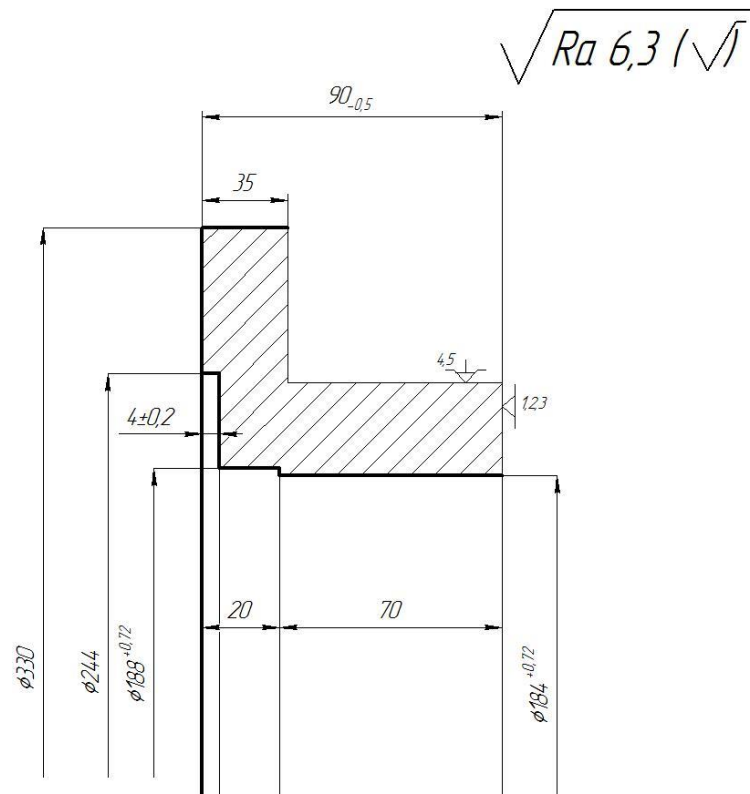


Рисунок 2.8 – Ескіз операції «020 Токарно-гвинторізна»

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{обт}}{2} \quad (2.1)$$

де D_3 – діаметр в стані заготовки;

$D_{обт}$ – діаметр після точіння.

$$t = \frac{333 - 330}{2} = 1,5 \text{ (мм)}$$

Визначимо подачу

$$S = 0,8 \text{ мм/об} \quad [4, \text{ с.265}]$$

Стійкість інструменту $T = 30$ хв. Визначимо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v \quad (2.2)$$

де $C_v=243$; $x=0,15$; $y=0,40$; $m=0,20$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання. [4, с.269]

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.3)$$

K_M - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [4, с.262]

K_t - поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [4, с. 263]

K_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [4, с. 263]

$$K_v = 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 1,2$$

Враховуючи показники визначимо швидкість різання

$$V = \frac{243}{30^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,8^{0,4}} \cdot 1,2 = 153,5 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.4)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 153,5}{3,14 \cdot 330} = 148,1 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату $n=200$ об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.5)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 330 \cdot 200}{1000} = 207,2 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо силу різання

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.6)$$

де $C_p=300$, $x=1,0$, $y=0,75$, $n=-0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі [4, с.273].

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою

$$K_p = K_{mp} \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r \quad (2.7)$$

же $K_{mp} = 0,88$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [4,с.264];

$K_\varphi = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [4,с.275];

$K_\gamma = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності [4,с.275];

$K_\lambda = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [4,с.275];

$K_r = 0,9$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності [4,с.275].

$$K_p = 0,88 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = 0,79$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 207,2^{-0,15} \cdot 0,79 = 1359,8 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.8)$$

$$N = \frac{1359,8 \cdot 207,2}{1020 \cdot 60} = 4,6 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого, отже обробка на верстаті С10MSM буде забезпечена.

Визначимо основний час

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{s \cdot n} \quad (2.9)$$

де $l_1^* = 1$ мм – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2$ мм – виліт різця.

$$T_o = \frac{38+1+2}{0,8 \cdot 200} = 0,24 \text{ хв}$$

Таблиця 2.15 – Режим різання визначений за табличним методом для операції «020 Токарно-гвинторізна»

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T ₀ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Підрізання торця в розмір 90 ^{-0,5} (мм)	2	2,0	0,80	362,6	350	166,5	0,6
Розточування отвору Ø184 ^{+0,72} (мм)	2	2,5	0,40	288,9	500	90	0,93
Розточування отвору Ø188 ^{+0,72} (мм)	3	4,5	0,40	295,2	500	20	0,32
Розточування отвору Ø244 і 4±0,2 (мм)	13	32,5	0,4	268,2	350	4	0,56

Проведемо розрахунок режимів різання для операції «040 Токарна з ЧПК». Аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні Ø240h6 на прохід, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом.

Вихідні дані: матеріал сталь 20X13, межа міцності $\sigma_B=630$ МПа, матеріал ріжучої частини різця ВКЗМ, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на КГШП.

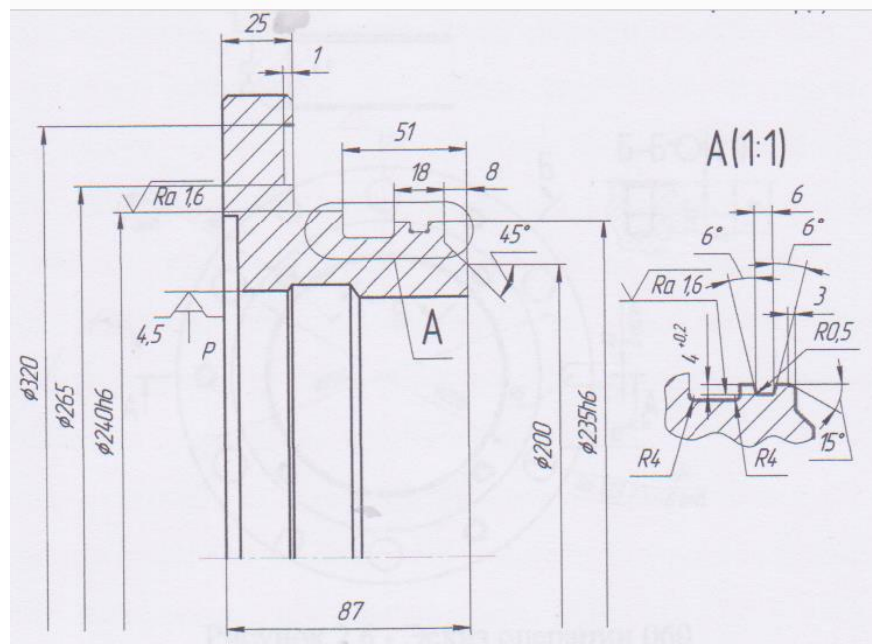


Рисунок 2.9 – Ескіз операції «040 Токарна з ЧПК»

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{обт}}{2}$$

де D_3 – діаметр в стані заготовки;

$D_{обт}$ – діаметр після точіння.

$$t = \frac{240,8 - 240}{2} = 0,4 \text{ (мм)}$$

Визначимо подачу

$$S=0,18 \text{ мм/об} \quad [4, \text{ с.265}]$$

Стійкість інструменту $T=30$ хв. Визначимо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v$$

(2.2)

де $C_v=292$; $x=0,15$; $y=0,20$; $m=0,20$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання. [4, с.269]

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n$$

K_M - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал [4, с.262]

K_t - поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал [4, с. 263]

K_n - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання [4, с. 263]

$$K_v = 1,19 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,95$$

Враховуючи показники визначимо швидкість різання

$$V = \frac{292}{30^{0,2} \cdot 0,4^{0,15} \cdot 0,18^{0,20}} \cdot 0,95 = 227,9 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 227,9}{3,14 \cdot 240} = 302,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстату $n = 350$ об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 240 \cdot 350}{1000} = 263,8 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначимо силу різання

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

де $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі [4, с.273].

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою

$$K_p = K_{mp} \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r$$

же $K_{mp} = 0,63$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [4,с.264];

$K_\varphi = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності [4,с.275];

$K_\gamma = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності [4,с.275];

$K_\lambda = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності [4,с.275];

$K_r = 0,87$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності [4,с.275].

$$K_p = 0,63 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 = 0,55$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,4^{1,0} \cdot 0,18^{0,75} \cdot 263,8^{-0,15} \cdot 0,55 = 79,5 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}$$

$$N = \frac{79,5 \cdot 263,8}{1020 \cdot 60} = 0,34 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого, отже обробка на верстаті СКЕ6163Z буде забезпечена.

Визначимо основний час

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{s \cdot n}$$

де $l_1^* = 1 \text{ мм}$ – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2 \text{ мм}$ – виліт різця.

$$T_o = \frac{11 + 1 + 2}{0,18 \cdot 350} = 0,22 \text{ хв}$$

Таблиця 2.16 – Режим різання визначений за табличним методом для операції 040 «Токарна з ЧПК»

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _o , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Точити поверхні витримуючи розміри: 1,0; Ø320 та Ø265	1	1,0	0,80	213,6	350	55	0,57
Підрізати торець витримуючи розміри: 87 та 8	1	1,0	0,80	188,9	350	118	0,43
Точити поверхню витримуючи розміри: Ø200 і <45°	2	0,5	0,40	204,2	350	25	0,61
Точити зовнішню конусну поверхню і циліндричну поверхні попередньо витримуючи розміри: 3; <15° і Ø235,8	2	0,4	0,40	191,6	350	4	0,34
Точити зовнішню поверхню попередньо витримуючи розмір Ø240,8	2	0,55	0,35	254,3	350	12	0,47
Підрізати торець витримуючи розмір 25	1	1,0	0,40	234,5	350	45	0,39
Точити остаточно зовнішні поверхні Ø235h6 на прохід	1	0,4	0,18	209,7	350	18	0,42
Точити канавку витримуючи розміри: 6, <6° та 4+0,2 за програмою	4	0,5	0,35	204,6	350	4	0,56

2.8 Технічне нормування операцій

В основі розрахунків продуктивності праці лежить технічне нормування операцій. З цією метою розраховують технічні норми штучно-калькуляційного часу, так як раніше було визначено тип виробництва – дрібносерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції 025 Токарна з ЧПК. Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу. Метою даного нормування є визначення норми штучно - калькуляційного часу на операції.

Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

$$T_o = 1,09 + 0,62 + 0,12 + 0,77 + 0,32 = 3,68 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 025, за формулою:

$$T_d = T_{вст} + T_{кв} + T_{вим} \quad (2.10)$$

де $T_{вст} = 0,85$ хв - час на установку і зняття заготовки [9];

$T_{кв} = 1,04$ - допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [9];

$T_{вим} = 0,38$ хв - час на вимірювання [9].

$$T_d = 0,85 + 1,04 + 0,38 = 2,27 \text{ хв}$$

Оперативний час становить

$$T_{оп} = T_o + T_d \quad (2.11)$$

$$T_{оп} = 3,68 + 2,27 = 5,88 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу

$$T_{дод} = T_{оп} \cdot 0,08 = 5,88 \cdot 0,08 = 0,47 \text{ хв}$$

Знайдемо штучний час

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{дод} \quad (2.12)$$

$$T_{шт} = 5,88 + 0,47 = 6,35 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.13)$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

отримання креслення і наряду, $T=5$ хв;

ознайомлення з роботою та кресленням, $T=5$ хв;

інструктаж майстра, $T=4$ хв;

отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T=10$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 5 + 4 + 10 = 24 \text{ хв}$$

$N=18$ шт – кількість деталей у партії

$$T_{\text{ш-к}} = 6,35 + \frac{24}{18} = 7,68 \text{ хв}$$

Операція 055 «Координатно-свердильна»

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

$$T_0 = 1,2 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 050, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}}$$

де $T_{\text{вст}} = 0,75$ хв - час на установку і зняття заготовки [9];

$T_{\text{кв}} = 1,13$ - допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [9];

$T_{\text{вим}} = 0,94$ хв - час на вимірювання [9].

$$T_d = 0,75 + 1,13 + 0,94 = 2,82 \text{ хв}$$

Оперативний час становить

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_d$$

$$T_{\text{оп}} = 1,2 + 2,82 = 4,02 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 4,02 \cdot 0,08 = 0,32 \text{ хв}$$

Знайдемо штучний час

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}$$

$$T_{\text{шт}} = 4,02 + 0,32 = 4,34 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заключний час, що складається з часу:

отримання креслення і наряду, $T = 5$ хв;

ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 10$ хв;

інструктаж майстра, $T = 5$ хв;

отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T = 15$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 10 + 5 + 15 = 35 \text{ хв}$$

$N = 18$ шт – кількість деталей у партії

$$T_{\text{ш-к}} = 4,34 + \frac{35}{18} = 6,28 \text{ хв}$$

Операція 020 «Токарно-гвинторізна»

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

$$T_o = 0,24 + 0,6 + 0,93 + 0,32 + 0,56 = 2,65 \text{ хв}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 020, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}}$$

де $T_{\text{вст}} = 0,85$ хв - час на установку і зняття заготовки [9];

$T_{\text{кв}} = 1,34$ - допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [9];

$T_{\text{вим}} = 0,38$ хв - час на вимірювання [9].

$$T_d = 0,85 + 1,34 + 0,38 = 2,57 \text{ хв}$$

Оперативний час становить

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d$$

$$T_{\text{оп}} = 2,65 + 2,57 = 5,22 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 5,22 \cdot 0,08 = 0,42 \text{ хв}$$

Знайдемо штучний час

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}$$

$$T_{\text{шт}} = 5,22 + 0,42 = 5,64 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

отримання креслення і наряду, $T = 5$ хв;

ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 5$ хв;

інструктаж майстра, $T = 4$ хв;

отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T = 10$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 5 + 4 + 10 = 24 \text{ хв}$$

$N = 18$ шт – кількість деталей у партії

$$T_{\text{ш-к}} = 5,64 + \frac{24}{18} = 6,97 \text{ хв}$$

Операція 040 «Токарна з ЧПК»

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

$$\begin{aligned} T_o &= 0,22 + 0,57 + 0,43 + 0,61 + 0,34 + 0,47 + 0,39 + 0,42 + 0,11 \\ &= 3,56 \text{ хв} \end{aligned}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 020, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}}$$

де $T_{\text{вст}} = 1,0$ хв - час на установку і зняття заготовки [9];

$T_{\text{кв}} = 1,26$ - допоміжний час пов'язаний з керуванням верстата [9];

$T_{\text{вим}} = 0,50$ хв - час на вимірювання [9].

$$T_{\text{д}} = 1,0 + 1,26 + 0,50 = 2,76 \text{ хв}$$

Оперативний час становить

$$T_{\text{оп}} = T_{\text{o}} + T_{\text{д}}$$

$$(6.23)$$

$$T_{\text{оп}} = 3,56 + 2,76 = 6,32 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 = 6,32 \cdot 0,08 = 0,51 \text{ хв}$$

Знайдемо штучний час

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}$$

$$T_{\text{шт}} = 6,32 + 0,51 = 6,83 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

отримання креслення і наряду, $T = 5$ хв;

ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 5$ хв;

інструктаж майстра, $T = 4$ хв;

отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T = 15$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 5 + 4 + 15 = 29 \text{ хв}$$

$N = 18$ шт – кількість деталей у партії

$$T_{\text{ш-к}} = 6,83 + \frac{29}{18} = 8,44 \text{ хв}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

2.9.1 Обґрунтування вибору верстатного пристрою

В роботі розглядається фрезерна операція з ЧПК. На операції потрібно сформувати наступні розміри: фрезерувати 3 паза $b=10$, витримуючи розміри 10 і 8; свердлити 6 отворів $\varnothing 24$ витримуючи розмір $\varnothing 290$; свердлити отвори $\varnothing 10,2$ та $\varnothing 14$ і зенкувати фаски $1,6 \times 45^\circ$ витримуючи розміри $\varnothing 220$ та $\varnothing 290$; нарізати різь M12 та M16 за програмою.

Для забезпечення більш продуктивної роботи обладнання з ЧПК до нього спроектуємо спеціальне пристрій з пневматичним приводом. Використання спеціальних верстатних пристроїв допоможе скоротити час на установку, базування та закріплення заготовки, знизити розряд оператора верстату, що значно зменшить допоміжний час, та як результат безпосередньо буде зменшена собівартість деталі. Також необхідно відмітити що використання спеціального верстатного пристрою допоможе збільшити точність стабільність параметрів отриманих на операції (точність форми та розміщення, шорсткість).

2.9.2 З'ясування кількісних та якісних даних про заготовку що надходить на операцію. Аналіз точності поверхонь, які можуть бути базовими

На початковому етапі розроблення схеми базування проводимо аналіз точності поверхонь, що претендують на роль базових. Для кількісної оцінки параметрів поверхонь, які можуть виступати в ролі базових, проводимо аналіз точності їхніх розмірів, точності форми, точності розташування та ступеня їхньої шорсткості.

Оскільки конструкція проектованого пристрою припускає застосування оправки або патрону, то базовими поверхнями можуть виступати отвір $\varnothing 186H9$ та один з торців заготовки або зовнішній діаметр $\varnothing 235h6$.

На наступних етапах розроблення та обґрунтування схеми базування вибираємо базову поверхню, що позбавляє встановлювану заготовку найбільшої кількості ступенів свободи (головну базову поверхню) та є найбільш розвиненою. Потім здійснюємо вибір інших базових поверхонь.

Точність розмірів

Відповідно до креслення отвір $\varnothing 186H9$ оброблений по IT9. Згідно ГОСТ 25347-82 знаходимо значення допуску.

$$T_{\varnothing 186} = 115 \text{ мкм}$$

Це означає, що отвір виконаний з параметрами $\varnothing 186H9^{(+0,115)}$.

Довжина отвору $40+0,62$ мм. Відношення $l/d < 2$, що свідчить про неможливість використання отвору як подвійної напрямної технологічної бази.

Зовнішня поверхня $\varnothing 235h6$ оброблена по IT6. Згідно ГОСТ 25347-82 знаходимо значення допуску.

$$T_{\varnothing 235} = 29 \text{ мкм}$$

Це означає, що поверхня виконана з параметрами $\varnothing 235 h6_{(-0,029)}$.

Довжина поверхні $26+0,52$ мм. Відношення $l/d < 2$, що свідчить про неможливість використання поверхні як подвійної напрямної технологічної бази.

Точність форми

Похибка форми циліндричної поверхні $\varnothing 186H9$ характеризується відхиленням від круглості та циліндричності і нормується за ГОСТ 24643-81.

Оскільки допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{f\varnothing 186} = 0,3 \cdot 186 = 54,9 \text{ (мкм)}.$$

Згідно ГОСТ 24643-81 беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості:

$$T_{f\varnothing 186} = 50 \text{ мкм},$$

що відповідає 9 ступеню точності.

Похибка форми торця $\varnothing 200_{-1,15}$ характеризується відхиленням від площинності. Оскільки допуск площинності не вказується, то це означає, що він входить до складу допуску на номінальний розмір. Розрахункове значення допуску площинності:

$$T_{\square \varnothing 200} = 0,6 \cdot 200 = 120 \text{ (мкм)}.$$

Згідно ГОСТ 24643-81 беремо найближче стандартне значення допуску площинності:

$$T_{\square \varnothing 200} = 120 \text{ мкм,}$$

що відповідає 11 ступеню точності.

Аналогічно розглянемо зовнішню поверхню $\varnothing 235h6$. Допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{\text{f}} \varnothing 235 = 0,3 \cdot 235 = 70,5 \text{ (мкм)}.$$

Згідно ГОСТ 24643-81 беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості:

$$T_{\text{f}} \varnothing 235 = 80 \text{ мкм,}$$

що відповідає 10 ступеню точності.

Точність розташування

Розглянемо можливі похибки по радіальному биттю $\varnothing 186H9$ і биттю торців. Відносно поверхні отвору $\varnothing 186H9$ не заданий допуск радіального биття.

$$T_{\text{r}} \varnothing 186 = 0,3 \cdot 115 = 34,5 \text{ мкм,}$$

Згідно ГОСТ 24643-81 беремо найближче стандартне значення допуску радіального биття: $T_{\text{r}} \varnothing 186 = 30 \text{ мкм}$

це відповідає 6 ступеню точності.

Допуски торцевого биття торця $\varnothing 200_{-1,15}$ не вказано на кресленні, тому беремо його такими, що дорівнює 60% від допуску на відповідні номінальні розміри (а саме допуск на товщину $8^{+0,36}$):

$$T_{\varnothing 200} = 0,6 \cdot 0,36 = 0,216 \text{ (мм)},$$

Згідно ГОСТ 24643-81 беремо найближчі стандартні значення допусків торцевого биття:

$$T_{\varnothing 200} = 0,25 \text{ мм},$$

що відповідає 15 ступеню точності.

Шорсткість

Шорсткість поверхонь, зазначена на кресленні, має значення $Ra = 6,3$ мкм. Це відповідає вимогам з точності, що висувають до базових поверхонь.

У проєктованому пристрої планується обробляти заготовки з базовими поверхнями саме таких розмірів та із зазначеними параметрами точності. Іншими словами, адаптивні властивості настановних елементів пристрою повинні перебувати лише в межах допусків зазначених розмірів.

2.9.3 Розробка та обґрунтування схеми базування

Обґрунтування схеми базування наведено у п 6.2 пояснювальної записки.

Остаточний аналіз структури зв'язків проведемо, побудувавши таблицю однобічних зв'язків (див. табл.2.17).

З таблиці 2.17 видно, що на заготовку накладено однобічних зв'язків. Тільки один з них з повний, інші – неповні, що обумовлено наявністю зазору між пристроєм та заготовкою. Щоб система стала врівноваженою під час обробки, необхідно позбавити заготовку можливості переміщуватися по координатах x , ω_x , ω_x' .

Таблиця 2.17 – Таблиця однобічних зв'язків

Індекс координати		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω_x'	ω_y	ω_y'	ω_z	ω_z'
Спосіб реалізації	Реакція	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}	R	-	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}	\bar{R}	-	-

2.9.4 Розрахунок сил закріплення

Розрахуємо величину сумарного зусилля закріплення за формулою:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр} \cdot n}{\frac{1}{3} \cdot f \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)}$$

де W – сила затиску деталі; $M_{кр}$ – крутний момент на свердлі, кгс · мм;
 n – число одночасно працюючих свердл; f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затискачів (для гладких поверхонь $f = 0,25$); K – коефіцієнт запасу.

Визначаємо коефіцієнт запасу

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$$

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

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт випадкових нерівностей;

$K_2 = 1,15$ – коефіцієнт затуплення ріжучого інструменту;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт збільшення сил різання при врзанні;

$K_4 = 1,2$ – коефіцієнт постійності сили закріплення;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт ергономіки;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт моменту повороту заготовки.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,07$$

Приймаємо $K = 2,5$.

Визначаємо крутний момент

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p;$$

$$C_M = 0,021; D = 24 \text{ мм}; s = 0,15 \text{ мм/об}; q = 2; y = 0,8;$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n = \left(\frac{200}{190}\right)^{0,6} = 1,03;$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 24^2 \cdot 0,15^{0,8} \cdot 1,03 = 27,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таким чином

$$W = \frac{2,5 \cdot 27,4 \cdot 1}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{0,24^3 - 0,13^3}{0,24^2 - 0,13^2}\right)} = 2854 \text{ Н}$$

Для аналізу структури і якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, побудуємо таблицю 2.18 односторонніх зв'язків.

Таблиця 2.18 – Таблиця односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω_x'	ω_y	ω_y'	ω_z	ω_z'
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R		R	R	R	R	R	–	–
	Сила закріпл.	–	–	–	–	W	–	–	–	–	–	–	–
	Сила тертя	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$F_{тр}$	$F_{тр}$

Обґрунтування вибору привода

Для розкріплення, достатньо ходу штока 15-20 мм. У зв'язку з цим раціонально застосувати тарільчасту резинотканинову пневмокамеру односторонньої дії. Діаметр діафрагми визначаємо в залежності від розрахованого сумарного зусилля закріплення. Розрахункове зусилля закріплення $W = 2854 \text{ Н}$. За [4, с. 91, табл. 18] приймаємо $W = 3500 \text{ Н}$, виходячи з цього отримуємо $\varnothing 125$.

2.9.5 Точнісні розрахунки пристрою

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою. Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовуємо у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2}$$

Розглянемо більш докладно складові, що входять у дану формулу:

- $T = 115$ мкм – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, які одержують на даній операції);
- $K_T = 1,2$ - коефіцієнт що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;
- $K_{T1} = 0,85$ - коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;
- $\varepsilon_6 = 0$ - похибка базування (свердлимо наскрізний отвір $\varnothing 24$) ;
- $\varepsilon_3 = 0$ мкм - похибка закріплення (застосовується механізований пневматичний пристрій, що забезпечує сталість сил закріплення)
- $\varepsilon_y = 10$ мкм - похибка установки пристрою на верстаті

$$\varepsilon_y = \frac{sl}{L} = \frac{0,02 \cdot 24}{280}$$

де S – максимальний зазор посадки Н9/г6;

l – максимальний діаметр на якому ведеться обробка;

L – відстань між шпонками.

- $\varepsilon_{\text{п}} = 0$ - похибка перекосу інструмента (відсутні постійні або змінні напрямні втулки);
- $\varepsilon_{\text{зн}} = 0$ – похибка зношування (при рівномірному зношуванні робочої поверхні втулки) ;
- $K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт що враховує можливість появи похибки обробки
- $\omega = 100$ мкм – значення допуску для 12 квалітету середньої економічної точності свердління для розміру 24 мм;
- $\varepsilon_{\text{поз}} = 40$ мкм – похибка позиціонування (відповідно до паспорта верстата).

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{пр}} &= 115 - 1,2\sqrt{(0,85 \cdot 0)^2 + 110^2 + 10^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 100)^2 + 40^2} \\ &= 27,64(\text{мкм}).\end{aligned}$$

З урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності $T = 30$ мкм, що відповідає 8 ступеню точності. Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що допуск паралельності не більше 30 мкм.

2.9.6 Опис пристрою та принципу його роботи

Верстатний пристрій базується на столі верстата за допомогою двох шпонок 7, які закріплюються в корпусі 2 пристрою за допомогою гвинтів 6. До корпусу кріпиться пневмокамера 1, з іншої сторони закріплюється посадкова втулка 3 гвинтами 5. Заготовка устанавлюється у посадкову втулку 3 по торцю та циліндричній поверхні. В верхній об'єм пневмокамери подається робоче повітря під тиском в результаті чого шток пневмокамери тягне вниз швидкознімну шайбу 4 та відбувається затискання заготовки. При скиданні повітря з системи, через глушник, пружина пневмокамери віджимає шток, знімається швидкознімна шайба, відбувається розкріплення, заготовка може бути замінена на наступну. При необхідності базові поверхні повинні бути очищені від стружки та інших елементів за допомогою стисненого повітря.

2.10 Висновки

У розділі 2 удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка фланцева Н16.358.610-04» було розглянуто і проаналізовано методи отримання заготовки, економічно прораховано і вибрано найбільш вигідний варіант – поковка на КГШП. Заводський технологічний процес виготовлення деталі був переглянутий, виконаний його аналіз, в результаті обрали новий маршрут обробки деталі, призначено нове технологічне обладнання для його

реалізації, універсальні верстати замінені на верстати з ЧПК. Обрали схеми базування, проаналізували їх, виконано розрахунок похибок базування, котрі не повинні перевищувати допуск на обробку, це вдалося реалізувати.

Аналітичним способом для найбільш точної поверхні провели розрахунок припусків на механічну обробку. Обрано верстати, ріжучий інструмент, пристрої фіксації, вимірювальний інструмент для обробки деталі. Розраховано і призначено режими обробки і виконано їх технічне нормування.

Для операції «Фрезерна з ЧПК» був розроблений спеціальний пристрій із повним комплектом документів на його виготовлення, він має пневматичний привід. Це було зроблено для скорочення допоміжного часу на обробці.

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Автоматизація проектування та вибору раціональної системи конструкції верстатних пристроїв

Вибір верстатних пристроїв для виготовлення виробів є вирішальним фактором в процесі формування парку технологічної оснастки багаторазового застосування на підприємстві і планування ефективності його експлуатації.

Впровадження стандартних методів вибору і проектування пристроїв забезпечує:

- а) пошук оптимальних варіантів верстатних пристроїв;
- б) оснащення одиничних операцій оснасткою для серійного виробництва;
- в) скорочення відтворення технологічної оснастки за рахунок підвищення її завантаження;
- г) підвищення продуктивності праці та інтенсивності експлуатації обладнання.

Організаційні форми виробництва, що зв'язують кожну одиницю обладнання, ділянку і цех в єдине ціле, диктують необхідність обліку при виборі пристроїв значних обсягів інформації, яка виходить за рамки компетентності окремого фахівця. У цих умовах виявляється раціональним застосування автоматизованої системи за вибором верстатних пристроїв, яка застосовується в якості основної інформаційно-пошукової ланки і банку даних, а також як автономно-обслуговуюча система при технологічному проектуванні. Одночасно така система забезпечує високий ступінь механізації і єдність методів ефективної розробки і оснащення технологічних процесів стандартними пристроями; поліпшення планування потреби в оснащенні; своєчасний облік і економічну оцінку рівня оснащення;

здійснення комплексних робіт з уніфікації і стандартизації верстатних пристроїв в цілому.

Ефективність від застосування автоматизованої системи за вибором пристрою досягається за рахунок оперативної видачі рішень, а також за рахунок здійснення заходів щодо їх реалізації, що забезпечують:

- а) скорочення термінів і вартості технологічної підготовки виробництва і вирішення завдань, пов'язаних з визначенням потреби в оснащенні, обсягів його проектування і виготовлення;
- б) скорочення відтворення оснащення за рахунок організації його експлуатації та підвищення рівня завантаження;
- в) підвищення продуктивності та інтенсифікацію експлуатації обладнання спільно з оснащенням в основному і допоміжному виробництвах.

Важливою процедурою при роботі автоматизованої системи за вибором економічно ефективною конструкції верстатного пристрою є вибір його системи, до якої повинна бути віднесена ця конструкція. Варто пам'ятати, особлива роль верстатних пристроїв закладена в їхньому впливі на точність обробки. Залежно від призначення верстатних пристроїв, умов їх роботи і характеру виконуваних технологічних операцій оцінку точності можна проводити за різними критеріями, які слід класифікувати як статичні і динамічні показники точності.

Між параметрами деталі і формованої технологічної оснастки існує інформаційно-функціональний взаємозв'язок. Аналогічні взаємозв'язки існують також між технологічними рішеннями з виробництва деталі та інформаційними моделями цієї деталі. Все це створює передумови для комплексної автоматизації: деталь-технологічний процес виготовлення деталі-проектування та виготовлення технологічної оснастки - виготовлення деталі. У зв'язку з цим при автоматизації проектування пристроїв і був

визначений метод побудови технологічної оснастки на базі інформаційної моделі, що отримала назву «синтез конструкцій».

В основу цього методу покладені наступні принципи. Інформація, що описує конструкцію пристрою, є результатом переробки відомостей про оброблювану деталь і технологічні операції її виготовлення. Для конструкції будь-якого пристрою існує можливість його декомпонування на складові – конструктивні елементи. Конструкція будь-якого верстатного пристрою може бути синтезована з певного числа конструктивних елементів. Конструктивні елементи відрізняються властивостями і характеристиками, які можна представляти в комп'ютерній програмі. У кожному конструктивному елементі як різновиді твердого тіла можна зафіксувати його положення для визначення значень позиційних зв'язків між елементами.

Порядок проектування наступний. У комп'ютер вводиться опис оброблюваної деталі, на основі чого автоматично будується цифровий інформаційний опис проектного пристрою у вигляді відповідних цифрових масивів. Керування передається блоку складання специфікацій, результати роботи якого видаються на друкуючий пристрій у формі документа, визначеного стандартами ЕСКД. Потім виконуються роботи по формуванню програм викреслювання при отриманні складального і деталювального креслень конструкції. Процес завершується технологічною підготовкою виробництва верстатного пристрою і складанням програм обробки деталі для верстатів з ЧПК.

Важливим питанням є отримання раціональної конструкції. Труднощі вирішення завдань оптимізації полягають в наявності багатокритеріальності і багатопараметричності. Раціональні рішення можуть бути отримані тільки на окремих стадіях проектування, наприклад, на стадії вибору схеми установки, чи закріплення тощо. Конструкція повинна бути працездатною, придатною для обробки деталі і забезпечувати необхідні параметри точності. Придатність конструкції визначається рядом технічних, технологічних,

естетичних, економічних та інших показників: точності, жорсткості, дисбалансу, швидкодії, простоти і технологічності, зручності і безпеки, естетичності зовнішнього вигляду та ін.

Хотілося б відміти, ще одну важливу особливість, котра сьогодні актуальна для майже всіх верстатних пристроїв – це гнучкість пристрою здатність до швидкого переналагодження при виготовленні інших, нових деталей. Використання гнучких ВП дозволяє скоротити допоміжний час на переналагодження, що може бути вигідним з точки зору собівартості продукції при невеликих партіях та частій зміні номенклатури, а зменшення їх металомісткості посилить економічний ефект.

3.2 Значення верстатних пристроїв у виробничому процесі

Сьогодні, в умовах ринкових відносин при конкуренції і боротьбі за ринки збуту важливу роль відіграє собівартість продукції і її якість. В серійному виробництві досить часто виникає необхідність оновлювати технологічну оснастку, розробляти нові технологічні процеси механічної обробки, ці речі тісно пов'язано зі значними витратами на підготовку виробництва.

Для підвищення ефективності виробництва, скорочення строків технічної підготовки важливу роль відіграють проблеми удосконалення технологічної оснастки, а саме створення високопродуктивних конструкцій верстатних пристроїв, зменшення часу на їх виготовлення, тощо. На виробництві впровадження прогресивних верстатних пристроїв сприяє підвищенню продуктивності і ефективності механічної обробки, покращує умови праці робітників та зменшення вимог щодо їх рівня кваліфікації. Такі пристрої в більшості випадків оснащуються швидкодіючими, пневматичними, електричними, гідравлічними затискними механізмами, тощо. Основна сучасна вимога до ВП – мати можливість забезпечити

достатню жорсткість, при мінімальній металомісткості і габаритних розмірах. Важливою є можливість переналагодження пристроїв на інший типорозмір деталей. І найголовніше те, що використання того чи іншого ВП повинно забезпечити необхідну якість і точність обробки поверхонь деталі, котрі задані конструктором на кресленні деталі. Беручи до уваги те, що сучасні верстати мають широкий спектр технологічних можливостей, проводять багатокоординатну обробку деталі за один установ, то ВП повинен забезпечити максимальний підхід робочого інструменту до оброблюваних поверхонь.

3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв

Автоматизація виробничих процесів є основним напрямом у сучасному широкономенклатурному виробництві. Використання верстатів з ЧПК провокує підвищення автоматизації, та зменшення часу на переналагоджування в межах технічних характеристик переналагоджувальних пристроїв.

При проектуванні верстатного пристрою були висунуті дві основні вимоги, котрі можна трактувати як протиріччя:

а) Висока точність пристрою, залежить від його достатньою жорсткості.

б) Для забезпечення високої жорсткості, треба збільшувати габаритні розміри складових елементів верстатного пристрою.

в) При збільшенні габаритних розмірів, збільшується матеріальні витрати (так звана металомісткість), звісно також зростає собівартість такого верстатного пристрою. Також є обмеження і розмірів ВП, тому що його потрібно встановлювати на верстат, якщо це неможливо зробити вручну, то потрібно використовувати підйомно-транспортні механізми. Габарити ВП

повинні не заважати безперешкодним рухам робочих органів верстату, і безпосередньо процесу обробки деталі.

Як вирішити ці вищенаведені вимоги, потрібно застосувати методи оптимізації. Раніше фахівці застосовували громісткі складні математичні розрахунки щодо розмірів пристроїв, вводили свідомо завищені коефіцієнти запасу міцності, тому на виході отримували пристрої з великою металомісткістю (розмірами), котрі не завжди були доцільними. Розрахунки займали багато часу. Звісно, такі ВП могли працювати в 2-3 рази довше від заявленого строку експлуатації, але враховуючи сучасні вимоги попиту на ринку і щільну конкуренцію, потрібно оперативно і швидко виготовляти виріб та доставити до покупця, при цьому витримавши стратегію мінімальної собівартості продукції та високої якості та надійності. Бажано, щоб конкретний ВП за потреби можливо було переналагодити під інший вид, розміри, тощо оброблюваної деталі.

Сьогодні розвиток комп'ютерних технологій дає змогу інженерам використовувати автоматизовані засоби оптимізації, які забезпечують точний розрахунок конструкцій на міцність, проаналізувати напружено-деформований стан (НДС), визначати власні частоти та власну амплітуду коливань верстатного пристрою. Цей процес набагато швидший ніж, ручний розрахунок і більше того, комп'ютерний розрахунок має вищу точність.

Розрахунки по оптимізації верстатного пристрою, можна здійснювати за наступним алгоритмом [16], котрий дозволяє визначити оптимальні розміри і конфігурацію.

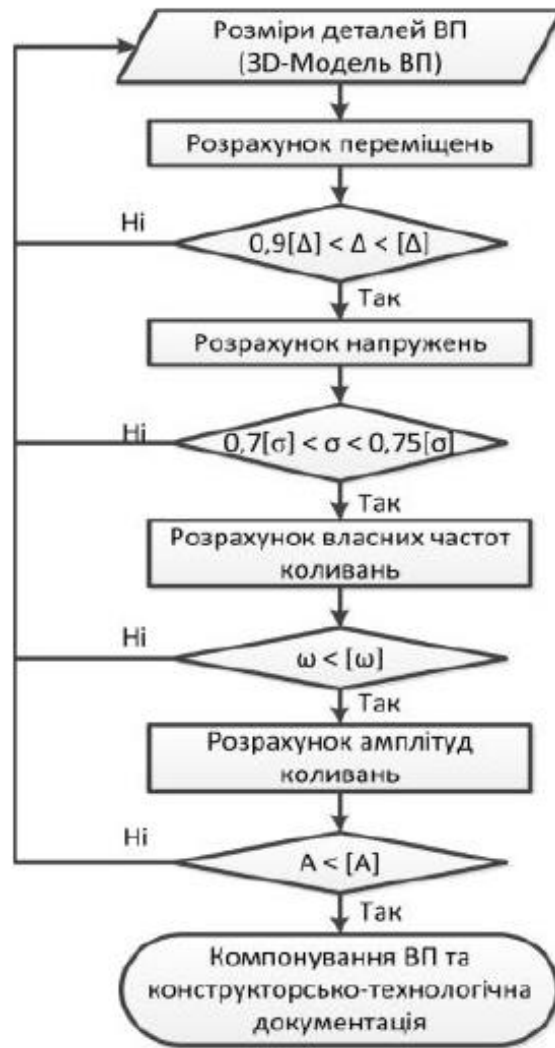


Рисунок 3.1 – Алгоритм параметричної оптимізації конструкції верстатного пристрою

Рухаючись відповідно до алгоритму, обмеження будуть задаватися значеннями допустимих напружень, а саме границею міцності та границею текучості матеріалу. Отримані фактичні напруження повинні бути менші від граничних. Вузький діапазон відхилень еквівалентних напружень має забезпечити рівномірну конструкцію. Допуском на обробку визначаються допустимі значення деформацій. Якщо в результаті розрахунків отримані значенні будуть виходити за граничні межі, то потрібно переглянути конструкцію та габаритні розміри пристрою.

Розрахунок верстатного пристрою, його конструкції для обробки деталі типу втулка фланцева, котрий був розроблений у попередньому розділі.

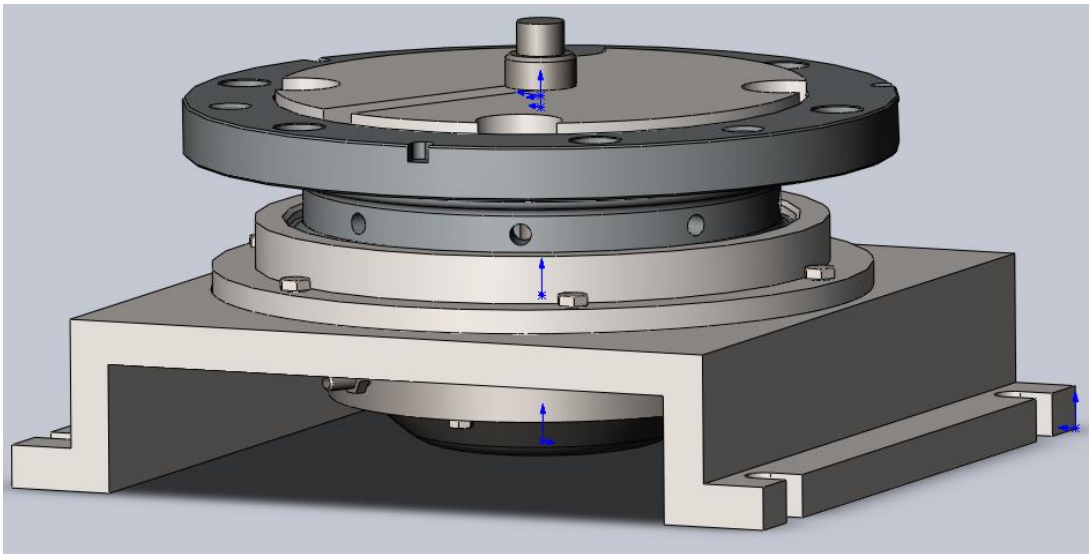


Рисунок 3.2 – Розроблений верстатний пристрій

В межах проведення аналізу протестовано верстатний пристрій, якщо виникне потреба, то можливо змінити конфігурацію окремо кожної деталі. Необхідність зміни приєднувальних розмірів інших деталей, також врахована[17].

3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою

Виконаємо дослідження напружено-деформованого стану (НДС), для того щоб визначити оптимальні розміри верстатного пристрою (ВП) і чи буде забезпечена якісна обробка деталі. При цьому раніше уже були визначені похибки верстатного пристрою, котрі виникають у процесі обробки. Граничні значення похибок обмежені згідно з кресленням деталі «Втулка фланцева».

Дослідження НДС верстатного пристрою передбачає перевірку на міцність, виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження мають значення більші ніж критичні для конкретного виду матеріалу та якщо вони будуть наявні, потрібне удосконалення конструкції ВП. В ході дослідження виконувалась перевірка еквівалентних напружень, котрі виникають у місцях контакту між встановлювально-затискними елементами

пристрою та заготовкою внаслідок дії сил закріплення, сили різання та крутного моменту. Механічні властивості матеріалів, котрі використані у моделі показані у табл. 3.1. Режим обробки, для якого виконувалось дослідження показаний у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів заготовки та елементів верстатного пристрою

Матеріал	Межа міцності, МПа	Коефіцієнт Пуассона, μ	Густина ρ кг/м ³	Границя Текучості, МПа	Твердість НВ
Сталь 20X13 ГОСТ 5632-72	630	0,28	7670	500	190
Сталь 35 ГОСТ 1050-13	630	0,28	7826	315	163

Таблиця 3.2 – Режим обробки пазів

i	t, мм	S _z , мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	S _n , мм/хв	M _{кр} , Н·м	v, Гц	N _e , кВт
2	5	0,05	800	25	80	72,2	26,7	0,6

По вирішенню поставлених задач по оптимізаційному алгоритму, була проведена розробка та побудова скінчено-елементної розрахункової моделі верстатного пристрою. Відповідають реальним схемам закріплення із зовнішнім навантаженням силові та кінематичні граничні умови моделі верстатного пристрою. Закріплення реалізується по нижній циліндричній основі ВП, котре еквівалентне встановленню пристрою на стіл верстату. Шляхом об'єднання вузлів складові елементи верстатного пристрою зв'язані між собою жорстко. Поверхні котрі зафіксовані і зв'язані між собою за рахунок сил тертя наявна можливість переміщення між цими поверхнями з відповідним коефіцієнтом тертя.

За допомогою програми Solidworks отримані результати напружень та переміщень, котрі будуть у деталях і місцях їх контактування. Показники

максимальних еквівалентних напружень, визначені за гіпотезою Мізеса та максимальних переміщень, які виникли в процесі моделювання механічної обробки. Допускаються переміщення елементів верстатного із вказанням типу контактів, коефіцієнтів тертя між складовими елементами верстатного пристрою із вказанням типу контактів і контактних пар з їхніми характеристиками, важливі також коефіцієнти тертя між елементами.

У програмі Solidworks отримані результати напружень та переміщень, котрі виникли у конкретних деталях у місцях їх переміщень. Показники визначені за гіпотезою міцності Мізеса, та граничних переміщень, які виникли при моделюванні механічної обробки сталі 20X13. Для наглядності проілюструємо скінчено елементну сітку, розрахункові схеми навантажень, їх переміщення і напруження в процесі обробки Втулки фланцевої наведені на відповідних рисунках.

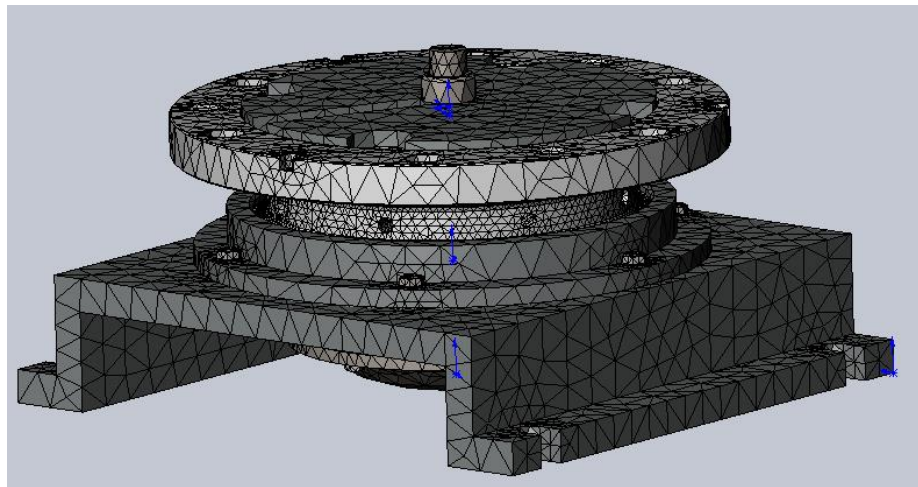


Рисунок 3.3 – Деталь і ВП із скінчено-елементною сіткою

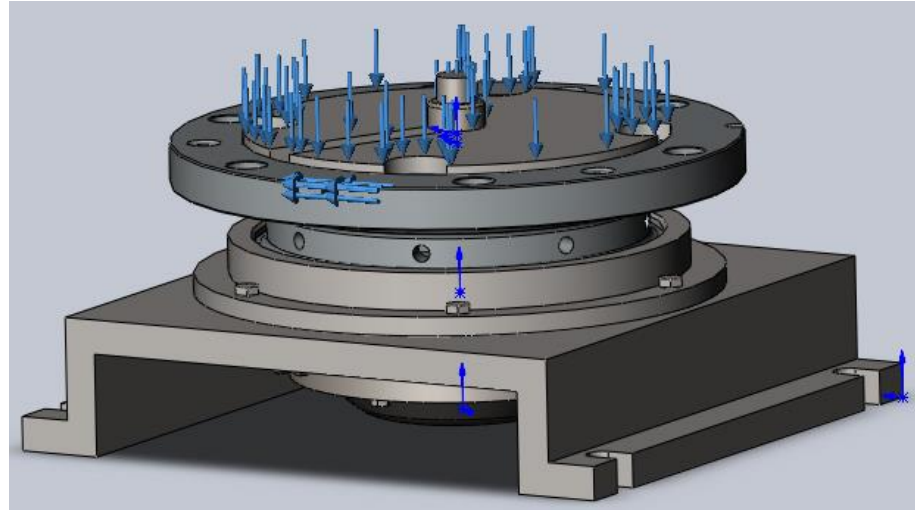


Рисунок 3.4 – Схема навантажень від сил різання та закріплення

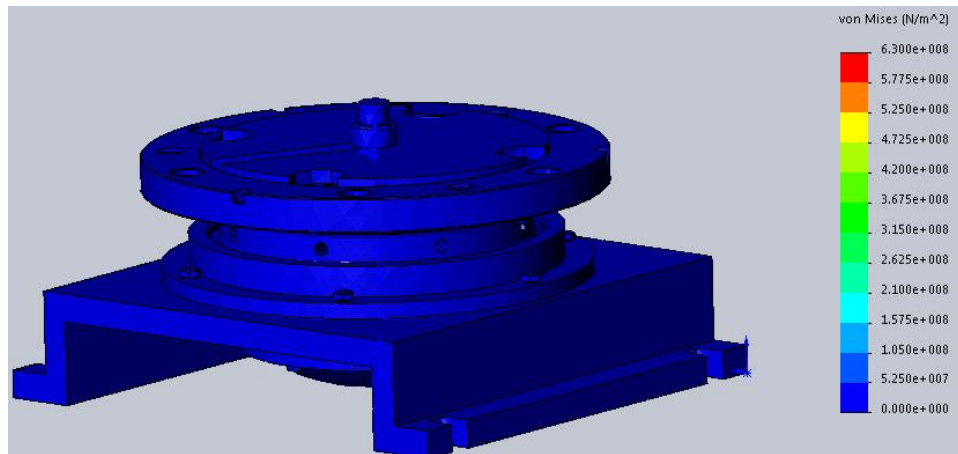


Рисунок 3.5 – Напруження елементів системи «ВП-заготовка»

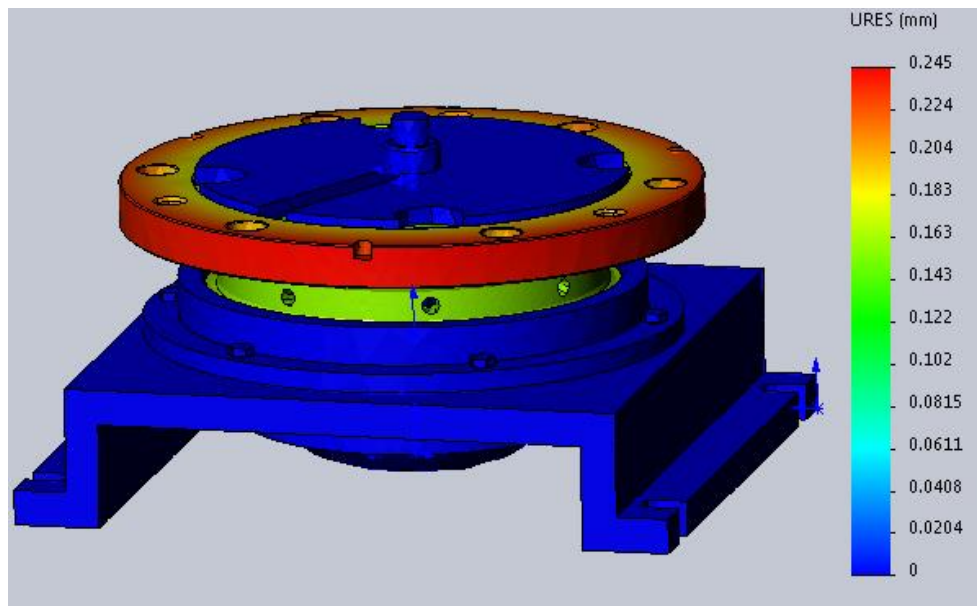


Рисунок 3.6 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка»

Таблиця 3.3 – Результати чисельного моделювання у програмному комплексі Solidworks для розробленго ВП

Технологічний перехід	Максимальні переміщення, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
Фрезерування пазу b=10 мм	0,245	0,36	500	630

Оскільки є можливість зробити процес обробки більш продуктивним, і зменшити час обробки, то виконаємо точно за таким же алгоритмом ще таке ж саме дослідження, тільки для продуктивнішого режиму обробки, і подивимось чи будуть результати чисельного моделювання для розробленого ВП задовольняти гранично допустимі переміщення і напруження і чи буде можливість прийняти новий режим різання, котрий показаний у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Режим різання

i	t, мм	S_z, мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	S_n, мм/хв	M_{кр}, Н·м	v, Гц	N_e, кВт
1	10	0,04	1100	35	90	95,5	36,7	1,09

Для наглядності проілюструємо розрахункові схеми навантажень, їх переміщення і напруження в процесі обробки Втулки фланцевої наведени на відповідних рисунках.

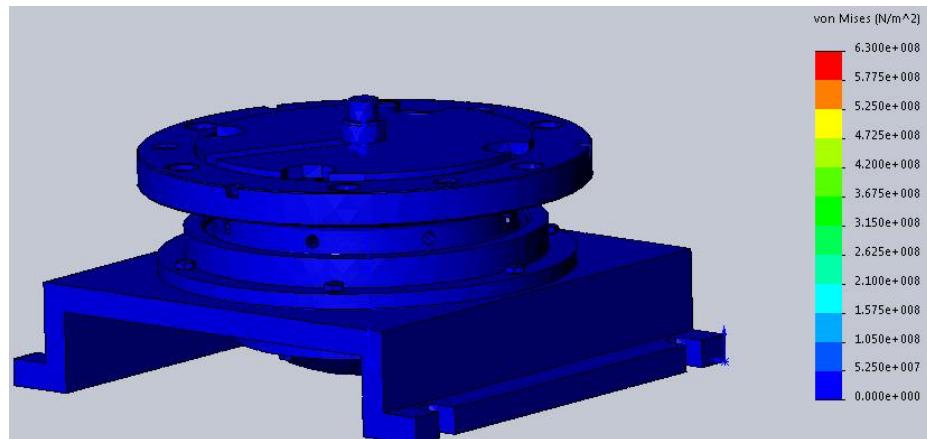


Рисунок 3.7 – Напруження елементів системи «ВП-заготовка»

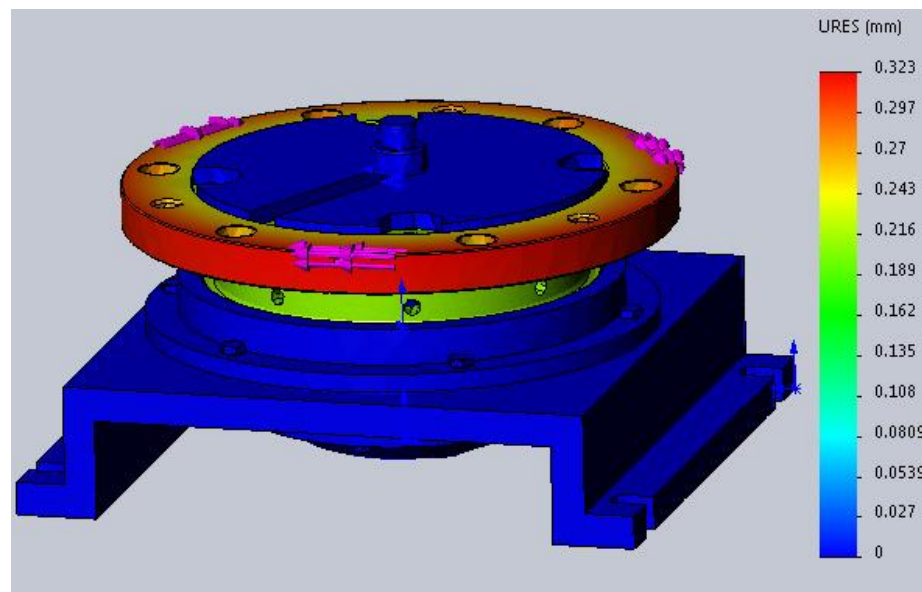


Рисунок 3.8 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка»

Висновок наступний, максимальні переміщення становлять 0,323 мм, що не перевищує допуск 0,36 мм, також напруження не перевищують допустимих у 630 МПа. Тому, другий варіант більш продуктивного режиму обробки деталі на спроектованому ВП за цими критеріями реалізувати можливо.

3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою

При механічній обробці деталей, можливе виникнення такого явища як резонанс – це сильне зростання амплітуди вимушеного коливання у разі, коли частота зовнішньої сили збігається з власною частотою коливань.

Тобто, треба щоб частота власних коливань верстатного пристрою, не співпадала з частотою процесу різання. Тому треба за допомогою програми Solidworks визначити частоти власних коливань спроектованого верстатного пристрою, а потім отримані результати порівняти з частотою коливань механічної обробки, і уникнути від виникнення резонансу. Спочатку розглянемо варіант з першим режимом різання (табл.3.2), а потім з другим більш продуктивним режимом обробки (табл.3.4). Результати-рисунок з виглядом форм коливань системи «Верстатний пристрій – заготовка» показані на рисунках 3.9-3.14.

Таблиця 3.5 – Порівняльна таблиця власних частот, котрі виникають у процесі механічної обробки за першим режимом різання

Перша критична частота, Гц	Друга критична частота, Гц	Третя критична частота, Гц	Частота процесу мех. обробки, Гц
273,7	295,1	409,4	26,7

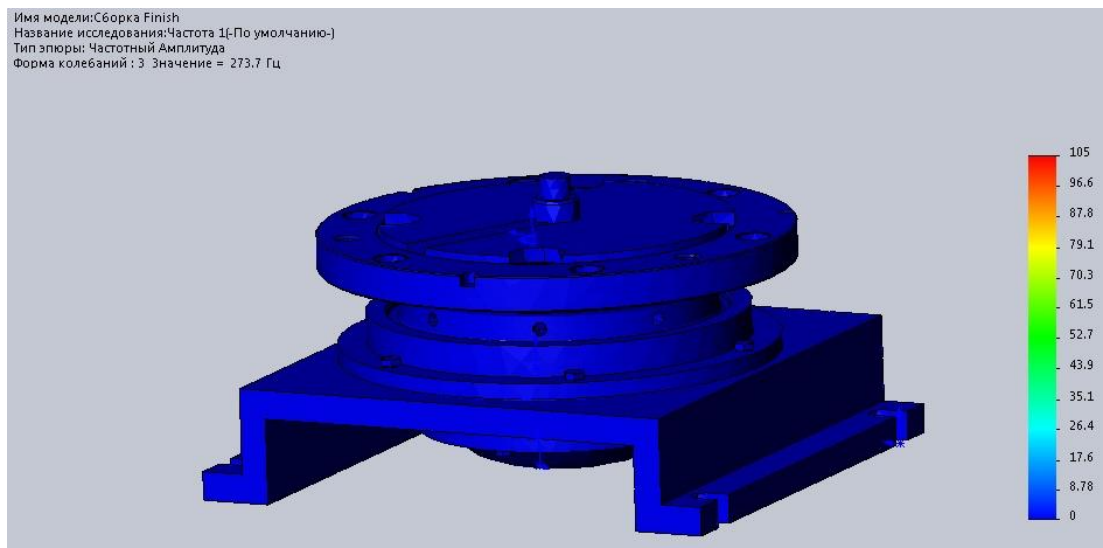


Рисунок 3.9 – Демонстрація першої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

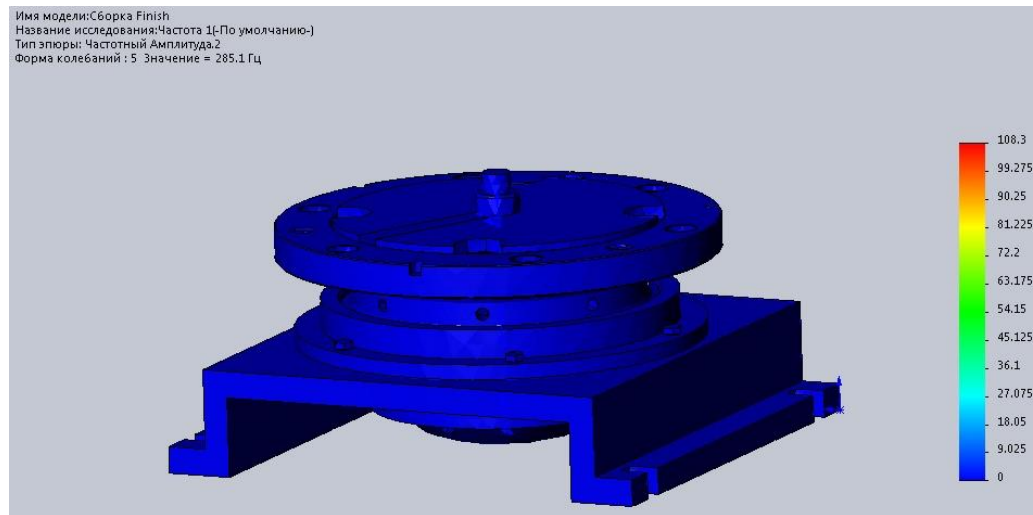


Рисунок 3.10 – Демонстрація другої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

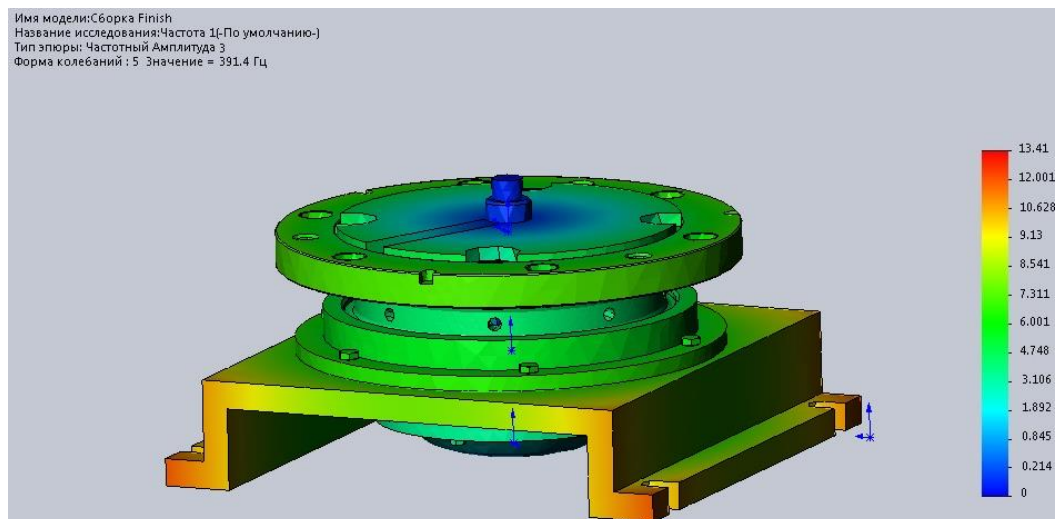


Рисунок 3.11 – Демонстрація третьої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

Таблиця 3.6 – Порівняльна таблиця власних частот, котрі виникають у процесі механічної обробки за другим більш продуктивним режимом різання

Перша критична частота, Гц	Друга критична частота, Гц	Третя критична частота, Гц	Частота процесу мех. обробки, Гц
307,4	313,9	445,7	36,7

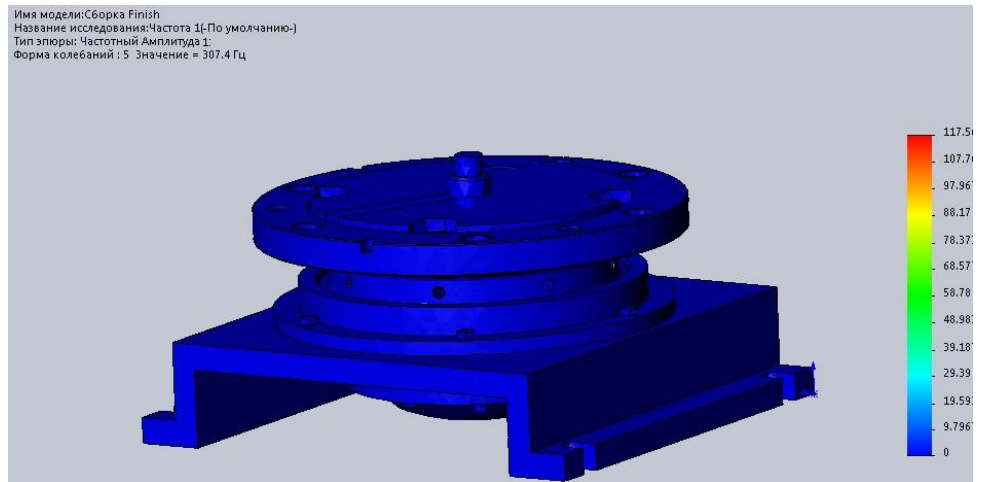


Рисунок 3.12 – Демонстрація першої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

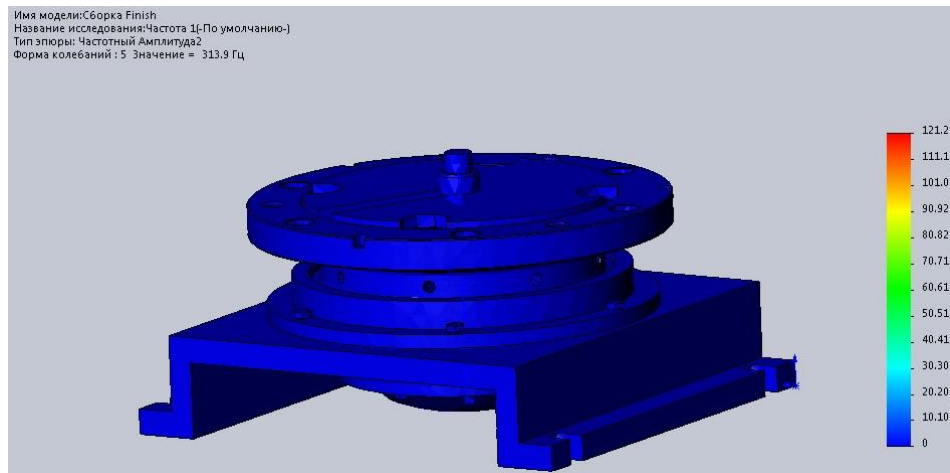


Рисунок 3.13 – Демонстрація другої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

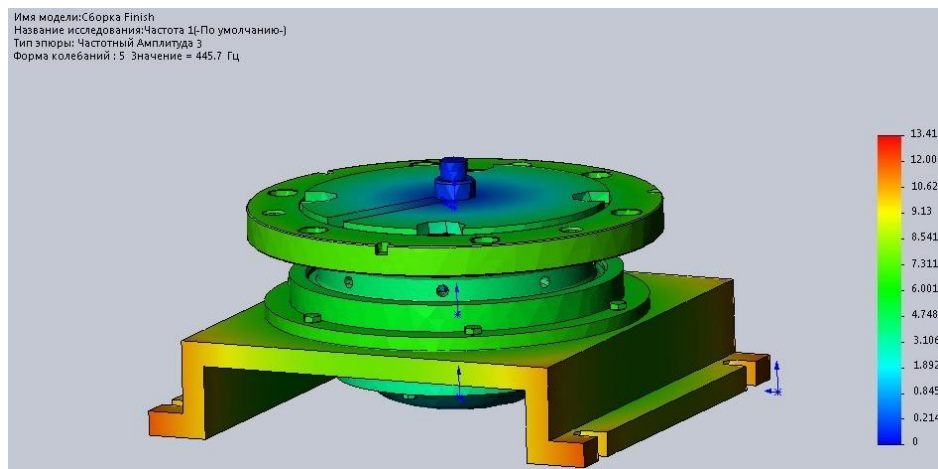


Рисунок 3.14 – Демонстрація третьої критичної частоти системи «ВП-заготовка»

Аналізуючи дані таблиць 3.5 та 3.6 можна зробити висновок, що резонанс не виникне, тому що перша критична частота власних коливань ВП суттєво вища за максимальну частоту процесу різання. В доведення цього висновку, ще одним доказом є те, що числові значення першої та другої критичної частот дуже близькі за значеннями, тому можна сказати, що розрахунок проведений вірно, і спроектована модель є адекватною. Динамічної жорсткості верстатного пристрою вистачить для обробки.

3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою

Щоб повністю пересвідчитись, у тому що динамічна жорсткість верстатного пристрою достатня допоможе визначення величини амплітуди коливань у місцях оброблюваних поверхонь, що виникають при зміні величини зовнішніх навантажень. Треба провести гармонічний аналіз – дослідити динамічний стан елементів системи «ВП – заготовка» при механічній обробці деталі «Втулка фланцева» у спроектованому верстатному пристрої. Дослідження також виконуватиметься у програмі Solidworks. У межах 20% від номінального значення їх величин обирались амплітуди динамічних складових сил та моментів. У моделі враховується кулонівське тертя між контактними поверхнями верстатного пристрою, які мають приблизно однакову величину шорсткості (1,6 мкм за критерієм Ra) з коефіцієнтом 0,1. Величини коефіцієнтів тертя для контактних пар між елементами ВП та заготовкою взяті з [4].

Діапазон частот коливань був вибраний із міркувань забезпечення охоплення трьох перших частот власних коливань всього верстатного пристрою. Ці значення були отримані раніше. Максимальна третя частота власних коливань склала 445,7 Гц, тому потрібен діапазон $0 \dots 2 \cdot 10^3$ Гц. Для вказаного діапазону частот коливань отримані амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) елементів ВП, виявлені до- та зарезонансні режими.

У результаті комп'ютерного моделювання динаміки системи «Верстатний пристрій – заготовка» отримані значення амплітуд коливань і резонансних частот, зумовлених процесом різання. Визначені значення переміщень точок у зоні обробки для запропонованої конструкції ВП.

Таблиця 3.7 – Результати розрахунку динамічної жорсткості верстатного пристрою при фрезеруванні

Номинальна величина сили різання, Н	Амплітуда динамічної складової сили різання, Н	Максимальна амплітуда переміщень точки, мкм	Розрахункова динамічна жорсткість, 10^7 Н/мм
1909,0	233,8	27	0,34

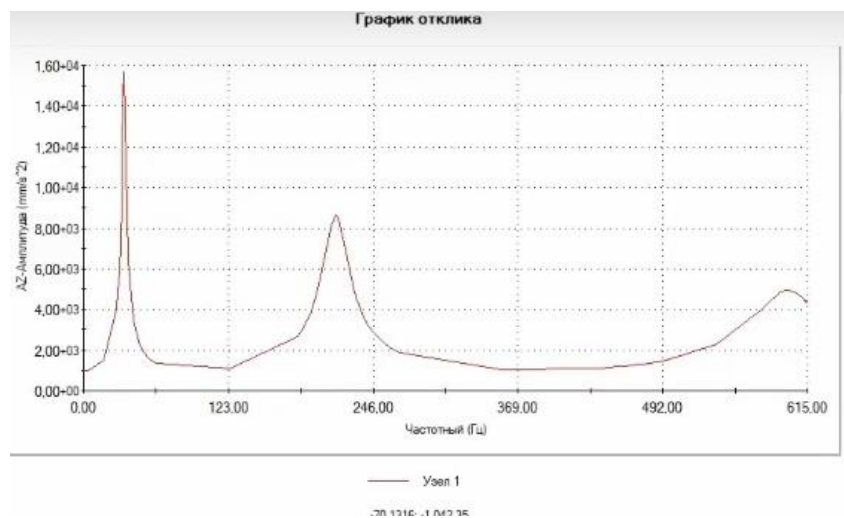


Рисунок 3.15 – Амплітудно-частотна характеристика запропонованого ВП при фрезеруванні

3.7 Висновки

В ході наукового дослідження визначили максимальні величини напружень та переміщень, власні частоти коливань, спочатку, для раніше прийнятого режиму обробки (табл. 3.2), а коли отримали показники менші від граничних із суттєвим запасом, то було прийнято рішення призначити новий більш продуктивний режим обробки (табл. 3.4) і перевірити

можливість його реалізації за допомогою спроектованого верстатного пристрою. Аналізуючи отримані результати чисельного моделювання, можна зробити висновок, що проводити обробку на новому режимі можливо, із мінімальними переміщеннями, котрі не перевищують допустимих, із дотриманням вимог щодо точності обробки заданих конструктором без виникнення явища резонансу, тобто жорсткості у ВП вистачає, а значить це доводить доцільність компоновки та розмірів у спроектованому верстатному пристрої.

ВИСНОВКИ

Тема дипломного проектування – удосконалення виготовлення технологічного процесу виготовлення «Втулки фланцевої Н16.358.610-04» шляхом оптимізації конструкції верстатного пристрою на фрезерній операції.

Під час виконання дипломної роботи було виконано наступний обсяг робіт.

Проаналізовано службове призначення машини, вузла та деталі, розглянули основні технічні характеристики і призначення. Розглядалася деталь «Втулка фланцева». Був проведений аналіз всіх її поверхонь. Розглянули функції, які виконуються ними. Проведено аналіз креслення та вимог пред'явлених до деталі. При аналізі технічних вимог були описані властивості матеріалу, та проаналізували вимоги, пропонувані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам згідно з складальним вузлом. Визначений тип виробництва – середньосерійний. Партія запуску n=18 штук. Прийнята заготовка - поковка штампована на КГШП, так як це найбільш раціональний метод отримання заготовки враховуючи масу, форму та тип виробництва. Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою метода професора Кована. Під час виконання роботи був проаналізований заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення. Замінили універсальні верстати сучасними з ЧПК, змінена послідовність операцій.

Виконано розрахунок режиму різання аналітичним методом для одного переходу, а для інших переходів призначено режими різання табличним методом. Проведено технічне нормування операції.

Розроблено пристрій спеціальний пневматичний з пневмокамерою односторонньої дії. Для його розроблення було проаналізовано кількісні і якісні дані про заготовку, розраховано силу закріплення та точнісний розрахунок всього пристрою вцілому. При розробленні пристрою було два

основних пріоритети: перший – надійність та довговічність в експлуатації, другий – точне базування та безперешкодне оброблення на верстаті заготовки.

У розділі «науково-дослідна частина» запропоновано алгоритм оптимізації запропонованої конструкції ВП, де цільовою функцією є зниження металомісткості. За запропонованим алгоритмом встановлено оптимальні параметри елементів розробленої конструкції ВП для фрезерування пазів. Визначено максимальні величини переміщень та напружень у запропонованому ВП, та за отриманими результатами доведено можливість обробки деталі «Втулка фланцева» у розробленому ВП. Визначені власні частоти коливань запропонованого ВП та встановлено, що при даних режимах обробки резонанс не виникне. Визначені амплітуди коливань, що виникають при механічній обробці деталі та встановлено, що динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою.

У розділі охорона праці та безпека життєдіяльності виконано розрахунок освітленості робочої зони, який дозволяє забезпечити сприятливі для робітників умови.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва та складання машин» і «Технологія машинобудування» за напрямком підготовки 6.0902 «Інженерна механіка» зі спеціальностей: 7.0902202 «Технологія машинобудування», 7.090203 «Металорізальні верстати», 7.090204 «Інструментальне виробництво для студентів денної та заочної форм навчання. Укладачі: Захаркін О. У., Євтухов В. Г., 2000.
2. Горбацевич, А. Ф. Курсовое проектирование по технологи машиностроения [Текст] : учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйшая шк., 1983. – 256 с. + Гриф МОН.
3. Маталин А.А. Технология машиностроения: учеб. Для машиностроит. вузов Текст/А. А. Маталин. – Ленинград : Машиностроение, 1985.-496с..
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 /Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К.. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил.
5. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 /Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К.. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.
6. Методические указания к практическим занятиям «Анализ служебного назначения машины и детали» по курсу «Технология Машиностроения» для студентов специальности 0501 дневной и вечерней форм обучения / Сост. О.А. Топоров. – Харьков: ХПИ, 1987. – 16 с.
7. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски
8. ГОСТ 24643-81 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.

9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резанья для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ. Часть I. Нормативы времени. – Москва : Экономика, 1990.

10. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых Изм. станках с ЧПУ, часть II (нормативы режимов резания). – Москва : Экономика, 1990.

11. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник. / Л.І. Боженко – Львів: Світ, 1996. – 368 с.

12. Москальова В.М. Охорона праці. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне.НУВГП , 2009

13. Технологія машинобудування для електромеханіків : Навч. посіб. для студ. електромех. спец. вищ. навч. закл. / Ю. І. Чучман; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Л., 2001. - 354 с

14. М.З. Лавриченко. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. –Киев.; Высшая школа, 1982.

15. Конструктивно-технологічне моделювання композиційних конструкцій з використанням системного аналізу / В. А. Пасічник, О. О. Хмуренко. // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2015. – № 4. – С. 15–20.

16. Методы оптимального проектирования / Д. И. Батищев. – М : Радио и связь, 1984. – 248 с.

17. Оптимизация режимов резания при обработке инструментальными блоками / И. Э. Яковенко, А. А. Пермяков // Вісник НТУ "ХПІ" : – Харків : НТУ "ХПІ". – 2015. – № 4 (1113). – С. 89–92.

18. ГОСТ 14861–91 Тара производственная

ДОДАТОК А

Розрахунок припуску на ЕОМ

D:\D18E~1\D49D~1\C162~1\PRIPUSK\PRIP.EXE

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА для Ваганенко_А_У, группа - ТМ-51

Расчетные значения			Принятые значения, мм							
припуск, мкм		расчетный размер, мм	расчетный размер	номинальный размер с предельными отклонениями	предельный размер		припуск, мкм			
миним	расч.				минимальный	максимальный	миним	расч.	макс	
-	-	242.032	242.1	239.7	+2.400 -1.200	238.5	242.1	-	-	-
2302	5902	236.125	236.13	236.13	0 -0.460	235.67	236.13	2370	5970	6430
205	665	235.459	235.46	235.46	0 -0.185	235.275	235.46	210	670	855
104	289	235.168	235.17	235.17	0 -0.115	235.055	235.17	105	290	405
53	168	235	235	235	0 -0.029	234.971	235	55	170	199

<Enter> - продолжение работы <Esc> - возврат

ДОДАТОК Б

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЯХ**Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на ділянці з
виготвлення деталі «Втулка фланцева»**

Виконаємо аналіз умов праці в механообробному цеху Сумського державного університету, схема котрого показана на рисунку 1, де виготовляється деталь «Втулка фланцева Н16.358.610-04».

На рисунку 1 наведено схему приміщення виробничого цеху, де вказано розташування верстатів, ремонтних зон, складські приміщення, інструментальні кладові, лабораторія ВТК, термічний та заточний відділ, складальний.

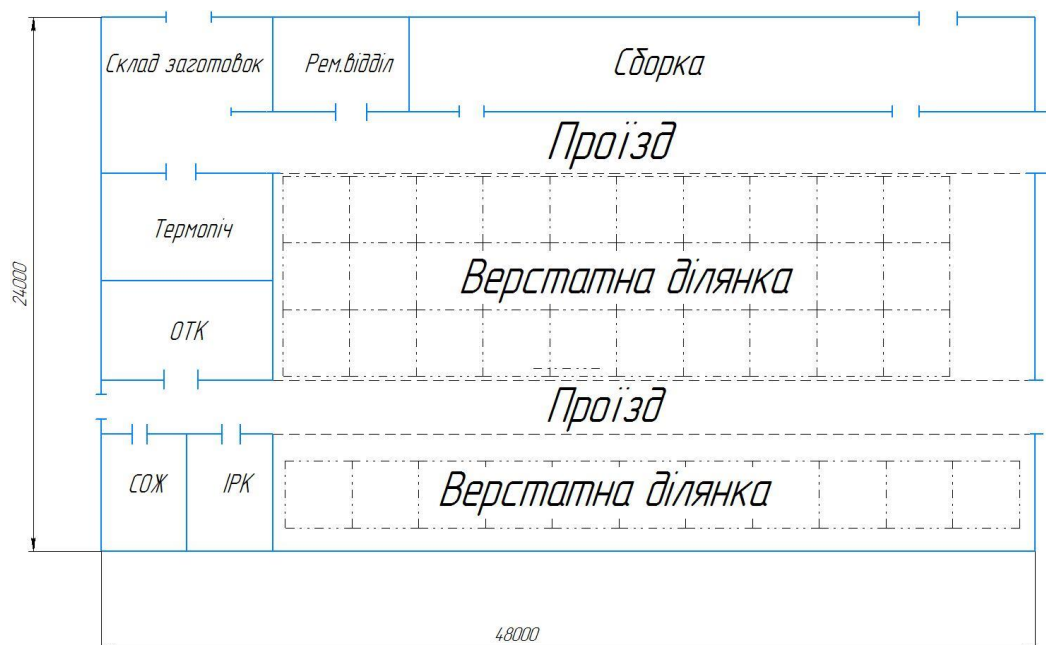


Рисунок 1 – Схема механообробного цеху

З даної схеми можна виділити, що верстати свердлильної групи розташовані більш щільно та ближче до вікон, а верстати більш габаритні токарні та фрезерні базуються по середні виробничого цеху, що дає доступ до проїзду з обох сторін.

Проаналізуємо з використанням нормативних правових актів, до яких відносяться:

- а) стандарти системи безпеки (ССБТ);
- б) будівельні норми і правила (СНиП);
- в) санітарні норми і правила (Санпін);
- г) міжгалузеві правила по охороні праці;
- д) галузеві правила з охорони праці;
- е) міжгалузеві і галузеві організаційно-методичні документи (положення, методичні вказівки, рекомендації);
- ж) типові галузеві інструкції з охорони праці;
- з) інструкції з безпеки.

Технологічний процес обробки деталі здійснюється на ділянці, розміщеній у механічному цеху, зібраному з типових секцій висотою 5 м.

У технологічному процесі обробки деталі задіяні наступні верстати та обладнання: токарні верстати, фрезерні верстати, сведлильні верстати, слюсарний інструмент. Тип виробництва – багатомноменклатурний. Обладнання розставлено за груповою ознакою.

Для транспортування та зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва використовується тара-контейнери, виготовлені відповідно до ГОСТ 14861-91 [18]. Згідно ГОСТу контейнери використовуються для заготовок і деталей: Тара1-1-100-80.

Установка заготовок при обробці на токарних, фрезерних, свердлильних верстатах проводиться в стандартних умовах – 3-х кулачкових патронах і лещатах, та спеціальних пристроях відповідно, що працюють при

тиску в мережі 0,4 МПа. При встановленні заготовки в пристрій застосовується кран-балка вантажопідйомністю $Q=1\text{т}$. Ця ж кран-балка застосовується для установки пристроїв на верстаті. Маса ВП на операції до 47 кг. На контрольній операції використовується спеціальний пристрій масою до 35 кг встановлення якого також здійснюється за допомогою кран-балки.

При обробці деталей, матеріалом яких є в'язка сталь, утворюється зливна стружка на токарних операціях і елементна стружка при фрезеруванні. На чорнових операціях при обробці по кірці утворюється пил від окалини з розмірами частинок від 2 до 60 мкм. На робочому місці забирається стружка з устаткування з допомогою гачка і шляхом змітання за допомогою щіток. Навколо обладнання і робочого місця забирається стружка допоміжними робітниками в контейнери, які потім транспортуються у відведене місце в цеху для подальшого вивезення.

Ріжучий інструмент застосовується в основному стандартний, але є й спеціальні різці, використовувані на токарних і розточувальних операціях. На токарних операціях інструмент здійснює зворотно-поступальний рух, а при фрезеруванні - обертальний рух. При контролі на робочому місці і столі ВТК в якості вимірювального інструменту застосовується стандартний – шкальний та граничний інструмент.

Як ЗОР при обробці заготовок на ділянці використовується 5% розчин «Аквол-2». До його складу входять ПАР з додаванням мінеральних масел та інгібіторів корозії. Дана ЗОР має малу токсичність, не володіє дратівливою дією і не є активним джерелом забруднення повітря. ЗОР відноситься до 4-го класу небезпеки. Виконувані робітниками на ділянці операції відносяться до робіт середньої важкості, категорія II-б. [20]

Аналіз виробничої ділянки дозволяє виділити наступні потенційні небезпеки і шкідливості:

- а) можливість контакту з рухомими частинами обладнання (пересуваються столом, супортом, обертовим інструментальним магазином);
- б) можливість контакту з рухомим технологічним транспортом;
- в) можливість падіння заготовки при встановленні і знятті її з верстата в результаті відсутності схеми стропування;
- г) можливість появи небезпечної зони при транспортування тари, пов'язана з відсутністю маршруту переміщення або його порушенням;
- д) руйнування конструкцій інструменту, в результаті перевищення навантажень гранично допустимих значень;
- е) розкріплення деталі в пристрої з пневмоприводом під час її обслуговування на фрезерному верстаті з ЧПК із-за раптового припинення підведення повітря (при відмові компресора).
- ж) замикання електричного ланцюга на металеві неструмоведучі частини обладнання в результаті порушення цілісності ізоляції струмоведучих частин.
- з) контакт робочого, при виконання технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з гострими кромками, задирок на поверхнях заготовок;
- и) контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (під час механічної обробки) вилітає стружка, утворена в процесі різання;
- к) контакту робітника, при виконанні технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з поверхнями обладнання, заготовок, інструментів, що мають підвищену температуру в результаті виділення тепла при різанні і при терті контактуючих поверхонь;
- л) підвищений сумарний рівень шуму при спільній роботі обладнання;
- м) підвищення вібрації обладнання через процес різання;
- н) запиленість і загазованість повітря робочої зони пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні ЗОР.

До пожежної небезпеки приміщення проектованої ділянки відноситься до категорії «Д», тобто в приміщенні використовуються негорючі речовини і матеріали в холодному стані. З врахуванням пожежної безпеки, приказом (інструкцією) встановлений відповідний протипожежний режим і в тому числі визначені: місця для паління, застосування відкритого вогню, порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт, правила стоянки і проїзду транспортних засобів, порядок відключення від мережі електрообладнання в разі пожежі. Обладнання підключається до електричної мережі з трифазним струмом напругою 380 В і частотою 50 Гц. Розроблено план евакуації котрий на рисунку 2 схематично зображено.

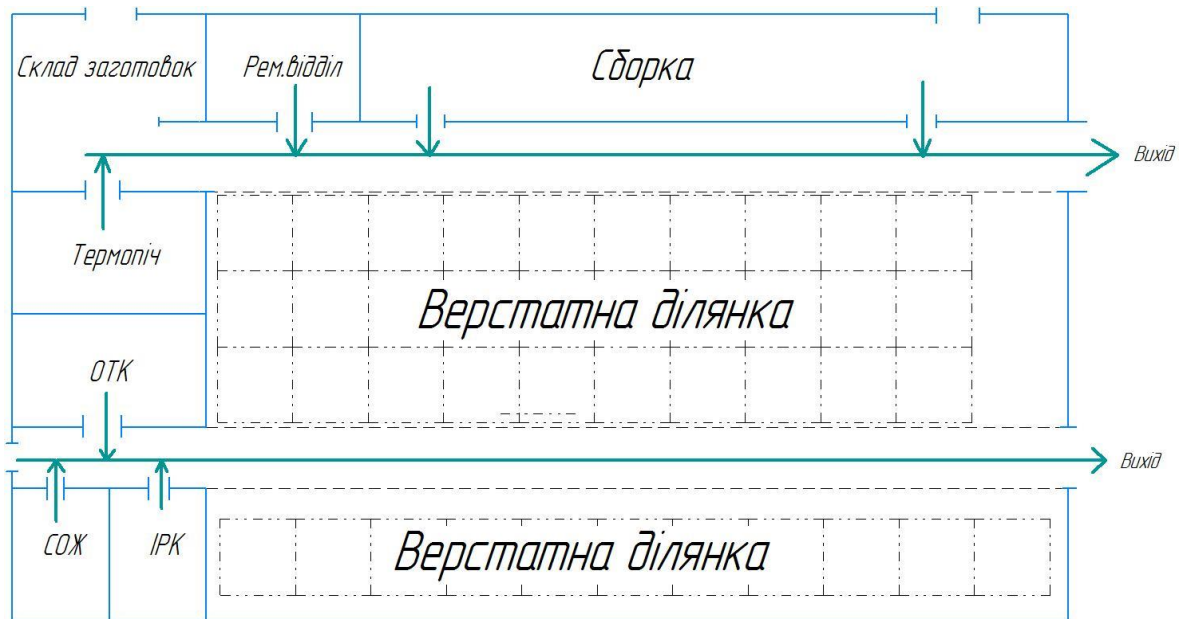


Рисунок 2 – План евакуації

Відповідно до Правил пожежної безпеки ППБ, в кожному приміщенні, де одноразово перебувають понад 10 осіб, на видному місці повинен бути вивішений схематичний план евакуації людей при пожежі.

Евакуаційними шляхами вважаються такі, які безпосередньо ведуть до евакуаційного виходу і забезпечують безпечний рух людей. На шляхах евакуації не має бути перешкод для руху людей. Проходи, коридори, сходи,

тамбури, виходи в будівлях підприємств, баз і складів не можна загроможувати. Двері мають відкриватися назовні і бути розпашними, висота їх в світлі приймається не менше 2 м. На рисунку 2 можна побачити, що з цеху є два основні виходи з приміщення, які відповідають всім вимогам стандартів щодо розмірів, тому раціонально занести до плану евакуації їх як основні евакуаційні.

Освітлення виробничого приміщення здійснюється природним і штучним світлом. Природне освітлення здійснюється за комбінованою схемою: через світлові отвори в бічних стінах і світлоаераційних ліхтарях. Загальне штучне освітлення здійснюється світильниками з лампами денного світла, застосування яких дозволено ДБН В.2.5-28:2018 [18]. Для місцевого освітлення застосовуються світильники, встановлені безпосередньо на робочому місці.

Для розроблення організаційних заходів, що забезпечують безпечні умови праці на ділянці з виробництва деталі Втулка фланцева виконаємо порівняння допустимих та фактичних величин температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень шляхом порівняння показників у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна (%) на робочих місцях - постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) робочих місцях - постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період	Середньої важкості ІІб	21	23	15	13	75	не більше 0,4
Теплий період	Середньої важкості ІІ	27	29	15	15	70 - при 25°С	0,5 - 0,2

Таблиця 2 – Фактичні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість (%) на робочих місцях постійних і непостійних	Швидкість руху (м/сек.) на робочих місцях постійних і непостійних
		Верхня межа		Нижня межа			
		На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях	На постійних робочих місцях	На непостійних робочих місцях		
Холодний період руху	Середньої важкості Пб	20	19	18	14	75	не більше 0,4
Теплий період року	Середньої важкості Пб	22	25	20	20	70 - при 25° С	0,5 - 0,2

Тому можна зробити висновок, що фактичні параметри мікроклімату задовольняють допустимі величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень.

Відповідно до вимог техніки безпеки, викладеними в стандартах ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ «Процеси виробничі. Загальні вимоги безпеки» [21] в дипломному проекті передбачається комплекс заходів щоб попередити виникнення вищеперелічених небезпек:

- а) для запобігання контакту робітника з рухомими частинами обладнання, передбачено застосування додаткових захисних пристроїв, відповідних вимогам. Це, зокрема, додаткові огороження, що закривають рухомі частини обладнання (супорт, стіл, інструментальний магазин верстата);
- б) для забезпечення безпечного руху наземного транспорту транспортні та пересування робітників по механнообробній ділянці виділені шляхи пересування відповідно до СНиП 2.05.02—;
- в) для запобігання падіння заготовки при установці і знятті її з верстата розроблена схема стропування, до роботи з кран-балкою допускаються особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань і

- пройшли теоретичне і практичне навчання, перевірку знань і навичок з управління краном-балкою, стропування вантажів;
- г) при транспортуванні тари, розроблений маршрут переміщення, його схема розташована на видному місці;
 - д) відповідно комплекту до верстатного обладнання передбачити запобіжні пристрої (запобіжні патрони, оправки), що захищають від перевантаження, здатної викликати поломку інструменту і травмування працюючих;
 - е) відповідно до в комплекті до пристосування з пневмоприводом передбачити запобіжні пристрої - зворотні клапани для запобігання розкріплення деталей при раптовому припиненні подачі стисненого повітря;
 - ж) для запобігання замикання через тіло людини електричного кола з підвищеним значенням напруги передбачаються наступні заходи: підключення виробничого обладнання до заземлювального пристрою; наявність подвійної або посиленої ізоляції з пробивною напругою не менше 4000 В; на кожному робочому місці близько верстата повинні бути дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони, а за шириною не менше 0,6 м від частин верстата. Передбачається також застосування засобів індивідуального захисту (гумові калоші, килимки);
 - з) для забезпечення освітленості робочих місць передбачити використання додаткових світильників місцевого освітлення на токарних операціях;
 - и) для запобігання контакту робочого з поверхнями, котрі мають гострі кромки, задирки, шорсткість передбачити індивідуальні засоби захисту (рукавиці);
 - к) для обмеження зони поширення стружки використовувати захисні екрани, як стаціонарно встановлені на обладнанні, так і окремо. На металорізальних верстатах зону обробки закривати захисними кожухами;

- л) для запобігання контакту робочого з поверхнями, котрі мають підвищену температуру (в основному поверхні обладнання, інструменту, стружки і оброблюваних деталей) використовувати захисні кожухи, індивідуальні засоби захисту (рукавиці). Для зниження температури в зоні різання використовувати ЗОР;
- м) для зменшення рівня шумів на робочому місці передбачити раціональну розстановку обладнання, що враховує фактор спрямованості, рекомендувати для облицювання стін і стель використовувати шумопоглинаючі матеріали для покриття внутрішніх поверхонь виробничих будівель, уникати по можливості переривчастого різання;
- н) для зменшення вібрації використовувати віброізоляцію обладнання. У конструкції виробничого обладнання передбачити виконання всіх вимог до вібраційної безпеки;
- о) для недопущення перевищення гранично-допустимих значень концентрацій шкідливих речовин і пилу в повітрі робочої зони використовувати систему загальнообмінної вентиляції та очищення повітря.

Розрахунок освітленості робочої зони, розрахунок природнього та штучного освітлення

Потрібно визначити ефективність природнього освітлення в цеху. Вироб-нича діляниця відноситься до групи механічних ділянок і має площу – 400 м². При цьому, ширина прольоту – 18 м, крок внутрішніх колон – 12 м, а висота цеху – 7,2 м. Розміри ділянки: довжина – 50 м, ширина – 8 м.

Вихідні дані:

Розміри віконних проємів (висота ширина), м – 5×2;

Кількість вікон - 12 шт.

Висота від підлоги до вікна – 1,5 м.

Вікна розміщені вздовж більш довгої стіни.

Середньозважений коефіцієнт відбиття внутрішніх поверхонь $\rho_{\text{ср}} = 0,4$.

Найбільш віддалене місце від вікна - 8,0 м.

Вирішення поставленої задачі:

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення для четвертого кліматичного пояса України, $e_{\text{н}}^{\text{IV}}$, визначаємо за формулою:

$$e_{\text{н}}^{\text{IV}} = e_{\text{н}}^{\text{III}} \cdot m \cdot c$$

де $e_{\text{н}}^{\text{III}}$ – нормоване значення КПО для III світлового пояса за ДБН В.2.5-28:2018.

Для верстатників у цеху, в якому виконуються роботи IV розряду (середньої точності), для бокового верхнього освітлення $e_{\text{н}}^{\text{III}} = 1,5\%$.

m - коефіцієнт світлового клімату (для України $m = 0,9$);

c - коефіцієнт сонячності (для м. Суми $c = 0,8$).

$$e_{\text{н}}^{\text{III}} = 1,5\% \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,08\%$$

Визначимо фактичне значення КПО за формулою:

$$e_{\text{ф}} = \frac{100 \cdot S_0 \cdot t_0 \cdot r_1}{S_{\text{н}} \cdot n_0 \cdot K_3 \cdot K_{\text{зд}}}$$

де S_0 - площа усіх вікон у приміщенні, м^2 ;

$$S_0 = 2 \cdot 5 \cdot 12 = 120 \text{ м}^2;$$

$S_{\text{н}}$ - площа підлоги в приміщенні, м^2 ;

$$S_{\text{н}} = 50 \cdot 8 = 400 \text{ м}^2;$$

t_0 - загальний коефіцієнт світлопропускання віконного проєма; для заданих умов $t_0 = 0,5$;

r_1 - коефіцієнт, який враховує відбиття світла від внутрішніх поверхонь приміщення $r_1 = 1,2$;

n_0 - світлова характеристика вікна.

Виходячи з відношення довжини приміщення до його глибини рівної: $50/8=6,1$ та відношення глибини приміщення до його висоти від рівня умовної робочої поверхні до верху вікна: $8/5=1,75$ значення світлової характеристики $n_0 = 13$.

$K_{зд}$ - коефіцієнт який враховує затемнення вікон будинками, що розташовані навпроти. При їх відсутності $K_{зд} = 1$.

K_3 - коефіцієнт запасу, знаходиться в межах 1,3 – 1,5.

Прийmemo середнє значення $K_3 = 1,4$.

$$e_{\phi} = \frac{100 \cdot 120 \cdot 0,5 \cdot 1,2}{400 \cdot 13 \cdot 1,4 \cdot 1} = 0,71\%$$

При порівнянні фактичного КПО $e_{\phi} = 0,71\%$ з нормативним $e_{н}^{IV} = 1,08\%$ приходимо до висновку, що природнє освітлення в цеху не ефективне. Для по- ліпшення освітлення у цеху пропонується пофарбувати стіни у білий колір та встановити додатково штучні джерела освітлення, які необхідно розрахувати.

Прийmemo вид джерела світла – лампи розжарювання.

Кількість світильників – 12.

Кількість ламп у світильнику – 1.

Значення розрахункової освітленості, лм, знайдемо за допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку за формулою:

$$F_{л} = \frac{E_{min} \cdot S \cdot k \cdot Z}{n_{н} \cdot N \cdot n}$$

Розрахункова освітленість повинна задовольняти умовам нормативної величини і складає для ламп розжарювання не менше 50лк. Знайдемо мінімально необхідний світловий потік лампи:

$$F_{лmin} = \frac{50 \cdot 400 \cdot 1,75 \cdot 1,15}{0,5 \cdot 12 \cdot 1} = 1380 \text{ (лм)}$$

де $n_{н}$ – коефіцієнт використання світлового потоку; $n_{н} = 0,4-0,6$ (приймаємо середнє значення 0,5);

N – кількість світильників, шт.;

n – число ламп у світильнику, шт.;

S – площа приміщення, м². $S = 400 \text{ м}^2$;

k – коефіцієнт запасу, $k = 1,5 - 2$ (приймаємо середнє значення 1,75);

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, для ламп розжарювання – 1,15.

Фактична освітленість визначається за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{F_{\text{л}} \cdot n_{\text{н}} \cdot N \cdot n}{S \cdot k \cdot Z}$$

За нормативами обираємо найближче більше значення $F_{\text{л}} = 2000$ лм при потужності 150 Вт для ламп розжарювання.

$$E_{\phi} = \frac{2000 \cdot 0,5 \cdot 1,2 \cdot 1}{400 \cdot 1,75 \cdot 1,15} = 59,4 \text{ (лк)}$$

Задану кількість світильників необхідно розміщувати рівномірно по площі приміщення, по можливості за сторонами квадрата, виконуючи умови:

сторона квадрата:

$$L = 1,4 \cdot H_p$$

де H_p – висота підвіса світильника над робочою поверхнею.

$$H_p = 5 - 0,8 - 0,4 = 3,8 \text{ (м)}$$

$$L = 1,4 \cdot 3,8 = 5,32 \text{ (м)}$$

Відстань від світильника до стіни обираємо в межах

$$l = 0,3 \div 0,5 \cdot L$$

$$l = 0,4 \cdot 5,32 = 2,28 \text{ (м)}$$

У результаті розрахунку знайшли значення фактичного освітлення $E_{\phi} = 59,4$ лк, порівнюючи його з нормованим за ДБН В.2.5-28:2018 $E_{\text{н}} = 50$ лк можна зробити висновок, що комбіноване штучне освітлення у цеху ефективно за умови використання ламп розжарювання потужністю не менше 150Вт.