

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Технологія машинобудування, верстати та інструменти
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему _____ **«Удосконалення технологічного процесу
виготовлення шестерні 1М-04-0021 шляхом
інтенсифікації зубофрезерної операції»**

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-92
спеціальності: 131 – прикладна
механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: технології
машинобудування

(назва освітньої програми)

Нестеренко В. А.

(прізвище та ініціали)

Керівник _____ Дегтярьов І. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Суми – 2020 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет	<u>Факультет технічних систем та енергоефективних технологій</u>
Кафедра	<u>Технологія машинобудування, верстати та інструменти</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>другий (магістерський)</u> (назва)
Спеціальність	<u>131 – прикладна механіка</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>технології машинобудування</u> (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

_____ Віталій ІВАНОВ

«__» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Нестеренко Владислав Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу виготовлення шестерні 1М-04-0021 шляхом інтенсифікації зубофрезерної операції»

керівник проекту Дегтярьов Іван Михайлович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2020 року за № _____

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «16» грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

- креслення деталі «Шестерня 1М-04-0021»,

- річний обсяг випуску деталей – 4400 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Актуальність досліджень, визначення завдань досліджень.

2. Дослідити базовий технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня».

3. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня».

4. Наукові дослідження.

5. Розрахунок припусків на обробку.

6. Визначення режимів різання, технічне нормування операцій.

7. Проектування верстатного пристрою.

8. Креслення заготовки, маршруту обробки, налагодження.

9. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Фалько В. В., ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

6. Дата видачі завдання «10» вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Аналіз базового процесу обробки шестерні 1М-04-0021	02.10.2020	
2	Удосконалення технологічного процесу обробки шестерні 1М-04-0021	14.10.2020	
3	Проектування спеціального верстатного пристрою	29.10.2020	
4	Наукові дослідження	08.11.2020	
5	Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	16.11.2020	
6	Формулювання загальних висновків	25.11.2020	
7	Оформлення роботи	29.11.2020	
8	Підготовка презентації	10.12.2020	
9	Підготовка доповіді	15.12.2020	

Студент

(підпис)

Владислав НЕСТЕРЕНКО

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

(підпис)

Іван ДЕГТЯРЬОВ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Віталій ІВАНОВ

« ____ » _____ 20__ р.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ШЕСТЕРНІ 1М-04-0021 ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ЗУБОФРЕЗЕРНОЇ
ОПЕРАЦІЇ

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність 131 – прикладна механіка

Студент

В.А. Нестеренко

Керівник

І.М. Дегтярьов

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В.В. Фалько

Нормоконтроль

О.В. Івченко

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра становить 104 сторінки, в тому числі 22 рисунків, 30 таблиць, 89 формул.

Мета роботи: Удосконалення процесу виготовлення шестерні 1М-04-0021 шляхом інтенсифікації конструкції верстатного пристрою на зубофрезерній операції.

Об'єктом розробки є деталь «Шестерня 1М-04-0021» яка входить до редуктора компанії Elmot.

Для досягнення поставленої мети в роботі були встановлені та вирішенні наступні завдання:

1) проаналізовано службове призначення редуктора та деталі «Шестерня 1М-04-0021». Були вивчені технічні вимоги при виготовленні деталі. Розроблено заготовку із мінімальними припусками, що нагадує форму готової деталі, що виготовляється на КГШП.

2) до операцій 015, 025, 030, 065 було розроблено схеми базування, обрано металорізальні верстати, інструменти, проведено розрахунок режиму різання;

3) спроектовано верстатний пристрій для зубофрезерної операції;

4) у науково-дослідній частині виконано алгоритм оптимізації запропонованої конструкції ВП, де цільовою функцією є зниження металомісткості. Визначено максимальні величини переміщень та напружень у запропонованому ВП. Визначено власні частоти коливань запропонованого ВП. Визначено амплітуди коливань, що виникають при механічній обробці деталі «Шестерня».

Оформлено карти технологічного процесу для деталі «Шестерня 1М-04-0021».

ШЕСТЕРНЯ, ЗАГОТОВКА, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ, ТИП ВИРОБНИЦТВА, ДОПУСК, БАЗУВАННЯ, АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ

ABSTRACT

The master's thesis is 104 pages, including 22 figures, 30 tables, 89 formulas.

Purpose: Improving the process of manufacturing gear 1M-04-0021 by intensifying the design of the machine tool for gear milling.

The object of development is the part "Gear 1M-04-0021" which is a part of the Elmot reducer.

To achieve this goal in the work were set and solved the following tasks:

1) the official purpose of the gearbox and parts "Gear 1M-04-0021" are analyzed. The technical requirements for the manufacture of parts were studied. A blank with minimal allowances has been developed, which resembles the shape of a finished part manufactured at KGShP.

2) before operations 015, 025, 030, 065, base schemes were developed, metal-cutting machines and tools were selected, and the cutting mode was calculated;

3) the machine tool for gear milling operation is designed;

4) in the research part the algorithm of optimization of the offered design of VP where the objective function is decrease in metal capacity is executed. The maximum values of displacements and stresses in the proposed VP are determined. The natural frequencies of oscillations of the proposed VP are determined. The amplitudes of oscillations that occur during machining of the "Gear" part are determined.

Technological process maps for the "Gear 1M-04-0021" part have been issued.

GEAR, PREPARATION, CUTTING TOOL, MACHINE DEVICE, TYPE OF PRODUCTION, TOLERANCE, BASING, ANALYSIS, RESEARCH

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ	
ДЕТАЛІ.....	5
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	5
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	7
1.3 Визначення типу та форми організації виробництва	9
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	13
1.5 Вибір способу отримання заготовки та розробка технічних вимог до неї.....	15
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ЧИ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО	
ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	21
2.1 Складання базового технологічного процесу.....	21
2.2 Розрахунок припусків на механічну обробку	23
2.3 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки.....	25
2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів	32
2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів	36
2.6 Розрахунки режимів різання	37
2.7 Технічне нормування операцій	51
2.8 Проектування верстатного пристрою для установаження і закріплення заготовки	54
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	
59	
3.1. Сучасний стан досліджень у галузі проектування та оптимізації конструкцій верстатних пристроїв.....	59
3.2 Важливість верстатних пристроїв у виробничому процесі.....	62
3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв.....	63

3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою.....	68
3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою.....	73
3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою.....	76
Висновки	78
Список використаних джерел	79
ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	84
ДОДАТОК Б КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ ШЕСТЕРНЯ.....	95
ДОДАТОК В КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ ШЕСТЕРНЯ.....	96
ДОДАТОК Г КРЕСЛЕННЯ НАЛАДКИ НА ОПЕРАЦІЮ 015.....	97
ДОДАТОК Д КРЕСЛЕННЯ НАЛАДКИ НА ОПЕРАЦІЮ 025.....	98
ДОДАТОК Е КРЕСЛЕННЯ НАЛАДКИ НА ОПЕРАЦІЮ 065.....	99
ДОДАТОК Ж КРЕСЛЕННЯ МАРШУТУ ОБРОБКИ «ШЕСТЕРНЯ 1М-04-0021».....	100
ДОДАТОК К КРЕСЛЕННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОПЕРАЦІЇ 030.....	101
ДОДАТОК Л СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ	102
ДОДАТОК М РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ	104

ВСТУП

Галузь машинобудування забезпечує матеріальну основу технічного прогресу всіх галузей промисловості. Проте матеріальне старіння продукції машинобудування настає раніше її фізичного старіння. Це вимагає подальшого підвищення науково-технічного рівня та якості продукції, всебічного вдосконалення технологій та методів організації та управління процесами виробництва. Проте при підготовці виробництва до випуску нових машин актуальними залишаються вимоги максимального зменшення вартості підготовки виробництва.

Одним із основних напрямків розвитку машинобудування є раціональна організація та автоматизація виробничих процесів. При підготовці виробництва до випуску нових машин актуальними залишаються вимоги максимального зменшення вартості підготовки виробництва. Одним із шляхів підвищення продуктивності праці і зниження собівартості виготовлення виробів є вдосконалення діючих технологічних процесів і їх заміна більш прогресивними. Ця робота проводиться на основі комплексного аналізу, як конструкції виробів, так і технології їх виготовлення.

Використання наукової організації виробництва, вдосконалення технології на основі використання сучасних досягнень науки та техніки сприяють зниженню витрат основних та допоміжних матеріалів та енергоносіїв, зниженню собівартості продукції, підвищенню продуктивності праці тощо.

Велику роль в автоматизації серійного виробництва відіграє використання верстатів з ЧПК. При розробці технологічного процесу обробки шестерні використовують досягнення сучасного машинобудування, науки і техніки, застосування економічних технологій, прогресивний ріжучий інструмент, передові методи в області контролю та обробки матеріалів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Редуктор – являє собою механізм з передачі потужності обертанням, головною функцією якого є редукція, тобто, зниження зусилля, необхідного для приводу пристрою, що перетворює передану потужність у корисну роботу.

Канонічним видом механічного редуктора є пара взаємозачеплених циліндричних шестерень, з яких ведуча шестерня меншого розміру, а ведена – більшого.

Циліндричний редуктор – найпоширеніший тип редукторів за рахунок простоти передачі і максимального ККД. Основу редуктора складають зубчасті прямозубі циліндричні передачі.

Циліндричні редуктори призначені для безперервного і тривалого режиму роботи у виробках підйомно-транспортного устаткування, а також для ремонтних і експлуатаційних потреб діючих механізмів.

Особливості експлуатації циліндричних редукторів:

- навантаження: постійне, змінне, в одному напрямку і періодично реверсивне;
- робота: постійна або з періодичними зупинками;
- спрямованість обертання валів: в будь-яку сторону без переваги;
- частота обертання валів: до 1500 об/хв;
- забрудненість повітря: не більше 10 мг/м³;
- зовнішнє робоче середовище: не вибухонебезпечне і не агресивне;
- кліматичні умови: помірний сухий та вологий клімат.

Переваги циліндричних редукторів: компактність, надійність, довговічність і простота в експлуатації [18].

Характерні особливості одноступінчатих циліндричних редукторів виробництва компанії «ELMOT» (рис. 1.1):

- допустиме консольне радіальне навантаження на вихідному валу: 5100...75000 Н;
- номінальний крутний момент на вихідному валу: 520...37500 Н·м;
- частота обертання вхідного вала: 600...1500 об/хв;
- коефіцієнт корисної дії (ККД): 91%...94%.

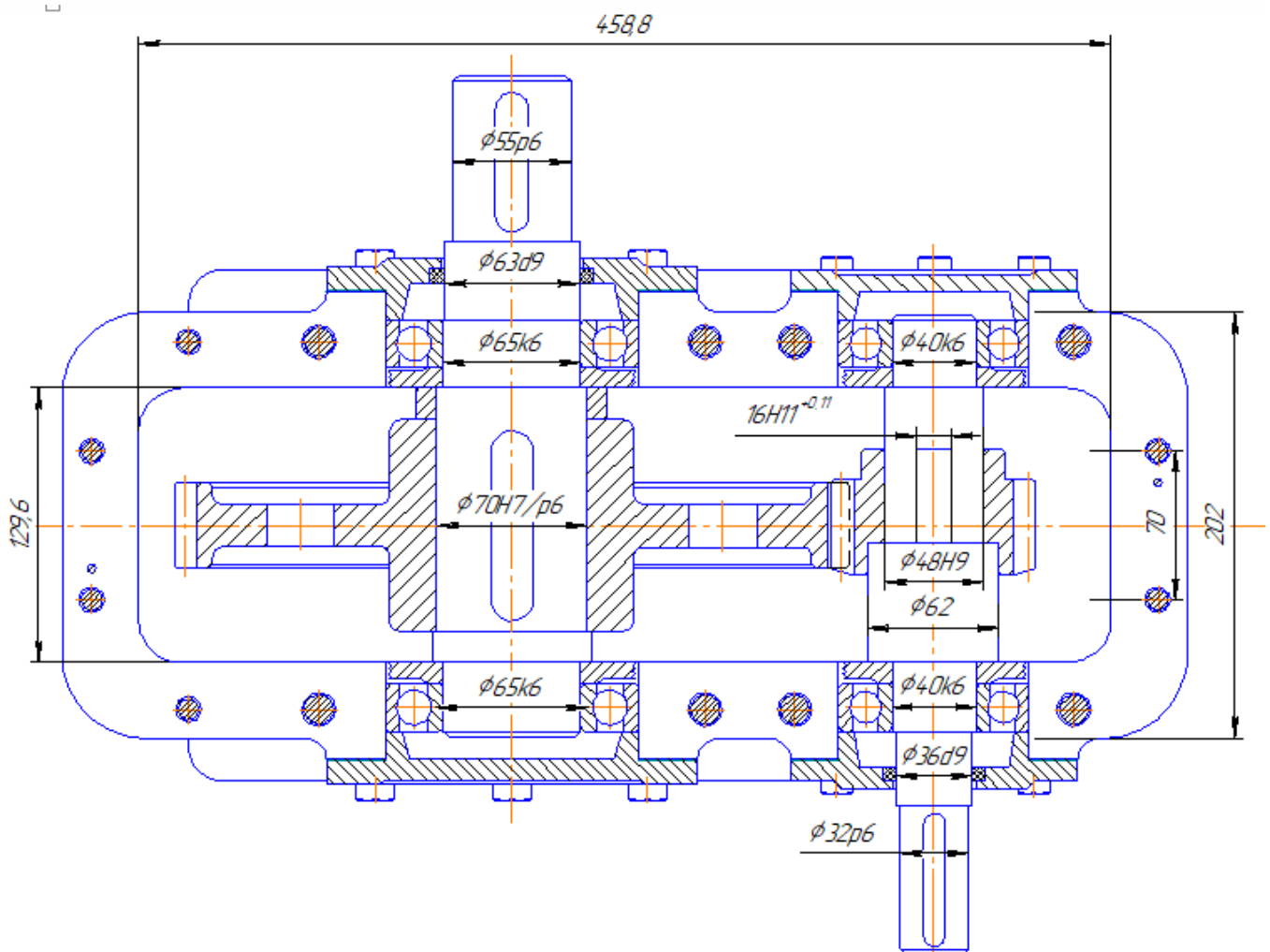


Рисунок 1.1 Ескіз вузла

Деталь «Шестерня 1М-04-0021» є складовою частиною циліндричного редуктора компанії «ELMOT».

Деталь складається з наступних поверхонь (рис. 1.2, табл. 1.1): основна поверхня, за допомогою якої визначається положення даної деталі у виробі (основна конструкторська база); допоміжна поверхня, визначає положення

деталей, що приєднуються відносно даної (допоміжна конструкторська база); виконавча поверхня, яка виконує службове призначення даного виробу; вільні поверхні, не торкаються поверхонь інших деталей, та призначені для з'єднання основних, допоміжних та виконавчих поверхонь між собою.

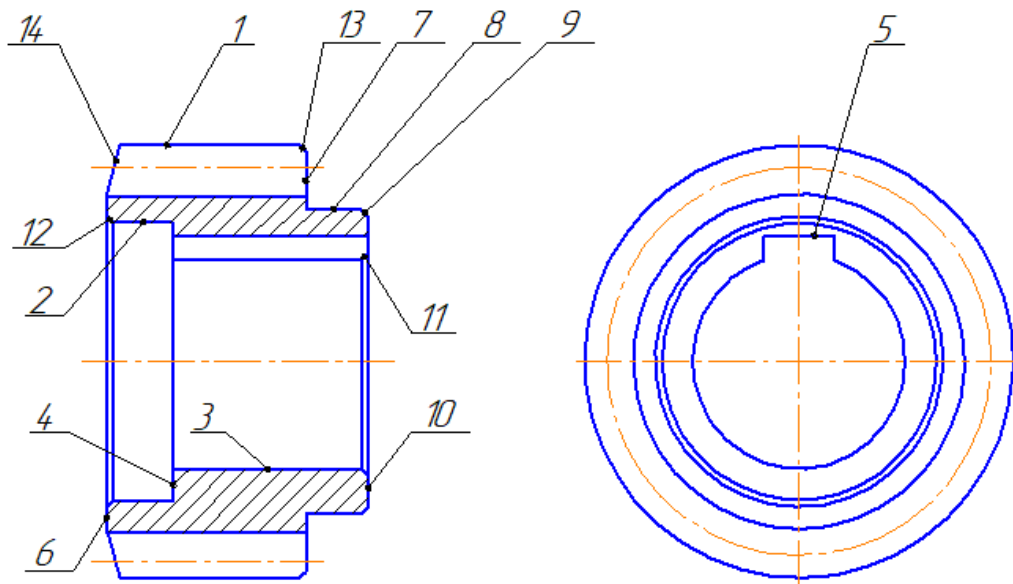


Рисунок 1.2– Ескіз деталі з поверхнями

Таблиця 1.1 – Поверхні деталі

Вид поверхні	Номер поверхні
Робочі поверхні	1
ОКБ	2, 3
ДКБ	4, 5
Вільні поверхні	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Аналізуючи робоче креслення деталі «Шестерня 1М-04-0021» необхідно відмітити, що креслення деталі має достатню кількість видів та перерізів, що дають повне уявлення про конструктивні особливості деталі. Їх розташування відповідає таким вимогам ГОСТ 2.305-2008 «Зображення – розміри, види, перерізи».

Граничні відхилення, розміри, шорсткість, допуски форми і розташування всіх поверхонь проставлено згідно до вимог ГОСТ 2.307-2011 «Нанесення розмірів та граничних відхилень», ГОСТ 2.309-73 «Позначення шорсткості поверхонь», ГОСТ 2.308-2011 «Позначення допусків форми та розташування поверхонь», яка дає можливість виготовити дану деталь потрібної точності відповідно до службового призначення.

Представлені технічні вимоги на виготовлення деталі, їх нанесення повинно відповідати ГОСТ 2.316-2008 «Правила нанесення написів, технічних вимог та таблиць на графічних документа». Дотримано порядок заповнення основного напису згідно до вимог ГОСТ 2.104-2006 «Основні написи».

Креслення виконане за допомогою графічного редактора і відповідає вимогам ГОСТ 2.052-2006 «Електронна модель виробу. Основні вимоги». Отже, креслення виконане згідно вимог ЄСКД за ГОСТ 2.109-73 «Основні вимоги до креслень».

Деталь «Шестерня 1М-04-0021» відноситься до типу «тіла обертання», до класу «зубчаті колеса» і призначена для передачі крутного моменту на інший зубчатий елемент.

Матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 4543-71 – конструкційна легована сталь. Після гартування і відповідного відпуску, сталь набуває високої міцності і одночасно зберігає достатню пластичність, що дозволяє її застосовувати при виробництві шестерень першого ступеня.

Хімічний склад та механічні властивості сталі 40Х ГОСТ 4543-71 наведені в таблицях 1.2 – 1.3 [7].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 40Х ГОСТ 4543-71

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.36 - 0.44	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.3	до 0.035	до 0.035	0.8 - 1.1	до 0.3

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі 40Х ГОСТ4543-71

Режим термообробки	Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / м ²)
Гартування 860 °С, масло Відпуск 500 °С, вода або масло	25	780	980	10	45	59

До заданої деталі висуваються наступні вимоги:

- до кінцевої механічної обробки покращити твердість НВ 250...280. Це пояснюється тим, що шестерня в процесі роботи може сприймати вібрації та динамічні навантаження, тому одержання заданої твердості матеріалу дозволить отримати необхідні механічні показники деталі і, відповідно, надійну роботу деталі у вузлі;

- термообробка: гартувати зуби СВЧ до HRC 50...54; Це дозволяє підвищити стійкість робочої поверхні, знизити її крихкість, а, отже, досягти бажаної надійності роботи деталі у вузлі;

- гострі кромки притупити R=0,5. Це дозволить експлуатувати деталь без можливості пошкодження нею робітника.

1.3 Визначення типу та форми організації виробництва

За ГОСТ 3.1108-74 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій K_{30} [3], який визначається за формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1.1)$$

де ΣO – сумарна кількість операцій;

ΣP – сумарна кількість робочих місць.

Таблиця 1.4 – Визначення типу виробництва

№ операції	Операція	$T_{шт-к}$	m_p	P	$n_{зф}$	O
005	Токарна з ЧПК	6,25	0,15	1	0,15	6
010	Токарна з ЧПК	1,51	0,06	1	0,06	23
015	Горизонтальнопротяжна	0,54	0,013	1	0,013	63
020	Зубофрезерна	5,82	0,14	1	0,14	6
025	Зубофрезерна	6,76	0,16	1	0,16	5
030	Зубозакруглююча	3,53	0,08	1	0,08	10
035	Внутрішньошліфувальна	2,47	0,06	1	0,06	14
	Разом	26,88	-	7	-	127

Визначаємо кількість верстаті за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot n_з}, \text{ шт} \quad (1,2)$$

де N – річна програма випуску, шт; $N = 4400$ шт.;

$T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

F_d – дієний річний фонд часу роботи обладнання, год;

$n_з$ – нормативний коефіцієнт обладнання;

$$m_{p\ 005} = \frac{4400 \cdot 6,25}{60 \cdot 3900 \cdot 080} = 0,15 \text{ шт}$$

Приймаємо $P = 1$ верстат.

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$n_{зф} = \frac{m_p}{P}, \quad (1,3)$$

$$n_{зф} = \frac{0,15}{1} = 0,15$$

Визначаємо кількість операцій, які виконуються на робочому місці визначаємо за формулою:

$$O = \frac{n_3}{n_{3\phi}}, \text{ шт} \quad (1.4)$$

Результати заносимо до таблиці 3.1.

Визначаємо сумарну кількість операцій і робочих місць відповідно.

$$\sum O_i = 6 + 23 + 63 + 6 + 5 + 10 + 14 = 127$$

$$\sum P_i = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 7$$

$$K_{30} = \frac{127}{7} = 18,14$$

Визначаємо добовий випуск деталей за формулою:

$$N_{\text{доб}} = \frac{N_{\text{річ}}}{D_p}, \text{ шт} \quad (1.5)$$

де D_p – кількість робочих днів у році, $D_p=253$ дня.

$$N_{\text{доб}} = \frac{2500}{253} = 10 \text{ шт}$$

Визначаємо добовий фонд часу роботи обладнання за формулою:

$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot F_d}{D_p}, \text{ хв} \quad (1.6)$$

$$F_{\text{доб}} = \frac{60 \cdot 3900}{253} = 925 \text{ хв}$$

Визначаємо середню трудомісткість механічних операцій за формулою:

$$T_{\text{cp}} = \frac{\sum T_{\text{ш-к}}}{n} \quad (1.7)$$

де n - число механічних операцій, $n=10$;

$$T_{\text{cp}} = \frac{36,63}{10} = 3,7 \text{ хв}$$

Добова потужність потокової лінії при її завантаженні на 60% розраховується за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{F_{\text{доб}}}{T_{\text{cp}}} \cdot 0,6, \text{ шт} \quad (1.8)$$

$$Q_{\text{доб}} = \frac{925}{3,7} \cdot 0,6 = 150 \text{ шт}$$

При порівнянні добового випуску деталей $N_{\text{доб}}=10$ і добової потужності потокової лінії $Q_{\text{доб}}=150$ шт. бачимо, що добовий випуск деталей набагато менше добової потужності потокової лінії при її завантаженні на 60%, тобто використання однономенклатурної потокової лінії в дрібносерійному виробництві не раціонально, тому приймаємо групову форму організації праці.

Так як $10 < K_{\text{зо}} = 18,14 < 20$, то тип виробництва середньосерійний.

Середньосерійний тип виробництва характеризується виготовленням деталей партіями, що періодично повторюються, обмеженої номенклатури та невеликого обсягу, які складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами деталей. Коефіцієнт закріплення операцій складає 10 – 20 операцій на робоче місце.

Використовуються різні типи верстатів: універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані, агрегатні і з ЧПК. Значна частина устаткування оснащена як спеціальними, так і універсально-налагоджувальними (УНП) і універсально-збірними (УСП) пристосуваннями, що дозволяє знизити трудомісткість і здешевити виробництво. Використовуються універсальні і

спеціальні різальний, вимірювальний і контрольний інструменти. Серійне виробництво є економічним, так як устаткування використовується ефективніше, збільшується продуктивність праці, зменшується собівартість продукції [5].

Серійне виробництво характеризується випуском деталей партіями, тому визначаємо кількість деталей в партії за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{253}, \text{ шт} \quad (1.9)$$

де a – періодичність запуску в днях, $a = 6$ днів;

$$n = \frac{4400 \cdot 6}{253} = 104 \text{ шт}$$

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Деталь «Шестерня 1М-04-0021» відноситься до деталей типу тіл обертання, до класу «Зубчатих коліс».

Матеріал, з якого виготовлена задана деталь, а саме сталь 40Х, має гарну оброблюваність та експлуатаційні характеристики. Він здатен сприймати динамічні навантаження і вібрації без руйнування своєї структури, тому за матеріалом деталь є технологічною.

Виходячи з типу виробництва, маси, матеріалу, конфігурації деталі, можна зробити висновок, що особливих труднощів з отриманням заготовки не виникне. Запропонований в базовому технологічному процесі спосіб отримання заготівки (поковка) є оптимальним як за коефіцієнтом використання матеріалу, так і за економічними показниками. Тому, за способом отримання заготовки деталь є технологічною.

Шестерня складається з простих поверхонь. Більш складним є одержання зубчастого вінця, що достатньо не технологічно, тому що потребує проектування спеціального пристосування.

Всі поверхні деталі підлягають механічній обробці. Високу шорсткість мають лише робочі поверхні, так як вони є відповідальними поверхнями. Більшість поверхонь не потребують застосування спеціальних фінішних методів обробки, тому за цим показником деталь можна вважати технологічно

Форма деталі дозволяє провести обробку всіх поверхонь на існуючому обладнанні з простим та надійним закріпленням деталі на верстаті.

Основними поверхнями деталі є робоча поверхня, яка несе функціональне навантаження, і базові поверхні. До робочих поверхонь відноситься поверхня 1 (рис. 1.1), яка утворює передавальний крутний момент. Це зубчатий вінець з модулем $m = 5$ та кількістю зубів $z = 11$ зубів. Її характеризує точність розмірів: $\varnothing 96,77_{-0,46}$ мм, шорсткість $R_a = 3,2$ мкм.

Основними конструкторськими базами, що визначають положення деталі в складальній одиниці є поверхні 3, 4 (рис. 1.1). Це отвір $\varnothing 48H9$ з шорсткістю $R_a = 1,6$ мкм та торець $\varnothing 48/\varnothing 62$ з шорсткістю $R_a = 6,3$ мкм.

Допоміжна поверхня 5 (рис. 1.1), яка визначає положення деталі, що приєднується, шпонковий паз 16H11 з шорсткістю поверхні $R_a = 3,2$ мкм.

До заданої деталі висуваються наступні вимоги: до кінцевої механічної обробки покращити твердість HB 250...280, гострі кромки притупити $R=0,5$ мм, гартувати зуби СВЧ HRC 50...54, що забезпечує більш високу міцність і зносостійкість поверхні деталі.

В результаті якісної оцінки деталі на технологічність, можна зробити наступні висновки:

1 Деталь «Шестерня 1М-04-0021» є досить жорсткою, має зручні базові поверхні і не викликає особливих технологічних труднощів при обробці.

2 Простота конструктивних елементів деталі дозволяє найбільш продуктивно і точно обробити поверхні з використанням найбільш простих відносних рухів інструмента і заготовки – прямолінійного поступального і обертального рухів.

3 Проставлення розмірів пов'язане з послідовністю обробки і дозволяє вести одночасну обробку декількома інструментами на попередньо налагоджених

верстатах. Це істотно підвищує технологічність деталі і дозволяє застосовувати стандартні ріжучі та контрольні інструменти та оснащення.

Таким чином, якісний аналіз деталі показав, що деталь є технологічною.

1.5 Вибір способу отримання заготовки та розробка технічних вимог до неї

Враховуючи умови виробництва та матеріал, геометричні параметри шестерні, для отримання заготовки можна використати штампування на кривошипних гарячештамповочних пресах (КГШП) або круглий сортовий прокат.

Штампування на КГШП забезпечує високу точність форми та розмірів заготовки, продуктивність праці, відсутність ударних навантажень, менші навантаження на виробничі будівлі, можливість використання універсальних штампів [5].

Остаточний висновок зробимо після техніко-економічних розрахунків собівартості заготовки.

За ГОСТ 7505-89 [19] головними характеристиками поковок є: точність виготовлення; група сталі; конфігурація поверхні роз'єму штампу; ступінь складності. Клас точності даної заготовки – Т3. Група сталі заготовки визначається за вмістом вуглецю та легуючих елементів – М2.

Ступінь складності заготовки визначається з відношення:

$$C = \frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ф}}}, \quad (1.10)$$

де $M_{\text{п}}$ – орієнтовна маса штамповки, кг;

$M_{\text{ф}}$ – маса фігури, в яку можна вписати деталь, кг.

Орієнтовна маса заготовки визначається за формулою:

$$M_{\text{ш}} = M_{\text{д}} \cdot K_{\text{р}}, \text{ кг} \quad (1.11)$$

де K_p – коефіцієнт для визначення орієнтовної маси заготовки; $K_p = 1,5$.

$$M_{\Pi} = 2,0 \cdot 1,5 = 3 \text{ кг}$$

Масу фігури, в яку можна вписати деталь, визначаємо, беручи розміри деталі, збільшені на 1,05.

$$M_{\Phi} = V_{\Phi} \cdot \gamma, \text{ кг} \quad (1.12)$$

де V_{Φ} – об'єм фігури, в яку можна вписати задану деталь, мм^3 ;

γ – густина сталі; $\gamma = 7,85 \times 10^{-6} \text{ кг} \times \text{мм}^3$;

$$V_{\Phi} = \frac{\pi D_{\Phi}^2 l_{\Phi}}{4}, \text{ мм}^3 \quad (1.13)$$

де D_{Φ} - діаметр фігури, мм;

l_{Φ} - довжина фігури, мм;

$$V_{\Phi} = \frac{3,14 \cdot 101,60^2 \cdot 61,95}{4} = 501993 \text{ мм}^3$$

$$M_{\Phi} = 501993 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 3,94 \text{ кг}$$

$$C = \frac{3}{3,94} = 0,76$$

Оскільки $0,76 > 0,63$ і більше, то приймаємо ступінь складності С1. Конфігурація роз'єму штампу – плоска. На основі знайдених показників визначаємо вихідний індекс – 11. Розраховуємо розміри поковки. Дані заносимо в таблицю 1.5.

Визначаємо об'єм заготовки за формулою:

$$M_3 = V_3 \cdot \gamma, \text{ кг} \quad (1.14)$$

де V_3 – об'єм заготовки, мм^3 ;

Визначаємо об'єм заготовки за формулою:

$$V_3 = \frac{\pi D_1^2 l_1}{4} + \frac{\pi D_2^2 l_2}{4} - \frac{\pi D_3^2 l_3}{4} - \frac{\pi D_4^2 l_4}{4}, \text{ мм}^3 \quad (1.15)$$

Таблиця 1.5 – Розрахунок розмірів заготовки

Номинальний розмір елемента деталі, мм	Шорсткість, мкм	Припуск на сторону, мм	Додатковий припуск сторону, мм	Загальний припуск на розмір, мм	Остаточний розмір елемента заготовки, мм
Ø96,77 _{-0,46}	3,2	1,6 × 2	0,3 × 2	3,8	Ø100,57 ^{+1,4} _{-0,8}
Ø68	12,5	1,3 × 2	0,3 × 2	3,2	Ø71,2 ^{+1,3} _{-0,7}
Ø62	6,3	1,3 × 2	0,3 × 2	3,2	Ø58,8 ^{+1,3} _{-0,7}
Ø48 ^{+0,062}	1,6	1,6 × 2	0,3 × 2	3,8	Ø44,2 ^{+1,3} _{-0,7}
59	3,2	1,6 × 2	0,3 × 2	3,8	62,8 ^{+1,3} _{-0,7}
45	12,5	1,3 × 2	0,3 × 2	3,2	48,2 ^{+1,3} _{-0,7}
15	6,3	1,2	0,3	1,5	16,5 ^{+1,1} _{-0,5}
44	1,6	1,6	0,3	1,9	45,9 ^{+1,3} _{-0,7}

На основі розрахованих розмірів поковки виконуємо ескіз заготовки (рис.1.3).

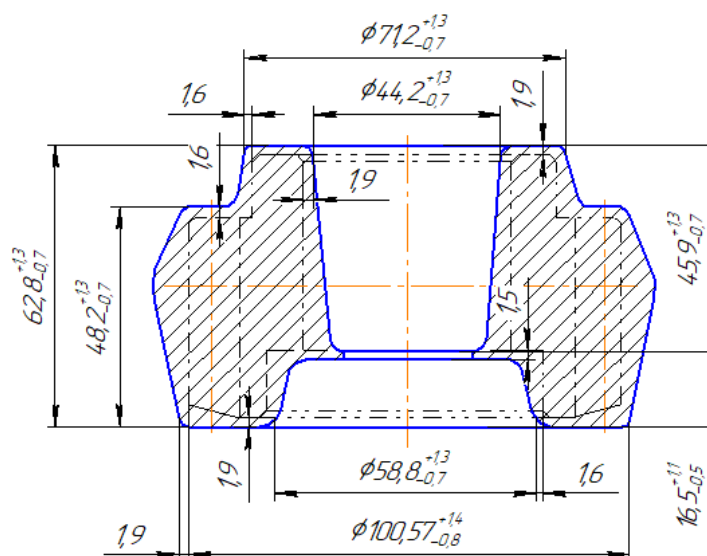


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 100,57^2 \cdot 48,2}{4} + \frac{3,14 \cdot 71,2^2 \cdot 14,6}{4} - \frac{3,14 \cdot 58,8^2 \cdot 16,5}{4} - \frac{3,14 \cdot 44,2^2 \cdot 45,9}{4} = 325621,5 \text{ мм}^3.$$

$$M_3 = 325621,5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 2,55 \text{ кг}$$

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{д}}}{M_3}, \quad (1.16)$$

де $M_{\text{д}}$ – маса деталі, кг;

M_3 – маса заготовки, кг;

$$K_{\text{вм}} = \frac{2,0}{2,55} = 0,78$$

Визначаємо собівартість поковки за формулою:

$$S_{\text{заг}} = (S_{\text{м}} \cdot M_3 \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{п}}) - (M_3 - M_{\text{д}}) \cdot S_{\text{відх}}, \text{ грн.} \quad (1.17)$$

де $S_{\text{м}}$ – базова вартість 1 кг заготовки, $S_{\text{м}} = 56 \text{ грн./кг}$;

$S_{\text{відх}}$ – вартість 1 тони відходів, $S_{\text{відх}} = 5,6 \text{ грн}$;

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт, що залежить від точності; $K_{\text{т}} = 1,05$;

$K_{\text{с}}$ – коефіцієнт, що залежить від групи складності $K_{\text{с}} = 0,77$;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу $K_{\text{в}} = 0,89$;

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що залежить від маси заготовки, $K_{\text{м}} = 1,13$;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовки, $K_{\text{п}} = 1,0$;

$$S_{\text{заг}} = (56 \cdot 2,55 \cdot 1,05 \cdot 0,77 \cdot 0,89 \cdot 1,13 \cdot 1,0) - (2,55 - 2,0) \cdot 5,6 = 113 \text{ грн.}$$

Розглянемо другий метод – сортовий гарячекатаний прокат.

За ГОСТ 8732-78 вибираємо найближчий найбільший діаметр сталюого прокату. Приймаємо $D_{\text{з пр}} = 105 \text{ мм}$ прокат звичайної точності (В).

Визначаємо граничні відхилення діаметра заготовки ($\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -1,7 \end{smallmatrix}$).

Дані заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок розмірів заготовки з прокату

Розмір деталі	Клас точності	Шорсткість	Припуск	Допуск	Розмір заготовки
Ø 96,77	10	3,2	4,12×2	$\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -1,7 \end{smallmatrix}$	Ø105 $\begin{smallmatrix} +0,6 \\ -1,7 \end{smallmatrix}$
59	9	1,6	3,5×2	±0,8	66±0,8

Виконуємо ескіз заготовки (рис. 1.4).

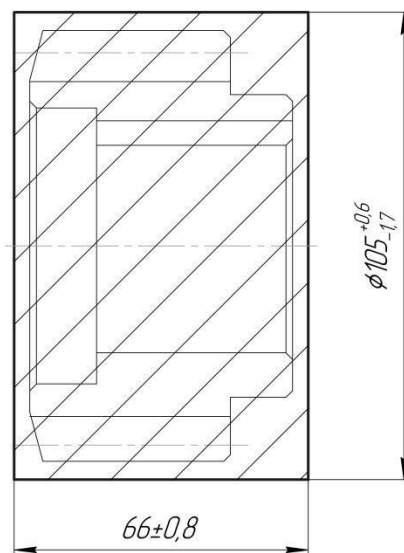


Рисунок 1.4– Ескіз заготовки з прокату

Масу заготовки та коефіцієнт використання матеріалу визначаємо за формулами (5.5) – (5.7) відповідно:

$$V_{\text{заг}} = \frac{3,14 \cdot 105^2 \cdot 66}{4} = 571205 \text{ мм}^3$$

$$M_3 = 571205 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 4,48 \text{ кг}$$

$$K_{\text{вм}} = \frac{2,0}{4,48} = 0,45$$

Витрати на матеріал заготовки визначаємо за формулою:

$$M = QS - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн.} \quad (1.18)$$

де S – базова вартість 1 тони матеріалу заготовки, грн. Базова вартість матеріалу складає 19000...124000. Приймаємо $S = 35000$ грн.

$S_{\text{відх}}$ – вартість 1 тони відходів, грн.; вартість відходів приймаємо як 10 % від вартості матеріалу. $S_{\text{відх}} = 3500$ грн.

$$M = 4,48 \cdot 35 - (4,48 - 2) \cdot 3,5 = 148 \text{ грн.}$$

Отже, порівнявши коефіцієнти використання матеріалу та собівартість виготовлення заготовки, можна зробити висновок, що для отримання заготовки доцільніше застосовувати кривошипно-гарячештампувальні преси.

До заготовки ставляться наступні технічні вимоги:

- 1 Поковка групи HRC 56...62;
- 2 Клас точності T4, група сталі M2, степінь точності C1, вихідний індекс – 11;
- 3 Допустиме зміщення по поверхні роз'єму штампку 0,3 мм;
- 4 Допустима величина залишкового облою по зовнішньому контуру поковки 1,2 мм;
- 5 Допустиме відхилення від концентричності пробитого отвору відносно зовнішнього отвору поковки 1,5;
- 6 Допустиме відхилення від площинності 0,6 мм;
- 7 Невказані радіуси 3...5 мм;
- 8 Невказані ухили: зовнішні – 5 , внутрішні – 7 ;
- 9 Очищення від окалини – дрібноструйне.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ЧИ ТИПОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання базового технологічного процесу

Розглянемо базовий технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня», складений відповідно з виконанням технічних вимог для одержання даної деталі (рис. 1.2, табл. 2.1).

Маршрут обробки відповідає типовому технологічному процесу обробки деталей типу «шестерня». На першій операції виконується обробка базових поверхонь за якою деталь буде базуватися на інших операціях.

Таблиця 2.1 – Базовий технологічний процес

№	Найменування операції	Вид обробки	Поверхня базування	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	Штампувати на пресі	-	Прес К8544
010	Токарна з ЧПК	Підрізати торець 6; розточити отвір 3, 2; зняти фаску 12; точити поверхню 1, 14	Поверхня $\varnothing 68$ мм з упором в торець	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
015	Токарна з ЧПК	Підрізати торець 10; точити поверхню 8; підрізати торець 7; зняти фаски 13, 9, 11	Поверхня $\varnothing 96,77$ мм з упором в торець	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
020	Термічна	Поліпшити	-	Установка СВЧ
025	Горизонтально-протяжна	Протягнути шпонковий паз 5	Поверхня $\varnothing 96,77$ мм з упором в торець	Горизонтально-протяжний верстат 7Б55

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
030	Зубо-фрезерна	Нарізати зуби 1 начорно	Поверхня ø68 мм з упором в торець	Зубо-фрезерний верстат 53A30
035	Зубо-фрезерна	Нарізати зуби 1 начисто	Поверхня ø68 мм з упором в торець	Зубо-фрезерний верстат 53A30
040	Зубо-закругляюча	Закруглити зуби 1	Поверхня ø68 мм з упором в торець	Зубо-закруглюючий верстат 5E580
045	Слюсарна	Притупити гострі кромки	-	Верстак слюсарний
050	Мийна	Промити деталь	-	Мийна машина ОСМ – 1
055	Технічний контроль	Контролювати розміри	-	Стіл ВТК
060	Термічна	Гартувати СВЧ	-	Установка СВЧ
065	Внутрішньо-шліфувальна	Шліфувати внутрішню поверхню отвір 3	Поверхня ø120 мм з упором в торець	Внутрішньо шліфувальний верстат 3K228B
070	Мийна	Очистити поверхні деталі	-	Мийна машина ОСМ – 1
075	Технічний контроль	Контролювати розміри	-	Стіл ВТК

2.2 Розрахунок припусків на механічну обробку

Розрахунок припусків проводимо для поверхні $\varnothing 48H9$ мм за допомогою ЕОМ за методикою, викладеною в [3].

Величину розрахункового мінімального припуску визначаємо за формулою:

$$2z_{min} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \text{ мкм} \quad (2.1)$$

де R_{zi-1} - висота мікронерівностей, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

T_{i-1} - глибина дефектного шару, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

ρ_{i-1} - сумарне значення просторових відхилень, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм.

Сумарне відхилення розташування заготовки визначаємо за формулою:

$$\rho = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{екс}^2}, \text{ мкм} \quad (2.2)$$

де $\rho_{зм}$ – величина зміщення заготовки, мкм; $\rho_{зм} = 600$ мкм за ГОСТ 7505-74;

$\rho_{екс}$ – величина неспіввісності (ексцентричності), мкм; $\rho_{екс} = 800$ мкм.

$$\rho = \sqrt{600^2 + 800^2} = 1000 \text{ мкм}$$

Для решти операцій величину просторових відхилень визначаємо за формулою:

$$\rho_{зал} = k_y \cdot \rho_{заг}, \text{ мкм} \quad (2.3)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми, залежить від виду обробки.

Для розточування чорнового $k_y = 0,06$; для розточування чистового $k_y = 0,04$; для шліфування $k_y = 0,02$.

Розраховуємо ρ для кожного переходу:

$$\rho_{\text{Тчорн}} = 0,06 \cdot 1000 = 60 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{Тчорн}} = 0,04 \cdot 1000 = 40 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{Тчорн}} = 0,02 \cdot 1000 = 20 \text{ мкм}$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані

Найменування переходу	Точність	Граничні відхилення	Елементи припуску, МКМ		
			R_z	T	ρ
Заготівка	16	+0,62 0	150	250	1000
Розточування чорнове	12	+0,25 0	50	50	60
Розточування чистове	10	+0,1 0	20	25	40
Шліфування	9	+0,062 0	5	10	20

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	
–	–	41.677	41.6	42.3	+1.300 –0.700	41.6	43.6	–	–	–
2383	4383	46.068	46.06	46.06	+0.250 0	46.06	46.31	2460	4460	4710
1182	1432	47.572	47.5	47.5	+0.100 0	47.5	47.6	1190	1440	1540
328	428	48	48	48	+0.062 0	48	48.062	400	500	562

Рисунок 2.1 – Розрахунок припусків

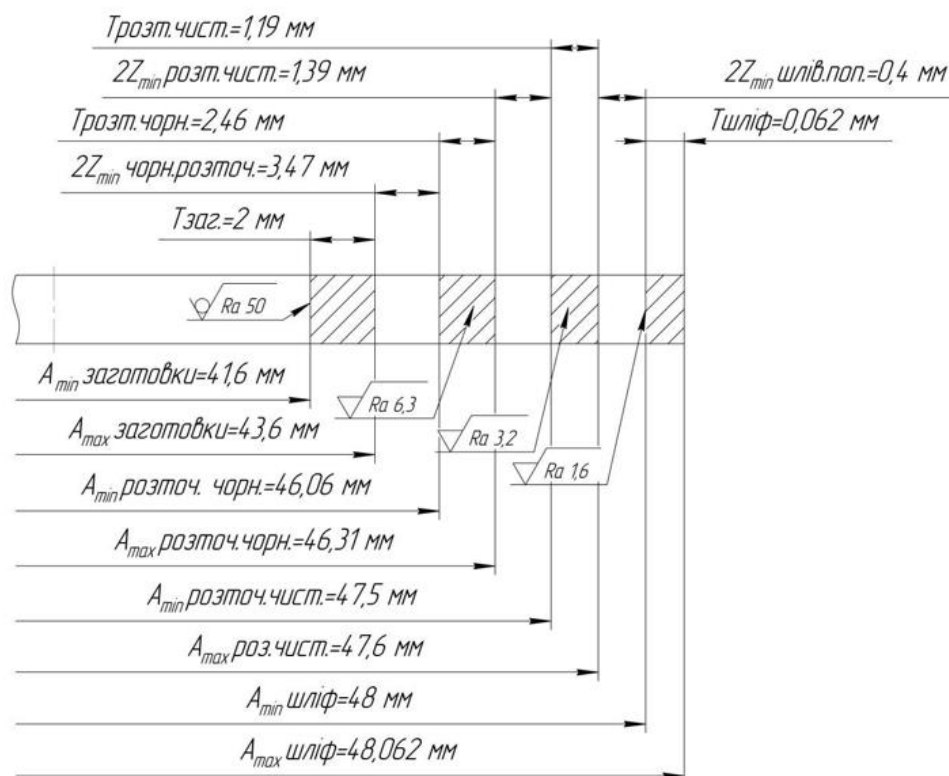


Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків на обробку поверхні $\varnothing 48H9$ мм

2.3 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення заготовки

Розглянемо операцію 015 Токарну з ЧПУ. На даній операції затискається деталь в 3-х кулачковому патроні, підрізаюся 2 торця, точиться зовнішня циліндрична поверхонь, знімаються фаски. Заготовку можна базувати по зовнішній поверхні $\varnothing 96,77$ мм з упором в торець (3-х кулачковому патроні) або по отвору $\varnothing 48$ мм з упором в торець.

Розглянемо перший спосіб базування заготовки – базування в 3-х кулачковому патроні (рис 2.3). За опорну базу приймаємо торець заготовки, який позбавляє заготовку 2-х ступенів волі, а зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 96,77$ мм є напрямною базою і позбавляє заготовку 3-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.3 і табл. 2.4). Похибка базування $\epsilon = 0$.

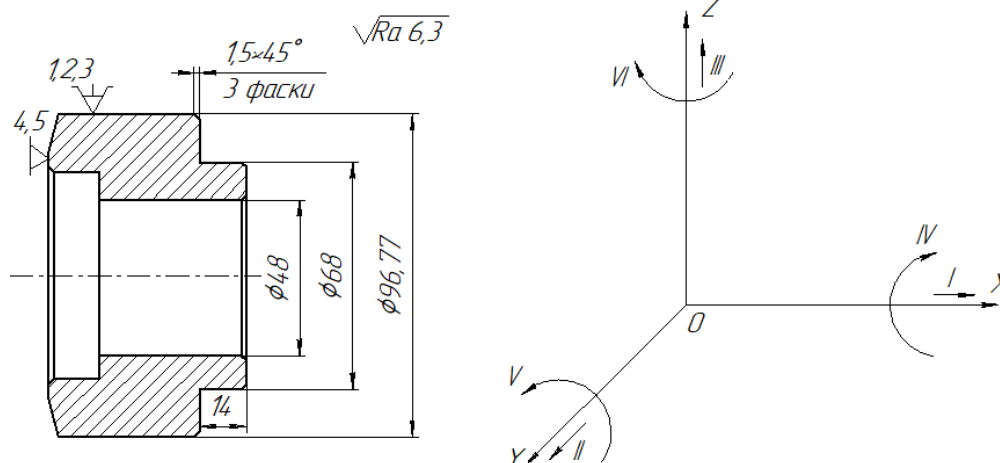


Рисунок 2.3 – Схема базування заготовки 3-х кулачковому патроні

Таблиця 2.3 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1,2,3	I, III, V	Напрямна база
4, 5	II, IV	Опорна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
НБ	L	1	1	1
	α	0	0	0
ОБ	L	0	0	0
	α	1	1	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	0	0	1

Розглянемо другий спосіб базування заготовки – по отвору $\phi 48$ мм з упором в торець (рис. 2.4). За опорну базу приймаємо лівий торець заготовки, який позбавляє заготовку 1-ї ступені волі, а отвір є подвійною прямою базою і позбавляє заготовку 4-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.5 і табл. 2.6).

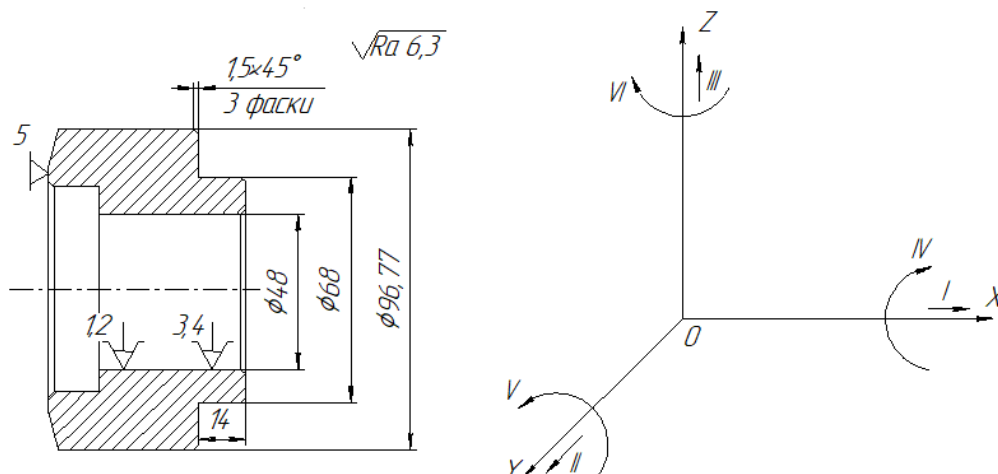


Рисунок 2.4 – Схема базування заготовки по отвору

Таблиця 2.5 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, II, III, IV	Подвійна напрямна база
5	V	Опорна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
ПНБ	L	1	1	1
	α	1	0	0
ОБ	L	0	0	0
	α	0	1	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	0	0	1

У такий спосіб базування буде виникати похибка на довжину отвору ϵ_L . Вона буде дорівнювати допуску на розмір 59 мм: $\epsilon_L = \delta_{22} = 0,24$ мм.

Отже, порівнявши два способи базування заготовки, можна зробити висновок, що доцільніше застосовувати перший спосіб базування 3-х кулачковому патроні.

Розглянемо операцію 025 Горизонтально-протяжну. На даній операції протягується шпонка в отворі. Для закріплення деталі єдино можливий спосіб є закріплення в горизонтальному положенні з упором в торць (рис 2.5). За установчу

базу приймаємо отвір заготовки, який буде подвійною напрямною базою, яка позбавляє 4-х ступенів волі, лівий торець є опорною базою і позбавляє заготовку 1-ї ступені волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.7 і табл. 2.8). Похибка буде дорівнювати: $\varepsilon = \delta\phi 48 = 0,1$ мм та на розмір 59 мм: $\varepsilon L = \delta 59 = 0,74$ мм.

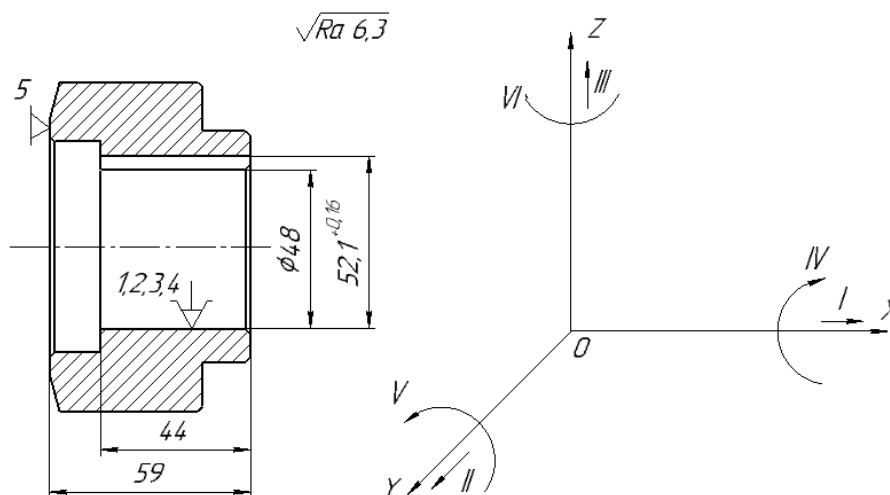


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки 3-х кулачковому патроні

Таблиця 2.7 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна база
5	I	Опорна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
ПНБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ОБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

Розглянемо операцію 030 Зубофрезерну. На даній операції фрезеруються зуби шестерні. Заготовку можна закріплювати як в горизонтальному, так і у вертикальному положенні по отвору $\phi 48$ мм з упором в торець.

Розглянемо перший спосіб базування заготовки (рис 2.6). За установчу базу приймаємо торець шестерні, який позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а отвір є напрямною базою і позбавляє заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.9 і табл. 2.10). При цьому похибка буде дорівнювати половині допуску на діаметр отвору, по якому базується заготовка: $\varepsilon = \delta\phi 48 = 0,10/2 = 0,5$ мм.

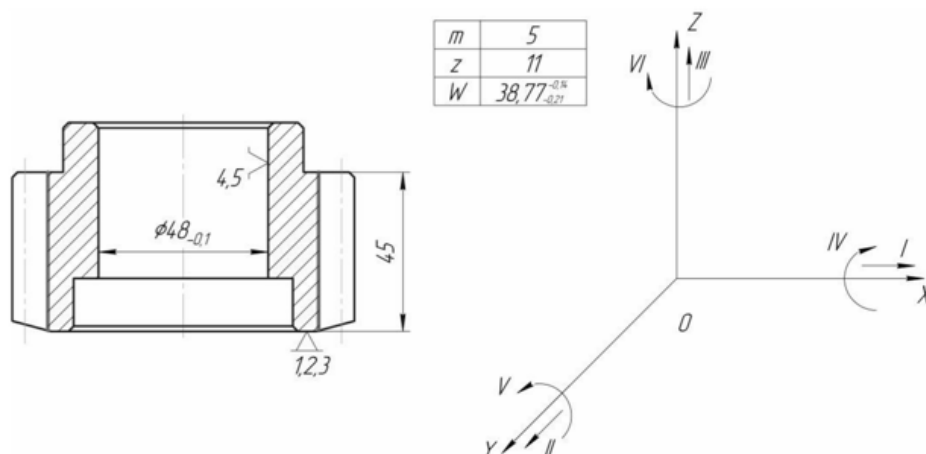


Рисунок 2.6 – Схема базування для обробки на вертикально-фрезерному верстаті

Таблиця 2.9 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1,2,3	II, III, V	Установча база
4, 5	I, V	Напрямна база
6	VI	Вакансія

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
УБ	L	0	1	1
	α	0	1	0
НБ	L	1	0	0
	α	1	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	0	0	1

Розглянемо другий спосіб базування заготовки (рис. 2.7). За установчу базу приймаємо отвір заготовки, який буде подвійною напрямною базою, яка позбавляє 4-х ступенів волі, лівий торець є опорною базою і позбавляє заготовку 1-ї ступені волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.11 і табл. 2.12).

У такий спосіб похибка буде дорівнювати допуску на діаметр отвору, по якому базується заготовка: $\varepsilon = \delta\phi 48 = 0,1$ мм та на розмір 59 мм: $\varepsilon L = \delta 59 = 0,74$ мм.

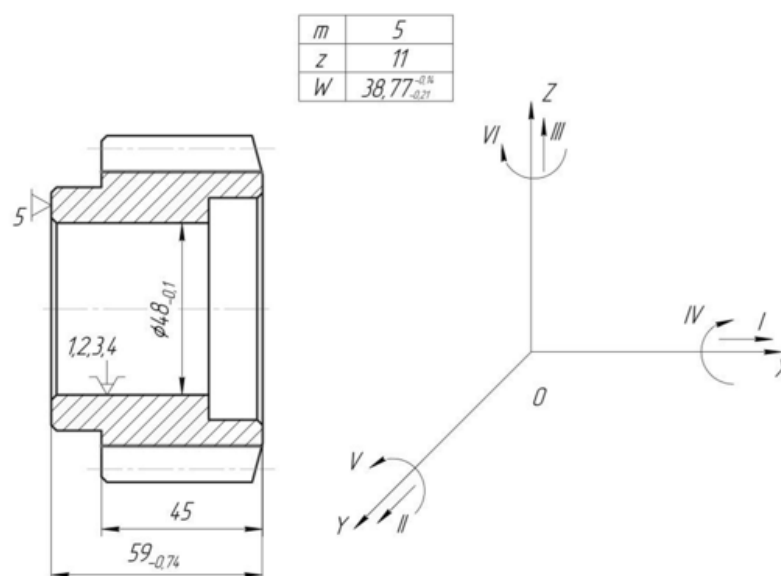


Рисунок 2.7 – Схема базування для обробки на горизонтально-фрезерному верстаті

Таблиця 2.11 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна база
5	I	Опорна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 2.12 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
ПНБ	L	0	1	1
	α	0	1	1
ОБ	L	1	0	0
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

Отже, доцільніше застосовувати перший спосіб базування.

Розглянемо операцію 065 Внутрішньо-шліфувальну. На даній операції шліфується отвір. Для закріплення деталі єдино можливий спосіб є використання мембранного патрону з упором в торець (рис 2.8). За установчу базу приймаємо зубчастий вінець, яка позбавляє заготовку 3-х ступенів волі, а торець є подвійною опорною базою і позбавляє заготовку 2-х ступенів волі. У такий спосіб деталь позбавляється 5-ти ступенів волі, шоста ступінь волі звільняється (табл. 2.13 і табл. 2.14). Похибка базування буде $\varepsilon = 0$.

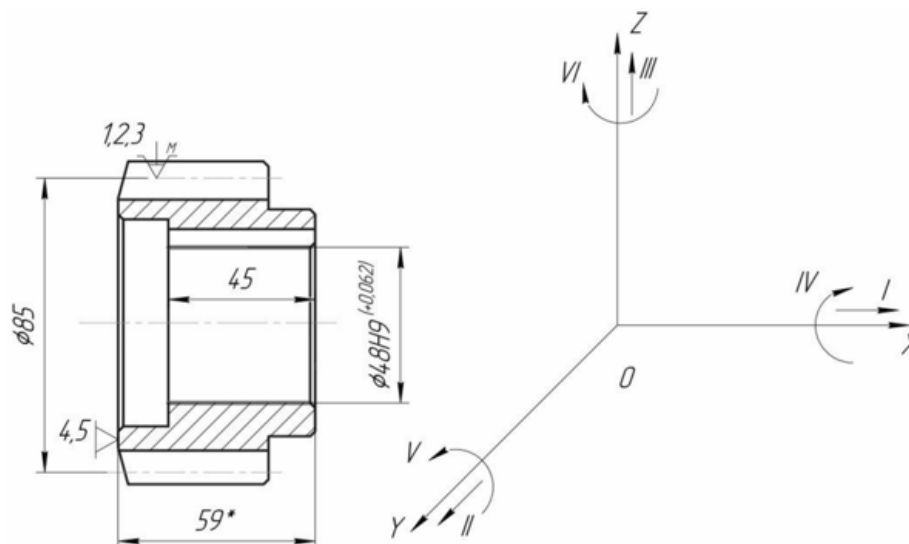


Рисунок 2.8 – Базування заготовки

Таблиця 2.13 – Таблиця відповідностей

Зв'язки	Ступені волі	Найменування баз
1,2,3	I, V, VI	Установча база
4, 5	III, II	Подвійна опорна база
6	IV	Вакансія

Таблиця 2.14 – Матриця зв'язків

Найменування баз		X	Y	Z
УБ	L	1	0	0
	α	0	1	1
ПОБ	L	0	1	1
	α	0	0	0
Вакансія	L	0	0	0
	α	1	0	0

2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Порівнюючи верстати, обираємо обладнання, яке підходить за таким технологічним ознаками: потужність двигуна, необхідна для обробки заданої поверхні; габарити робочого столу; тип виробництва.

На операції 015 можливе застосування токарного патрно-центрального верстата з ЧПУ. Основні їх технічні характеристики наведені в табл.2.15.

Таблиця 2.15 – Основні технічні характеристики верстатів

Показник, одиниця виміру	Параметри	
	16Б16Т1	16К20Ф3
Клас точності	П	П
Найбільший діаметр оброблюваного виробу над супортом, мм	125	220
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	750	1000
Кількість швидкостей шпинделя	18	22
Межі швидкостей шпинделю, об/хв	40...2000	12,5...2000
Діапазон швидкостей поздовжніх / поперечних ходів, мм/хв	2...1200/2...1200	3...2000/3...2000
Найбільше переміщення супорта: поздовжнє (Z) / поперечне (X), мм	700/210	900/250
Електродвигун головного приводу, кВт	7,1	11
Габарити верстата	3100×1390×1870	3700×2260×1650
Маса верстат, кг	2860	5000

Аналізуючи технічні характеристики верстатів, для обробки заготовки вибираємо радіально-свердильний верстат 16К20Ф3.

Основні технічні характеристики верстатів, які можна застосовувати на горизонтально-протяжній операції 025 наведені в табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Основні технічні характеристики верстатів

Показник, одиниця виміру	Параметри	
	7Б55	7А510
Клас точності	Н	Н
Номінальне тягове зусилля, кН	100(10)	100(10)
Найбільша довжина ходу робочих санчат, мм	1250	1250
Діаметр отвору під планшайбу в опорній плиті, мм	160	150
Діаметр отвору в планшайбе, мм	125	100
Відстань від станини до осі отвору під планшайбу в опорній плиті, мм	250	100
Швидкість робочого ходу, м / хв	1,5...11,5	1,5...13
Електродвигун головного приводу, кВт	18,5	17
Габарити верстата	6340×2090×1910	5735×1525×1370
Маса верстат, кг	5200	4218

Аналізуючи технічні характеристики верстатів, для обробки заготовки вибираємо горизонтально – протяжний верстат 7Б55

Основні технічні характеристики верстатів, які можна застосовувати на зубообробній операції 030 наведені в табл. 2.17.

Таблиця 2.17 – Основні технічні характеристики верстатів

Показник, одиниця виміру	Параметри	
	5К310	53А30
Найбільший модуль нарізання коліс	4	6
Найменша кількість зубів, що нарізаються	-	6
Найбільший діаметр виробу, що обробляється, мм	200	320
Найбільший діаметрі різального інструменту, мм	125	160
Частота обертання, об/хв	63...400	52...400
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	7,49	11
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	4	7,5
Габарити верстата	2795×1190×1500	2300×1100×1950
Маса верстата, кг	4350	6200

Аналізуючи технічні характеристики верстатів, для обробки заготовки вибираємо зубофрезерний напівавтомат 53А30.

Основні технічні характеристики верстатів, які можна застосовувати на внутрішньо-шліфувальній операції 065 наведені в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Основні технічні характеристики верстатів

Показник, одиниця виміру	Параметр	
	3К228В	3К227В
Клас точності по ГОСТ 8-82	В	Н
Найбільший діаметр виробу, мм	400	250
Найменший і найбільший діаметр отвору, що шліфується, мм	50..300	20..100
Найбільша довжина,	200	125
Частота обертання внутрішньо-шліфувальних головок, хв. ⁻¹	4500,5300,8200,12000	9000; 12000; 18000; 24000
Переміщення на один поділ лімба, мм	0,001	0,005
Частота обертання виробу (безступінчасте регулювання), об/хв	100..600	140...1000
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	14	8,42
Габарити верстата	3535 x 1460 x 1870	2815×1900×3430
Маса верстат, кг	6400	4700

Аналізуючи технічні характеристики верстатів, для обробки заготовки вибираємо внутрішньо-шліфувальний верстат високої точності 3К228В.

2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

В умовах серійного типу виробництва можуть використовуватися універсальні та спеціальні пристосування, різальний та вимірювальний інструмент.

Операція 015 Токарна з ЧПУ:

- патрон самоцентрувальний трьох-кулачковий ГОСТ 2675-80 ;
- різальний інструмент: різець прохідний відігнутий 2102-0027 Т5К10 ГОСТ 18877-82, різець упорний 2102-0031 Т15К6 ГОСТ 18882-73;
- вимірювальний інструмент: калібр-скоба 8221-3030 ГОСТ 17758-72, штангенциркуль ШЦ-I-160-0,01 ДСТУ ГОСТ166: 2009;

Операція 025 Горизонтально-протяжна:

- пристосування спеціальне 21-1219;
- різальний інструмент: протяжка шпонкова 16D10 2405-1103 ГОСТ 18217-90;
- вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-160-0,01 ДСТУ ГОСТ166: 2009;

Операція 030 Зубофрезерна:

- пристосування спеціальне;
- різальний інструмент: фреза черв'ячна 2510-4095 ГОСТ 9324-80;
- вимірювальний інструмент: нормалемір М1-АВ ГОСТ 7760-81; зубомір М1 АВ 0,01 ГОСТ 4446-81.

Операція 065 Внутрішньо-шліфувальна:

- пристосування: патрон мембранний ГОСТ 16157-70;
- різальний інструмент: круг ПВ 40 x13x32 ГОСТ 2424-83;
- вимірювальний інструмент: калібр-пробка 8133-1041 Н9 ГОСТ 14811-69
- зразок шорсткості Ra 1,6 ГОСТ 9378-93.

2.6 Розрахунки режимів різання

На операцію 015 токарну з ЧПУ розраховуємо режими різання аналітичним методом, яка виконується на токарному верстаті 16К20Ф3, дані заносимо в табл. 2.19. Операція складається з таких переходів: підрізання торця; точіння зовнішньої циліндричної поверхні;

Перехід 1. Точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Призначаємо режими різання.

Визначаємо глибину різання за формулою:

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{мм} \quad (2.4)$$

де D – діаметр заготовки, мм;

d – діаметр деталі, мм.

$$t = \frac{71,2 - 68}{2} = 1,6 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу (табл.11, с.266). $S_o = 0,8$ мм/об. Коректуємо за паспортними даними верстата. Приймаємо $S_o = 0,8$ мм/об.

Визначаємо період стійкості різця. Період стійкості токарного різця приймаємо $T = 60$ хв (с.268).

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S_o^y} K_v, \text{ м/хв} \quad (2.5)$$

де C_v , q , m , x , y , z , p – коефіцієнт та показники степеня на швидкість різання (табл. 17 с. 269). Приймаємо $C_v=340$; $x=0,15$; $y=0,45$; $m=0,2$.

K_v – поправний коефіцієнт на швидкість різання;

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv}, \quad (2.6)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу (табл.1, с.261).

Для обробки сталі маємо:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (2.7)$$

де K_r – коефіцієнт, що характеризує групу сталі за оброблюваністю (табл.2, с.262)

$K_r = 1,0$;

σ_B – межа міцності, МПа; $\sigma_B = 980$ МПа;

n_v – показник степеню на швидкість (табл.2, с.262). При обробці сталі $n_v = 1,0$.

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{980} \right)^{1,0} = 0,76.$$

$K_{пв}$ – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні заготовки матеріалу (табл. 5, с. 263); $K_{пв} = 0,8$;

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу (табл. 6, с. 263); $K_{iv} = 1,0$;

$$K_v = 0,76 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,6 .$$

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 1,6^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,6 = 93 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделю за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв} \quad (2.8)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 93}{3,14 \cdot 71,2} = 416 \text{ об/хв}$$

Коректуємо частоту обертання шпинделю за паспортними даними верстата:
 $n_d = 400 \text{ об/хв.}$

Визначаємо дійсну швидкість головного руху різання за формулою:

$$V_d = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (2.9)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 71,2 \cdot 400}{1000} = 90 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s_0^y \cdot V^n K_p, \text{ Н} \quad (2.10)$$

де C_p , x , y , n – поправні коефіцієнти на силу різання; $C_p = 300$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0,15$ (табл.22, с. 273);

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \text{ Н} \quad (2.11)$$

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{980}{750} \right)^{0,75} = 1,22$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,6^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 90^{-0,15} \cdot 1,22 = 2522 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність різання за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{2522 \cdot 90}{1020 \cdot 60} = 3,71 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу головного руху верстата. Необхідно, щоб виконувалася умова:

$$N_e \leq N_{\text{шп}} \quad (2.13)$$

$$N_{\text{шп}} = N_d \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (2.14)$$

де N_d – потужність верстата за паспортними даними; $N_d = 7,1$ кВт;

η – коефіцієнт корисної дії; $\eta = 0,85$.

$$N_{\text{шп}} = 7,1 \cdot 0,85 = 6 \text{ кВт,}$$

Умова виконується ($3,71 < 6$), отже обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{Li}{nS_o}, \text{ хв} \quad (2.15)$$

де L – довжина робочого ходу різця, мм;

$$L = l + y + \Delta, \text{ мм} \quad (2.16)$$

де l – довжина обробки, мм;

y – величина врізання, мм;

Δ – величина перебігу, мм; $\Delta = 0$ мм.

Величину врізання визначаємо за формулою:

$$y = t \cdot ctg90^\circ, \text{ мм} \quad (2.17)$$

$$y = 1,6 \cdot ctg90^\circ = 0 \text{ мм},$$

$$L = 14 + 0 + 0 = 14 \text{ мм},$$

$$T_o = \frac{14 \cdot 1}{400 \cdot 0,8} = 0,04 \text{ хв.}$$

Для чистового точіння режими різання призначаємо за нормативами, дані заносимо в табл. 2.19.

На горизонтально – протяжну операцію 025 режими різання розраховуємо за [10,14,16].

Визначаємо глибину різання за формулою:

$$h = D - d, \text{ мм} \quad (2.18)$$

$$h = 52,1 - 48 = 4,1 \text{ мм.}$$

Визначаємо подачу (підйом на зуб):

S_z – подача на зуб від 0,05 – 0,2 мм/зуб за [10, с.105]

Приймаємо середню величину $S_z = 0,1$ мм.

Визначаємо швидкість різання за емпіричною формулою:

$$V \frac{C_V}{T^m \cdot S_z^{xv}}, \text{ м/хв} \quad (2.19)$$

де T – період стійкості протяжки $T = 180$;

C_V, m, xv – коефіцієнт та показники степенів для визначення швидкості різання;

$C_V = 7, m = 0,87; xv = 1,4$;

$$V \frac{7}{180^{0,87} \cdot 0,1^{1,4}} = 1,91 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо найбільше число одночасно різальних зубів:

$$Z_1 = \frac{l}{t}, \quad (2.20)$$

де l – довжина протягувальної поверхні;

t – шаг чорнових зубів.

$$Z_1 = \frac{44}{14} = 3,14.$$

Округляємо до ближчого меншого цілого чила. Приймаємо $Z_1 = 3$

Визначаємо найбільшу сумарну довжину лез всіх одночасно ріжучих зубів за формулою:

$$\Sigma B = B \cdot \frac{Z_1}{Z_c}, \text{ мм}$$

де B – периметр різання при протягуванні шпонкового пазу шириною 16 мм.

Z_c – число зубів в секції. Оскільки схема різання – профільна, то тоді приймаємо $Z_c = 1$.

$$\Sigma B = 16 \cdot \frac{3}{1} = 48 \text{ мм.}$$

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = P \cdot \Sigma B, \text{ Н} \quad (2.21)$$

де $P = 354 \text{ Н/мм}$ – сила різання на 1 мм довжини леза при $S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$ і НВ 198 > 229 за [16, табл.54, с.300];

$$P_z = 354 \cdot 48 = 16992 \text{ Н або } 16,9 \text{ кН}$$

Перевіряємо чи достатня потужність приводу головного руху верстата. Необхідно, щоб виконувалася умова:

$$P_z \leq Q \quad (2.22)$$

де Q – тягова сила станка $Q = 100$ кН

Умова виконується ($16,9 \leq 100$), отже обробка можлива.

Визначаємо потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{6120}, \text{кВт} \quad (2.23)$$

$$N = \frac{16992 \cdot 1,52}{6120} = 4,22 \text{ кВт.}$$

Визначаємо потужність електродвигуна станка:

$$N_d = \frac{N}{\eta}, \text{кВт} \quad (2.24)$$

де η – коефіцієнт кпд станка

$$N_d = \frac{4,22}{0,75} = 5,62 \text{ кВт.}$$

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{L \cdot K_1 \cdot i}{1000 \cdot V}, \text{хв} \quad (2.25)$$

де L – довжина робочого ходу протяжки;

K_1 – коефіцієнт, враховуючий відношення робочих швидкостей і допоміжних ходів $K_1 = 1,5$;

i – число проходів.

$$L = l_p + l + y, \text{мм} \quad (2.26)$$

де l_p – довжина ріжучої частини протяжки, мм;

y – довжина перебігу протяжки $y = 30$ мм.

$$L = 574 + 44 + 30 = 648 \text{ мм,}$$

$$T_o = \frac{648 \cdot 1,5 \cdot 1}{1000 \cdot 1,91} = 0,50 \text{ хв.}$$

На зубофрезерну операцію 030 режими різання розраховуємо за [10, 12, 14, 16]. Визначаємо глибину різання. Нарізаємо зуби за один робочий хід. Тому глибина різання буде рівною висоті:

$$t = h = 2,2 \cdot m, \text{ мм} \quad (2.27)$$

$$t = 2,2 \cdot 5 = 11 \text{ мм}$$

Визначаємо величину подачі, карта 1.2, [12]. При обробці сталі приймаємо осьову подачу $S_o \text{ табл} = 1,8$ мм/об. Уточнюємо величину подачі, враховуючи поправні коефіцієнти (карта 1.5, [14]) за формулою:

$$S_o = S_o \text{ табл} \cdot K_{MS} \cdot K_{\beta S} \cdot K_{z1S} \cdot K_{zS} \cdot K_{FS}, \text{ мм/об} \quad (2.28)$$

де K_{MS} – коефіцієнт, що враховує матеріал; при обробці сталі 40X $K_{MS} = 1,0$;

$K_{\beta S}$ – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при $\beta = 30^\circ$ $K_{\beta S} = 0,65$;

K_{z1S} – коефіцієнт, що враховує число заходів фрези; при одному заході $K_{z1S} = 1,0$;

K_{zS} – коефіцієнт, що враховує число зубів сателіту; при $z = 30$ $K_{zS} = 0,8$;

K_{FS} – коефіцієнт, що враховує напрямлення подачі; при попутній подачі $K_{FS} = 1,2$.

$$S_o = 1,8 \cdot 1,0 \cdot 0,65 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,2 = 1,12 \text{ мм/об}$$

Коректуємо подачу за паспортними даними верстата: $S_o = 1,1$ мм/об.

Визначаємо період стійкості фрези (карта 1.3, [12]): $T = 360$ хв.

Визначаємо швидкість головного руху різання (карта 1.4, [2]). Приймаємо $V_{\text{табл}} = 23$ м/хв. Уточнюємо величину швидкості різання, враховуючи поправні коефіцієнти (карта 1.5, [12]) за формулою:

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_{MV} \cdot K_{\beta V} \cdot K_{z1V} \cdot K_V \cdot K_{IV} \cdot K_{TV} \cdot K_{\Delta V}, \text{ м/хв} \quad (2.29)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, що враховує матеріал; при обробці сталі 40Х $K_{MV} = 1,0$;

$K_{\beta V}$ – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при $\beta = 30^\circ$ $K_{\beta V} = 0,8$;

K_{Z1V} – коефіцієнт, що враховує число заходів фрези; при одному заході $K_{Z1V} = 1,0$;

K_V – коефіцієнт, що враховує число проходів фрези; обробка виконується за один прохід, тому $K_V = 1,0$;

K_{IV} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези; матеріал фрези – швидкорізальна сталь Р6М5, тому $K_{IV} = 1,0$;

K_{TV} – коефіцієнт, що враховує період стійкості фрези; при $T = 360$ хв $K_{TV} = 1,17$;

$K_{\Delta V}$ – коефіцієнт, що враховує клас точності фрези; $K_{\Delta V} = 1,0$.

$$V = 23 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,17 \cdot 1,0 = 21,5 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертання фрези за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D}, \text{ об/хв} \quad (2.30)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 21,5}{3,14 \cdot 140} = 49 \text{ об/хв}$$

Коректуємо за паспортними даними верстата: $n_d = 52$ об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість головного руху різання за формулою:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (2.31)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 140 \cdot 52}{1000} = 22 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо потужність, що витрачається на різання (карта 5, [12]). Приймаємо $N_{\text{табл}} = 1,4$ кВт. Уточнюємо величину потужності різання, враховуючи поправочний коефіцієнт (карта 1.5, [12]) за формулою:

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{табл}} \cdot K_{\beta N}, \text{ кВт} \quad (2.32)$$

де $K_{\beta N}$ – коефіцієнт, що враховує кут нахилу зубів сателіту; при $\beta = 30^\circ$
 $K_{\beta N} = 0,95$.

$$N_{\text{різ}} = 1,4 \cdot 0,95 = 1,33 \text{ кВт.}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність привода верстата $N_{\text{пв}}$ за умовою:

$$N_{\text{різ}} < N_{\text{пв}} \quad (2.33)$$

$$N_{\text{пв}} = N_{\text{д}} \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (2.34)$$

де $N_{\text{д}}$ – потужність верстата за паспортними даними; $N_{\text{д}} = 7,5$ кВт;

η – коефіцієнт корисної дії; $\eta = 0,85$.

$$N_{\text{пв}} = 7,5 \cdot 0,85 = 4,25 \text{ кВт}$$

$$1,33 < 6,4$$

Отже обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{Lz}{nS_oK}, \text{ хв} \quad (2.35)$$

де L – довжина робочого ходу фрези;

K – число заходів фрези; $K = 1$.

$$L = b + l_1, \text{ мм} \quad (2.36)$$

де b – довжина обробки, мм; $b = 45$ мм;

l_1 – врізання та перебіг фрези, мм; при модулі $m=5$ мм, для обробки за один робочий хід $l_1 = 37$ мм.

$$L = 45 + 37 = 82 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{82 \cdot 11}{52 \cdot 1,1 \cdot 1} = 15,77 \text{ хв}$$

На внутрішньо-шліфувальну операцію 065 розраховуємо режими різання за [10, 13, 14, 16].

Встановлюємо діаметр D_k та ширину B_k круга. При внутрішньому шліфуванні рекомендується:

$$\frac{D_k}{D_3} = 0,8 \dots 0,9 \quad (2.37)$$

де D_3 – діаметр отвору заготовки. Приймаємо це співвідношення 0,85. Тоді:

$$D_k = 0,80 \cdot 48 = 38,4 \text{ мм}$$

За стандартним рядом основних розмірів кругів приймаємо $D_k = 40$ мм.

Висоту круга B_k для оброблюваних отворів довжиною $l = 25 \dots 75$ мм, приймаємо менше на 10...15 мм, тобто:

$$B_k = 40 - 10 = 30 \text{ мм.}$$

За стандартним рядом основних розмірів кругів приймаємо $B_k = 32$ мм.

Визначаємо частоту обертання шліфувального круга при прийнятій швидкості $V_k = 35$ м/с:

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 V_k}{\pi D_k}, \text{ об/хв} \quad (2.38)$$

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 40} = 16720 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортними даними верстата $n_k = 12000$ об/хв.

Визначаємо дійсну швидкість різання за формулою:

$$V_k = \frac{\pi D_k n_k}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (2.39)$$

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 12000}{1000 \cdot 60} = 25 \text{ м/с}$$

Визначаємо поперечну подачу [13]. Призначаємо за кожен хід стола S_x . Для попереднього шліфування приймаємо $S_{\text{поп}} = t = 0,002 \text{ мм/хід}$; Коректуємо знайдені величини за паспортними даними верстата: $S_{\text{поп п}} = 0,002 \text{ мм/подв.хід}$.

Визначаємо повздовжню подачу за формулою:

$$S_{\text{повз}} = (0,4 \dots 0,75) V, \text{ мм/об} \quad (2.40)$$

$$S_{\text{повз поп}} = 0,50 \cdot 32 = 16 \text{ мм/об}$$

Одержане значення повздовжньої подачі переводимо в м/хв за формулою:

$$S_{\text{хв}} = \frac{S_{\text{повз}} \cdot n_3}{1000}, \text{ м/хв} \quad (2.41)$$

де n_3 – число обертів заготовки, об/хв.

$$n_3 = \frac{1000 \cdot V_3}{\pi \cdot D_3}, \text{ об/хв} \quad (2.42)$$

де V_3 – швидкість обертання заготовки, м/хв;

D_3 – діаметр заготовки, мм.

Визначаємо колову подачу (карта 1.4, [13]). При діаметрі оброблюваного отвору $D_3 = 48 \text{ мм}$ і $\beta=0,5$ приймаємо $V_{\text{табл}} = 26 \text{ м/хв}$. Уточнюємо величину швидкості різання, враховуючи поправні коефіцієнти (карта 1.5, [13]):

$$V_3 = V_{\text{з табл}} \cdot K_{MV} \cdot K_{\Pi}, \text{ м/хв} \quad (2.43)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, що враховує матеріал; при обробці сталі 40Х $K_{MV} = 0,9$;

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує якість поверхні (для чистової обробки); $K_{\Pi} = 0,75$;

$$V_3 = 26 \cdot 0,9 = 23,4 \text{ м/хв}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 23,4}{3,14 \cdot 96,77} = 77 \text{ об/хв}$$

Отримані значення частоти обертання корегуємо за паспортними даними верстата:

Визначаємо дійсну швидкість обертання заготовки за формулою:

$$V_3 = \frac{\pi D_3 n_3}{1000}, \text{ м/хв} \quad (2.44)$$

$$V_3 = \frac{3,14 \cdot 96,77 \cdot 80}{1000} = 24 \text{ м/хв}$$

$$S_{\text{хв}} = \frac{16 \cdot 80}{1000} = 1,3 \text{ м/хв}$$

Корегуємо знайдені значення хвилинної подачі за паспортними даними верстата: $S_{\text{хвПОП}} = 1,5 \text{ м/хв}$.

Визначаємо дійсне значення подачі за формулою:

$$S = \frac{1000 \cdot S_{\text{повз}}}{n_3}, \text{ мм/об} \quad (2.45)$$

$$S = \frac{1000 \cdot 16}{80} = 200 \text{ мм/об}$$

Визначаємо потужність різання, яка витрачається на різання за формулою:

$$N_{\text{різ}} = C_N \cdot V_3^\gamma \cdot t^x \cdot S^y \cdot D_3^q, \text{ кВт} \quad (2.46)$$

де C_N , γ , x , y , q – коефіцієнт та показники степеня для шліфування, (табл. 56, [16]).

$C_N = 0,27$, $\gamma=0,5$, $x=0,4$, $y=0,4$, $q=0,3$.

$$N_{\text{різ}} = 0,27 \cdot 24^{0,5} \cdot 0,002^{0,4} \cdot 200^{0,4} \cdot 96,77^{0,3} = 0,43 \text{ кВт}$$

Перевіряємо, чи достатня потужність привода верстата $N_{\text{пв}}$ за умовою (2.12) та (2.13):

$$N_{\text{пв}} = 9,9 \cdot 0,85 = 8,42 \text{ кВт}$$

$$0,062 < 8,42$$

Отже, обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{2L \cdot h}{n \cdot S \cdot S_{2x}} \cdot K, \text{ хв} \quad (2.47)$$

де L – довжина ходу стола або довжина оброблюваної поверхні з перебігом шліфувального круга в кожную сторону на півширини круга, мм:

$$L = L_3 + B_K, \text{ мм} \quad (2.48)$$

h – припуск на обробку (припуск на сторону);

K – коефіцієнт виходжування; $K = 1,2$.

$$L = 44 + 32 = 76 \text{ мм}$$

$$T_{\text{опоп}} = \frac{2 \cdot 76 \cdot 0,25}{80 \cdot 200 \cdot 0,002} \cdot 1,2 = 1,43 \text{ хв}$$

Отримані результати заносимо до таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Режими різання

Назва операції/ Зміст переходу	Параметри обробки				L , мм	T_o , хв	Вид режиму
	t , мм	S_o , мм/об	n , хв-1	V , м/хв			
015 Токарна з ЧПУ/ точити \varnothing 68 мм	1,6	0,8	400	90	14	0,04	аналітичний
015 Токарна з ЧПУ/ точити торець	1,9	0,8	400	90	38	0,03	табличний
025 Горизонтально – протяжна	4,1	0,1	-	1,91	618	0,50	аналітичний
030 Зубофрезерна	11	1,1	52	22	82	15,77	аналітичний
065 Внутрішньо- шліфувальна	0,002	16	200	25	76	1,43	аналітичний

2.7 Технічне нормування операцій

В серійному виробництві визначається норма штучно-калькуляційного часу розрахунково-аналітичним методом в наступній послідовності [11, 15].

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт-шк}} = \frac{T_{\text{пз}}}{n_3} + T_{\text{шт}}, \text{ хв} \quad (2.49)$$

де $T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час, хв.;

n_3 – розмір партії деталі, що запускається у виробництво, шт.

$T_{\text{шт}}$ – штучний час на операції, хв.

Підготовчо-заключний час визначаємо, враховуючи час на наладку верстата, пристосування та інструменту та додаткові прийоми.

Визначаємо штучний час на операцію за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{орг}} + \alpha_{\text{відп}}}{100} \right), \text{ хв} \quad (2.50)$$

де $T_{\text{оп}}$ – операційний час, хв.;

$\alpha_{\text{орг}}$ – витрати часу на технічне обслуговування робочого місця, %;

$\alpha_{\text{відп}}$ – витрати часу на відпочинок та особисті потреби, %.

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{д}}, \text{ хв} \quad (2.51)$$

де T_0 – основний час на операцію, хв.;

$T_{\text{д}}$ – допоміжний час на операцію, хв.;

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{пк}} + T_{\text{вим}}, \text{ хв} \quad (2.52)$$

де $T_{\text{уст}}$ – час на установку та зняття деталі, хв.;

$T_{\text{пк}}$ – час на прийоми керування, хв.;

$T_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, хв.

Нормування токарної з ЧПК операції.

Визначаємо допоміжний час:

$$T_d = 0,15 + 0,186 + 0,24 = 0,58 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{оп} = 0,07 + 0,58 = 0,65 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 0,65 \cdot \left(1 + \frac{5 + 8}{100}\right) = 0,73 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо враховуючи час на наладку верстата, пристосування та інструменту та додаткові прийоми, $t_{пз}=24$ хв.

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{24}{184} + 0,73 = 0,86 \text{ хв}$$

Нормування горизонтально – протяжної операції.

Визначаємо допоміжний час:

$$T_d = (0,12 + 0,23) \cdot 1,32 = 0,46 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{оп} = 0,50 + 0,46 = 0,96 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 0,96 \cdot \left(1 + \frac{3,5 + 4}{100}\right) = 1,03 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо враховуючи час на наладку верстата, пристосування та інструменту та додаткові прийоми, $t_{пз}=12$ хв.

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{12}{104} + 1,03 = 1,14 \text{ хв}$$

Нормування зубофрезерної операції.

Визначаємо допоміжний час:

$$T_d = 0,32 + 0,16 + 0,05 = 0,53 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{оп} = 15,77 + 0,53 = 16,3 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 16,3 \cdot \left(1 + \frac{8 + 5}{100}\right) = 18,42 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо враховуючи час на наладку верстата, пристосування та інструменту та додаткові прийоми, $t_{пз}=20$ хв.

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{20}{104} + 18,42 = 18,62 \text{ хв}$$

Нормування внутрішньо-шліфувальної операції.

Визначаємо допоміжний час:

$$T_d = 0,15 + 0,07 + 0,18 = 0,40 \text{ хв}$$

Визначаємо операційний час:

$$T_{оп} = 1,43 + 0,40 = 1,83 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = 1,83 \cdot \left(1 + \frac{5 + 8}{100}\right) = 2,1 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час визначаємо за враховуючи час на наладку верстата, пристосування та інструменту та додаткові прийоми, $t_{пз}=10$ хв.

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-шк} = \frac{10}{104} + 2,1 = 2,2 \text{ хв}$$

2.8 Проектування верстатного пристрою для установлення і закріплення заготовки

Для забезпечення заданої точності поверхні після обробки, необхідно спроектувати спеціальне пристосування, яке буде використовуватися на зубофрезерній операції. Використання спроектованого пристосування забезпечить зменшення часу на допоміжні операції.

Умовою досягнення точності оброблюваної деталі є досягнення точного базування деталі в пристосуванні, при тому що точність верстата повинна задовольняти отримувані параметри [2, 4].

Згідно вимог креслення на заданій операції необхідно отримати зубчастий вінець з модулем $m = 5$ мм, кількість зубів $z = 11$ зуби, точністю 8-х за ГОСТ 1643-81.

Точність форми. Конструктором на кресленні не проставлена точність форми зубчастого вінця, тому назначаємо її згідно з ГОСТ 24643-81 – А (нормальна точність).

Точність розміщення поверхонь. Конструктором на кресленні не проставлена точність розміщення поверхонь, тому виконуємо обробку відповідно ГОСТ 24643-81.

Шорсткість поверхні зубчастого вінця – $Ra = 3,2$ мкм.

Виявлення кількісних та якісних даних про заготовку.

Перед зубофрезерною операцією заготовка оброблюється на токарному верстаті з ЧПК для обробки торця та отвору, які є чистовими базами.

Точність розмірів базових поверхонь.

- торець виконаний в розмір 59 мм з допуском $T=0,74$ мм (14 квалітет точності);
- отвір виконаний в розмір $\varnothing 48$ мм. Допуск складає $T=0,1$ мм (10 квалітет точності).

Точність форми. На кресленні конструктором не проставлена точність форми базових поверхонь, тому вибираємо її за ГОСТ 24643-81– А (нормальна точність).

Точність розміщення поверхонь. Конструктором на кресленні не проставлена точність розміщення поверхонь, тому виконуємо обробку відповідно ГОСТ 24643-81.

Шорсткість базових поверхонь: торця – Ra 12,5 мкм; отвору – Ra 3,2 мкм.

Верстат має систему охолодження. Стружка видаляється з зони різання, стола верстата при виключеному обладнанні. Захисний кожух не дозволить в процесі обробки розлітатися стружці та охолоджуючій рідині.

Робоча температура навколишнього середовища $t = 20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск $P_{\text{ат}} = 86\dots 106$ кПа, швидкість руху повітря – 0,5 м/с, частота вібрації, виниклих в результаті роботи обладнання в цеху $f=20-30$ Гц, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс [2].

Складання переліку виконуваних функцій.

Даний перелік функцій дозволяє попередньо ознайомитись з об'ємом робіт по використанню пристосування та зробити аналіз функцій.

- 0 – Переміщення та попередня орієнтація пристосування.
- 1 – Базування заготовки.
- 2 – Закріплення заготовки.
- 3 – Базування пристосування на верстаті.
- 4 – Закріплення пристосування на верстаті.
- 5 – Підвід та відвід енергоносіїв.
- 6 – Утворення сили для закріплення.
- 7 – Управління енергоносіями.
- 8 – Обробка заготовки.
- 9 – Досягнення безпечних умов праці.
- 10 – Об'єднання функціональних вузлів.

Визначаємо силу P_z за формулою:

$$P_z = \frac{1000 \cdot 60 \cdot N}{V}, \text{ Н} \quad (2.53)$$

де N – потужність різання, кВт.

$$P_z = \frac{1020 \cdot 60 \cdot 0,43}{20} = 2854 \text{ Н}$$

Вертикальна складова:

$$P_h = P_z(1,1 \dots 1,2), \text{ Н} \quad (2.54)$$

$$P_h = 1,2 \cdot 2854 = 3425 \text{ Н}$$

Горизонтальна складова:

$$P_y = 0,25P_z, \text{ Н} \quad (2.55)$$

$$P_y = 0,25 \cdot 2854 = 714 \text{ Н}$$

Колова сила визначається за формулою:

$$P_x = P_z(0,2 \dots 0,4) \cdot \text{tg}\omega, \text{ Н} \quad (2.56)$$

$$P_x = 2854 \cdot 0,40 \cdot 0,1072 = 122 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу визначається за формулою :

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.57)$$

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

K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання через випадкові нерівності припуску, $K_1 = 1,2$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення інструменту, $K_2 = 1,6$;

K_3 – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при перервному різанні, $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, що залежить від постійності сили затиску, $K_4 = 1,0$;

K_5 – коефіцієнт, що залежить від ергономіки ручного приводу, $K_5 = 1,0$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує наявність крутного моменту, $K_6 = 1,0$.

Тоді коефіцієнт запасу:

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,46$$

Виконуємо розрахунок необхідного зусилля затиску.

$$(P_h \cdot l + P_y \cdot h) \cdot K \leq Q_1 \cdot l_2 \quad (2.58)$$

$$Q_1 = \frac{K \cdot (P_h \cdot l + P_y \cdot h)}{l_2}, \text{ Н}$$

$$Q_1 = \frac{3,46 \cdot (3425 \cdot 44,2 + 714 \cdot 74)}{50} = 14126 \text{ Н}$$

Визначаємо діаметр пневмоциліндра за формулою:

$$Q = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta, \text{ Н} \quad (2.59)$$

де Q (W) – зусилля затиску заготовки в пристосуванні, Н;

D – діаметр пневмоциліндра, мм;

d – діаметр штока, мм;

p – тиск стиснутого повітря, МПа; $p = 0,4$ МПа;

Тоді діаметр пневмоциліндра визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{0,785 p \eta}}, \text{ мм} \quad (2.60)$$

$$D = \sqrt{\frac{14126}{0,785 \cdot 0,40 \cdot 0,80 \cdot 0,96}} = 235 \text{ мм}$$

Приймаємо $D = 250$ мм, діаметр штоку $d = 50$ мм [2].

Визначаємо фактичне зусилля на приводі за формулою:

$$Q_\phi = 0,25 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta, \text{ Н} \quad (2.61)$$

$$Q_{\phi} = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (250^2 - 50^2) \cdot 0,40 \cdot 0,9 = 16956 \text{ Н}$$

Опис та принцип дії пристрою. Пристрій складається з корпусу (поз.4), в якому розташовується пневмоциліндр, в різьбову частину штока (поз.9) пневмоциліндра вкручена тяга (поз.11). У верхній частині корпусу (поз.4) закріплена оправка (поз.10). На оправці встановлюється деталь і затискається за допомогою швидкозмінною шайби (поз.32). У нижній частині корпусу розташований вузол підведення повітря (поз.1), який регулює подачу повітря в порожнині пневмоциліндра.

Тип затискного пристрою – подвійне з пневматичним приводом. Тангенціальна жорсткість пристосування мала.

Принцип дії пристосування:

На оправці встановлюється деталь, і закріплюється швидкозмінною шайбою. Далі відбувається подача стисненого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра, після чого шток переміщується вниз через тягу і шайбу затискає деталь. Проводиться операція фрезерування зубів, по закінченню якої фреза повертається у вихідне положення. Після чого штокова порожнина через вузол підведення повітря, з'єднаний з атмосферою, а в безштокову порожнину подається стиснене повітря, яке переміщує поршень вгору, звільняючи деталь від зусилля затиску. Далі знімається швидкозмінна втулка і оброблену деталь знімають з оправки пристосування, а необроблену встановлюють, після чого процес обробки повторюється.

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Сучасний стан досліджень у галузі проектування та оптимізації конструкцій верстатних пристроїв

У світі розвинуті різні підходи до дослідження та проектування верстатного пристрою «ВП» для операції механічної обробки деталей різних класів. До аналізу сучасного стану досліджень в галузі проектування ВП та визначення актуального напрямку дослідження розглянуті основні підходи до проектування, а саме дослідження точності, гнучкості та оптимізації конструкцій ВП.

Автори статті [35] провели дослідження у галузі проектування затискного елемента ВП та було запропоновано використати принцип «форми затискних елементів» і величин сил закріплення, для виявлення їхнього кращого місця положення на заготовці та в залежності від цього оптимальну силу величини. При цьому використовувався алгоритм, дуже схожий алгоритму за яким працюють елементи захвату в роботів. Результат розроблення додатків програм, які дозволяють з'єднати цей алгоритм з бібліотекою елементів затиску та провести підбір або автоматичне проектування затискних елементів із параметрами під данну деталь.

В роботі [36–38] розроблено авторами скінченноелементна модель системи «затискні елементи ВП – заготовка», що дає змогу виявити деформації на поверхні заготовки залежно від сили закріплення і провести автоматизовану оптимізацію. В такому чині модель урахує коефіцієнт змінення тертя між затискними елементами ВП і заготовкою в результаті чого змінання мікронерівності на контактуючих поверхнях. При цьому за рахунок оптимізації закріплення величини сили можна попередити появленню пластичної деформації заготовки та зробити надійне закріплення, адже змінання мікронерівностей на контактуючих поверхнях, яке виклика зменшенню контактного тиску буде враховано. Ще, в роботі [24] показано методику і алгоритм розроблення прискорених розрахунків, що знижує вимоги до оперативної пам'яті комп'ютера.

У своїй роботі M. Vasundara et. al. [39] зробили дослідження найбільшої величини пружної деформації заготовки в закріпленні її у різних ВП за допомогою застосування комплексних методів: скінченноелементного аналізу, штучної нейронної мережі і методології поверхні відгуку. При чому, здійснювався підбір кращої конструкції ВП, де перевага була надана тій конструкції ВП, де деформації мінімальні за інших рівних умов. Штучні нейронні мережі допустили суттєво прискорити розрахунки.

У роботі Li B. та Melkote S. [40] показали метод повторної оптимізації визначення місця розташування елементів затиску ВП при розрахунках динамічних параметрів системи ВП – заготовка. Автори довели ефективність використання оптимізаційних методів для 3D моделей заданих систем при їхніх розрахунках у програмах скінченноелементного аналізу. Найбільша величина позиційного вектора похибки обробки була зменшена на 58% за рахунок оптимізаційного методу.

Nalbandh та Rajuaguru [41] у роботі запропоновано застосувати «генетичний алгоритм» проектування і оптимізація конструкції ВП, що ґрунтується на імовірнісних методах розрахунку. Це може бути завпроваджено за рахунок використання методів, ідентичних до проектування технологічного процесу ТП в системах автоматизованого проектування.

Робота [42] присвячена розробленню способу моделювання та оптимізації ВП для закріплення деталі при виконванні зубо – фрезерної операції із змінними конфігураціями ВП і режимів механічної обробки. В дослідженні застосовуються системи комп'ютерного моделювання і проектування CAD/CAE. В моделі задаються непостійні умови, схожий до реального процесу різання, та здійснюється модальний аналіз із метою виявлення кращої конструкції ВП.

У роботі Papastathis [43] наголошує важність впровадження переналагоджуваних ВП, але робить акцент в складності вибору оптимальної конструкції ВП для оброблення тонкостінних деталей, які мають недостатню жорсткість. Таким чином вирішують питання саме регулювання величини сил закріплення в необхідності від величини сил різання.

Робота [44] присвячена виконанню методам балансування миттєвих сил і законів тертя для виявлення кращої величини сили закріплення для мінімізації деформації заготовки. З допомогою гармонічного аналізу в програмі ANSYS Workbench та з використанням методики поділу шляху інструмента в 5 кроків навантаження (адже під час фрезерування глибина різання перетворюється від нуля до максимуму або навпаки, в залежності від прийнятої схеми фрезерування) визначаються оптимальні величини сили закріплення. В роботі враховується ефект видалення матеріалу.

Н. Deng у роботі [45] схожій роботі [44] на відміну від інших попередників, які розглянули систему «ВП – заготовка» як квазістатичну, розглянув вплив видалення оброблюваного матеріалу на динаміку і поведінку системи «ВП – заготовка» в процесі механічної обробки. Зробив оптимізацію визначенню стійкості положення ВП та моделюванню динамічної дії або удару в ході механічної обробки.

В процесі аналізу літературних джерел показано, що на даний час науковці займаються розробкою моделей процесу взаємодій в системі «ВП – заготовка», крім того дослідженнями точності механічної обробки при змінні параметрів ВП. Вирішенням питання оптимізації в цілому присвячено оптимізації сил закріплення та стабільного положення ВП у процесі обробки. Проте недостатньо приділилося уваги підвищенню гнучкості ВП та зниженню їхньої металомісткості при забезпеченні достатньої точності в межах всього діапазону розмірної групи деталей, що на даний час є актуальною задачею. Використання гнучких ВП дозволяє зменшити допоміжний час на переналагодження, це може призвести до дуже вигідним з точки зору собівартості продукції і при дуже невеликих партіях та частій зміні номенклатури, а зменшення їх металомісткості посилить економічний ефект.

3.2 Важливість верстатних пристроїв у виробничому процесі

ВП мають важливу роль в виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, зокрема в умовах багатомоделного виробництва, що вимагає швидкого переоснащення в переході до обробки деталей іншої номенклатури.

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатомоделністю виробів і непостійних обсягів випуску продукції. Із зростанням номенклатури виробів при використанні спеціальних ВП збільшується час на проектування і виготовлення технологічної оснастки, які призводять до зростання собівартості готової продукції. Переналагодження ВП, до якого належать універсальнозбірні пристрої (УЗП), передбачає їх порівняно часткове або повне перекомпонування в переході до обробки деталі іншого типорозміру, яке також потребує витрати часу. До цього ж жорсткість збірних ВП крізь велику кількість з'єднань і наявність Т – подібного пазу часто є недостатньою для продуктивної обробки з режимом різання, які рекомендують світові виробники різального інструменту. Проблема також є в надлишковому металомісткості зазначених вище ВП. Отже і останній час сучасні виробництва впроваджують гнучкі ВП, що забезпечують переналагодження на другий типорозмір деталі та мають задовільну жорсткість при найменшій можливій масі. В той же час впровадження гнучких ВП має бути обґрунтовано за принципом досягнення потрібної точності і якості поверхні, заданим конструктором в кресленнях деталей, які можуть бути оброблені в ВП цього типу.

Треба підмітити, що враховуючи розширення технологічної спроможності сучасних верстатів, їхню високу вартість та необхідність здійснення максимальної кількості переналагоджень в переході до обробки деталі іншого типорозміру, швидкого розвитку набуває інтенсифікація виробництва. Інтенсифікація передбачає збільшення гнучкості ВП, зменшення підготовчо-заклучного і допоміжного часу, крім того змогу багатокоординатну обробку деталей за один установ, яке має забезпечувати саме конструкцією ВП, що має давати найбільшу інструментальну доступність до всіх оброблюваних поверхонь.

Нині в світовому машинобудуванні максимально розповсюдженими типами виробництва є дрібносерійний і седньосерійний тип виробництва. Тенденції в розвитку ефективного виробництва в Україні і світі є:

- зростання номенклатури виробів;
- скорочення непродуктивних витрат часу (допоміжного і підготовчозаключного);
- розширення багатокординатних верстатів з ЧПК;
- зменшення кількості технологічної оснастки.

3.3 Методика проведення та виявлення резервів оптимізації верстатних пристроїв

Головним напрямком зростання ефективності обробки заготовок в багатомноменклатурному виробництві є саме автоматизація виробничих процесів. Зростання автоматизації здійснюється за рахунок використання верстатів з ЧПК і швидкого переналагоджування в переході до обробки заготовок іншого типорозміру або конфігурації у рамках технічних характеристик переналагоджуваних модулів.

Досягнення умов до проектування ВП, які розглядалися в другому розділі, породжує наступну залежність і протиріччя [46, 47]:

- велика точність ВП залежить від його жорсткості;
- велика жорсткість ВП забезпечується за рахунок зростання розміру в усіх елементів ВП;
- зростання розмірів ВП приводить до зростання металомісткості ВП, а це є недопустимим, адже спричиняє збільшенню собівартості ВП, в результаті – зростання собівартості деталі, що у ньому виготовляються. У тому числі надмірна металомісткість ВП виявляє потребу застосовувати підйомні механізми в транспортуванні і встановленні на верстаті, крім того верстати з більшою

вантажопідйомністю робочого стола, які також погано впливають на собівартість кінцевого продукту, зменшуючи його конкурентоспроможність.

В вирішенні вищевказаного протиріччя може бути застосовані методи оптимізації. Проблема зменшення металомісткості і відповідно маси конструкцій була завжди, але на цей час вона стала ще більш актуальною. Інженери проектувальники за підтримкою складних математичних розрахунків розрахували оптимальні розміри елементів ВП, проте цей підхід має досить великі похибки тому що, для спрощення розрахунків та економії часу деталі складної геометричної форми розкладалися в найпростіші складові, що визначалися по окремому. В результаті цього для цих деталей машинобудування прийняли коефіцієнт запасу міцності 2–2,5, а це, в тому числі, збільшує металомісткість в стільки ж разів. Термін служби ВП розраховується або терміном його роботи до капітального ремонту, або періодом випуску деталей, в ньому обробляються, а це, зазвичай як правило, не більше 5 років. Тому ВП з завищеною металомісткістю є економічно не вигідно, саме тому морально застарівають, не відпрацювавши свій запланований термін роботи.

Сучасні комп'ютерні технології дозволяють конструкторам технологічної оснастки застосувати автоматизовані засоби оптимізації, що мають забезпечувати швидкий і точний обчислення спроектованої конструкції на міцність, аналіз напружено-деформованого стану НДС, розрахунок власної частоти та власної амплітуди коливань ВП. Точність розрахунку і їхньої продуктивності при використанні комп'ютерних програм безперечно найвища, ніж при традиційному підході.

В тому числі на основі розробленого технічного рішення [48] запропоновано методику проведення і виявлення резервів оптимізації ВП за критерієм мінімізації маси ВП при забезпеченні допустимості його жорсткості.

Оптимізаційні розрахунки ВП з допомогою комп'ютерних програм запропоновано здійснювати за вдосконалени алгоритмом (рис. 8.1), який має визначити кращі розміри і конфігурацію ВП.

Розміри і металомісткість ВП можуть бути зменшені (при виконанні перш за все умови досягнення необхідної точності) за рахунок проведення наступних заходів при проектуванні:

- скорочення довжини вильотів консольних частин елементів ВП;
- примінення в конструкціях ребер жорсткості, які розташовані в протилежному напрямку дії сили. В тому числі можна запобігти необхідності зростанню перетин деталі, які піддаються навантаженням;
- проектування деталей із карманами і пустотілих конструкцій або хоч би при можливості мінімізувати товщину стінок;
- примінення матеріалів з високою межею міцності;
- примінення композиційних матеріалів;
- спрощення конструкції;
- скорочення кількості стиків.

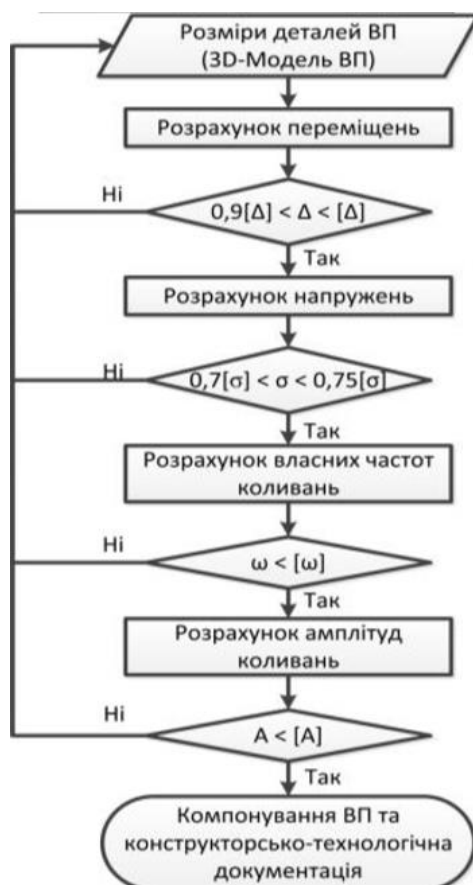


Рисунок 3.1 – Алгоритм параметричної оптимізації конструкції ВП

Обмеженнями в проведенні оптимізації є:

- конструктивні особливості деталі, які вимагають застосування ВП ускладненої конструкції;
- ціна матеріалів, що мають велику межу міцності і складність їхньої механічної обробки;
- недостатнє розповсюдження композиційних матеріалів в машинобудуванні і їх ціна;
- обмежені технологічні можливості обладнання в конкретному підприємстві.

Через те що у багатьох проектних ситуаціях є місце протиріччя між основними вимогами. Приміром ВП, має велику масу і може мати також гарну стійкість, але бути не вигідним із експлуатаційної та економічної точок зору. Отже ці питання повинні розв'язуватися оптимізаційними розрахунками. Звідти необхідно математично написати цільові функції (3.1) і технічні обмеження (3.2) для конкретної задачі, а саме досягнення найменшої металомісткості ВП при дотриманні ним точнісних параметрів в обробці деталі.

$$M_{ВП} = \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot V_i) \rightarrow \min \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} 0,7 \sigma < \sigma < 0,75 \sigma \\ 0,9 \Delta < \Delta < \Delta \\ \omega > \omega \\ A < [A] \end{aligned} \quad (3.2)$$

Отже згідно алгоритму, обмеження будуть виражені величиною допустимого напруження $[\sigma]$, яке обмежує межею міцності і текучості матеріалу, таким чином фактичне напруження σ має знаходитися в рамках $(0,7 - 0,75) [\sigma]$, яке відповідає коефіцієнту запасу міцності $(1,3 - 1,4)$, значення якого обґрунтовані присутністю точних розрахункових моделей. До того ж тісний діапазон відхилень

еквівалентного напруження яке задовольняє принцип рівномірності конструкції. Величина фактичних деформацій Δ_f має знаходитись у рамках $(0,9 - 1) [\Delta]$. Допустиме значення деформації $[\Delta]$ розраховується допуском на обробку та якщо $\Delta < 0,9 [\Delta]$, то це є резерв для зменшення розміру елементів ВП, отже допуски на обробку в такому випадку мають бути гарантовано витримані. Якщо $\Delta > [\Delta]$, треба збільшувати розміри елементів ВП, чи створювати його перекомпонування.

Аналіз конструкції ВП для багатокоординатної обробки деталей типу важелів різних типорозмірів розробляється на базі запропонованого верстатного пристрою (рис. 3.2).

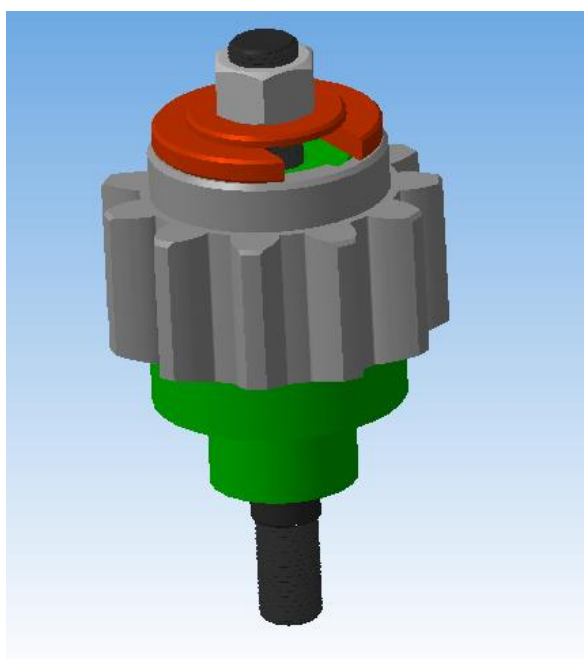


Рисунок 3.2 – Розроблений ВП для зубофрезерної операції

У процесі створення аналізу виконано деталювання ВП у згоді з рис. 3.2 і розглянуто спроможність змінення розмірів кожної із деталей окремо. В тому числі враховано потребність змінення приєднувальних розмірів других деталей, які контактують із аналізованою [49, 50].

У згоді із рис. 3.2 виконувався детальний аналіз спроможності змінення розмірів усіх деталей, опираючись при цьому на розміри стандартних деталей, які присутні в компонованні ВП.

3.4 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) розроблялось для визначення кращих розмірів ВП, що будуть забезпечувати усім точнісним параметром для обробки деталі. В тому числі визначилися похибки в ході обробки, які появляються в результаті деформацій елементів ВП, і виконувалися порівняння їх із допустимими значеннями на доручній операції механічної обробці для деталі шестерня. Допустимі значення похибок лімітуються допусками відповідно до кресленням деталі «Шестерня». До того ж дослідження НДС ВП передбача перевірку на міцність, знаходження концентраторів напружень і елементів, де напруження більші, аніж допустимі для данного матеріалу, і при їх присутності удосконалення конструкції. На цьому етапі досліджень виконувалася перевірка еквівалентних напружень, що відбуваються в місцях контакту між установлювальнотатискними елементами і заготовкой в результаті дій сил закріплення і силового фактору процесу різання (сили різання і моменти), а в тому числі умови за допустимими напруженнями для деталей з даних матеріалів. Для цього поруч із вирішенням задачі із визначення НДС виконувась контактна задача. Механічні властивості матеріалів, які використовуються в моделі, наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів заготовки та елементів ВП

Матеріал	Модуль пружності E, ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Густина ρ , кг/м ³	Границя міцності при розтягуванні [$\sigma_{\text{раст}}$], ГПа	Границя міцності при стисненні [$\sigma_{\text{ск}}$], ГПа	Границя текучості [σ_T], ГПа
Сталь 40Х ГОСТ 4543-71	200	0,3	7850	0,980	0,980	0,785
Сталь 45 ГОСТ 1050-88 (термооброблена)	200	0,3	7850	0,950	0,950	0,726

В першому етапі при вирішенні вищевказаних задач у згоді оптимізаційного алгоритму було розроблення скінченноелементної обчислювальної моделі ВП. Кінематичні і силові граничні вмови моделі ВП говорять реальним схемам закріплення з зовнішнім навантаженням і задавалися жорстким кріпленням у нижній поверхні основи ВП, яку еквівалентно встановленню ВП на стіл верстата. Всі елементи ВП кріпко зв'язані між собою шляхом зеднання вузлів, а на поверхнях, що зв'язані одна з одною за рахунок дії сил тертя, встановлена змога переміщення із даним коефіцієнтом тертя між цими поверхнями. Допустимі переміщення елементів ВП з зазначенням типу контактів та характеристик контактних пар, до того ж коефіцієнтів тертя [16] між елементами.

З допомогою обчислювального комплексу ANSYS було отримано результати переміщень і напружень, які виникають в даних деталях і у місцях їх контакту. Значення найвеликих еквівалентних напружень, визначених за IV гіпотезою міцності Мізеса, і максимальних переміщень, які з'явилися при моделюванні процесу механічної обробки з сталі 40Х показано в табл. 3.2. Як правило, рисунки із скінчено елементною сіткою, обчислювальними схемами навантажень, переміщеннями і напруженнями в обробці шестерні показано на рис. 3.3 – 3.6.

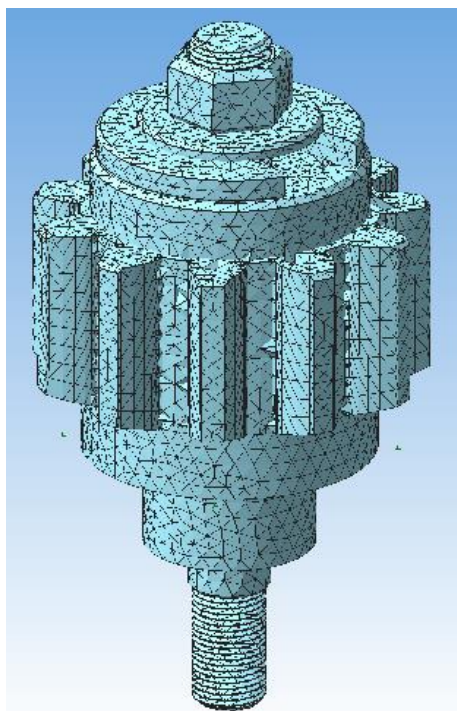


Рисунок 3.3 – ВП та деталь зі скінчено елементною сіткою

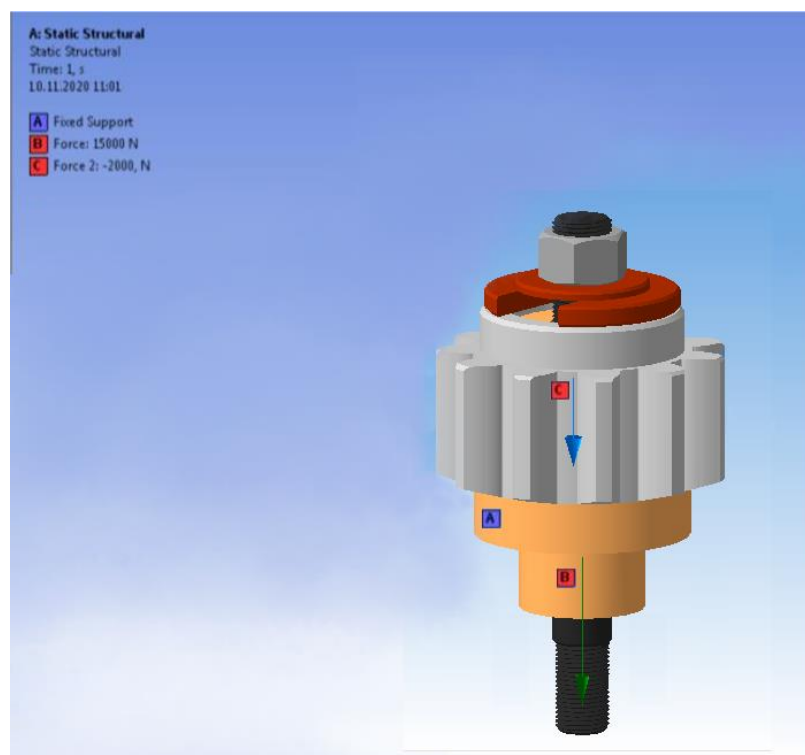
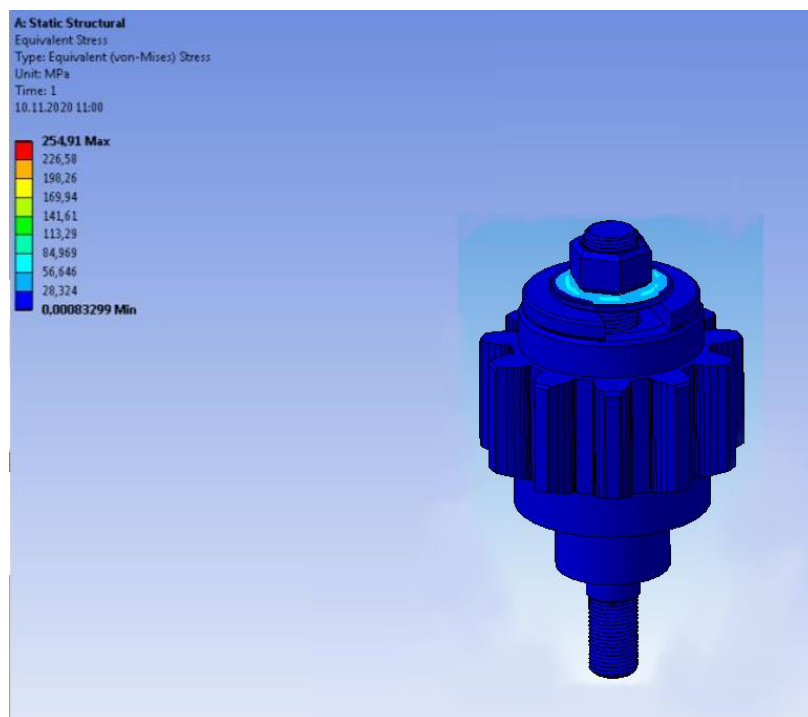
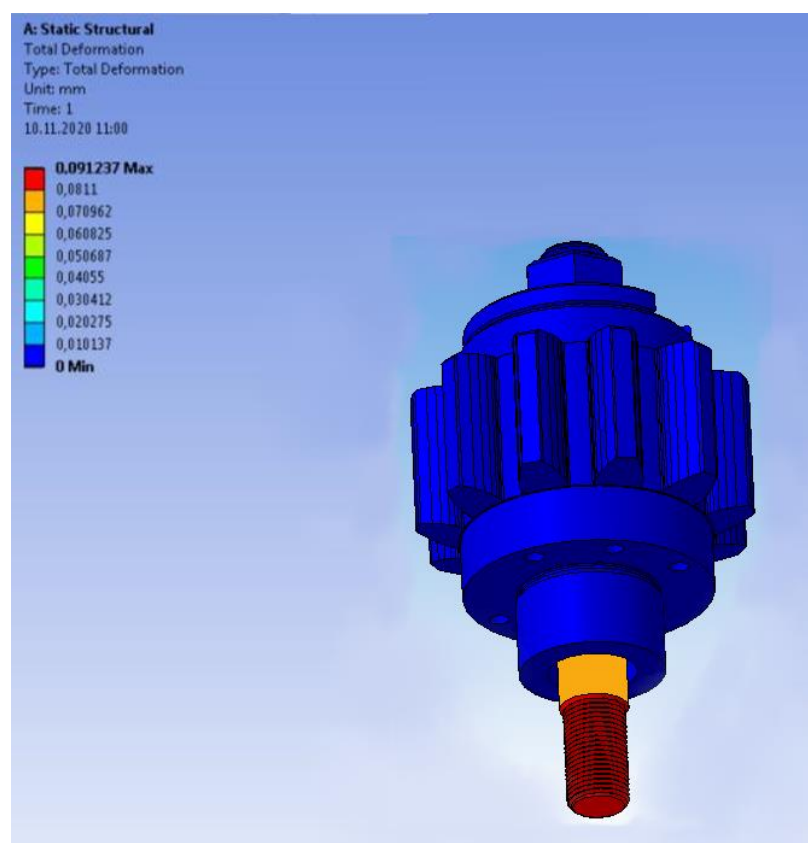


Рисунок 3.4 – Схема прикладення навантажень від сил закріплення та сил різання



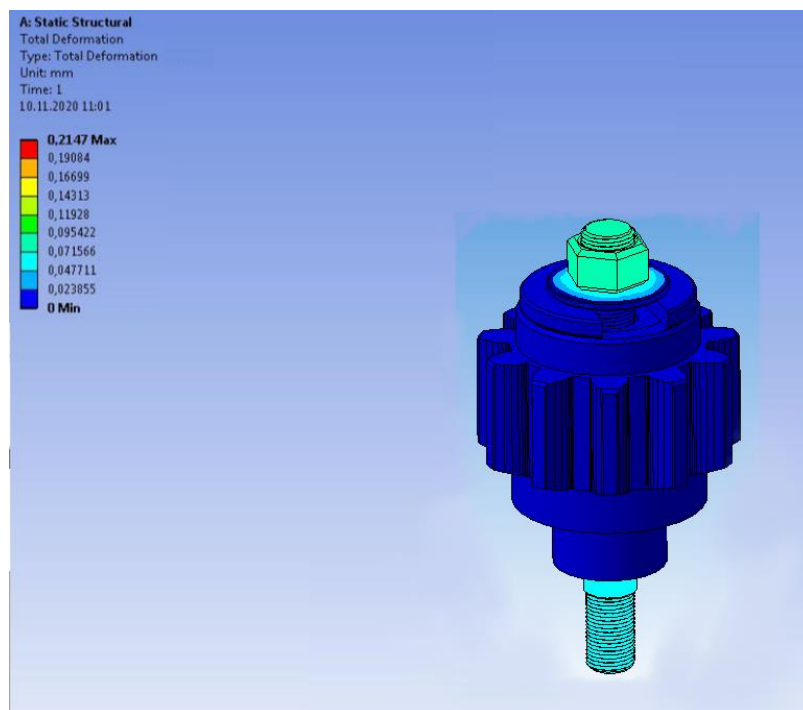
а)



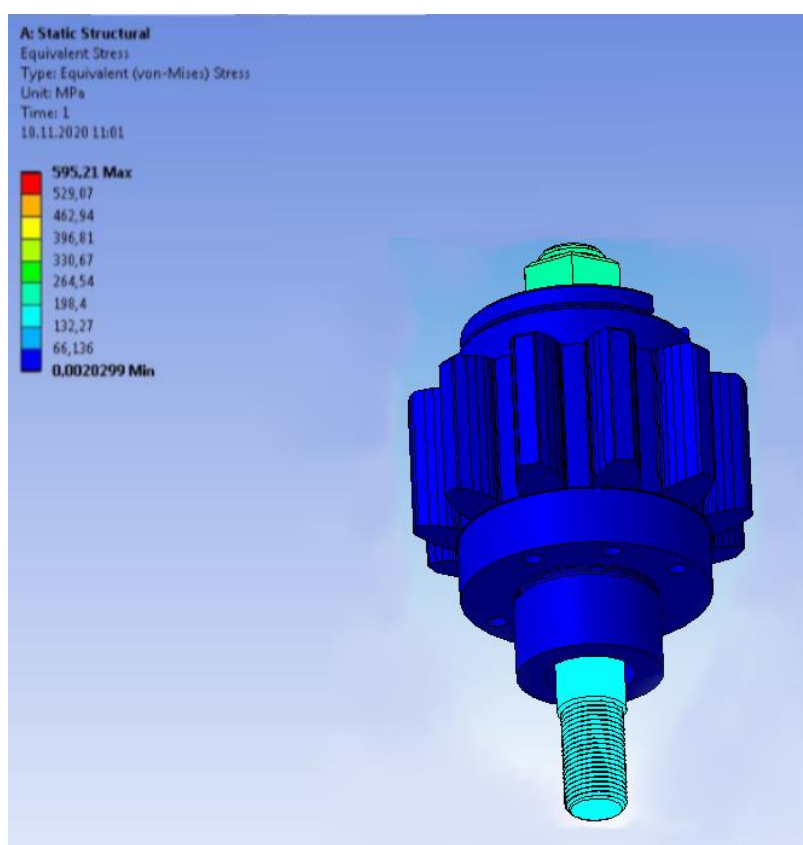
б)

Рисунок 3.5 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка»: а) – вид зверху;

б) – вид знизу



а)



б)

Рисунок 3.6 – Напруження елементів системи «ВП-заготовка»: а) – вид зверху;

б) – вид знизу

Таблиця 3.2 – Результати чисельного моделювання в програмному комплексі ANSYS для розробленого ВП

Технологічний перехід	Максимальні переміщення, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
Фрезерування зубів Ø96,77 мм	0,07	0,2	416	650

3.5 Модальний аналіз запропонованого верстатного пристрою

В уникненні виникнення явища резонансу у процесі механічної обробки важеля потрібно, щоб частота власних коливань елементів ВП не була схожою з частотою процесу різання. Одним з шляхів у рішенні цієї проблеми є призначення других режимів різання. Для цього за допомогою вбудованого модуля в комплексі ANSYS розраховуються частоти власних коливань запропонованого ВП і зрівнюються із частотою, які виникають в процесі механічної обробки (табл. 3.3). У результаті цього аналізу в необхідності дозволяють відлаштуватися від резонансу. Ілюстрації із виглядом форм власних коливань для досліджуваної системи «ВП – заготовка» показані на рис. 3.7 – 3.9.

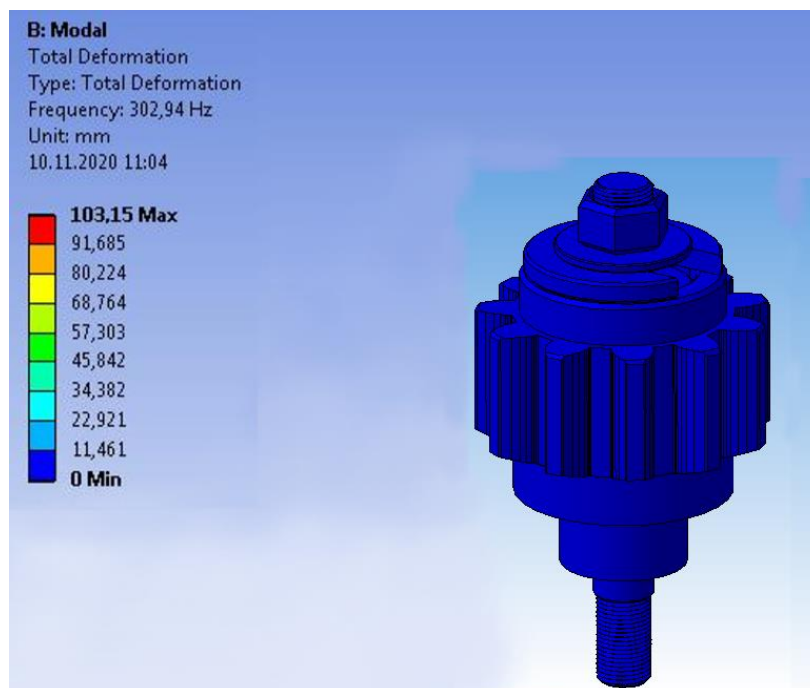


Рисунок 3.7 – Ілюстрація 1-шої критичної частоти системи «ВП – заготовка»

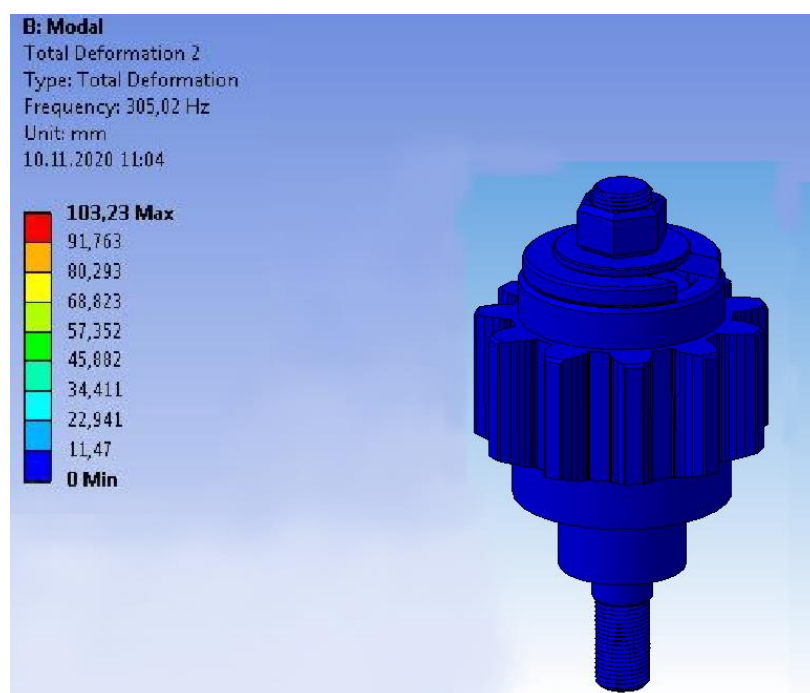


Рисунок 3.8 – Ілюстрація 2-ї критичної частоти системи «ВП – заготовка»

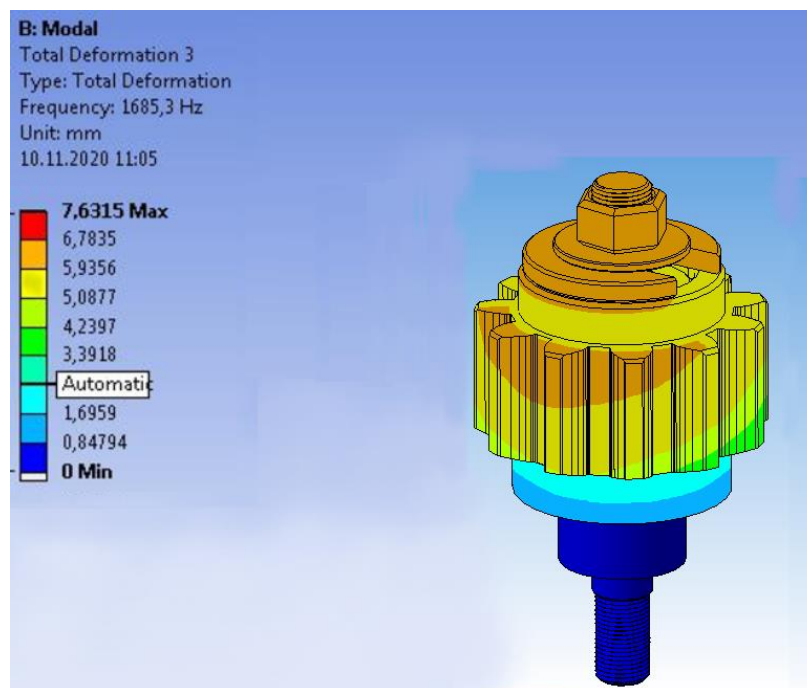


Рисунок 3.9 – Ілюстрація 3-ї критичної частоти системи «ВП – заготовка»

Таблиця 3.3 – Порівняльна таблиця власних частот, які виникають у процесі механічної обробки

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання, Гц
302	305	1685	38

З таблиці 3.3 видно, що для запропонованої конструкції ВП резонансу не виникає, через те що перша критична частота власних коливань ВП набагато вища за максимальну частоту процесу різання.

До того ж з наведених значень форм коливань 1-ї та 2-ї частоти (рис. 3.7 – 3.8) і їх величини 302 Гц і 305 Гц відповідно дуже схожі за значеннями, таким чином це є доказом того, що розрахунки виконано правильно та модель адекватна. Підсумок модального аналізу дозволяє висунути гіпотезу, що динамічна жорсткість запропонованого ВП оптимізованої конструкції буде достатньою в проведенні механічної обробки без появи резонансних режимів.

3.6 Гармонічний аналіз запропонованого верстатного пристрою

Вирішально узгодитись в тому, яка динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою, і дозволяє виявити величину амплітуди коливань в місцях оброблюваної поверхні, які появляються в зміні величини зовнішніх навантажень. Розраховування амплітуд коливань можна зробити з допомогою гармонічного аналізу, іншими словами дослідження динамічного стану елементів системи «ВП – заготовка» в механічній обробці деталі «Шестерня» в запропонованому ВП.

Гармонічний аналіз розраховувався з допомогою вбудованого модуля Harmonic Analysis у програмі ANSYS Workbench. Амплітуда динамічної складової сили та моментів різання обирались в рамках 20% від номінального значення величин. Модель враховує кулонівське тертя між контактами поверхні ВП, які мають схожу однакову величину шорсткості 1,6 мкм за критерієм Ra із коефіцієнтом 0,1 [16]. Величина коефіцієнту тертя для контактуючих пар між елементами ВП та заготовкою отримано з [16].

Частота коливання була вибрана з міркувань забезпечення охоплення трьох перших частот власних коливань ВП, значення які були взяті раніше. Найвища третя частота власних коливань показала 1685 Гц, і тому обираємо діапазон $0 \dots 2 \cdot 10^3$ Гц. Для показаного діапазону частот коливань вибрані амплітудно-частотні характеристики АЧХ елемента ВП, розробленні резонансні режими. Вище вказані дослідження показали, те що діапазон робочих частот процесу різання в обробці важеля не перевищує 100 Гц, і дозволя обійтись діапазоном $0 \dots 100$ Гц на графіках (АЧХ) у розробленні величини переміщень. Для забезпечення рівних умов порівняльний аналіз величини переміщень проведемо на найвищій можливій частоті, яке може виникнути в процесі обробки – 100 Гц.

В підсумок чисельного моделювання динаміки системи «ВП – заготовка» здобуті значення амплітуди коливань та резонансних частот, зумовлених процесом різання. Розраховані значення переміщень точок в зоні обробки для запропонованого конструкцією ВП для більш навантаженого переходу фрезерування зубів $\varnothing 96,77$ мм (табл. 3.4, рис. 3.10).

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку динамічної жорсткості ВП при свердлінні

Номінальна величина сили різання, Н	Амплітуда динамічної складової сили різання, Н	Максимальна амплітуда переміщення точки, мкм	Розрахункова динамічна жорсткість, 10 ⁷ Н/мм
3650	662	24	0,27

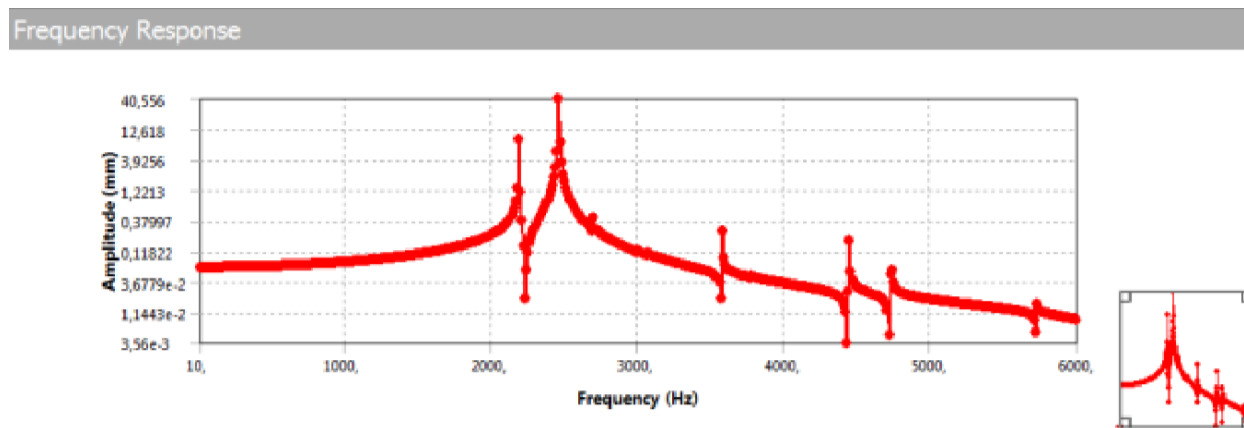


Рисунок 3.10 – АЧХ запропонованого ВП при фрезеруванні

1. Запропонований алгоритм оптимізації запропонованої конструкції ВП, де є цільовою функцією зниження металомісткості. В запропонованому алгоритмі встановлено кращі параметри елементів розробленої конструкції ВП для фрезерування.

2. Розраховано найбільші величини переміщень та напружень в запропонованому ВП, і за результатом доведено змогу обробки деталі «Шестерня» в розробленому ВП.

3. Розраховано власні частоти коливань запропонованого ВП і виявлено, що в даних режимах обробки резонанс не виникне.

4. Розраховано амплітуду коливання, які з'являються в механічній обробці деталі «Шестерня» і встановлено, те що динамічна жорсткість запропонованого ВП є достатньою.

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи був виконаний наступний обсяг роботи:

- проаналізоване службового призначення циліндричного редуктора, до складу якого входить деталь «Шестерня 1М-04-0021». Виконано опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації. Проведено аналіз технічних вимог на виготовлення шестерні.

- за коефіцієнтом закріплення операцій встановлено, що тип виробництва – середньосерійний. Форма організації виробництва – групова;

- проаналізовано деталь на технологічність;

- проведено техніко-економічні розрахунки і для отримання заготовки прийнято штампування на кривошипно-гарячештампувальному пресі.

В ході виконання роботи було докладно розроблені операції 015, 025, 030, 065:

- порівняні схеми базування і обрана найбільш раціональна;

- обрано найбільш раціональне металорізальне обладнання;

- обране верстатне технологічне оснащення;

- проведений розрахунок режимів різання;

- проведено технічне нормування операцій.

Розраховане і спроектоване спеціальне пристосування для зубофрезерної операції 030.

В розділі «науково-дослідна частина» запропоновано алгоритм оптимізації конструкції ВП, в якому цільовою функцією є зниження металомісткості. Визначені максимальні величини напружень та переміщень у запропонованому ВП, і за отриманими результатами доведено можливість обробки деталі «Шестерня». Розраховані амплітуди коливань, що виникають при механічній обробці та встановлено, що динамічна жорсткість ВП є достатньою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анализ технических требований, выявление технологических задач, возникающих при изготовлении деталей, и технологический анализ конструкций / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: МВТУ, 1982. – 36 с.
2. Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков / М. А. Ансеров. – М.; Л.: Машиностроение, 1964. – 652 с.
3. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: «Высшая школа», 1983. – 256 с., ил.
4. Горошкин, А. К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник / А. К. Горошкин. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1979. – 303 с.
5. Егоров, М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. Под ред. М. Е. Егорова. – Изд. 2-е и доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.
6. Колесов, И. М. Служебное назначение изделия и технические условия / И. М. Колесов. – М.: Знание, 1977. – 64 с.
7. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. Сталь и чугуны. Т. II-2 / Г.Г. Мухин, А.И. Беляков, Н.Н. Александров и др.; Под общ. ред. О.А. Банных и Н.Н. Александрова. – М.: «Машиностроение», 2001. – 784 с., ил.
8. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов.–Суми : Сумський державний університет, 2011.–55 с.
9. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 частинах. – Ч. 2. Приклади оформлення

технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 59 с.

10. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. – М.: «Машиностроение», 1990. – 448с.

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

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. - Ч. 2. Зуборезные, горизонтально-расточные, резьбо-накатные и отрезные станки. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.

13. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на шлифовальных и доводочных станках. – М.: Машиностроение, 1974. – 203 с.

14. Режимы резания металлов: справ. / Под ред. Ю.Б. Барановского. – М.: Машиностроение, 1972. – 311с.

15. Силантьева Н.А., Малиновский В.Р. Техническое нормирование труда в машиностроении: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: «Машиностроение», 1990. – 256 с.: ил.

16. Справочник технолога – машиностроителя. В 2 – х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: «Машиностроение», 1986. – 496с.

17. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. Панов. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.

18. Чернавский С.А. Проектирование механических передач: учебно-справочное пособие для втузов. – М.: «Машиностроение», 1984. – 560 с.

19. ГОСТ 7505-89 Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.

20. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. –М., Изд-во стандартов, 1983, 7 с.
21. Строительные нормы и правила. Нормы проектирования. Защита от шума. СНиП П-12-77.
22. СН 2.2.4/2.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях, жилых и общественных зданиях.
23. Закон України «Про затвердження Правил пожежної безпеки для установ, закладів та організацій системи освіти України».
24. ДСН 3.3.6.042 – 99. Санитарные нормы микроклимата в производственных помещениях.
25. ДБН В.2.5-27-2008 Захисні заходи електробезпеки в електроустановках споруд та будинків.
26. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
27. НПБ 166-98 Пожарная техника. Огнетушители. Требования к их эксплуатации.
28. ДБН В.1.1-31:2013 Захист територій, споруд та будинків від шумів.
29. ДБН В.1.2-7-2008 Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
30. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
31. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
32. ГОСТ 12.4.026-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики.
33. ГОСТ 12.2.009-99 Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности.
34. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Процессы производственные. Общие требования безопасности (Переиздание).

35. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // *Computer-Aided Design*. – 2014. – Vol. 46. – P. 160–169.
36. Finite element modelling and analysis of workpiece-fixture system / N. M. Kumbhar, G. S. Patil, S. S. Mohite, M. A. Sutar // *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*. – 2012. – Vol. 2. – P. 60–65.
37. Asante J. N. A combined contact elasticity and finite element-based model for contact load and pressure distribution calculation in a frictional workpiece-fixture system / J. N. Asante // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – Vol. 39. – P. 578–588.
38. Multi-objective optimization design of a fixture layout considering locator displacement and force–deformation / Z.Liu, M. Wang, K. Wang, X. Mei // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2012. – Vol. 67. – P. 1267–1279.
39. Machining fixture layout design for milling operation using FEA, ANN and RSM / M.Vasundara, K. P. Padmahaban, M. Sabareeswaran, N. RajGanesh // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 38. – P. 1693–1703.
40. Li B. Optimal Fixture Design Accounting for the Effect of Workpiece Dynamics / B. Li, S. Melkote // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2001. – Vol. 28. – P. 701–707.
41. Nalbandh A. H. Fixture design optimization using genetic algorithm-a review / A. H. Nalbandh, C. C. Rajyaguru // *Journal of information, knowledge and research in mechanical engineering*. – 2013. – Vol. 2. – P. 466–471.
42. Amaral N. Finite Element Analysis Study on Fixtured Workpiece Deformation : Bachelor of Science Thesis – Worcester, USA, 2000. – 109 p.
43. Papastathis T. N. Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2010.
44. Clamping force optimization for minimum deformation of workpiece by dynamic analysis of workpiece-fixture system / S.Selvakumar, K. P. Arulshri, K. P. Padmanaban, K. S. Sasikumar // *World Applied Sciences Journal*. – 2010. – Vol. 7. – P. 840–846.

45. Deng H. Analysis and synthesis of fixturing dynamic stability in machining accounting for material removal effect : PhD Thesis. – Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2006.

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

47. Пасічник В. А. Синтез інструментального забезпечення для оброблення отворів на основі декомпозиції виробу на оброблювані поверхні // В. А. Пасічник, В. М. Юхимчук // Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування № 74. – 2015. – С. 18–23.

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

49. Яковенко И. Э. 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.

50. Норри Д. Введение в метод конечных элементов / Д. Норри, Ж. де Фриз. – Москва. : Мир, 1981. – 304 с.

ДОДАТОК А

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Характеристика механічної дільниці та аналіз шкідливих і небезпечних факторів на дільниці з виготовлення деталі «Шестерня»

Проектована дільниця є механічною дільницею з обробки деталі «Шестерня 1М-04-0021» редуктора компанії Elmot.

Матеріал деталі: конструкційна легована сталь 40Х ГОСТ 4543-71, маса заготовки – 2,55 кг при габаритних розмірах: $\varnothing 100,57 \times 62,8$ мм, маса готової деталі – 2,0 кг при габаритних розмірах $\varnothing 96,77 \times 59$ мм.

Дільниця має площу 264,5 м². ширина прольоту – 16 м, крок внутрішніх колон – 12 м, висота цеху – 7 м. Розміри дільниці: довжина – 35,7 м, ширина – 7,1 м.

На дільниці розміщено 7 одиниць верстатів:

- а) прес кривошипний гарячештампвальний К8544 – 1шт;
- б) верстат токарний 16К20Ф3 з ЧПК – 1шт;
- в) горизонтально – протяжний верстат 7Б55 – 1шт;
- г) верстат зубофрезерний вертикальний універсальний напівавтомат 53А30 – 1шт;
- д) зубозакругляючий верстат 5Е580 – 1шт;
- е) внутрішньошліфувальний верстат 3К228В – 1шт;

Тип виробництва – середньосерійний. Обладнання розташовані в послідовному порядку виконуваних технологічних операцій. Дільниця спланована шляхом повної автоматизації процесу. Усі потоки виробництва зведені в цілий технологічний маршрут, де виготовляються однотипні деталі.

Установка заготовки на верстаті при обробці на токарному верстаті проводиться в стандартних умовах – 3-х кулачковому патроні і лещатах відповідно. Крім того застосовуються для установки та закріплення заготовок спеціальні пристосування з гідроприводом, що працюють при тиску в мережі 0,4 МПа.

На дільниці використовують різці, шпонкову протяжку, фрезу черв'ячну, круги шліфувальні.

В ході різання утворюється зливна стружка, яка збирається за допомогою гачків у піддони і потім зсипається до спеціальних ящиків, які стоять повз проїзду.

Для охолодження при механічній обробці застосовують мастильно-охолоджуюча рідина МОР на основі емульсолів. До складу МОР входить емульсол ЕТ-1, кальцинована сода, нітрид натрію, як антикорозійна присадка, і вода.

Для транспортування і зберігання деталей, заготовок і відходів виробництва використовується тара (контейнери), виготовлені відповідно до ГОСТ 14861. Згідно ГОСТ контейнери використовуються для заготовок і деталей.

Використовують на дільниці трифазну електричну мережу змінного струму з частотою 50 Гц. Номінальна напруга в мережі для живлення робочих і силових машин – 380 В, для освітлення – 220 В.

Відповідно з ГОСТ 12.0.003-2015 [31] аналіз механічної дільниці дає можливість виявити такі потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- 1) можливість контакту з рухомими частинами обладнання (пересування стола, супорта, обертовим інструментальним магазином);
- 2) можливість контакту з рухомим технологічним транспортом;
- 3) можливість падіння заготовки при встановленні і знятті її з верстата в результаті відсутності схеми стропування;
- 4) можливість появи небезпечної зони при транспортуванні тари, пов'язана з відсутністю маршруту переміщення або його порушенням;
- 5) руйнування конструкцій інструменту, в результаті перевищення навантажень гранично допустимих значень;
- 6) розкріплення деталі в пристосуванні з пневмоприводом під час обслуговування на верстаті із-за раптового припинення підведення повітря (при відмові компресора).
- 7) небезпека ураження електричним струмом при переході напруги на металеві неструмоведучі частини обладнання;

8) контакт робочого, при виконання технологічних операцій (контроль, встановлення і зняття деталі), з гострими кромками, задирок на поверхнях заготовок;

9) контакт 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;

10) підвищений сумарний рівень шуму при спільній роботі обладнання;

11) підвищення вібрації обладнання через переривчастих процесів різання;

12) запиленість і загазованість повітря робочої зони пилом і парами речовин, що утворюються при випаровуванні МОР.

З метою запобігання вищезазначених потенційно небезпечних та шкідливих факторів передбачені такі заходи:

1) внутрішньоцеховий транспорт повинен бути обладнаний звуковою сигналізацією, рухомі частини пофарбовані в кольори згідно з ГОСТ 12.4.026-2015 [32], поблизу небезпечних зон на видних місцях наносимо знак 2.7 згідно з ГОСТ 12.4.026-2015 [32];

2) з метою запобігання небезпечного дотику працівника з рухомими і обертовими органами верстатів та інструментами повинне бути передбачене встановлення захисних пристроїв згідно ГОСТ 12.2.009-99 [33];

3) з метою запобігання ураження електричним струмом (згідно з вимогами ГОСТ 12.1.019-2017 [30]) повинно бути виконане захисне заземлення металевих неструмопровідних частин обладнання, які можуть знаходитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції відповідно до вимог ДБН В.2.5-27-2008 [25];

4) для запобігання потрапляння відходів, що утворюється в процесі обробки та стружки працювати потрібно в окулярах або з встановленими на верстатах захисними щитками згідно ГОСТ 12.2.009-99 [33];

- 5) для запобігання витoku повітря з пневмоприводів у випадках падіння тиску в пристроях системи повинні бути встановлені запобіжні клапани;
- 6) зниження концентрації пилю, випаровування парів МОР і аерозолів у повітря до гранично допустимого рівня повинно бути забезпечено за рахунок організації загальнообмінної припливної вентиляції;
- 7) для зниження рівню шуму повинні бути передбачені звукопоглинаючі перегородки і облицювання стін відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99;
- 8) відповідно ГОСТ 12.3.002-2014 [34] повинні бути передбачені вимоги щодо охорони праці для нормальної роботи на механічній дільниці, котрі необхідно підтримувати і виконувати.

Безпека та методи захисту на виробничий механічній дільниці.

На дільниці в ході виготовлення деталі потрібно дотримуватися вимог пожежної безпеки згідно ДБН В.1.1-7:2016 [26].

Дільниця відноситься до цехів категорії Д, в яких обробляють негорючі речовини і матеріали в холодному стані (цехи холодної обробки матеріалів).

На ділянці водяне опалення повинно відповідати основним вимогам пожежної безпеки до систем опалення, передбаченим СНіП ІІ-33-75. При водяному опаленні перевага повинна бути надана нагрівальним приладам з гладкими поверхнями, оскільки на них менше осідає пил та його легше прибирати.

Важливу роль в пожежній безпеці відіграють первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо).

При категорії Д пожежонебезпеки ділянки, використовуємо вуглекислотний вогнегасник ОУ-5 з об'ємом балона 5 л. З розрахунку площі дільниці, що захищається, до 600 м², кількість вогнегасників – 1 шт. [27].

У вогнегаснику ОУ-5 вогнегасним засобом є зріджений вуглекислий газ, тому він призначається для гасіння різноманітних пожеж (крім лужних матеріалів і тих речовин, які горять без повітря). Цей вогнегасник придатний для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В і може бути використаний при температурах навколишнього повітря від мінус 25°C до плюс 50°C.

Необхідно на ділянці мати зв'язок пожежної охорони для швидкого виклику необхідних сил для ліквідації пожежі, аварії, стихійного лиха.

В ході виготовлення деталі потрібно дотримуватися вимог шуму згідно ДБН В.1.1-31:2013 [28].

В основу санітарного нормування шуму покладено принцип збереження слухового сприйняття, встановлення науково-обґрунтованих гранично допустимих величин шуму, які при систематичному впливі протягом багатьох років не можуть викликати захворювання організму людини.

Захист від шуму повинен забезпечуватися розробкою шумобезопасної техніки, застосуванням засобів і методів колективного захисту, проведенням будівельно-акустичних робіт, застосуванням засобів індивідуального захисту.

В першу чергу слід використовувати засоби колективного захисту. По відношенню до джерела збудження шуму колективні засоби захисту поділяються на засоби, що знижують шум в джерелі його виникнення, і засоби, які знижують шум на шляху його поширення від джерела до об'єкта, що захищається.

Зниження шуму в джерелі здійснюється за рахунок поліпшення конструкції машини або зміни технологічного процесу.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) застосовуються в тому випадку, якщо іншими способами забезпечити допустимий рівень шуму на робочому місці не вдається.

Найбільш ефективні ЗІЗ, як правило, в області високих частот. ЗІЗ включають в себе протишумні вкладиші (беруші), навушники, шоломи і каски, спеціальні костюми.

За нормами електробезпеки ДБН В.2.5-27-2008 [25], електропроводи та кабелі за ступенем захисту мають відповідати класу зони, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

В технологічних процесах, що супроводжуються ковзанням, тертям, подрібненням та інше, на самих матеріалах і на обладнанні утворюється електричний потенціал, що вимірюється тисячами і десятками тисяч вольт.

Електризація твердих тіл посилюється в процесі тертя, так як при цьому розширюються зони зіткнення тіл і виділяється теплота, яка змінює енергетичний стан атомів взаємодіючих поверхонь. Наприклад, при терті гумової стрічки або ременів від шківів, виникають електричні потенціали, що досягають 40 кВ і більше. Статична електрика на виробництві може викликати пожежі і вибухи.

Відповідно до ГОСТ 12.1.019-2017 [25], запалюючу здатність розрядів визначають експериментально порівнюючи максимально можливий заряд з допустимим значенням заряду. Гранично допустима напруженість на робочих місцях не повинна перевищувати 60 кВ/м при впливі до 1 години. Для зниження величини електростатичних розрядів потрібне зменшення сили тертя і площі контакту, шорсткості взаємодіючих поверхонь, їх хромування або нікелювання. Цього ж можна досягти створивши повітряну подушку між рухомим матеріалом і елементами обладнання.

Для запобігання замикання через тіло людини електричного ланцюга з підвищеним значенням напруги, а також для унеможливлення дії на людину статичної електрики повинні бути передбачені наступні заходи:

- 1) відведення заряду шляхом заземлення устаткування, а також забезпечення постійного електричного контакту з заземленням тіла людини;
- 2) наявність посиленої ізоляції з пробивною напругою не менше 4000 В;
- 3) нейтралізація заряду шляхом використання різноманітних способів захисту від статичної електрики.

В тому числі необхідно передбачати використання засобів індивідуального захисту, а саме, гумові калоші, килимки, ізолюючі підставки тощо відповідно до ДБН В.2.5-27-2008 [25].

Для запобігання потенційно небезпечних та шкідливих факторів на дільниці має бути сприятливі мікрокліматичні умови для роботи працюючих.

Мікроклімат у виробничих приміщеннях розраховується температурою, відносною вологістю повітря робочої зони, швидкістю руху повітряних потоків на дільниці, атмосферним тиском. Значення нормативних і фактичних перерахованих параметрів згідно ГОСТ 12.1.005-88 [24], показано у таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Мікроклімат на дільниці виготовлення деталі

Параметр	Період часу	Фактична величина	Нормативна величина
Температура, °С	Теплий період	25	20...25
	Холодний період	18	17...23
Відносна вологість, %	Теплий період	45...55	40...60 (допускається 55...75)
	Холодний період	45...55	40...60 (допускається 75)
Швидкість руху повітряних потоків, м/с	Теплий період	0,2...0,4	0,1...0,6
	Холодний період	0,1...0,3	0,1...0,5
Температура конструкцій (стін, підлоги, стелі), а також обладнання °С	-	42	не більше 45

Визначення шумоізоляції виробничого приміщення.

У приміщенні виробничої дільниці заплановане звукопоглинаюче облицювання стін та стелі. Площа стін – $S_{стін}$, площа стелі – $S_{стелі}$, площа підлоги – $S_{підлоги}$. Середній коефіцієнт звукопоглинання у приміщенні до облицювання дорівнює 0,1. Коефіцієнт звукопоглинання використаного облицювання – 0,9. [28].

Завдання: визначити зниження шуму після використання облицювання.

Вихідні дані:

$$S_{стін} = (16 \cdot 4 \cdot 2 + 12 \cdot 8 \cdot 2) \cdot 7 = 2240 \text{ м}^2;$$

$$S_{стелі} = 16 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 8 = 6144 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{підлоги}} = 16 \cdot 4 \cdot 12 \cdot 8 = 6144 \text{ м}^2;$$

$$\alpha_1 = 0,1;$$

$$\alpha_2 = 0,9.$$

Розв'язання.

Визначимо зниження шуму після використання облицювання:

$$\Delta L_{\text{обсл}} = 10 \log \frac{B_2}{B_1}, \quad (\text{A.1})$$

де B_1 – постійне приміщення до облицювання;

B_2 – постійне приміщення після облицювання;

$$B_1 = \frac{A_1}{1 - \alpha_1}, \quad (\text{A.2})$$

$$B_2 = \frac{A_2}{1 - \alpha_2}, \quad (\text{A.3})$$

де α_1 – середній коефіцієнт звукопоглинання у приміщенні до облицювання, який дорівнює 0,1;

α_2 – середній коефіцієнт звукопоглинання в приміщенні після облицювання, який дорівнює 0,9;

A_1 – еквівалентна площа приміщення до облицювання;

A_2 – еквівалентна площа приміщення після облицювання.

$$A_1 = \alpha_1 \cdot S_{\text{прим}}, \quad (\text{A.4})$$

$$S_{\text{прим}} = S_{\text{стін}} + S_{\text{стелі}} + S_{\text{підлоги}}, \quad (\text{A.5})$$

$$S_{\text{прим}} = 2240 + 6144 + 6144 = 14528 \text{ м}^2,$$

$$A_1 = 0,1 \cdot 14528 = 1452,8 \text{ м}^2,$$

$$B_1 = \frac{1452,8}{1 - 0,1} = 1620,8.$$

$$A_2 = A_1 + \Delta A. \quad (\text{A.6})$$

де ΔA – додаткова площа поглинання, м^2 .

$$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \cdot S_{\text{обл}}, \quad (\text{A.7})$$

$$S_{\text{обл}} = S_{\text{стін}} + S_{\text{стелі}}, \quad (\text{A.8})$$

$$S_{\text{обл}} = 2240 + 6144 = 8384 \text{ м}^2,$$

$$\Delta A = 0,9 \cdot 8384 = 7545,6,$$

$$A_2 = 1452,8 + 7545,6 = 8998,4 \text{ м}^2,$$

$$B_2 = \frac{8998,4}{1 - 0,9} = 89984,$$

$$\Delta L_{\text{обсл}} = 10 \log \frac{89984}{1620,8} = 17,4 \text{ дБ.}$$

Таким чином, після проведення робіт з звукопоглинаючого облицювання зниження шуму досягається на 17,4 дБ.

У результаті розрахунку робимо такий висновок, що застосування звукопоглинальних матеріалів є ефективним заходом у боротьбі з зашумленням

приміщення та заходом з дотримання норм допустимого шуму у приміщенні, який дорівнює 80 дБ.

Безпека у надзвичайних ситуаціях.

Надзвичайна ситуація (НС) – порушення нормальних умов життя та діяльності людини на об'єктах або територіях, спричинене аварією, стихійним лихом, великою пожежею, застосування засобів ураження, які спричинили чи можуть спричинити до людських та матеріальних втрат, також ще велике зараження людей та тварин.

Джерела виникнення НС поділяються на:

- 1) природні явища і процеси;
- 2) техногенні промислові аварії і катастрофи (радіаційні, хімічні, біологічні, гідродинамічні аварії);
- 3) пожежі, вибухи, небезпечні пригоди на транспорті або транспортні аварії;
- 4) інфекційні хвороби людей (епідемії);
- 5) криміногенні.

Безпека НС – це стан захищеності населення, а захищеність у НС – стан, при якому запобігають, долають або гранично знижують негативні наслідки виникнення потенційних небезпек при НС для людей.

Захищеність в НС - стан, при якому запобігають, долають або гранично знижують негативні наслідки виникнення потенційних небезпек при НС для людей.

Одним із осередком ураження називається територія з розташованими в ній спорудами, будівлями, комунікаціями, обладнанням, людьми, що постраждали від руйнування чи зараження в наслідок виникнення НС.

З основних способів захисту є своєчасний і швидкий вивіз людей з небезпечної зони, тобто евакуація.

Вид евакуації визначається видом, характером і умовами НС. Екстрена евакуація викликається швидкоплинними накопиченнями негативних факторів в зоні НС або спочатку високими рівнями цих факторів.

У числі заходів щодо захисту персоналу підприємства є дія з евакуації, як при загрозі так і при виникненні НС.

З перелічених тем занять для робітників і службовців з цивільної оборони включають питання щодо евакуації.

Визначають аналіз виду евакуації, проводиться розрахунок кількості осіб, встановлюють заходи щодо безаварійної зупинки виробництва, складають схеми руху евакуйованих осіб із зони НС до пунктів тимчасового розміщення.

Керівник об'єктової комісії з НС приймає одне з рішень:

- 1) провести евакуацію всередині цеху;
- 2) вивести персонал за межі об'єкта;
- 3) застосувати комбінований метод.

Вимоги до евакуації механічної дільниці при пожежі:

1) виходи для евакуації треба розміщувати на перших поверхах будинків, не менше двох, за виключенням випадків оговорених у НБ [23].

2) в тому числі висота виходів повинно бути не менше 2,0 м, а ширина – 0,8 м .

3) двері не повинні мати перешкод, що завадили б вільному відкриттю їх з середини.

4) кожен поверх має оснащуватися планом евакуації з поверху чи будинку взагалі. План має бути чітким і легким в читанні.

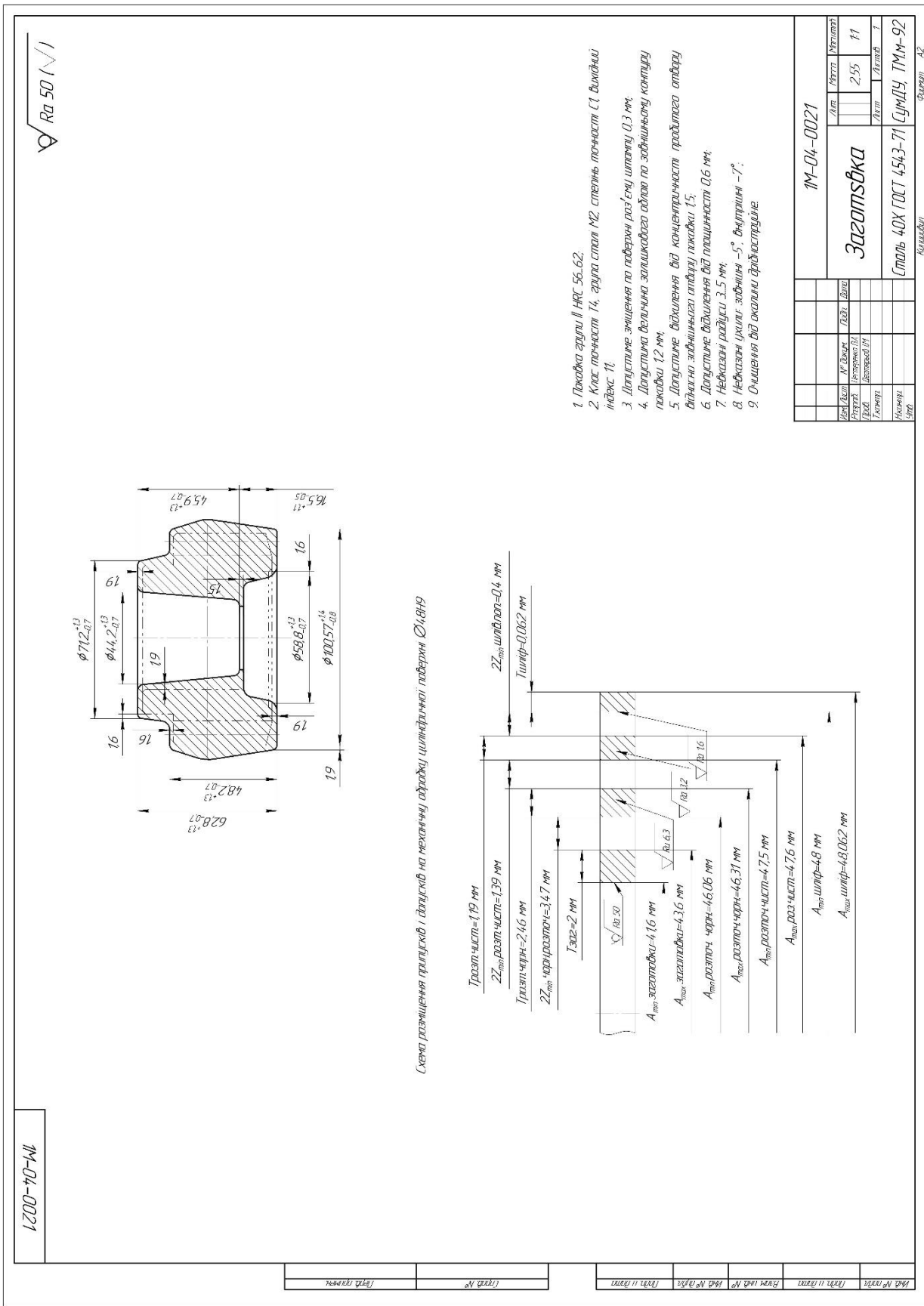
У цеху повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння:

- 1) ящики з піском;
- 2) вогнегасники;
- 3) пожежні відра, лопати;
- 4) пожежний інструмент (гаки, ломи сокири тощо).

Згідно до ДБН В.1.2-7-2008 [23] схема планування будівель і споруд повинна забезпечувати швидку евакуацію людей у разі виникнення пожежі.

ДОДАТОК В

КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ ШЕСТЕРНЯ



ДОДАТОК Е

КРЕСЛЕННЯ НАЛАДКИ НА ОПЕРАЦІЮ 065

ТМ 16090032-06 0Н

Мембранний патрон ГОСТ 15167-70

065 Внутрішньошліфувальна операція
Верстат мод. ЗК228В, 7,5 кВт

Круг шліфувальний ПВ40х13х32 ГОСТ 2424-83

Циклограма руху

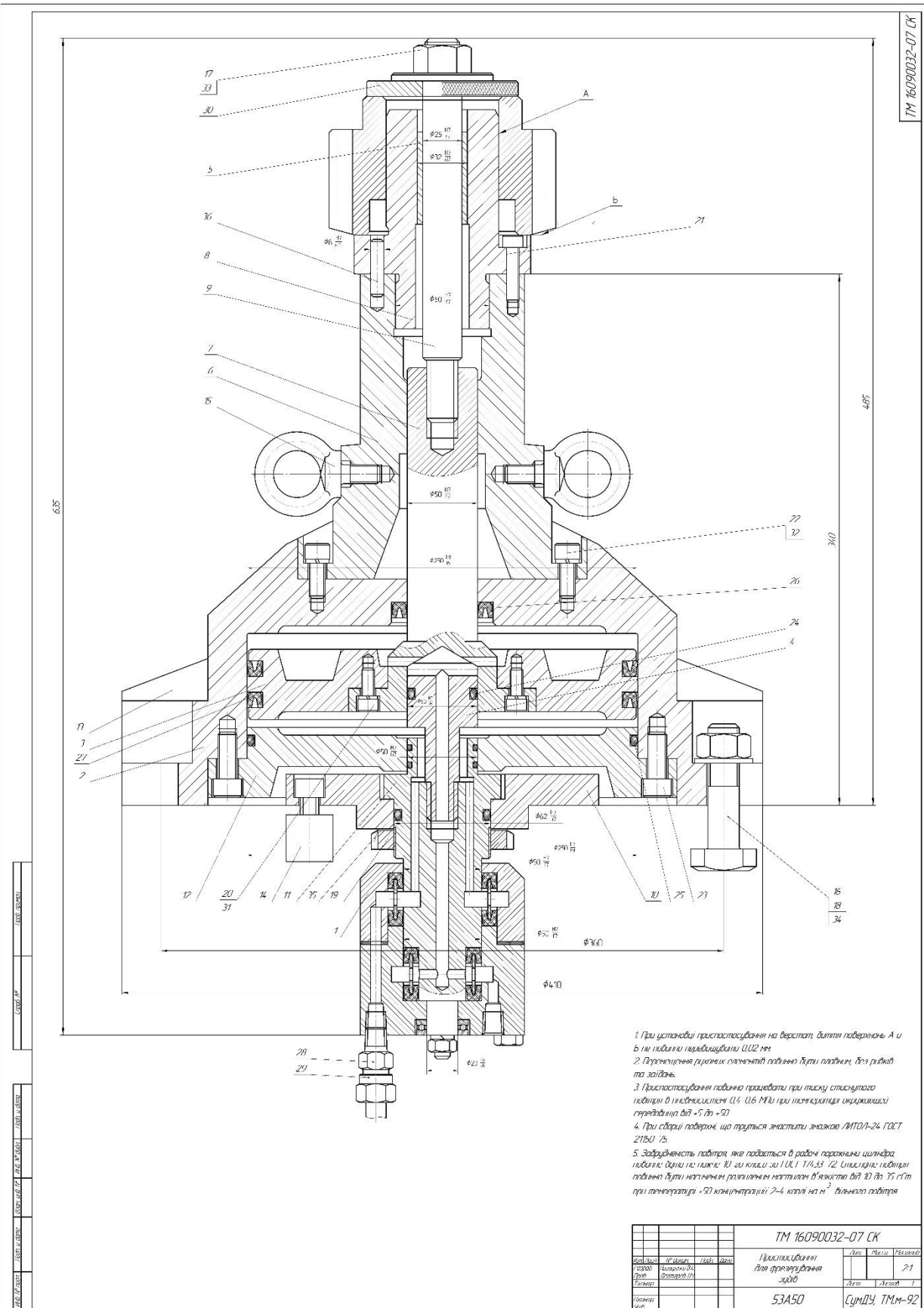
P.V — Рідкий хід
 X.X — Холодний хід

1	Круг шліфувальний ГОСТ 2424-83	0002	36	25	000	13	163	040	21
№	Назва інструменту	Тип	Світ. шліф.	Вис. шліф.	Внутр. діаметр	Зовн. діаметр	Довж.	Радіус	Темп. шліф.
ТМ 16090032-06 0Н									
Операційна наладка									
ЗК228В									
СІМДУ ТММ-92									

Формат А2

ДОДАТОК К

КРЕСЛЕННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ОПЕРАЦІЇ 030



1. При установці пристосування на верстат, діаметр поверхонь А і Б не повинні перевищувати 0,02 мм.
2. Підготувати різьбові отвори під шпindel верстата, без різьби, та зафіксувати.
3. Пристосування повинно працювати при тиску стиснутого повітря в 1 кубометр (14-16 МПа) при температурі нагрівання сталевої деталі до $+50^{\circ}\text{C}$.
4. При сіданні поверхні, що труться змастити змазкою ЛМТД-24 ГОСТ 21760-75.
5. Забрудненість повітря, яке подається в район пароничного циліндра повинна бути не вище: 1) за класом за ГОСТ ТМ-51 / 2. Умисливі пошкодження повинні бути негайно розглянуті негайно в якостях від 10 до 35 г/т при температурі $+50^{\circ}\text{C}$ концентрації 2-4 класів за м³ вільного повітря.

		ТМ 16090032-07 СК		Код	Рекв.	Резерв
Вид	Узв'яз.	Табл.	Лист			
1/2000	Число	1/1	1/1			21
Вид	Розробник			Лист	Листів	1
Склад						
Інженер						
Мастер						
53A50			СумДУ, ТМ-92			
Інженер			Мастер			21

ДОДАТОК М
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ

Найменування переходу	Точність	Граничні відхилення	Елементи припуску, МКМ		
			R_z	T	ρ
Заготівка	16	+0,62 0	150	250	1000
Розточування чорнове	12	+0,25 0	50	50	60
Розточування чистове	10	+0,1 0	20	25	40
Шліфування	9	+0,062 0	5	10	20

Расчетные значения		Принятые значения, мм								
припуск, мм		расчетный размер, мм	расчетный размер	номинальный размер с предельными отклонениями		предельный размер		припуск, мм		
миним	расч.			миним	максим	миним	расч.	макс		
-	-	41.677	41.6	42.3	+1.300 -0.700	41.6	43.6	-	-	-
2383	4383	46.068	46.06	46.06	+0.250 0	46.06	46.31	2460	4460	4710
1182	1432	47.572	47.5	47.5	+0.100 0	47.5	47.6	1190	1440	1540
328	428	48	48	48	+0.062 0	48	48.062	400	500	562