

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
другий (магістерський)
(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення якості фінішної обробки поверхні зубів на деталях
типу вал-шестерня»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-122m

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

ЛУКІНОВА О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
Кафедра Технологія машинобудування
Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« » 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЛУКІНОВА Ольга Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Підвищення якості фінішної обробки поверхні зубів на деталях типу вал-шестерня»

керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2023 року №436

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталі, річна програма випуску деталей N=10000 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація контролю; 4 Розрахунок деталі на міцність; 5 Спеціальне завдання; 6 Оцінка очікуваної економічної ефективності пристосування; 7 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки; графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовок; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ; креслення робочого пристосування;

креслення контрольного пристосування; графічне зображення результатів розрахунку деталі на міцність; графічне зображення спецзавдання.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к. т. н., доц. СТЕПАНОВ Д. М.		
6	к. т. н., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г. В.		
7	к. т. н., доц. ШМИРКО В. І.		
Нормоконтроль	к. т. н., доц. ДЯДЯ С. І.		

7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	25.09.2023	
2	Конструкторська частина	10.10.2023	
3	Автоматизація	21.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	03.11.2023	
5	Спецзавдання	20.11.2023	
6	Розрахунок економічної ефективності	22.11.2023	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	26.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2023	
9	Нормоконтроль	08.12.2023	
10	Рецензія	11.12.2023	
11	Захист дипломного проекту	19.12.2023	

Студент(ка)

_____ Ольга ЛУКІНОВА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Дмитро СТЕПАНОВ
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 116 с., 8 табл., 39 рис., 26 джерел, 2 дод.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ЗАГОТОВКА, НОРМУВАННЯ, ПНЕВМОПРИВІД,
ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС,

Об'єкт дослідження – Вал–шестерня.

Мета магістерської роботи – розробка технологічного процесу виготовлення валу-шестерні, аналіз методів підвищення якості фінішної обробки поверхні зубів.

В роботі спроектований технологічний процес обробки деталі, обрано економічно доцільний метод виготовлення заготовки, розраховані режими різання по операціях. Спроектоване робоче пристосування з пневмоприводом та контрольне пристосування для перевірки биття. Розрахована ефективність використання пристосування з пневмоприводом в порівнянні з універсальним. Досліджено міцнісні характеристики деталі в модулі NX CAM.

Розроблені та запропоновані заходи з охорони праці, які спрямовані на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні робіт.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ	8
1 Технологічна частина	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	18
1.4.1 Вибір технологічних баз	18
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	19
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	24
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	25
1.6 Розрахунок режимів різання	33
1.7 Технічне нормування операцій	43
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	48
1.8.1 Розробка токарної операції	48
1.8.2 Розробка фрезерної операції	50
2 Конструкторська частина	53
2.1 Проектування робочого пристосування	53
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	53
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	55
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	61
2.2 Проектування контрольного пристосування	66
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	66
2.2.2 Розрахунок на точність	66
3 Автоматизація контролю	70
3.1 Основні напрямки автоматизації контролю	70

3.2 Пасивний і активний контроль.....	72
3.3 Координатно-вимірювальні машини.....	74
4 Розрахунок деталі на міцність.....	78
5 Спеціальне завдання. ФІНІШНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС.....	84
6 Економічна ефективність пристосування.....	93
7 Охорона праці.....	98
7.1 Аналіз потенційних небезпек.....	98
7.2 Заходи з забезпечення безпеки.....	99
7.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....	101
7.4 Заходи з пожежної безпеки.....	108
Висновки.....	110
Перелік джерел посилань.....	111
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	114
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування	116

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОР – змащувально-охолоджувальна рідина;

КГШП – кривошипний гарячештампувальний прес;

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

МОП – маршрут обробки поверхні;

МВД – маршрут виготовлення деталі;

ППТЯ – послідовність показників точності та якості;

ЧПК – числове програмне керування;

САПР – система автоматизованого проектування;

САК – система автоматичного контролю;

ПК – персональний комп'ютер.

ВСТУП

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є деталь «Вал-шестерня», виготовлена зі сталі 40Х за ГОСТ 4543-71. Ця сталь характеризується міцністю і великим ступенем твердості. Вироби з неї здатні нести великі навантаження і не руйнуватися.

Мета роботи – розробка ефективного технологічного процесу виготовлення деталі та аналіз найбільш ефективного способу виконання фінішної обробки поверхонь зубів деталей типу вал-шестерня.

При виконанні роботи були поставлені такі задачі: скласти технологічний процес виготовлення деталі з використанням сучасного продуктивного обладнання; знизити витрати на виготовлення заготовки, шляхом вибору найбільш ефективного методу отримання заготовки; підвищити продуктивність роботи шляхом застосування механізованих пристосувань та автоматизованого контролю деталей; обрати метод фінішної обробки поверхонь зубів, який буде найбільш ефективний для обробки деталей типу вал-шестерня; проаналізувати і попередити потенційні небезпеки на виробництві, визначити санітарні норми та попередити виробничий травматизм.

Всі поставлені задачі були виконані в ході написання магістерської роботи.

Підвищення показників якості фінішної обробки зубів є актуальною задачею, так як підвищується коефіцієнт корисної дії механізмів, знижується шум, вібрації та підвищується довговічність механізмів з зубчастими колесами. Процес формування зубчастих вінців при виробництві циліндричних коліс є найбільш трудомістким. Тому пошук рішень і розробка технології, що включає ефективніший метод фінішної обробки зубів циліндричних коліс є одним з найбільш актуальних завдань технології машинобудування.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь, що досліджується – вал–шестерня (рис. 1.1) виконаний зі сталі 40Х за ГОСТ 4543–71. Хімічний склад представлено в таблиці 1.1

Ця сталь характеризується міцністю і великим ступенем твердості (217 МПа). Вироби з неї здатні нести великі навантаження і не руйнуватися. При введенні до складу хрому, метал набуває стійкості до корозії.

Під час використання цієї сталі необхідно враховувати її мінуси. Процес загартування підвищує крихкість і знижує стійкість до механічних навантажень.

Загартування необхідно проводити в масляному середовищі, що збільшує якість шару поверхні. А подальше охолодження можна виконувати як в масляному, так і в повітряному середовищі. Охолодження у воді не рекомендується, оскільки призводить до утворення окалини.

Властивості цієї сталі, обумовлені її характеристиками, визначають широку сферу використання. Механічні властивості матеріалу вказані в таблиці 1.2.

Завдяки міцності та твердості зі сталі 40Х доцільно виготовляти листову продукцію, наприклад, у процесах штампування – холодним або гарячим методом. Сталеві листи підходять для обшивки каркасів.

Ці ж якості дозволили використовувати поковки як основу виготовлення деталей, експлуатація яких передбачає великі навантаження.

Антикорозійні властивості дозволяють виробництво трубної продукції (у системах опалення, транспортування агресивних робочих середовищ).

Після термообробки сталь 40Х підходить для виготовлення валів, зубчастих виробів, болтів та ін.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад в % 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 1.2 – Механічні властивості при T=20°C матеріалу 40Х

Сортамент	Розмір	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	KCU	Термообр.
–	мм	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	–
Труби, ГОСТ 8731–87		657		9			
Труби холоднодеформ., ГОСТ 8733–74		618		14			
Пруток, ГОСТ 4543–71	Ø 25	980	785	10	45	590	Загартування 860°C, масло, Відпуск 500°C, вода,

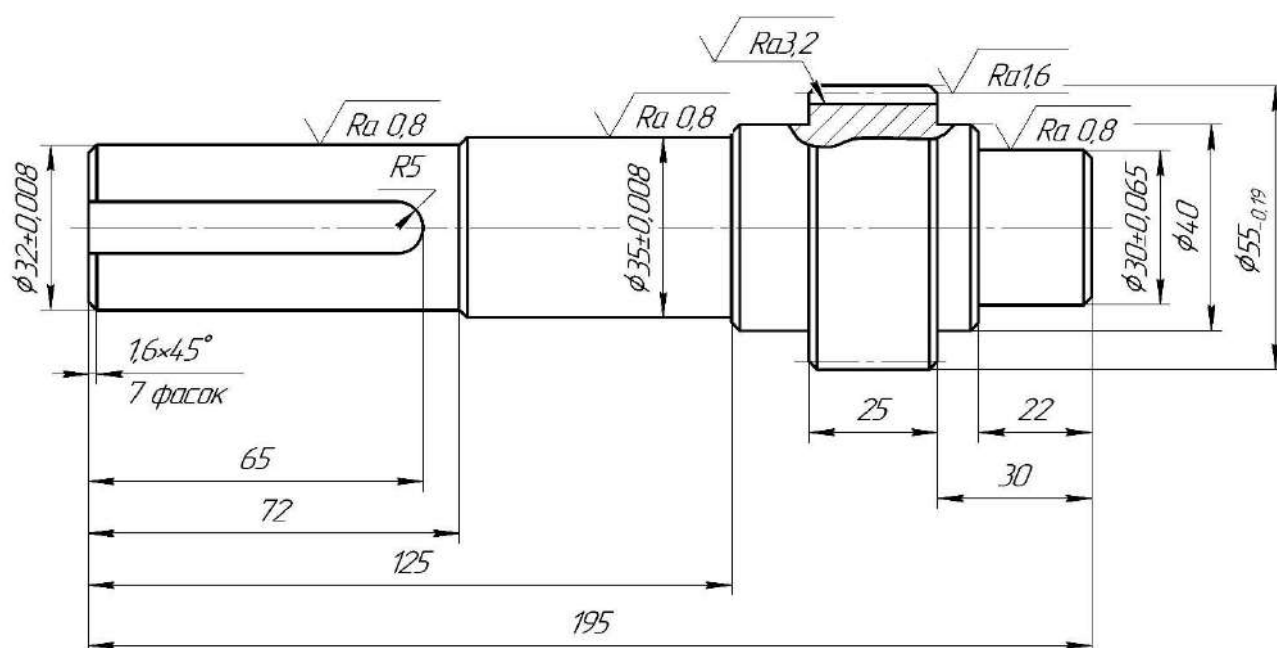


Рисунок 1.1 – Фрагмент креслення деталі

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва – сукупність його організаційних, технічних і економічних особливостей, тобто комплексна характеристика організації та технічного рівня підприємства, обумовлена ступенем його спеціалізації, складністю та стійкістю номенклатури, розмірами і повторюваністю випуску виробів, а також масштабами виробництва.

На вибір типу виробництва впливає: номенклатура виробів, що випускаються, об'єм випуску готової продукції, ступінь постійності товарної номенклатури підприємства, характер завантаження робочих місць. Розрізняється три типи виробництва: одиничне, серійне та масове.

Відштовхуючись від маси деталі та програми випуску ($N=10000$ шт) обираємо багатосерійний тип виробництва з непотоковою формою організації робіт [1, с. 5, табл. 1.1].

Визначаємо обсяг партії виробів, що випускаються за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{A} \quad (1.1)$$

де A – кількість робочих днів в році, $A=250$;

a – періодичність запуску деталей у виробництво, $a=12$.

$$n = \frac{12 \cdot 10000}{250} = 480 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки

Вибір заготовки впливає на трудомісткість та собівартість технологічного процесу. Спосіб отримання заготовки установлюють на основі креслення

готової деталі та технічних умов на її виготовлення. Вирішальне значення при виборі заготовки мають такі фактори: матеріал, форма, розмір та вага готової деталі, виробнича програма випуску.

Пропоную порівняти два види отримання заготовки: штампуванням в кривошипному гарячештамповочному пресі (КГШП) та за допомогою прокату.

Вихідні дані:

Матеріал – сталь 40Х;

Річна програма випуску $N = 10000$ шт;

Тип виробництва – багатосерійний;

Маса деталі $q = 1,53$ кг (рис. 1.2).

Коефіцієнт використання матеріалу визначається як відношення маси деталі до маси заготовки за формулою (1.2) [2]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.2)$$

де q – маса деталі, кг;

Q – маса заготовки, кг.

Вартість 1 заготовки отриманої штамповкою за формулою (1.3) [2]:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_3 \cdot K_{II} - (Q - q) \cdot \frac{B_{відх}}{1000} \quad (1.3)$$

де B_B – базова вартість 1 т. заготовок, грн;

$K_T, K_M, K_B, K_3, K_{II}$ – коефіцієнти, що враховують клас точності, матеріал, групу складності, масу заготовки, програму випуску.

Річна економія на виготовлення заготовки за формулою (1.4) [2]:

$$E_{еиз} = (B_2 - B_1) \cdot N \quad (1.4)$$

де B_1, B_2 – вартість 1 заготовки, грн;

N – річна програма випуску.

Річна економія матеріалу за формулою (1.5) [2]:

$$M = \frac{q \cdot (\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N \quad (1.5)$$

де q – маса деталі;

η_1, η_2 – коефіцієнти використання матеріалу для першого та другого способу отримання заготовки.

Визначаємо масу деталі в програмі Компас 3D (рис.1.2).

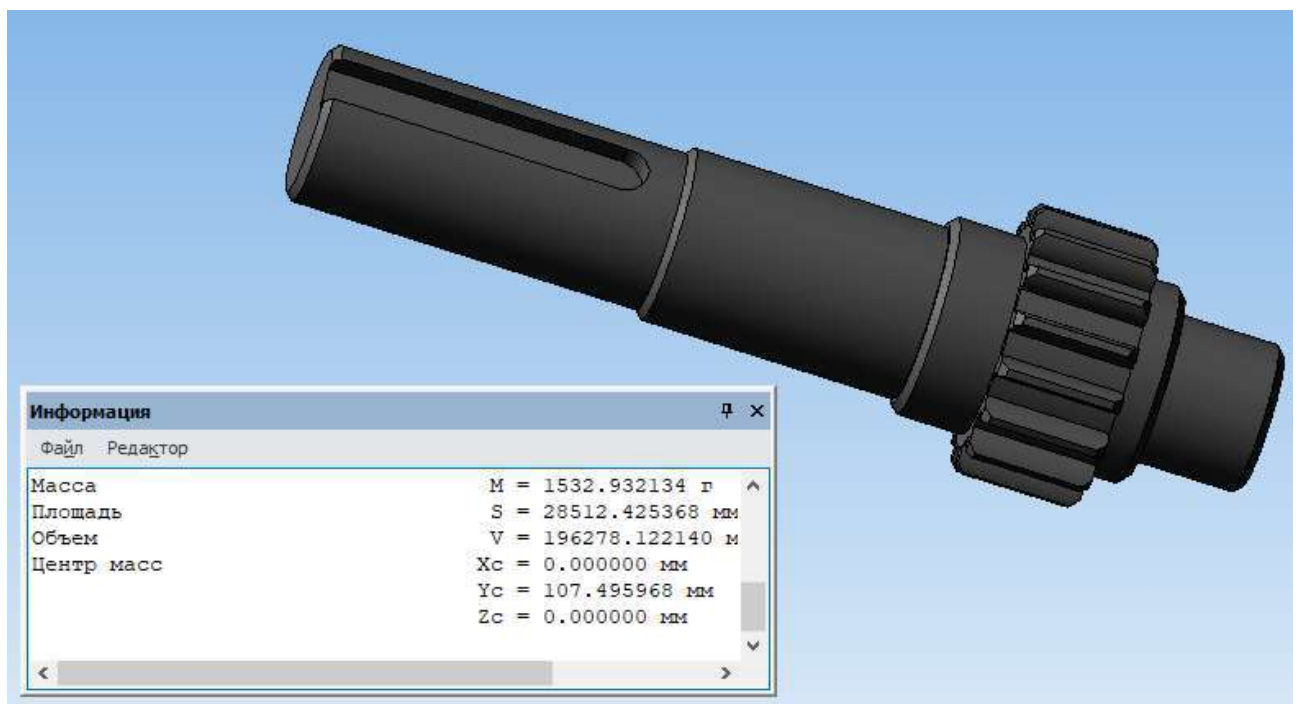


Рисунок 1.2 – Розрахунок маси деталі в Компас 3D

Спроекуємо заготовку на КГШП.

Щоб спростити конфігурацію заготовки необхідно призначити напуски на шпонковий паз та западини зубів.

Припуск на сторону обираємо за [2, с. 12, табл. 1.3] та заносимо в таблицю 1.3.

Визначаємо масу штамповки в програмі Компас 3D на КГШП (рис. 1.3).
Ескіз штамповки на КГШП на рис. 1.4.

Таблиця 1.3 – Розміри заготовки на КГШП

Номінальний розмір, мм	Розрахунок розміру, мм	Фактичний розмір, мм
Ø35	$35+2\cdot1,9=38,8$	Ø39
Ø40	$40+2\cdot1,9=43,8$	Ø44
Ø55	$55+2\cdot2,0=59$	Ø59
Ø30	$30+2\cdot1,9=33,8$	Ø34
195	$195+2\cdot2,3=199,6$	200
125	$125+2,3-2,3=125$	125
25	$25+2\cdot1,9=28,8$	29
30	$30+2,3-1,9=30,4$	30
22	$22+2,3-1,9=22,4$	22

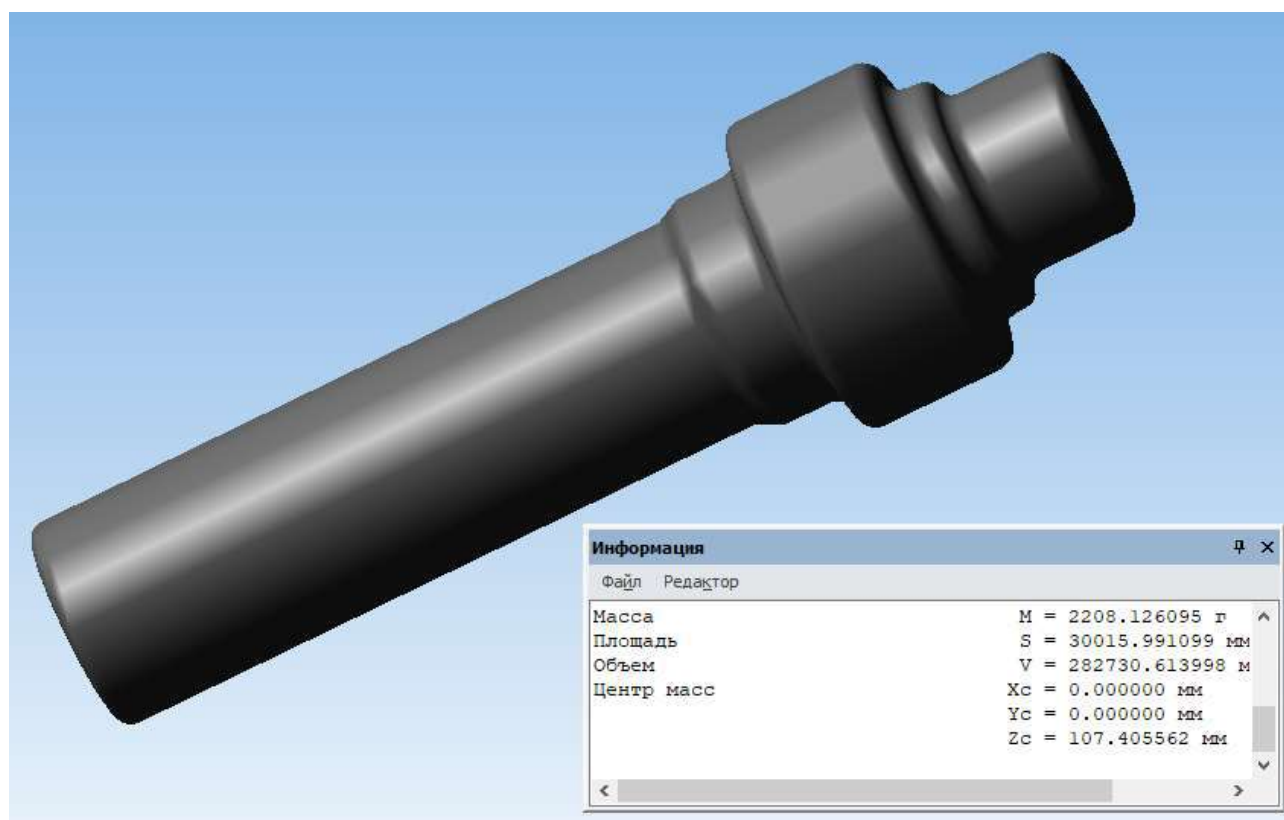


Рисунок 1.3 – Визначення маси штамповки на КГШП в Компас 3D

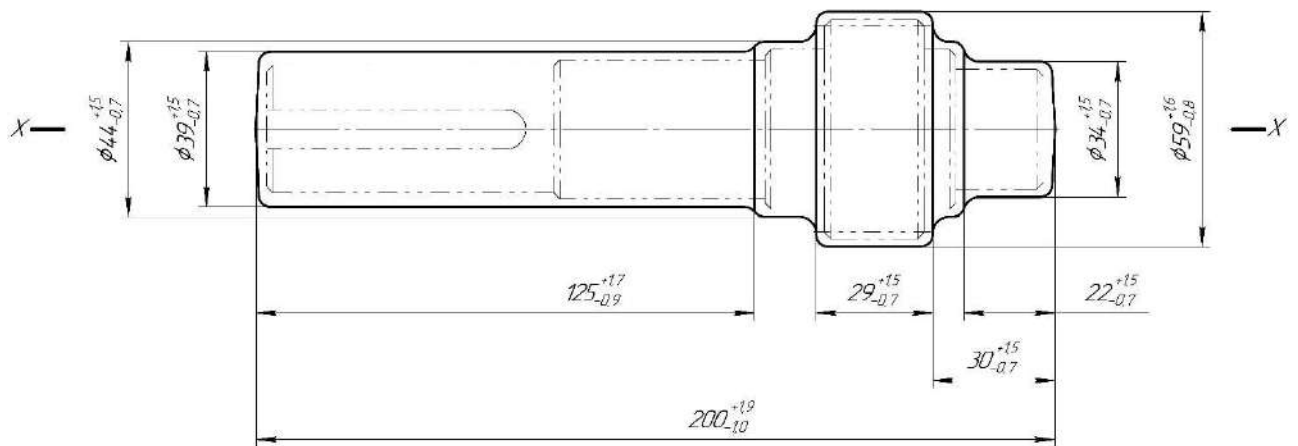
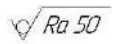


Рисунок 1.4 – Ескіз штамповки на КГШП

Припуски для заготовки з прокату $z = 2$ мм;

$$D = 55 + 2 \cdot 2 = 59 \text{ мм};$$

$$L = 195 + 2 \cdot 2 = 199 \text{ мм};$$

За ГОСТ 2590–74 приймаємо зовнішній діаметр $D = 60$ мм.

Аналогічно визначаємо масу заготовки з прокату (рис. 1.5) та креслимо ескіз заготовки (рис. 1.6).

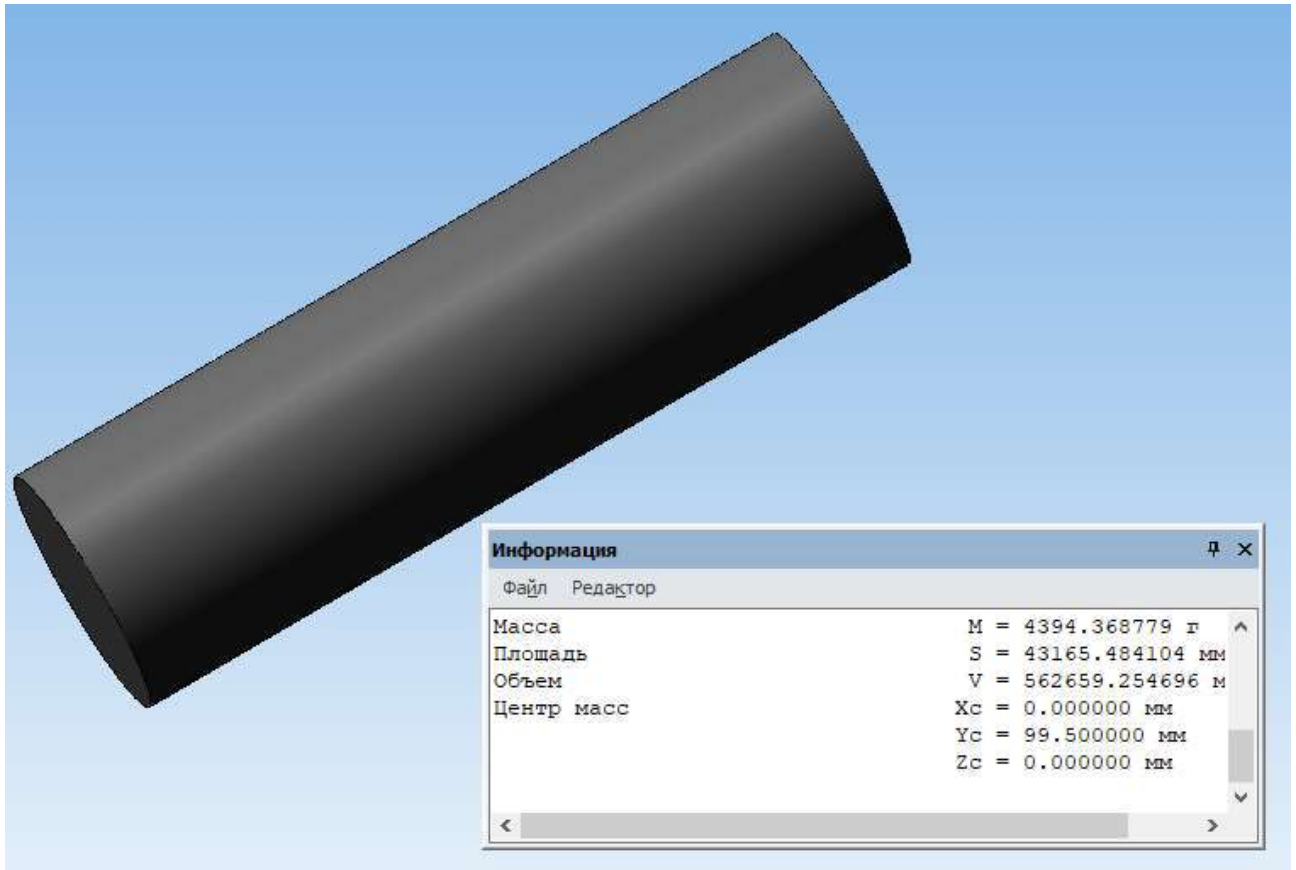


Рисунок 1.5 – Визначення маси прокату в Компас 3D

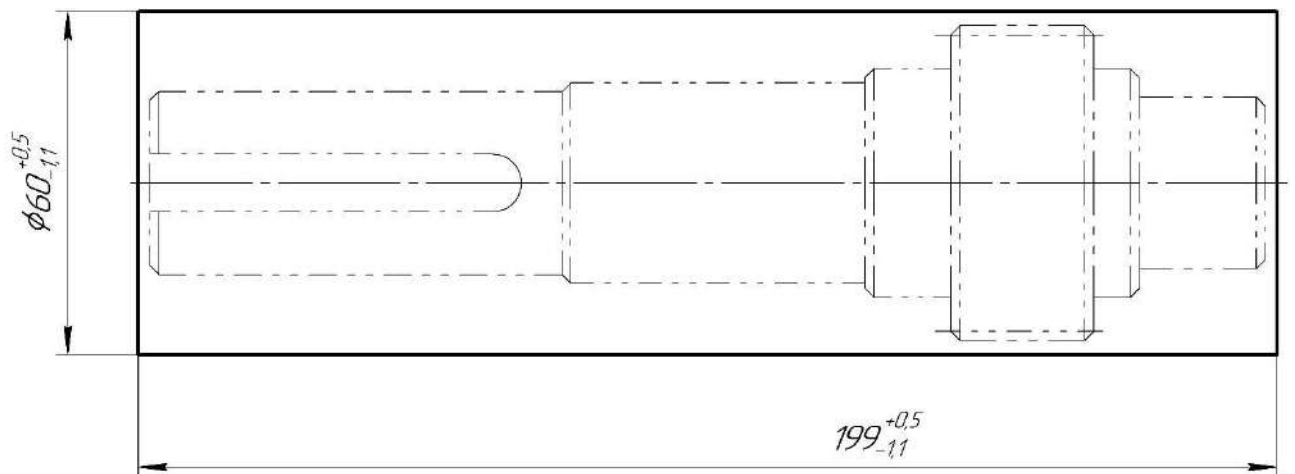


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки з прокату

Коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2):

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{1,53}{2,21} = 0,69$$

$$\eta_{np} = \frac{1,53}{4,39} = 0,35$$

$$\eta_{np} < \eta_{кгшп}$$

Собівартість заготовок за формулою (1.3):

$$B_{кгшп} = \frac{3500}{1000} \cdot 2,21 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 0,87 \cdot 1,14 \cdot 1 - (2,21 - 1,53) \cdot \frac{140}{1000} = 11,4 \text{ грн};$$

$$B_{np} = \frac{1260}{1000} \cdot 4,39 - (4,39 - 1,53) \cdot \frac{140}{1000} = 5,1 \text{ грн};$$

$$B_{кгшп} > B_{np}$$

Так як $B_{кгшп} > B_{np}$ та $\eta_{кгшп} > \eta_{np}$, необхідно розрахувати додаткові витрати для кожного з методів:

$$B_{B кгшп} = (11,4 - 5,1) \cdot 10000 = 63000 \text{ грн}$$

$$M_{np} = q \cdot \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N = 1,53 \cdot \frac{0,69 - 0,35}{0,69 \cdot 0,35} \cdot 10000 = 21540 \text{ кг}$$

$$B_{np} = M_{np} \cdot \frac{B_{\delta}}{1000} = 21540 \cdot \frac{1260}{1000} = 27140,4 \text{ грн}$$

$$B_{M np} < B_{B кгшп}$$

$$E = 63000 - 27140,4 = 35859,6 \text{ грн}$$

Порівнявши додаткові витрати на виготовлення заготовки, можна зробити висновок, що задану деталь доцільніше виготовляти за допомогою прокату, так як цей метод дешевший: $B_{M np} < B_{B кгшп}$.

Розрахункові дані заносимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Порівняльні показники

Показник	Позначення	Од. виміру	КГШП	Прокат
Припуск на сторону	Z	мм	1,9 2,0 2,3	2,0
Маса заготовки	Q	кг	2,21	4,39
Баз. ціна 1т. заготовок	B_6	грн	3500	1260
Коефіцієнти	K_T K_M K_B K_C K_{II}		1 1,22 1,14 0,87 1	—
Вартість 1 т. стружки	$B_{отх}$	грн	140	
Вартість 1 заготовки	B	грн	11,4	5,1
КВМ	η	—	0,69	0,35
Додаткові витрати		грн	63000	27140,4

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір бази для чорнової обробки.

Чорнова база повинна використовуватися для обробки заготовки лише один раз – при виконанні першої операції. Усі подальші операції та установи заготівлі необхідно здійснювати на оброблених базових поверхнях.

Обробку основних поверхонь валу необхідно проводити під час встановлення його у центрах. При цьому поєднується технологічна та вимірювальна бази для діаметральних розмірів деталі (вісь деталі). Осьове (по

довжині) фіксування деталі виконуватиметься упором в один з її торців при використанні переднього плаваючого центру.

Операція зацентрування валу виконується при його базуванні на $\varnothing 60$ мм з упором в торець.

Вибір баз для чистової обробки здійснюється за умов:

- по можливості, використання на всіх операціях механічної обробки одних і тих самих базових поверхонь, тобто принципу єдності баз;
- дотримання принципу суміщення баз – як технологічні базові поверхні використовуються конструкторські та вимірювальні бази;
- бази для остаточної обробки повинні мати найбільшу точність розмірів та геометричну форму, найменшу шорсткість поверхні;
- вибрані бази повинні разом із затискними пристроями забезпечувати надійність та міцність закріплення деталі, та її постійне положення під час обробки;
- прийняті бази та методи базування повинні забезпечувати більш просту та надійну конструкцію пристроїв.

Для чистових операцій як бази будемо використовувати торець і зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 30 \pm 0,008$ мм.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) необхідний для розрахунку проміжних і загальних припусків на механічну обробку, а також проміжних розмірів заготовки за технологічними переходами (або операціями) обробки. Маршрут обробки призначають на підставі технічних вимог креслення деталі та креслення заготовки, починаючи з вибору методу остаточної обробки, що забезпечує задані кресленням деталі точність та стан поверхневого шару.

Щоб визначити кількість механічних переходів для отримання необхідної точності і якості поверхні розраховують:

– загальне уточнення [2]:

$$\varepsilon_{0i} = \frac{Ti_{\text{заг}}}{Ti_{\text{дет}}} \quad (1.6)$$

де $Ti_{\text{заг}}$ – допуск на i -й параметр заготовки;

$Ti_{\text{дет}}$ – допуск на i -й параметр деталі за робочим кресленням.

– кількість переходів за лімітуючим показником [2]:

$$k_{Ti} = 2lg\varepsilon_{T0i} \quad (1.7)$$

– часткове уточнення на кожному j -тому переході [2]:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{Ti_{(j-1)}}{Ti_j} \quad (1.8)$$

де $Ti_{(j-1)}$ и Ti_j – відповідно технологічні допуски, які забезпечуються на попередньому $(j - 1)$ і даному j -тому переходах.

Маршрут обробки поверхні вважається прийнятим, якщо виконується умова [2]:

$$\varepsilon_{i0} \leq \prod_{i=1}^k \varepsilon_{ij} \quad (1.9)$$

Проектування маршруту обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 32 \pm 0,008$ мм.

Визначимо дані по деталі та заготовці:

Деталь: $Td_d = 0,016\text{мм} = 16\text{ мкм}$; $Ra_d = 0,8\text{ мкм}$; Квалітет – js6.

Заготовка: $Td_3 = 1600\text{ мкм}$; $Ra_3 = 50\text{ мкм}$; Квалітет – IT16.

Визначаємо загальні уточнення за формулою (1.6):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}} = \frac{1600}{16} = 100$$

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{Ra_{\text{заг}}}{Ra_{\text{дет}}} = \frac{50}{0,8} = 62,5$$

Визначаємо кількість переходів за лімітуючим показником за формулою (1.7):

$$K_{\text{расч}} = 2lg\varepsilon_{Td} = 100$$

Приймаємо кількість переходів $K=4$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 6 = 10 = 4 + 3 + 2 + 1$$

Складаємо послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

$$IT16 \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow T/O \rightarrow h7 \rightarrow js6$$

$$Ra\ 50 \rightarrow Ra\ 12,5 \rightarrow Ra\ 3,2 \rightarrow T/O \rightarrow Ra\ 1,6 \rightarrow Ra\ 0,8$$

Визначаємо уточнення за формулою (1.8):

1) Розточування чорнове

$$\varepsilon_{Td} = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_1} = \frac{1600}{250} = 6,4,$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_{\text{заг}}}{Ra_1} = \frac{50}{12,5} = 4.$$

2) Розточування чистове

$$\varepsilon_{Td2} = \frac{Td_1}{Td_2} = \frac{250}{62} = 4,$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{Ra_1}{Ra_2} = \frac{12,5}{3,2} = 3,91.$$

3) Т/О

4) Шліфування попереднє

$$\varepsilon_{Td4} = \frac{Td_2}{Td_4} = \frac{62}{25} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_2}{Ra_4} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

5) Шліфування остаточне

$$\varepsilon_{Td5} = \frac{Td_4}{Td_5} = \frac{25}{16} = 1,6$$

$$\varepsilon_{Ra5} = \frac{Ra_4}{Ra_5} = \frac{1,6}{0,8} = 2$$

Загальне уточнення для перевірки обраного маршруту за формулою (1.9):

$$\varepsilon_{Td0} = \prod_{i=1}^k \varepsilon_{iTd} = \varepsilon_{1Td} \cdot \varepsilon_{2Td} \cdot \varepsilon_{4Td} \cdot \varepsilon_{5Td} = 6,4 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 1,6 = 102,4$$

$$\varepsilon_{Ra0} = \prod_{i=1}^k \varepsilon_{iRa} = \varepsilon_{1Ra} \cdot \varepsilon_{2Ra} \cdot \varepsilon_{4Ra} \cdot \varepsilon_{5Ra} = 4 \cdot 3,91 \cdot 2 \cdot 2 = 62,56$$

$$\varepsilon_{oTd} \leq \Pi \varepsilon_{iTd}$$

$$100 \leq 102,4 - \text{вірно}$$

$$\varepsilon_{oRa} \leq \Pi \varepsilon_{iRa}$$

$$62,5 \leq 62,56 - \text{вірно}$$

Маршрут обробки заданої поверхні вважаємо прийнятим. Дані заносимо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – План обробки поверхонь

Показник	Уточнення	Кількість переходів	Різниця показників ПТЯ	i	Метод обробки	Td, мкм	Взаємн. розміщ.	Ra, мкм	ε_{Td}	$\varepsilon_{\text{взаємн.розм.}}$	ε_{Ra}
Зовнішня циліндрична $\varnothing 32 \pm 0,008$											
Td Ra	100 62,5	4	16-6= =10-4+3 +2+1	1	Заготівельна	IT16	1600	1,2	50	—	—
				2	Розточування чорнове	h12	250	0,2	12,5	6,4	6
				3	Розточування чистове	h9	62	0,05	3,2	4	4
				4	Т/О	—	—	—	—	—	—
				5	Шліфування попереднє	h7	25	0,03	1,6	2,5	1,7
				6	Шліфування остаточне	js6	16	0,02	0,8	1,6	1,5
				Уточнення					102,4	61,2	62,56

Аналогічно розраховуємо МОП для всіх інших поверхонь деталі та заносимо дані до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця МОП

№	Розмір, мм	Вид поверхні	Заготовка			Деталь			ε_{oTd}	ε_{oRa}	k	Δ
			Кв.	Td, мкм	Ra, мкм	Кв.	Td, мкм	Ra, мкм				
1	$\varnothing 32 \pm 0,008$	зовнішня циліндр.	IT16	1600	50	js6	16	0,8	100	62,5	4	10
2	$\varnothing 35 \pm 0,008$	зовнішня циліндр.	IT16	1600	50	js6	16	0,8	100	62,5	4	10
3	$\varnothing 30 \pm 0,065$	зовнішня циліндр.	IT17	1600	50	js11	130	0,8	12,4	62,5	3	6
4	$\varnothing 40$	зовнішня циліндр.	IT16	1600	50	h14	620	6,3	2,6	8	2	2
5	$\varnothing 55_{-0,19}$	зовнішня циліндр.	IT16	1600	50	h11	190	6,3	8,4	8	2	5
6	195	торцева	IT16	2900	50	js14	1150	6,3	2,5	8	1	2
7	125	торцева	IT16	1600	50	js14	1000	6,3	1,6	8	2	2
8	72	торцева	IT16	1900	50	js14	740	6,3	2,6	8	2	2
9	25	торцева	IT17	1600	50	js14	520	6,3	3,1	8	2	3
10	30	торцева	IT17	1600	50	js14	520	6,3	3,1	8	2	3
11	22	торцева	IT17	1600	50	js14	520	6,3	3,1	8	2	3
12	10	паз	—	—	—	js14	360	3,2	—	—	1	—

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Під технологічним маршрутом виготовлення деталі мається на увазі послідовність виконання технологічних операцій з вибором типу обладнання.

Під час встановлення загальної послідовності обробки спочатку обробляють поверхні, прийняті за технологічні бази. Потім обробляють інші поверхні в послідовності, зворотній ступеню їх точності.

Етапи маршруту виготовлення валу-шестерні:

- 1) отримання заготовки;
- 2) обробка різанням (чорнова та чистова обробка);
- 3) термічна обробка;
- 4) абразивна (чорнова та чистова обробка);
- 5) мийна операція, контроль.

Маршрут виготовлення деталі «Вал–шестерня» показано на кресленні НУЗП 721002.035.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахуємо припуски та технологічні розміри для циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 32 \pm 0,008$ мм табличним методом.

Обираємо мінімальні припуски за [2, с. 47, табл.3.2,3.3]:

1. Чорнове точіння $2z_2^{min} = 2 \cdot 1,3 = 2,6$ мм ;
2. Чистове точіння $2z_3^{min} = 2 \cdot 0,25 = 0,5$ мм;
3. Шліфування попереднє $2z_5^{min} = 2 \cdot 0,5 = 1,0$ мм;
4. Шліфування остаточне $2z_6^{min} = 2 \cdot 0,06 = 0,12$ мм;

Розрахунки технологічних розмірів виконуємо за методикою розмірних ланцюгів.

Розрахуємо максимальні діаметри за формулою (1.10) [2]:

$$d_i^{max} = d_{i+1}^{max} + 2z_{i+1}^{min} + Td_i \quad (1.10)$$

$$d_1^{max} = 33,965 + 2,6 + 1,6 = 38,165 \text{ мм};$$

$$d_2^{max} = 33,215 + 0,5 + 0,25 = 33,965 \text{ мм};$$

$$d_3^{max} = 32,153 + 1,0 + 0,062 = 33,215 \text{ мм};$$

$$d_5^{max} = 32,008 + 0,12 + 0,025 = 32,153 \text{ мм};$$

$$d_6^{max} = 32 + 0,008 = 32,008 \text{ мм}.$$

Розрахуємо мінімальні діаметри за формулою (1.11) [2]:

$$\begin{aligned}
 d_1^{min} &= d_1^{max} - Td_i \\
 d_1^{min} &= 38,2 - 1,6 = 36,6 \text{ мм}; \\
 d_2^{min} &= 33,97 - 0,25 = 33,72 \text{ мм}; \\
 d_3^{min} &= 33,22 - 0,062 = 33,158 \text{ мм}; \\
 d_5^{min} &= 32,15 - 0,025 = 32,125 \text{ мм}; \\
 d_6^{min} &= 32,008 - 0,016 = 31,992 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.11}$$

Розрахуємо мінімальні припуски за формулою (1.12) [2]:

$$\begin{aligned}
 2z_{i+1}^{min} &= d_i^{min} - d_{i+1}^{max} \\
 2z_2^{min} &= 36,6 - 33,97 = 2,63 \text{ мм}; \\
 2z_3^{min} &= 33,72 - 33,22 = 0,5 \text{ мм}; \\
 2z_5^{min} &= 33,158 - 32,15 = 1,008 \text{ мм}; \\
 2z_6^{min} &= 32,125 - 32,008 = 0,117 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.12}$$

Розрахуємо максимальні припуски за формулою (1.13) [2]:

$$\begin{aligned}
 2z_{i+1}^{max} &= d_i^{max} - d_{i+1}^{min} \\
 2z_2^{max} &= 38,2 - 33,72 = 4,48 \text{ мм}; \\
 2z_3^{max} &= 33,97 - 33,158 = 0,812 \text{ мм}; \\
 2z_5^{max} &= 33,22 - 32,125 = 1,095 \text{ мм}; \\
 2z_6^{max} &= 32,15 - 31,992 = 0,158 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.13}$$

Перевірка за переходами за формулою (1.14) [2]:

$$Tz_i = 2z_i^{max} - 2z_i^{min} = Td_i + Td_{i-1} \tag{1.14}$$

$$\begin{aligned}
 Tz_2 &= 4,48 - 2,63 = 1,6 + 0,25 = 1,85 \text{ мм}; \\
 Tz_3 &= 0,812 - 0,5 = 0,25 + 0,062 = 0,312 \text{ мм}; \\
 Tz_5 &= 1,095 - 1,008 = 0,062 + 0,025 = 0,087 \text{ мм}; \\
 Tz_6 &= 0,158 - 0,117 = 0,025 + 0,016 = 0,041 \text{ мм}.
 \end{aligned}$$

Загальна перевірка розрахунків за формулою (1.15) [2]:

$$\begin{aligned}
 TZ_o &= 2z_o^{max} - 2z_o^{min} = Td_{заг} + Td_{дет} & (1.15) \\
 2z_o^{max} &= 38,2 - 31,992 = 6,208 \text{ мм}; \\
 2z_o^{min} &= 36,6 - 32,008 = 4,592 \text{ мм}; \\
 6,208 - 4,592 &= 1,6 + 0,016; \\
 1,616 &= 1,616 - \text{вірно}.
 \end{aligned}$$

Заносимо дані розрахунків в таблицю 1.7.

Визначаємо технологічні виконавчі розміри за переходами:

- 1) Заготовка $\emptyset 37,7^{+0,5}_{-1,1}$ мм;
- 2) Чорнове точіння $\emptyset 33,97_{-0,25}$ мм;
- 3) Чистове точіння $\emptyset 33,22_{-0,062}$ мм;
- 4) Шліфування попереднє $\emptyset 32,15_{-0,025}$ мм;
- 5) Шліфування остаточне $\emptyset 32 \pm 0,008$ мм.

Таблиця 1.7 – Припуски та міжопераційні розміри зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 32 \pm 0,008$ мм

i	Найменування технолог. переходів	Розрахунковий		Допуск Td, мм	Граничні значення розмірів, мм		Граничні значення припусків, мм		Виконавчий розмір d, мм
		Припуск 2Z, мм	Розмір d, мм		d_i^{max} , мм	d_i^{min} , мм	$2z_i^{max}$, мм	$2z_i^{min}$, мм	
1	Заготовка	–	38,165	1,6	38,2	36,6	–	–	$\varnothing 37,7^{+0,5}_{-1,1}$
2	Чорнове точіння	2,6	33,965	0,25	33,97	33,72	4,48	2,63	$\varnothing 33,97_{-0,25}$
3	Чистове точіння	0,6	33,215	0,062	33,22	33,158	0,812	0,5	$\varnothing 33,22_{-0,062}$
4	Т/О	–	–	–	–	–	–	–	–
5	Шліфування попереднє	1,0	32,153	0,025	32,15	33,125	1,095	1,008	$\varnothing 32,15_{-0,025}$
6	Шліфування остаточне	0,12	32,008	0,016	32,008	31,992	0,158	0,117	$\varnothing 32 \pm 0,008$

Розрахуємо припуски та технологічні розміри для циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 35 \pm 0,008$ мм розрахунково-аналітичним методом.

Визначаємо висоту нерівностей R_z та висоту дефектного шару h [2, с.23, табл.3.7]:

Заготовка $R_z=120$ мкм; $h = 120$ мкм.

Чорнове точіння $R_z = 100$ мкм; $h = 75$ мкм.

Чистове точіння $R_z = 20$ мкм; $h = 25$ мкм.

Шліфування попереднє $R_z = 20$ мкм; $h = 30$ мкм.

Шліфування остаточне $R_z = 10$ мкм; $h = 15$ мкм.

Визначимо значення просторових відхилень ρ для заготовки [5, с.327, табл.4]: $\rho_{кор}^{табл} = 1,5$ мкм/мм.

$$\rho_{кор} = \rho_{кор}^{табл} \cdot l = 1,5 \cdot 199 = 298,5 \text{ мкм}$$

$$\rho_{зміщ} = 0,5 \text{ мм} = 500 \text{ мкм}$$

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{смещ}}^2} = \sqrt{298,5^2 + 500^2} = 582 \text{ мкм}$$

За переходами :

Коефіцієнти уточнення [5, с.338, табл.29]:

$$K_{y \text{ чорн.}} = 0,06 ; K_{y \text{ чист}} = 0,04 ; K_{y \text{ шліф.чорн.}} = 0,03 ; K_{y \text{ шліф.чист.}} = 0,02 ;$$

$$\rho_2 = 582 \cdot 0,06 = 35 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 35 \cdot 0,04 = 1 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = \rho_{\text{кор.Т/О}} \cdot l = 0,1 \cdot 199 = 20 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 20 \cdot 0,03 = 1 \text{ мкм}$$

$$\rho_6 = 0 \text{ мкм}$$

де $\rho_{\text{кор.Т/О}}$ – короблення заготовки після термообробки, $\rho_{\text{кор.Т/О}} = 0,1 \text{ мкм/мм}$ [3, с.333, табл.15].

Похибка зацентровки за переходами [2]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} = 0,25 \cdot \sqrt{1,6^2 + 1} = 0,472 \text{ мм} = 472 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_3 = K_{y \text{ чорн.}} \cdot \varepsilon_2 = 0,06 \cdot 472 = 28 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_4 = K_{y \text{ чист.}} \cdot \varepsilon_3 = 0,04 \cdot 28 = 1 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = K_{y \text{ шліф чорн.}} \cdot \varepsilon_4 = 0,03 \cdot 1 = 0 \text{ мкм}$$

Визначення мінімальних припусків:

$$2z_2^{\text{min}} = 2 \cdot (120 + 120 + \sqrt{582^2 + 472^2}) = 1979 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\text{min}} = 2 \cdot (100 + 75 + \sqrt{35^2 + 28^2}) = 440 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\text{min}} = 2 \cdot (20 + 25 + \sqrt{1^2 + 1^2}) = 92 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{min} = 2 \cdot (20 + 30 + \sqrt{1^2 + 0^2}) = 102 \text{ мкм}$$

Розрахуємо максимальні діаметри за формулою (1.10):

$$\begin{aligned} d_1^{max} &= 35,979 + 1,979 + 1,6 = 39,558 \text{ мм} \approx 39,6 \text{ мм}; \\ d_2^{max} &= 35,289 + 0,44 + 0,25 = 35,979 \text{ мм} \approx 35,98 \text{ мм}; \\ d_3^{max} &= 35,135 + 0,092 + 0,062 = 35,289 \text{ мм}; \\ d_5^{max} &= 35,008 + 0,102 + 0,025 = 35,135 \text{ мм}; \\ d_6^{max} &= 35 + 0,008 = 35,008 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розрахуємо мінімальні діаметри за формулою (1.11):

$$\begin{aligned} d_1^{min} &= 39,6 - 1,6 = 38 \text{ мм}; \\ d_2^{min} &= 35,98 - 0,25 = 35,73 \text{ мм}; \\ d_3^{min} &= 35,289 - 0,062 = 35,227 \text{ мм}; \\ d_5^{min} &= 35,135 - 0,025 = 35,11 \text{ мм}; \\ d_6^{min} &= 35,008 - 0,016 = 34,992 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розрахуємо мінімальні припуски за формулою (1.12):

$$\begin{aligned} 2z_2^{min} &= 38 - 35,98 = 2,02 \text{ мм}; \\ 2z_3^{min} &= 35,73 - 35,289 = 0,441 \text{ мм}; \\ 2z_5^{min} &= 35,277 - 35,135 = 0,142 \text{ мм}; \\ 2z_6^{min} &= 35,11 - 35,008 = 0,102 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Розрахуємо максимальні припуски за формулою (1.13):

$$2z_2^{max} = 39,6 - 35,73 = 3,87 \text{ мм};$$

$$2z_3^{max} = 35,98 - 35,227 = 0,753 \text{ мм};$$

$$2z_5^{max} = 35,289 - 35,11 = 0,179 \text{ мм};$$

$$2z_6^{max} = 35,135 - 34,992 = 0,143 \text{ мм}.$$

Загальна перевірка розрахунків за формулою (1.15):

$$2z_0^{max} = 39,6 - 34,992 = 4,608 \text{ мм};$$

$$2z_0^{min} = 38 - 35,008 = 2,992 \text{ мм};$$

$$4,608 - 2,992 = 1,6 + 0,016;$$

$$1,616 = 1,616 - \text{вірно}.$$

Заносимо дані розрахунків в таблицю 1.8.

Визначаємо технологічні виконавчі розміри за переходами:

- 1) Заготовка $\varnothing 39,1^{+0,5}_{-1,1}$ мм;
- 2) Чорнове точіння $\varnothing 35,98_{-0,25}$ мм;
- 3) Чистове точіння $\varnothing 35,289_{-0,062}$ мм;
- 4) Шліфування попереднє $\varnothing 35,135_{-0,025}$ мм;
- 5) Шліфування остаточне $\varnothing 35 \pm 0,008$ мм.

Таблиця 1.8 - Припуски та міжопераційні розміри зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 35 \pm 0,008$

i	Найменування технолог. переходів	Елементи припуску				Розрахунковий		Допуск Td, мм	Граничні значення розмірів, мм		Граничні значення припусків, мм		Виконавчий розмір d, мм
		R_{zi} , мкм	h_i , мкм	ρ_i , мкм	ε_i , мкм	Припуск 2Z, мкм	Розмір d, мм		d_i^{max} , мм	d_i^{min} , мм	$2z_i^{max}$, мм	$2z_i^{min}$, мм	
1	Заготовка	120	120	582	-	-	39,558	1,6	39,6	38	-	-	$\varnothing 39,1_{-1,1}^{+0,5}$
2	Чорнове точіння	100	75	35	472	1979	35,797	0,25	35,98	35,73	3,87	2,02	$\varnothing 35,98_{-0,25}$
3	Чистове точіння	20	25	1	28	440	35,289	0,062	35,289	35,227	0,753	0,441	$\varnothing 35,289_{-0,062}$
4	Т/О	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Шліфування попереднє	20	30	1	1	92	35,135	0,025	35,135	35,11	0,179	0,092	$\varnothing 35,135_{-0,025}$
6	Шліфування остаточне	10	15	0	0	102	35,008	0,016	35,008	34,992	0,143	0,102	$\varnothing 35 \pm 0,008$

1.6 Розрахунок режимів різання

Етапи призначення режимів різання

1. Обрати ріжучий інструмент

2. Призначити стійкість ріжучого інструменту T , хв. Обираємо з таблиць з довідника [4] в залежності від типу, матеріалу і геометрії інструмента та параметрів заготовки.

3. Призначити глибину різання t , мм

– для точіння, круглого шліфування, розточування, розгортання, зенкерування за формулою (1.16) [4]:

$$t = \frac{d_{i-1} - d_i}{2} \quad (1.16)$$

де d_{i-1} – розмір деталі, отриманий на попередній операції, мм;

d_i – розмір, який отримують на даній операції, мм.

– для свердління за формулою (1.17) [4]:

$$t = \frac{d_{\text{св}}}{2} \quad (1.17)$$

де $d_{\text{св}}$ – діаметр свердла, мм.

4. Призначити подачу

1) Обираємо $S_{\text{табл}}$, мм/об за спеціальними таблицями [4];

2) Знаходимо $S_{\text{розр}}$, мм/об;

Для точіння за формулою (1.18) [4]:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{табл}} \cdot K_{\text{СП}} \cdot K_{\text{СИ}} \cdot K_{\text{СФ}} \cdot K_{\text{СЗ}} \cdot K_{\text{СЖ}} \cdot K_{\text{СМ}} \quad (1.18)$$

де $K_{\text{СП}}$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{Si} — коефіцієнт, що враховує матеріал інструмента;

$K_{S\phi}$ — коефіцієнт, що враховує форму поверхні;

K_{S3} — коефіцієнт, що враховує термообробку;

$K_{S\mathcal{K}}$ — коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

K_{SM} — коефіцієнт, що враховує матеріал деталі.

Для свердління за формулою (1.19) [4]:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{табл}} \cdot K_{Si} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sd} \cdot K_{S\mathcal{K}} \cdot K_{SM} \quad (1.19)$$

де K_{Si} — коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

K_{Sd} — коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного отвору.

Для фрезерування за формулою (1.20) [4]:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{табл}} \cdot K_{Sc} \cdot K_{Si} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{SR} \quad (1.20)$$

де K_{Sc} — коефіцієнт, що враховує шифр схеми фрезерування;

K_{SR} — коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні.

Для шліфування за формулою (1.21) [4]:

$$S_{\text{розр}} = S_{\text{табл}} \cdot K_M \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_{Vk} \cdot K_t \cdot K_T \cdot K_h \quad (1.21)$$

де K_R — коефіцієнт, що враховує радіус галтелі;

K_D — коефіцієнт, що враховує діаметр круга;

K_{Vk} — коефіцієнт, що враховує швидкість круга;

K_t — коефіцієнт, що враховує стійкість круга;

K_T — коефіцієнт, що враховує точність обробки;

K_h — коефіцієнт, що враховує припуск на обробку.

3) Визначаємо S_o , мм/об за паспортом верстата.

5. Визначаємо швидкість різання

1) Обираємо $V_{\text{табл}}$, м/мин за спеціальними таблицями;

2) Знаходимо $V_{\text{розр}}$, м/мин

Для точіння за формулою (1.22) [4]:

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{табл}} \cdot K_{V\pi} \cdot K_{V\text{и}} \cdot K_{V\varphi} \cdot K_{Vz} \cdot K_{V\text{жс}} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vo} \quad (1.22)$$

де K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОР;

$K_{V\varphi}$ – коефіцієнт, що враховує кут в плані.

Для свердління за формулою (1.23) [4]:

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{табл}} \cdot K_{Vl} \cdot K_{V\text{и}} \cdot K_{Vd} \cdot K_{VT} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vo} \quad (1.23)$$

де K_{Vl} – коефіцієнт, що враховує довжину свердління.

Для фрезерування за формулою (1.24) [4]:

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{табл}} \cdot K_{V\pi} \cdot K_{V\text{и}} \cdot K_{V\varphi} \cdot K_{Vc} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vo} \cdot K_{VB} \quad (1.24)$$

де K_{VB} – коефіцієнт, що враховує відношення фактичної ширини фрезерування до нормативної.

6. Визначаємо кількість обертів n , об/хв

1) Визначаємо $n_{\text{розр}}$ за формулою (1.25) [4]:

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр}}}{\pi \cdot d} \quad (1.25)$$

2) За паспортом верстата приймаємо найближче менше значення $n_{\text{верст}}$, об/хв

3) Знаходимо фактичну швидкість різання V_ϕ , м/хв за формулою (1.26) [4]:

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{\text{верст}}}{1000} \quad (1.26)$$

Операція 020 Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК SKQ12NC. Операційний ескіз представлений на рис. 1.7. Деталь закріплюється в центрах та обертається за допомогою повідкового патрону.

Інструмент: різець прохідний $\varphi=90^\circ$, $\varphi_1=27^\circ$, $r=1$ мм, 25x16x140, T15K6 ГОСТ 18879-73.

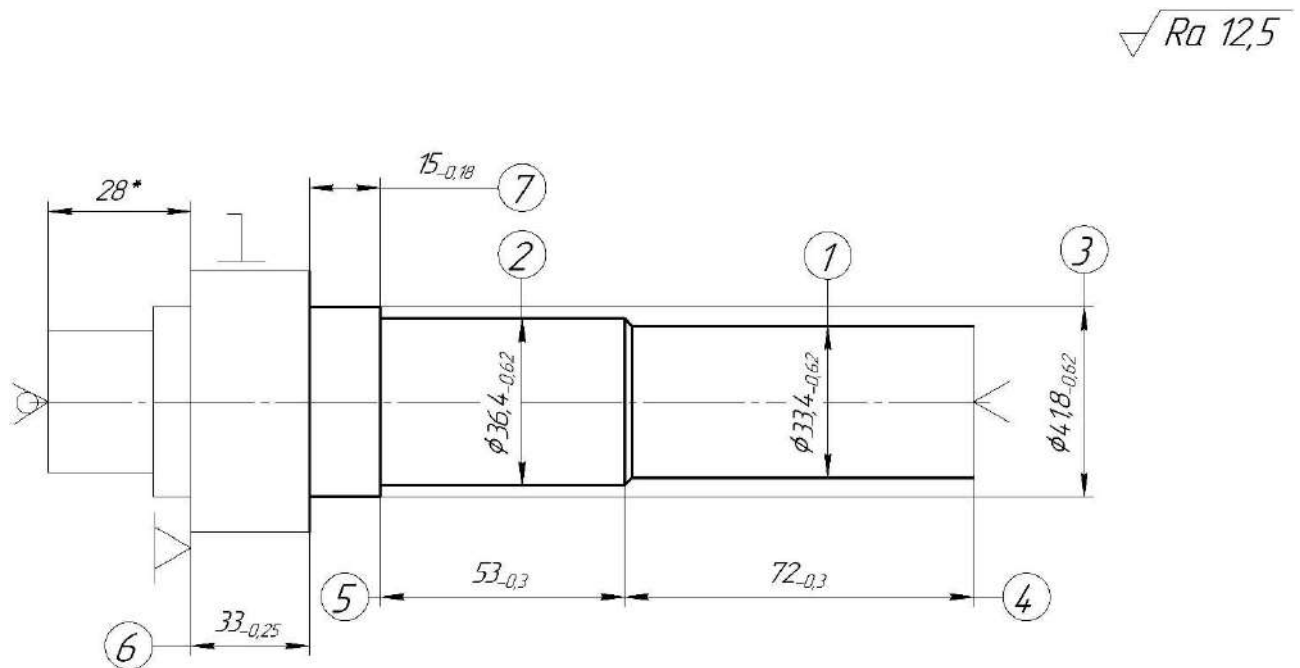


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз токарної операції (020)

Режими різання:

Стійкість інструмента $T=60$ хв;

Глибина різання за формулою (1.16):

$$t_1 = \frac{60 - 33,4}{2} = 13,3 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{60 - 36,4}{2} = 11,8 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{60 - 41,8}{2} = 9,1 \text{ мм}$$

Призначаємо глибину різання за прохід – $t=2$ мм.

Обираємо подачу за [4, с.237, табл.26]: $S_{\text{табл}} = 0,38$ мм/об.

За формулою (1.18) визначаємо $S_{\text{розр}}$:

$$S_{\text{розр}} = 0,38 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,25 \text{ мм/об}$$

де $K_{S\pi}$ – коефіцієнт для поверхні без корки, $K_{S\pi} = 1$;

K_{Si} – коефіцієнт для інструменту із твердого сплаву, $K_{Si} = 1$;

$K_{S\phi} = 1$;

$K_{S3} = 1$;

$K_{Sж}$ – коефіцієнт для оброблюваного діаметра 50 мм, $K_{Sж} = 0,62$;

K_{Sm} – коефіцієнт для сталі 40Х, $K_{Sm} = 1,07$ [4,с.239, табл.30].

Приймаємо $S_o = 0,25$ мм/об.

Табличну швидкість обираємо за [4,с.243, табл.36]: $V_{\text{табл}} = 228$ м/хв.

Визначаємо $V_{\text{розр}}$ за формулою (1.22):

$$V_{\text{розр}} = 228 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 1 \cdot 0,84 = 116,8 \text{ м/хв}$$

де $K_{V\pi}$ – коефіцієнт для поверхні без корки, $K_{V\pi} = 1$;

K_{Vi} – коефіцієнт для інструменту із твердого сплаву Т15К6, $K_{Vi} = 1$;

$K_{V3} = 1$;

$K_{Vж}$ – коефіцієнт для оброблюваного діаметра 50 мм, $K_{Vж} = 0,61$;

$$K_{V2} = 1;$$

K_{V0} – коефіцієнт для обробки з змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР), $K_{V0} = 1$;

$K_{V\varphi}$ – коефіцієнт, що враховує кут в плані 90° , $K_{V\varphi} = 0,84$ [4, с.244, табл.37].

За формулою (1.25) визначаємо $n_{розр}$:

$$n = \frac{1000 \cdot 116,8}{3,14 \cdot 60} = 620 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Обираємо частоту обертання $n = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

Визначаємо фактичну швидкість різання V_ϕ за формулою (1.26):

$$V = \frac{3,14 \cdot 60 \cdot 600}{1000} = 113 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Отже, приймаємо такі режими різання для токарної операції 020:

$$S_o = 0,25 \frac{\text{мм}}{\text{об}}; n = 600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; V = 113 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Операція 025 Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК SKQ12NC.

Операційний ескіз представлений на рис. 1.8.

Деталь закріплена в центрах та за допомогою поводкового патрону.

Інструмент: різець прохідний $\varphi=60^\circ$, $r=1$ мм, 25x16x100, T15K6 ГОСТ 18878-73.

Режими різання:

Стійкість інструмента $T=60$ хв;

Глибина різання за формулою (1.16):

$$t_1 = \frac{41 - 40}{2} = 0,5 \text{ мм};$$

$$t_2 = \frac{55,76 - 55}{2} = 0,38 \text{ мм};$$

$$t_3 = \frac{31 - 30,4}{2} = 0,3 \text{ мм}.$$

Розрахунки проводимо для глибини різання $t=0,5$ мм.

$\sqrt{Ra} \ 6,3$

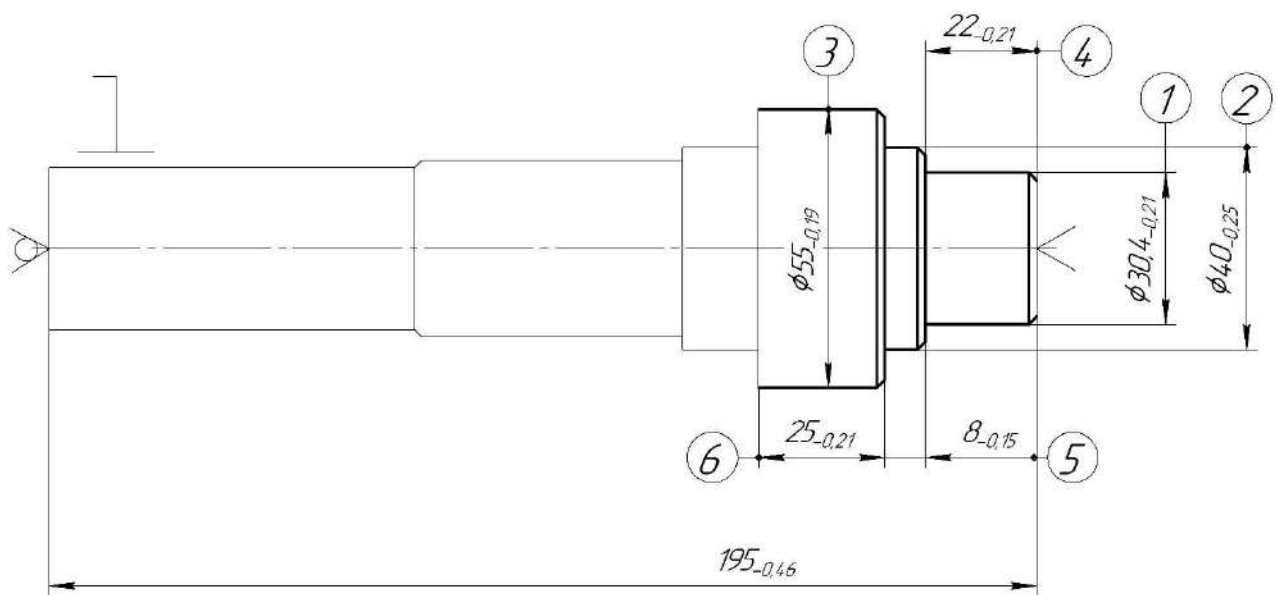


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз токарної операції (025)

Обираємо подачу за [4, с.238, табл.28]: $S_{\text{табл}} = 0,33 \text{ мм/об.}$,

За формулою (1.18) визначаємо $S_{\text{розр}}$:

$$S_{\text{розр}} = 0,33 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,21 \text{ мм/об}$$

де $K_{S\text{п}}$ – коефіцієнт для поверхні без корки, $K_{S\text{п}} = 1$;

$K_{S\text{и}}$ – коефіцієнт для інструменту із твердого сплаву, $K_{S\text{и}} = 1$;

$$K_{S\phi} = 1;$$

$$K_{S3} = 1;$$

$K_{Sж}$ – коефіцієнт для оброблюваного діаметра 50 мм, $K_{Sж} = 0,62$;

K_{SM} – коефіцієнт для сталі 40Х, $K_{SM} = 1,07$ [4,с.239, табл.30].

Приймаємо $S_0 = 0,2$ мм/об.

Табличну швидкість обираємо за [4,с.243, табл.36]: $V_{\text{табл}} = 296$ м/хв.

Визначаємо $V_{\text{розр}}$ за формулою (1.22):

$$V_{\text{розр}} = 296 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 1 \cdot 0,92 = 166,1 \text{ м/хв}$$

де $K_{V\pi}$ – коефіцієнт для поверхні без корки, $K_{V\pi} = 1$;

$K_{Vи}$ – коефіцієнт для інструменту із твердого сплаву Т15К6, $K_{Vи} = 1$;

$$K_{V3} = 1;$$

$K_{Vж}$ – коефіцієнт для оброблюваного діаметра 50 мм, $K_{Vж} = 0,61$;

$$K_{V2} = 1;$$

K_{Vo} – коефіцієнт для обробки з ЗОР, $K_{Vo} = 1$;

$K_{V\phi}$ – коефіцієнт, що враховує кут в плані 60° , $K_{V\phi} = 0,92$ [4,с.244, табл.37].

За формулою (1.25) визначаємо $n_{\text{розр}}$:

$$n = \frac{1000 \cdot 166,1}{3,14 \cdot 50} = 1057 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Обираємо частоту обертання $n = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

Визначаємо фактичну швидкість різання V_ϕ за формулою (1.26):

$$V = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 1000}{1000} = 157 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Отже, приймаємо такі режими різання для токарної операції 025:

$$S_o = 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}; n = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}; V = 157 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Операція 060 Фрезерна з ЧПК

Операція виконується на фрезерному верстаті з ЧПК MC-654D.

Операційний ескіз представлений на рис. 1.9.

Інструмент: кінцева циліндрична фреза $\varnothing 10$ мм, $z = 4$ ГОСТ 17025-71, матеріал P9M4K8.

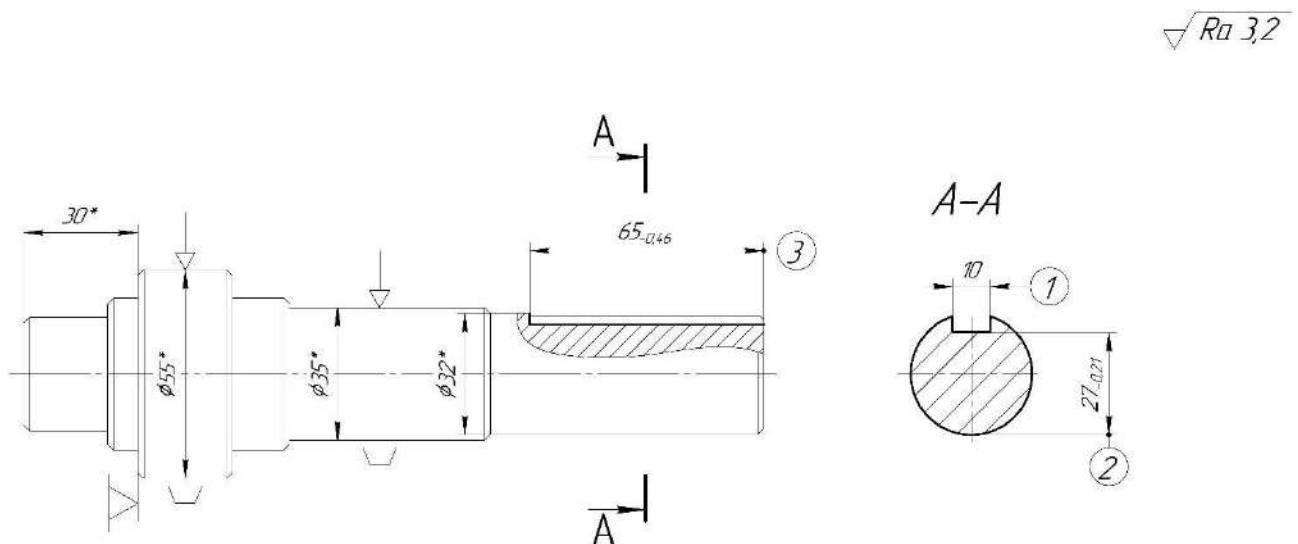


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз фрезерної операції (060)

Режими різання:

Глибина різання:

$$t = 32 - 27 = 5 \text{ мм};$$

Стійкість інструмента $T=60$ хв;

Обираємо подачу на зуб за [4, с.305, табл.113]: $S_{Z\text{табл}} = 0,16$ мм/зуб.

За формулою (1.20) визначаємо $S_{\text{розр}}$:

$$S_{\text{розр}} = 0,16 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 0,25 = 0,03 \text{ мм/об}$$

де $K_{V\phi}$ – коефіцієнт для обробки пазу, $K_{V\phi} = 0,66$;

K_{Vi} – коефіцієнт для інструменту з швидкоріжучої сталі, $K_{Vi} = 1$;

$K_{SR} = 0,25$ [4, с.305, табл.114].

$$S_o = S_{\text{розр}} \cdot Z = 0,03 \cdot 4 = 0,12 \text{ мм/об}$$

де Z – кількість зубів фрези, $Z=4$.

Приймаємо $S_o = 0,1 \text{ мм/об}$.

Табличну швидкість обираємо за [4,с.317, т.128]: $V_{\text{табл}} = 69 \text{ м/хв}$.

Визначаємо $V_{\text{розр}}$ за формулою (1.24):

$$V_{\text{розр}} = 69 \cdot 0,57 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 43,2 \text{ м/хв}$$

де K_{Vn} – коефіцієнт для поверхні без корки, $K_{Vn} = 1$;

$K_{V\phi}$ – коефіцієнт для обробки пазу, $K_{V\phi} = 0,57$;

K_{Vi} – коефіцієнт для інструменту з P9M4K8, $K_{Vi} = 1,1$;

$K_{VB} = 1$;

K_{Vo} – коефіцієнт для обробки з змащувально-охолоджувальною рідиною (ЗОР), $K_{Vo} = 1$ [4,с.317, т.129].

За формулою (1.24) визначаємо $n_{\text{розр}}$:

$$n = \frac{1000 \cdot 43,2}{3,14 \cdot 10} = 1375 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Обираємо частоту обертання фрези $n = 1300 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$.

Визначаємо фактичну швидкість різання V_f за формулою (1.26)

$$V = \frac{3,14 \cdot 1300 \cdot 10}{1000} = 40,8 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

1.7 Технічне нормування операцій

Норма часу на верстатну роботу складається з норми підготовчо-заключного часу та норми штучного часу (для масового виробництва) або штучно-калькуляційного (для серійного виробництва). Норма штучного часу розраховується за формулою (1.27) [5]:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{доп}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{отд}} \quad (1.27)$$

де t_o — основний час, хв;

$t_{\text{доп}}$ — допоміжний час, хв;

$t_{\text{обс}}$ — час обслуговування, хв;

$t_{\text{отд}}$ — час відпочинку, хв.

Сума основного та допоміжного часу складає оперативний час [5]:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.28)$$

Для серійного виробництва визначається штучно-калькуляційний час за формулою (1.29) [5]:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.29)$$

де $t_{пз}$ – підготовчо–заключний час, хв;

n – об'єм партії випуску, шт.

Основний час представляє собою час, що витрачається на безпосереднє виконання технологічного процесу механічної обробки, тобто на зміну форми, розмірів, якості поверхні шляхом точіння, фрезерування, шліфування, тощо.

Основний час визначається за формулою (1.30) [5]:

$$t_{oi} = \frac{l_{р.х.}}{S_o \cdot n} \cdot i \quad (1.30)$$

де $l_{р.х.}$ – довжина робочого ходу, мм;

i – кількість проходів.

Допоміжний час розраховуємо за формулою (1.31) [5]:

$$t_{доп} = k \cdot (t_{уст} + t_{зн} + t_{упр} + t_{шп} + t_{шв} + t_{контр}) \quad (1.31)$$

де k – коефіцієнт, що враховує серійність;

$t_{уст}, t_{зн}$ – час на установку та зняття заготовки, хв;

$t_{упр}$ – час, необхідний на управління верстатом за формулою (1.32), хв;

$t_{шп}, t_{шв}$ – швидке підведення та відведення інструменту в початкове положення, хв;

$t_{контр}$ – час на вимір та контроль основних параметрів деталі, хв;

$$t_{упр} = t_{вкл} + t_{викл} + t_{поворотарг} + t_{пер.част.} + t_{огр} \quad (1.32)$$

де $t_{вкл}$ и $t_{викл}$ – час на вмикання та вимикання верстата, хв;

$t_{поворотарг}$ – час на поворот резцової головки в наступну позицію, хв;

$t_{пер.част.}$ – час на переключення частоти обертання шпинделя, хв;

$t_{огр}$ – час на огорожу від стружки, хв.

Для операції 020 Токарна з ЧПК (рис. 1.7) розрахуємо норми часу.

Основний час визначаємо за формулою (1.30):

$$l_{p.x.} = 12,5 + 125 + \left(\frac{41,8 - 36,4}{2} \right) + 15 + \left(\frac{56 - 41,8}{2} \right) + 12,5 = 174,8 \text{ мм}$$

$$t_{осн} = \frac{174,8}{0,25 \cdot 600} \cdot 5 = 5,8 \text{ хв.}$$

$$T_{уст} = 0,22 \text{ хв [5, карта 52, стр.140];}$$

$$T_{упр} = 0,08 + 0,08 + 0,04 + 0,1 = 0,3 \text{ хв [5, карта 61, стр.156];}$$

$$T_{контр} = 0,15 + 0,03 + 0,03 = 0,21 \text{ хв [5, карта 64, стр.160];}$$

Допоміжний час за формулою (1.31):

$$t_{доп} = 0,22 + 0,3 + 0,21 = 0,73 \text{ хв.}$$

Операційний час за формулою (1.28):

$$t_{оп} = 5,8 + 0,73 = 6,53 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок:

$$t_{обс} = 0,03 \cdot 6,53 = 0,2 \text{ хв [5, карта 49, стр.135];}$$

$$t_{отд} = 0,04 \cdot 6,53 = 0,26 \text{ хв [5, карта 49, стр.135].}$$

Норма штучного часу за формулою (1.27):

$$t_{шт} = 6,53 + 0,2 + 0,26 = 6,99 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.28):

$$t_{\text{шт-к}} = 6,99 + \frac{17}{480} = 7 \text{ хв}$$

де $t_{\text{пз}} = 8 + 2 + 7 = 17 \text{ хв}$ [5, карта 49, стр.135].

Для операції 025 Токарна з ЧПК (рис. 1.8) розрахуємо норми часу.

Основний час визначаємо за формулою (1.30):

$$l_{\text{р.х.}} = 1,6 + 22 + \left(\frac{40 - 30,4}{2} \right) + 8 + \left(\frac{55 - 40}{2} \right) + 25 + 1,6 = 70,5 \text{ мм}$$

$$t_{\text{осн}} = \frac{70,5}{0,2 \cdot 1000} \cdot 1 = 0,35 \text{ хв.}$$

$T_{\text{уст}} = 0,22 \text{ хв}$ [5, карта 52, стр.140];

$T_{\text{упр}} = 0,08 + 0,08 + 0,04 + 0,1 = 0,3 \text{ хв}$ [5, карта 61, стр.156];

$T_{\text{контр}} = 0,15 + 0,03 + 0,03 = 0,21 \text{ хв}$ [5, карта 64, стр.160];

Допоміжний час за формулою (1.31):

$$t_{\text{доп}} = 0,22 + 0,3 + 0,21 = 0,73 \text{ хв.}$$

Операційний час за формулою (1.28):

$$t_{\text{оп}} = 0,35 + 0,73 = 1,08 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок:

$$t_{\text{обс}} = 0,03 \cdot 1,08 = 0,03 \text{ хв}$$
 [5, карта 49, стр.135];

$$t_{\text{отд}} = 0,04 \cdot 1,08 = 0,04 \text{ хв}$$
 [5, карта 49, стр.135].

Норма штучного часу за формулою (1.27):

$$t_{\text{шт}} = 1,08 + 0,03 + 0,04 = 1,15 \text{ хв}$$

Штучно–калькуляційний час за формулою (1.28):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,15 + \frac{17}{480} = 1,18 \text{ хв}$$

де $t_{\text{пз}} = 8 + 2 + 7 = 17 \text{ хв}$ [5, карта 49, стр.135].

Для операції 060 Фрезерна з ЧПК (рис. 1.9) розрахуємо норми часу.

Основний час визначаємо за формулою (1.30):

$$l_{\text{р.х.}} = 65 + 3 = 68 \text{ мм}$$

$$t_{\text{осн}} = \frac{68}{0,1 \cdot 1300} \cdot 1 = 0,52 \text{ хв.}$$

$T_{\text{уст}} = 1,8 \text{ хв}$ [5, карта 59, стр.425];

$T_{\text{упр}} = 0,06 + 0,04 + 0,05 + 0,18 = 0,33 \text{ хв}$ [5, карта 61, стр.156];

$T_{\text{контр}} = 0,16 + 0,1 = 0,26 \text{ хв}$ [5, карта 64, стр.160];

Допоміжний час за формулою (1.31):

$$t_{\text{доп}} = 1,8 + 0,33 + 0,26 = 2,39 \text{ хв.}$$

Операційний час за формулою (1.28):

$$t_{\text{оп}} = 0,52 + 2,39 = 2,91 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця та відпочинок:

$t_{\text{обс}} = 0,025 \cdot 2,91 = 0,07 \text{ хв}$ [5, карта 49, стр.135];

$t_{\text{отд}} = 0,02 \cdot 2,91 = 0,06 \text{ хв}$ [5, карта 49, стр.135].

Норма штучного часу за формулою (1.27):

$$t_{\text{шт}} = 2,91 + 0,07 + 0,06 = 3,04 \text{ хв}$$

Штучно–калькуляційний час за формулою (1.28):

$$t_{\text{шт-к}} = 3,04 + \frac{33}{480} = 3,1 \text{ хв}$$

де $t_{\text{пз}} = 14 + 2 + 10 + 7 = 33 \text{ хв}$ [5, карта 49, стр.135].

1.8 Розробка керуючої програми на операції з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції

Операція 025 Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК SKQ12NC. Операційний ескіз представлений на рис. 1.8. Розрахунки режимів різання див. п. 1.6.

Розробку виконуємо в програмному модулі NXCAM. Задаємо геометрію деталі та заготовки (рис. 1.10).

Задаємо інструмент та режими обробки та отримуємо траєкторію токарної обробки деталі (рис. 1.11). Як результат – текст програми обробки на рисунку 1.12.

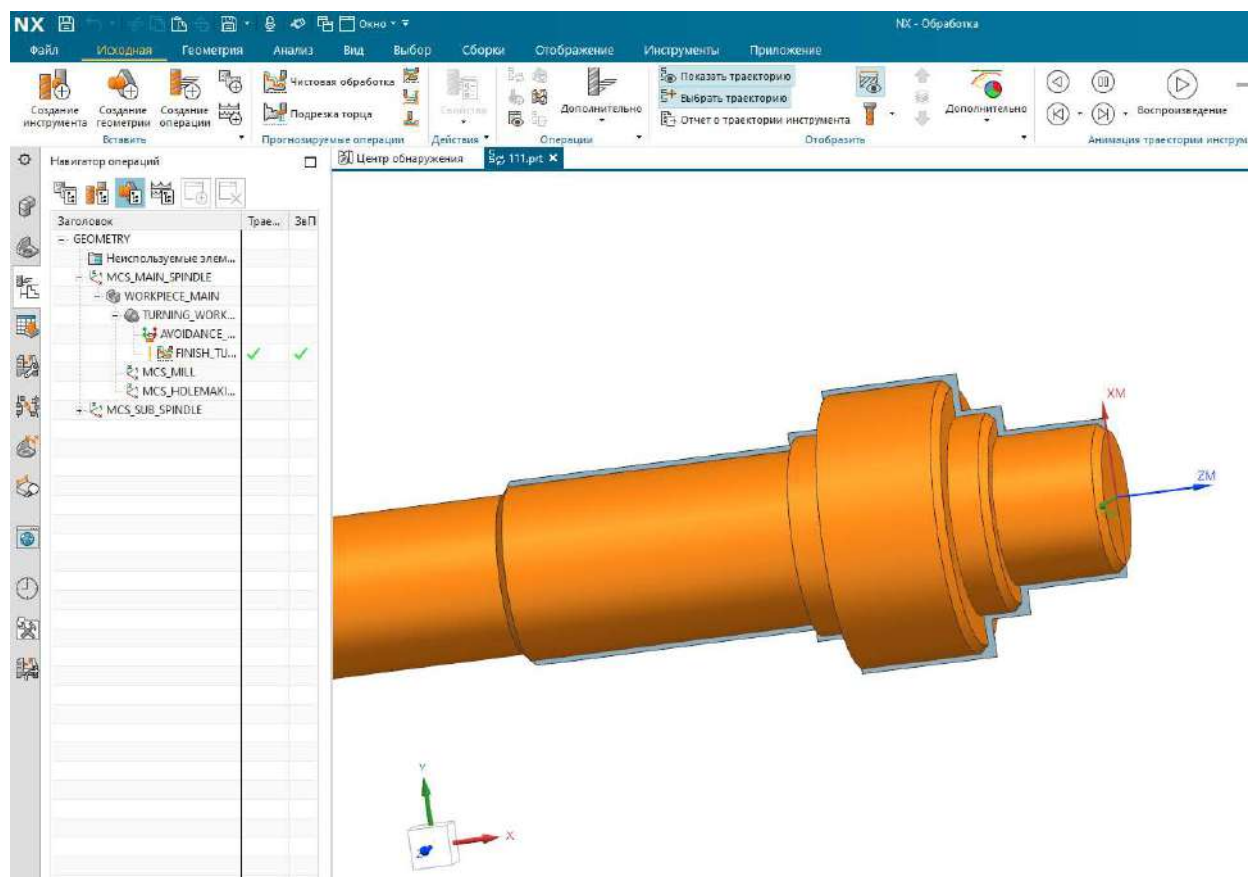


Рисунок 1.10 – Загальний вигляд деталі та контуру заготовки

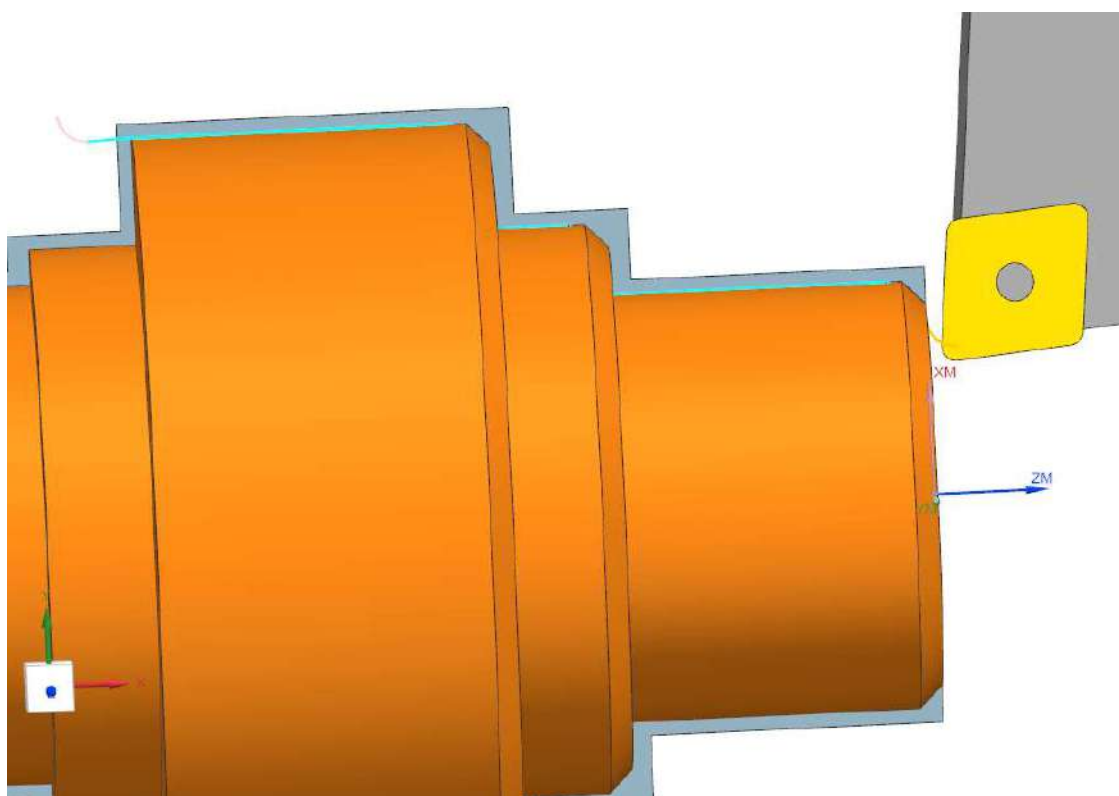


Рисунок 1.11 – Траєкторія токарної операції

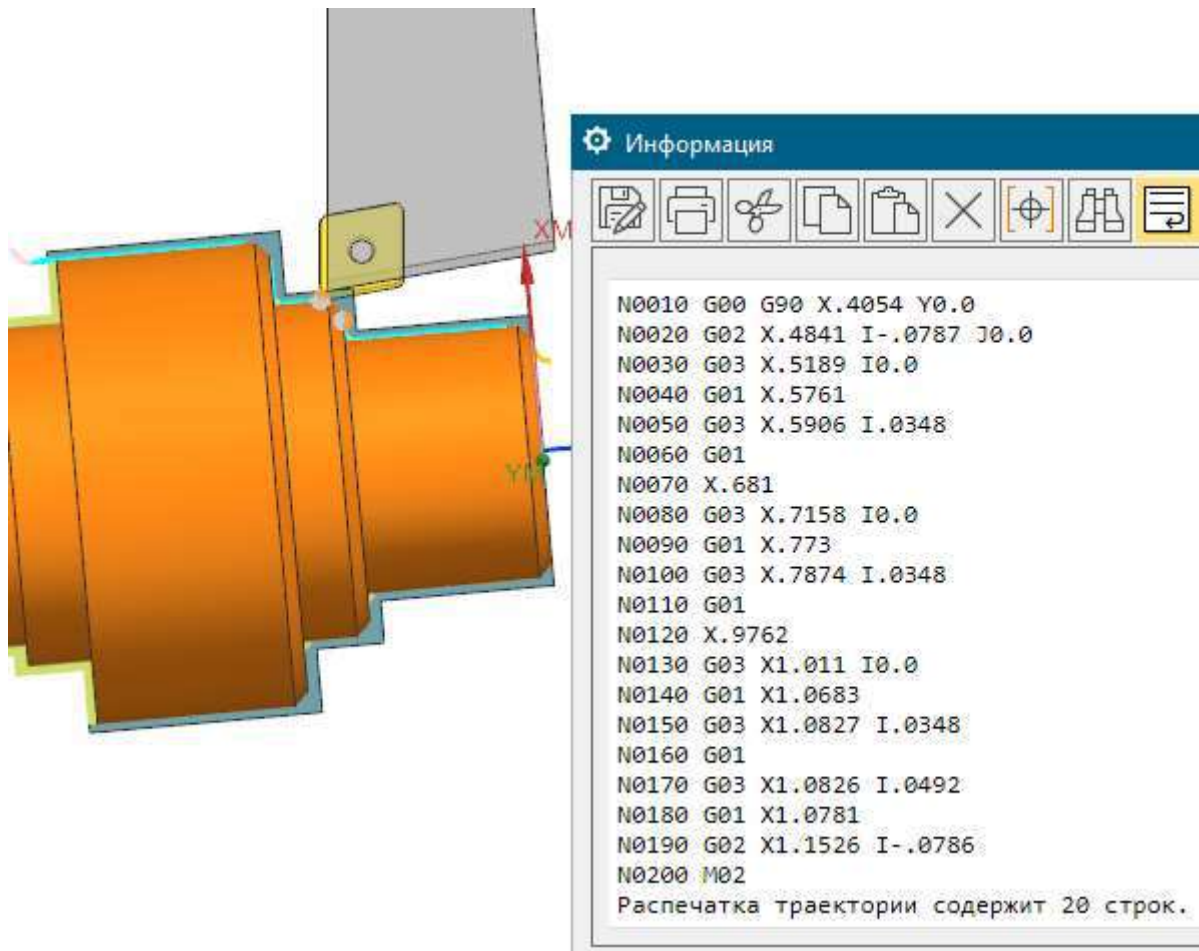


Рисунок 1.12– Керуюча програма токарної операції

1.8.2 Розробка фрезерної операції

Для операції 060 Фрезерна з ЧПК (рис. 1.9) також розробимо операцію в модулі NXCAM.

Задаємо геометрію деталі та заготовки. Задаємо інструмент (рис. 1.13) та режими обробки та отримуємо траєкторію фрезерної обробки деталі (рис. 1.14). Як результат – текст програми обробки на рисунку 1.15.

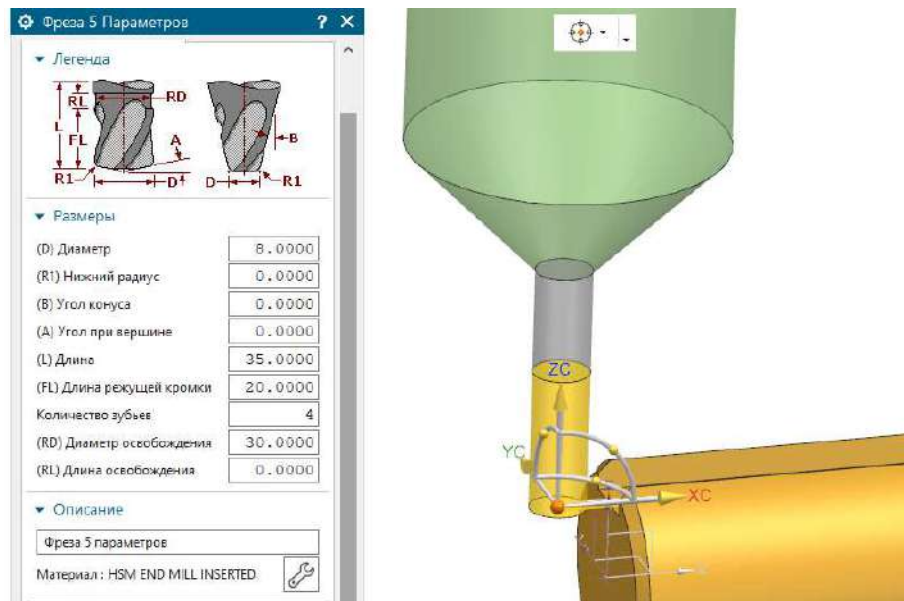


Рисунок 1.13 – Инструмент для фрезерной операции

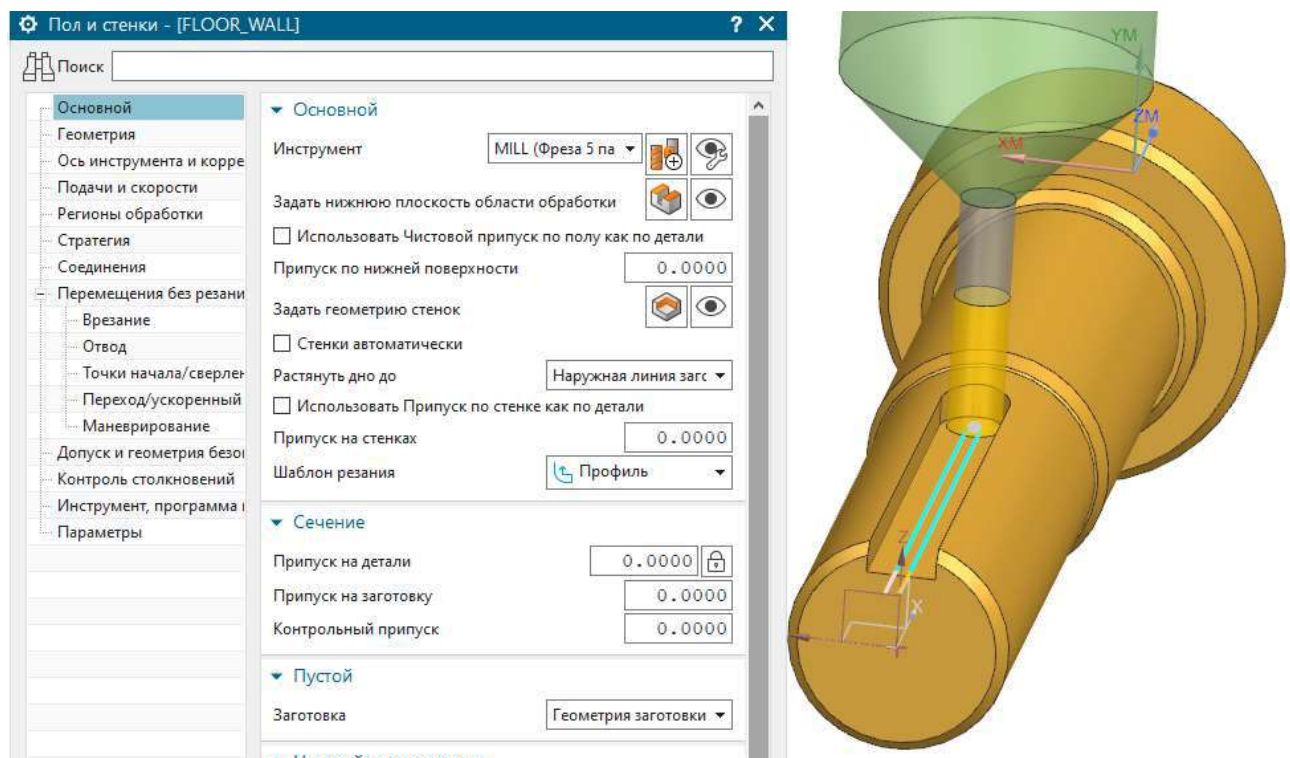


Рисунок 1.14 – Трасстория фрезерной операции

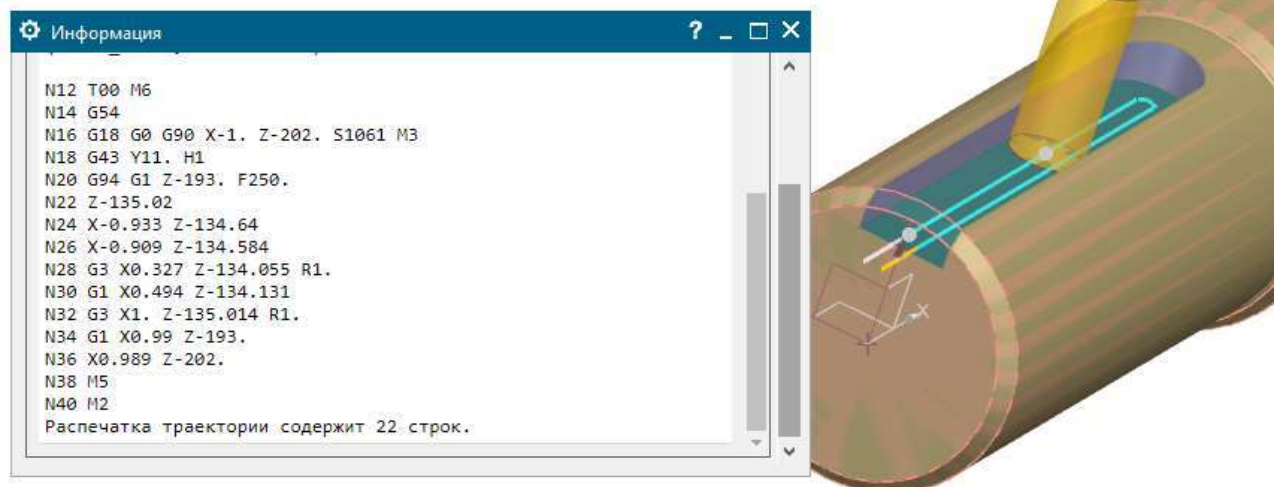


Рисунок 1.15 – Керуюча програма для фрезерної операції

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Конструювання робочого пристосування

2.1.1 Опис конструкції та принципу роботи

Спроековано робоче пристосування для фрезерування пазу (показано на кресленні НУЗП 293224.0353Б).

Заготовка встановлюється в пристосування по діаметру $\varnothing 32 \pm 0,008$ мм, який є прямою базою. Установочною базою є торці заготовки.

Пристосування складається з корпусу 2 з вбудованим пневмоциліндром 17. Затиск деталі упором 13 здійснюється за рахунок подачі стисненого повітря в штокову порожнину. При подачі стисненого повітря, шток 18 втягується, поршень 7 опускається та деталь затискається.

2.1.2 Розрахунок похибки установки заготовки

Похибкою базування ε_6 називають відхилення фактичного становища заготовки від необхідного. Вона виникає при несуміщенні вимірювальної та технологічної баз заготовки: положення вимірювальних баз окремих заготовок у партії буде різним щодо оброблюваної поверхні. Похибка базування є відстань між граничними положеннями проекцій вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру.

Похибка закріплення заготовки ε_3 є різницею найбільшої і найменшої проекцій зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру при додатку до заготівлі сили закріплення. Для партії заготовок похибка закріплення дорівнює нулю, якщо величина усунення стала; при цьому поле

допуску виконуваного розміру не змінюється, його положення коригують налаштуванням верстата.

Похибка установки розраховується за формулою [7]:

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \varepsilon_6 + \varepsilon_3 \quad (2.1)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення.

При базуванні заготовки необхідно позбавити її шести ступенів свободи.

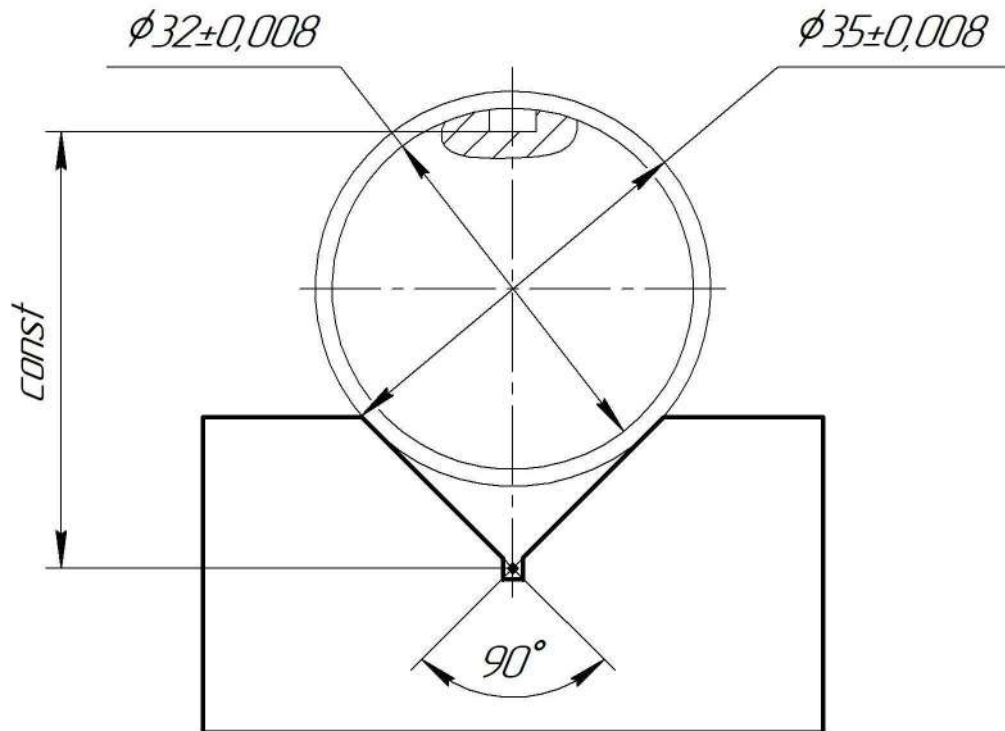


Рисунок 2.1 – Схема установки при фрезеруванні шпоночного пазу

Вихідні дані:

$k_2 = 0,7$ – для кута призми 90° ;

$T_d = 0,016$ мм – допуск на $\phi 32$ мм;

$T_D = 0,016$ мм – допуск на $\phi 35$ мм;

Визначимо похибку базування за формулою (2.2) [7]:

$$\varepsilon_6 = k_2 \cdot T_d + \frac{T_D}{2} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_6 = 0,7 \cdot 0,016 + \frac{0,016}{2} = 0,0192 \text{ мм}$$

Похибка закріплення $\varepsilon_3 = 0$, так як напрям розміру обробки та сили закріплення взаємно перпендикулярні.

Похибка установки:

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \varepsilon_6 + \varepsilon_3 = 0,0192 + 0 = 0,0192 \text{ мм.}$$

2.1.3 Розрахунок на точність

Можливі варіанти простановки розмірів обробки і схема налаштування інструменту від уявної точки "0" показані на рис. 2.2.

Такий підхід викликає певні труднощі тому що ця точка в реальній призмі відсутня і є розрахунковою. Для того щоб уникнути зазначених труднощів розрахунковий розмір установка слід доповнити розміром від нульової точки до основи призми [7].

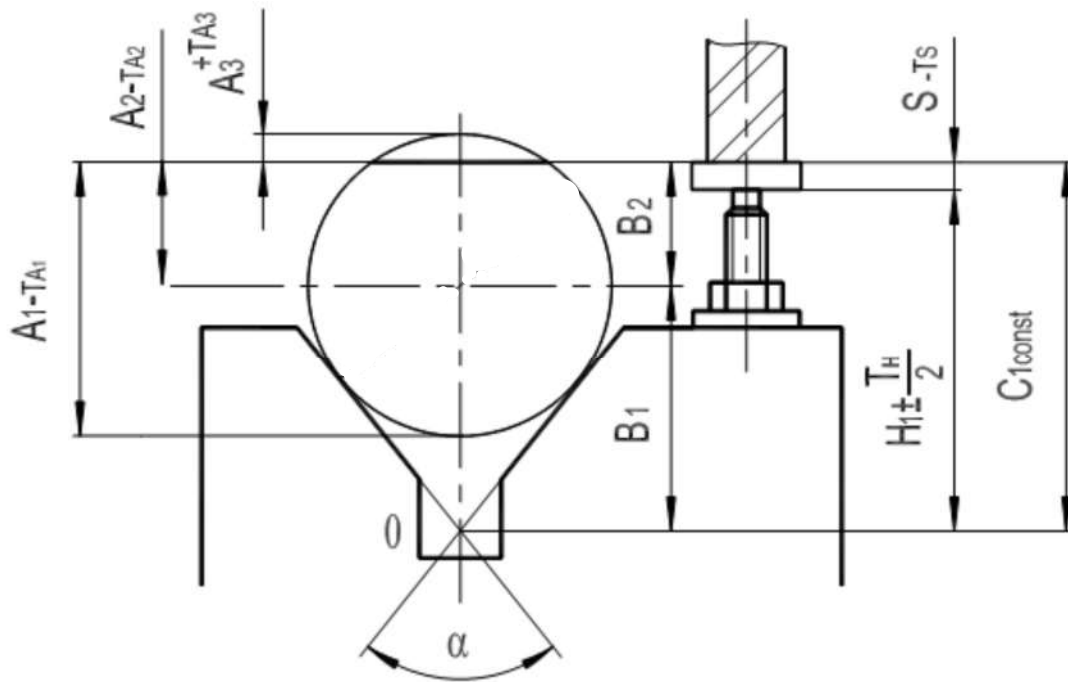


Рисунок 2.2 – Схема установки заготовки на призму [7]

Послідовність розрахунку:

1. Визначаємо середній розмір обробки $A_{\text{сер}}$ [7]:

$$A_{\text{сер}} = A_{\min} - \frac{T_A}{2} \quad (2.3)$$

2. Визначаємо середній діаметр обробки $D_{\text{сер}}$ [7]:

$$D_{\text{сер}} = D_{\min} + \frac{T_D}{2} \quad (2.4)$$

3. Середній радіус $R_{\text{сер}}$ [7]:

$$R_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{сер}}}{2} \quad (2.5)$$

4. Середній розмір $B_{1\text{сер}}$ [7]:

$$B_{1\text{сер}} = \frac{R_{\text{сер}}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (2.6)$$

5. Середній розмір $B_{2\text{сер}}$ [7]:

$$B_{2\text{сер}} = A_{1\text{сер}} - R_{\text{сер}} \quad (2.7)$$

6. Середній розмір щупа $S_{\text{сер}}$ [7]:

$$S_{\text{сер}} = S_{\text{min}} + \frac{T_s}{2} \quad (2.8)$$

7. Визначаємо середній розмір висоти установка [7]:

$$H_{\text{сер}} = B_{1\text{сер}} + B_{2\text{сер}} - S_{\text{сер}} \quad (2.9)$$

Отриманий розмір заданий від умовної бази. Але, для виготовлення установка необхідно прив'язатися до реальної поверхні. Найбільш зручна для цього поверхня плити, на якій встановлена призма і установ. Відстань до плити від настроювальної бази дорівнює розміру a (рис. 2.3).

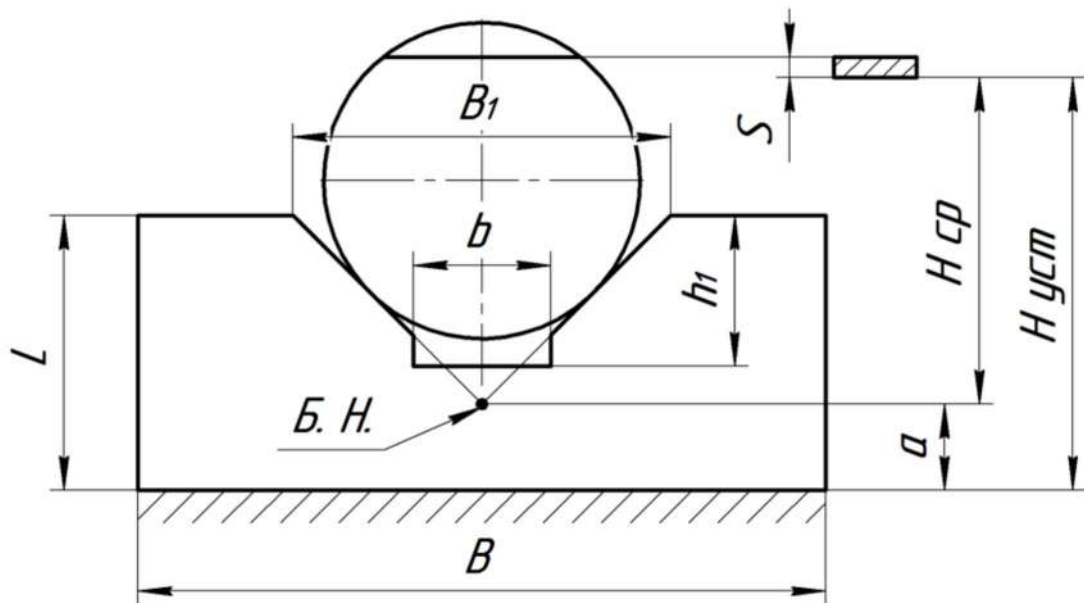


Рисунок 2.3 – Прив'язка настроювальної бази до плити пристосування [7]

8. Визначаємо розмір висоти установка [7]:

$$H = H_{\text{сер}} + a \quad (2.10)$$

9. Допуск на розмір установка буде визначати ступінь точності виготовлення пристосування [7]:

$$T_H \leq T_{A1} - (0,21k_1\varepsilon_6 + \varepsilon_3 + k_2\omega) \quad (2.11)$$

де $T_{\text{обр}}$ – повне поле допуску на розмір обробки;

k_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення похибки базування внаслідок того, що установчий елемент в пристосуванні змінюється нечасто, а дійсні базові розміри заготовки рідко дорівнюють граничним, $k_1 = 0,8 \dots 0,85$ [7].

ε_6 – похибка базування заготовки в пристосуванні;

ε_3 – похибка закріплення заготовки в пристосуванні;

k_2 – коефіцієнт, що враховує долю похибки обробки від загальної, що викликана факторами, які не залежать від конструкції пристосування, $k_2 = 0,6 \dots 0,65$ [7].

ω – середня економічна точність обробки.

10. Перевіряємо умову забезпечення точності [7]:

$$\frac{T_H}{2} < \frac{1}{3} T_{A3} \quad (2.12)$$

Визначаємо $T_H = \pm \frac{T_H}{2}$ та приводимо до нормалізованого.

11. Призначаємо виконавчий розмір установка [7]:

$$[H] = H_{\frac{T_{\text{Нуст}}}{2}} \quad (2.13)$$

Вихідні дані:

Розмір обробки по висоті $A_{-T_A} = 27_{-0,21}$ мм;

Відстань до плити від настроювальної бази $a = 20$ мм;

Товщина щупа $S = 3_{-0,006}$ мм.

Середній розмір обробки за формулою (2.3):

$$A_{\text{ср}} = 26,79 + \frac{0,21}{2} = 26,895 \text{ мм}$$

Визначаємо середній діаметр обробки $D_{\text{ср}}$ за формулою (2.4):

$$D_{\text{ср}} = 31,992 + \frac{0,016}{2} = 32 \text{ мм}$$

Середній радіус $R_{\text{сер}}$ за формулою (2.5):

$$R_{\text{сер}} = \frac{32}{2} = 16 \text{ мм}$$

Середній розмір $B_{1\text{сер}}$ за формулою (2.6):

$$B_{1\text{сер}} = \frac{16}{\sin \frac{90}{2}} = 22,63 \text{ мм}$$

Середній розмір $B_{2\text{сер}}$ за формулою (2.7):

$$B_{2\text{сер}} = 26,895 - 16 = 10,895 \text{ мм}$$

Середній розмір щупа $S_{\text{сер}}$ за формулою (2.8):

$$S_{\text{сер}} = 2,994 + \frac{0,006}{2} = 2,997 \text{ мм}$$

Визначаємо середній розмір висоти установка за формулою (2.9):

$$H_{\text{ср}} = 22,63 + 10,895 - 2,997 = 30,528 \text{ мм}$$

Визначаємо розмір висоти установка за формулою (2.10):

$$H = 30,528 + 20 = 50,528 \text{ мм}$$

Допуск на розмір установка за формулою (2.11):

$$T_H = 0,21 - (0,82 \cdot 0,21 \cdot 0,016 + 0 + 0,6 \cdot 0,12) = 0,135 \text{ мм}$$

Перевіряємо умову забезпечення точності:

$$\frac{0,135}{2} < \frac{1}{3} \cdot 0,21$$

$$0,0675 < 0,07$$

Умова виконується.

$$T_H = \pm \frac{T_H}{2} = \frac{0,135}{2} = 0,0675 \approx 0,07$$

Призначаємо виконавчий розмір установка:

$$[H] = 50,528_{-0,07} = 51_{-0,07} \text{ мм.}$$

2.1.4 Розрахунок необхідного зусилля кріплення заготовки та вибір привода

Коефіцієнт запасу закріплення визначається за формулою (2.14) [7]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (2.14)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу;

$$k_0 = k'_0 \cdot k''_0 \cdot k'''_0 \quad (2.15)$$

де k'_0 – коефіцієнт, що враховує недосконалість формул для розрахунку сил різання, $k'_0 = 1,1 - 1,3$;

k''_0 – коефіцієнт, що враховує недосконалість розрахункової схеми, $k''_0 = 1,1 - 1,3$.

k'''_0 – коефіцієнт, що застосовується для забезпечення більш високого ступеня надійності, враховує раптові фактори (тверді включення в оброблюваному матеріалі, передчасне викришування ріжучої кромки і т. д.), $k'''_0 = 1,2 - 1,3$.

k_1 – враховує зміну (коливання) сил різання в процесі обробки через нерівномірність припуску на заготовці і враховується тільки для чорнових переходів, $k_1 = 1 - 1,2$.

k_2 – враховується у всіх випадках обробки і залежить від виду обробки, оброблюваного матеріалу і нерівномірного зносу ріжучого інструменту.

k_3 – враховує умови переривчастого виду обробки. $k_3 = 1,0$ – в умовах плавного різання; $k_3 = 1,2$ – при переривчастому різанні (фрезерування);

k_4 – характеризує затискний пристрій з точки зору постійності сил затиску. $k_4 = 1,0$ – для всіх механізованих приводів (пневматичних, механічних, гідравлічних); $k_4 = 1,3$ – для ручних затисків.

k_5 – характеризує ручні затискачі з точки зору зручності закріплення деталі. При зручному розташуванні рукоятки і куті її повороту в межах 90° $k_5 = 1,0$.

k_6 – враховується тільки при наявності крутних моментів, які прагнуть повернути заготовку, і залежить від виду опорної поверхні пристосування.

$k_6 = 1$ – для точкових опор (опорні штирі, призми); $k_6 = 1,5$ – для суцільних опор (опорне кільце) [7].

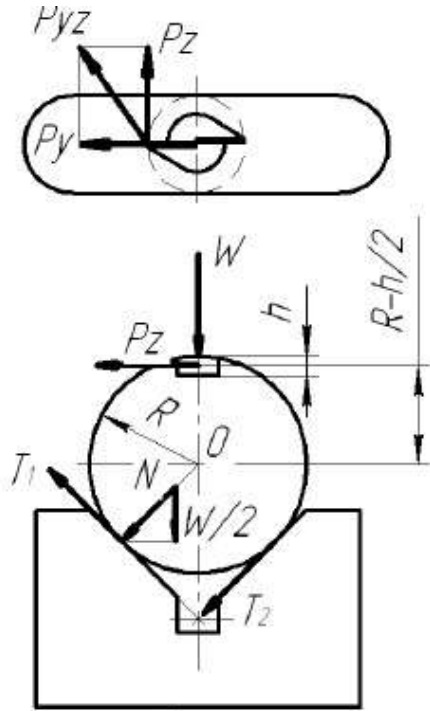


Рисунок 2.4 – Схема сил при фрезеруванні [7]

Складається рівняння рівноваги [7]:

$$k_0 = k'_0 \cdot k''_0 \cdot k'''_0 \quad (2.16)$$

Силу затиску розраховуємо за формулою (2.17) [7]:

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f \cdot R} \quad (2.17)$$

де k – коефіцієнт запасу кріплення;

f – коефіцієнт тертя.

Тангенціальна сила при фрезеруванні визначається рівнянням (2.18) [7]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP} \quad (2.18)$$

де t – глибина фрезерування;

s –подача на зуб фрези;
 z –кількість зубів фрези;
 B –ширина фрезерування;
 D –діаметр фрези;
 n –частота обертання.

Сила на штоці пневмоциліндра дорівнює [7]:

$$Q = W + 3 \cdot W \cdot \frac{l}{H} \cdot f \quad (2.19)$$

Необхідний діаметр пневмоциліндра [7]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \rho \eta} + d^2} \quad (2.20)$$

де D – діаметр пневмоциліндра;

ρ – тиск стисненого повітря;

η – к.к.д., що враховує втрати на тертя, $\eta = 0,85 \dots 0,9$;

d – діаметр штока пневмоциліндра.

Гарантований коефіцієнт запасу за формулою (2.16):

$$k_0 = k'_0 \cdot k''_0 \cdot k'''_0 = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,2 = 1,872$$

Коефіцієнт запасу закріплення визначається за формулою (2.14):

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 = 1,872 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,15$$

Тангенціальна сила при фрезеруванні за формулою (2.18):

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5^{0,86} \cdot 0,1^{0,72} \cdot 10^1 \cdot 4}{10^{0,86} \cdot 1300^0} \cdot 1,08 = 3093 \text{ Н}$$

де $C_p = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $u = 1$; $q = 0,86$; $w = 0$ [6, табл.41, с.291].

$$K_{MP} = \left[\frac{\sigma_B}{750} \right]^n = \left[\frac{980}{750} \right]^{0,3} = 1,08$$

де $n = 0,3$ [6, табл. 9, с.264].

За формулою (2.17) сила затиску дорівнює:

$$W = \frac{2,7 \cdot 3093 \cdot \left(10 - \frac{5}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{90}{2}\right)}{0,25 \cdot 16} = 11070 \text{ Н}$$

де f – коефіцієнт тертя, $f = 0,25$;

k – коефіцієнт запасу кріплення, $k = 2,7$.

Підставивши отримані значення до формули (2.19) отримаємо:

$$Q = 11070 + 3 \cdot 11070 \cdot \frac{100}{180} \cdot 0,25 = 15683 \text{ Н}$$

За формулою (2.20) розраховуємо необхідний діаметр пневмоциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 15683}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,87} + 20^2} = 197 \text{ мм}$$

Діаметр пневмоциліндра обираємо із стандартизованого ряду за ГОСТ 6540–68 $D = 200$ мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольний пристрій призначений для перевірки радіального биття (рис. 2.5).

Деталь встановлюється на дві призми, для визначення биття деталь провертається на один – два оберти. За різницею показів вимірюючої головки визначають биття заданих поверхонь відносно базових.

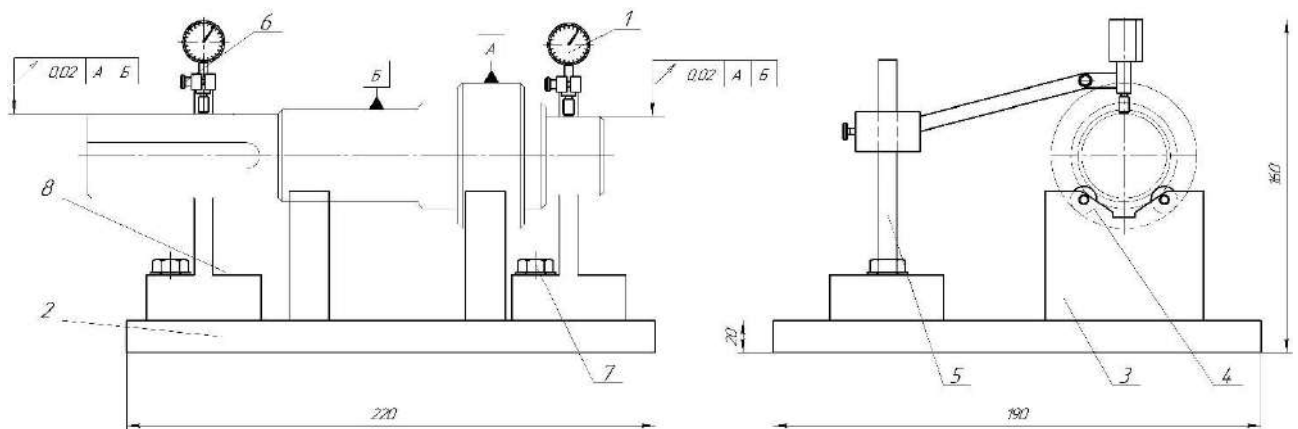


Рисунок 2.5 – Контрольне пристосування для перевірки радіального биття

2.2.2 Розрахунок на точність

Визначаємо допустиму похибку вимірювання $[\epsilon_{\text{вим}}]$ для даного пристосування за вказаним контрольованим параметром – биття з допуском 0,02 мм. На основі [8, табл. 3.1, с.129] приймаємо $[\epsilon_{\text{вим}}]=0,007$ мм.

Визначаємо фактичну похибку вимірювань для даного контрольного пристосування, яка повинна бути менше або рівнятися допустимій похибці за

формулою (2.21) [8]:

$$\varepsilon_{вим} = \varepsilon_{иу} + \varepsilon_{ип} + \varepsilon_{им} + \sqrt{\varepsilon_{нб}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{ис}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{ін}^2} \quad (2.21)$$

де $\varepsilon_{иу}$ – системна похибка, яка є причиною неточності виготовлення встановлюваних елементів і неточності їх розташування на корпусі контрольно–вимірювального пристрою при його складанні;

$\varepsilon_{ип}$ – системна похибка, яка є причиною неточності виготовлення передавальних елементів важелів, штифтів, стрижнів;

$\varepsilon_{им}$ – системна похибка, яка є причиною неточності виготовлення встановлюваних елементів і еталонних деталей;

$\varepsilon_{нб}$ – похибка, яка є причиною несуміщення вимірювальної та технологічної баз;

ε_3 – похибка, яка з’являється в результаті закріплення вимірювальної деталі внаслідок її можливої деформації;

$\varepsilon_{ис}$ – похибка, яка залежить від вимірювальної сили і з’являється в результаті зсуву вимірювальної бази від початкового положення в процесі виміру;

$\varepsilon_{зп}$ – похибка, що виникає внаслідок виникання зазорів між осями важелів передавальних пристроїв при їх наявності;

$\varepsilon_{си}$ – похибка засобу вимірювання;

$\varepsilon_{інш}$ – інші похибки, викликані дією випадкових чинників в процесі контролю [8].

Визначаємо складові сумарної похибки виміру, які можна виключити з розрахункової формули у зв’язку з особливостями конструкції пристосування і використовуваної схеми вимірювання [8].

Похибка виготовлення встановлюваних елементів пристосування не впливає на процес виміру, тому складова $\varepsilon_{иу}$ виключається.

Пристосування призначене для контролю биття однієї поверхні відносно іншої, тобто має місце суміщення вимірювальної та конструкторської баз, тому складову $\varepsilon_{нб}$ також можна виключити.

Очевидно, що при контролі не відбудеться зміщення вимірювальної бази деталі від заданого положення під дією вимірювальних сил, так як деталь притискається до настановних поверхонь. Тому складова $\varepsilon_{ис}$ виключається.

У конструкції пристосування не використовуються еталони, отже виключаємо похибку $\varepsilon_{ип}$ та $\varepsilon_{им}$. Також відсутні затискні елементи, тому ε_3 – виключаємо.

Кінцевою приймаємо таку розрахункову формулу [8]:

$$\varepsilon_{вим} = \sqrt{\varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{ін}^2} \quad (2.22)$$

де $\varepsilon_{зн} = 0,004 \dots 0,006$ [8, табл. 3.6, с. 159]

Засобом виміру в даному пристосуванні індикатор годинникового типу ИЧ02 з ціною поділки 0,01 мм і діапазоном вимірювання 0–2 мм. [8, табл. 3.4, с. 142] похибка засобу вимірювання $\varepsilon_{си}=0,004$ мм.

Інші похибки визначаємо як частину допуску контролюемого параметру:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ін} &= 0,04 \cdot 0,02 = 0,0008 \text{ мм} \\ \varepsilon_{вим} &= \sqrt{0,005^2 + 0,004^2 + 0,0008^2} = 0,006 \text{ мм} \end{aligned}$$

Перевіряємо умову придатності даного пристосування, порівнюючи отримане значення фактичної похибки вимірювання з найбільшим припустимим значенням [8].

$$\begin{aligned} \varepsilon_{вим} &\leq [\varepsilon_{вим}] \\ 0,006 &\leq 0,007 \end{aligned}$$

Умова виконується. Отже, це контрольно–вимірвальне пристосування повністю задовольняє вимогам точності вимірвального оснащення і може використовуватися для виконання контрольної операції.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ

3.1 Основні напрямки автоматизації контролю

Контрольні операції в машинобудуванні займають великий об'єм робіт. Контролери перевіряють заготовки, готові деталі та вироби, щоб не допустити браковану продукцію на наступні операції або до виробів споживача. Автоматизація контролю не тільки зменшує необхідність в контролерах, але дозволяє стабільно виконувати всі запрограмовані дії при проведенні контролю і більш ретельно перевіряти контрольовані параметри деталей і виробів в цілому [9].

Для забезпечення необхідної якості деталей і виробів (точність розмірів, геометрична, форма, параметр шорсткості поверхні та ін.) застосовують комплексний контроль, що включає контроль: готових виробів, заготовок, допоміжних засобів виробництва (різального інструменту, вимірювальних засобів та ін.), основних засобів виробництва (технологічного обладнання, систем та засобів управління і т. д.).

Організаційно-технічний контроль може бути класифікований:

- за призначенням – перевірка лінійних розмірів, форми, шорсткості поверхні, фізико-механічних і хімічних властивостей деталей, взаємного розташування та якості з'єднання деталей у збірних одиницях, виконання параметрів функціональних виробів і т.п.;
- за кількістю виробів що вимірюються – на суцільний та вибірковий;
- за кількістю контрольних операцій – на поопераційний та кінцевий;
- за ступенями автоматизації – на ручний, механізований і автоматизований;
- за характером впливу на технологічний процес – на активний і пасивний;

– за способом виміру – на прямий, опосередкований, комбінований [9].

Застосування автоматизації контролю, так само як і інші операції виробничого процесу, повинно бути технічно та економічно обґрунтовано. Основні моменти, якими потрібно керуватись при виборі автоматизації контролю та застосовуваних вимірювальних засобів:

- раціональна схема контролю, що забезпечує перевірку із заданою точністю та стабільність показаних вимірювань;
- найменші з можливих трудових витрат на контрольні операції;
- досягнення мінімального часу на операцію контролю;
- поєднання контролю кількох параметрів щодо одного контрольного переходу, тобто використання пристроїв контролю кількох величин одночасно;
- використання найбільш економічних приладів і пристроїв;
- застосування надійних і довговічних пристроїв простих в експлуатації та ремонті з максимальною тривалістю роботи до повторного ремонту [9].

Всі пристрої автоматизації контролю складаються з пристроїв для встановлення вимірюваної деталі, вимірювального датчика, проміжних пристроїв для посилення сигналу, поданого датчика, іноді реле часу для збереження сигналу та виконавчого пристрою для керування сортувальним пристроєм або станком, на якому обробляється та контролюється деталь, а також пристроями для світлової чи звукової сигналізації та рахунку деталей.

При автоматизації контролю необхідно передбачити можливість спостереження за роботою контрольних пристроїв, щоб своєчасно виробляти регулювання і не користуватися приладами, які починають давати помилкові показання вимірюваних параметрів.

3.2 Пасивний і активний контроль

Автоматичними контрольними пристроями називаються такі, які без участі виконують усі дії, необхідні для виміру виробу, і порівнюють робочі його дійсні розміри із заздалегідь заданими. В автоматичному контрольному пристрої є блок пам'яті, в якому заносяться граничні розміри параметрів виробу, щоб пристрій міг порівнювати виміряні розміри із заданими граничними. Якщо в результаті такого зіставлення пристрій сортує вироби за групами, то його називають автоматом пасивного контролю. Якщо за результатами зіставлення розмірів пристрій змінює хід процесу протікання (зменшується подача, відводиться шліфувальна бабка і ін.), то його називають автоматом активного контролю.

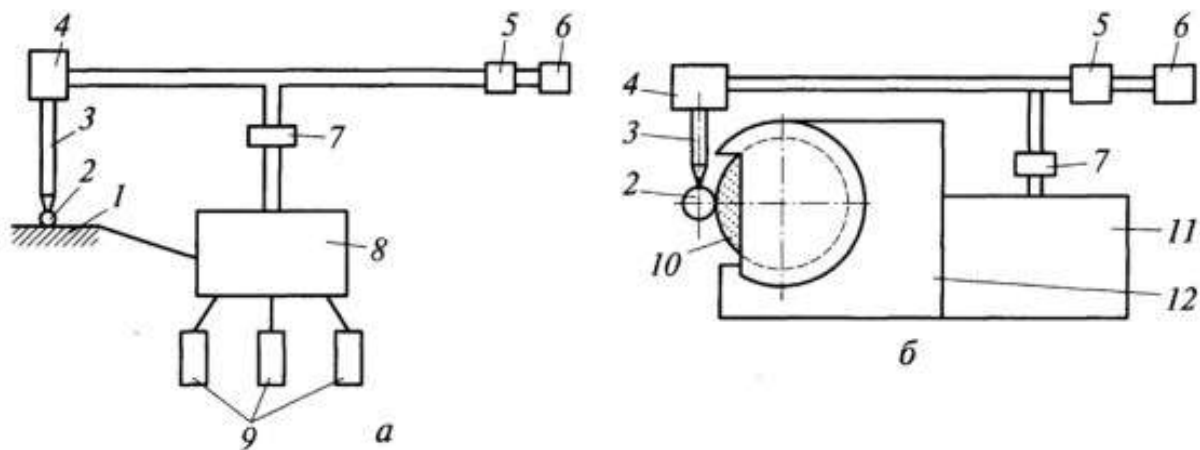


Рисунок 3.1 – Схеми автоматів пасивного (а) і активного (б) контролю:

- 1 – вимірювальний пристрій; 2 – деталь; 3 – шток; 4 – розмірний давач;
 5 – лічильник; 6 – сигналізація; 7 – проміжна ланка; 8 – сортувальний пристрій;
 9 – ємності для розсортовування деталей; 10 – інструмент; 11 – виконавчий механізм; 12 – шліфувальна бабка [9]

Автомати пасивного та активного містять ряд однакових засобів контролю за призначенням деталей пристроїв, що дозволяє уніфікувати найбільш надійні та конструктивно досконалі види таких пристроїв.

Залежно від виду виконавчого елемента автоматичний контроль поділяють на чотири основні групи:

- автоматична сигналізація характерних чи граничних значень параметрів; сигналізуючих пристроїв - це лампочки, дзвінок, сирена;
- автоматична вказівка значень контрольованих параметрів; вказівний прилад може бути стрілочним, цифровим;
- автоматична реєстрація значень контрольованого параметра; реєструючий пристрій – це самописець;
- автоматичне сортування різних виробів залежно від заданих значень контрольованих параметрів [9].

Залежно від виду, вартості та вимог, що висуваються до точності виготовлення деталей, контроль може бути повним, коли перевіряються всі вироби, та вибіркоvim, коли перевіряється частина деталей.

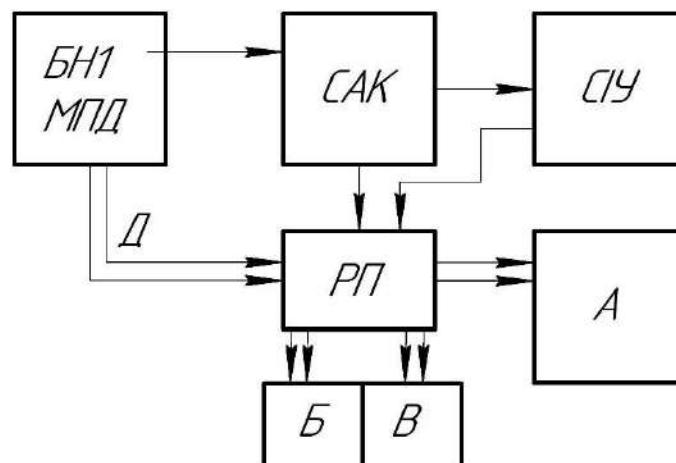


Рисунок 3.2 – Система активного автоматичного контролю

У масових видах виробництва при контролі виробів чи деталей застосовують всілякі пасивні засоби контролю, які працюють як автоматичні сортувальники. Вони не тільки вимірюють розмір або його відхилення, а й за

результатами вимірювань дають оцінку: - придатна деталь з допустимими відхиленнями; непридатна з відхиленнями.

Більшість автоматичних сортувальників мають таку функціональну структуру (див. рис. 3.2): бункер-накопичувач (БН1) або магазин-накопичувач для зберігання контрольованих деталей; механізм подачі, базування деталей на вимірюваній позиції (МПД) систему автоматичного контролю (САК) з індикацією та сигналізацією про брак та неприпустимі відхилення (СІУ), розподільний пристрій (РП), який розподіляє деталі (Д) по бункерах-накопичувачах (А - бункер придатних деталей, Б – бункер для деталей «виправний брак» В - бункер деталей «брак»)) [9].

3.3 Координатно-вимірювальні машини

З розвитком мікропроцесорної та мікроелектронної вимірювальної техніки багато завдань автоматизації контролю у машинобудуванні вирішуються новому технічному рівні з урахуванням нових досягнень у техніці.

САК параметрів технологічного процесу або автоматичного контролю якості готових виробів на базі розвитку мікроелектронної техніки та засобів обчислювальної техніки стали складовою САУ та вбудовуються безпосередньо у технологічні об'єкти чи технологічні комплекси [10].

Вимірювальні машини виготовляють як промислових роботів автоматичного контролю, які оснащені вимірювальними засобами, керуючими програмами. САК СЧПК виконують як координатно-вимірювальні машини (КВМ), які можуть бути автономними або вбудовуватися в технологічний комплекс [10].

На рис. 3.3 показано структурну схему координатно-виміральної системи, що складається з вимірального столу, який вільно переміщається по трьох координатах X , Y , Z . На столі за допомогою пристосування встановлюється контрольований виріб. На нерухомій частині щодо столу встановлюється вимірний пристрій, що фіксує положення поверхні, що вимірюється у вигляді калібру, щупа. Переміщення вимірального столу щодо фіксованої позиції вимірюється розмірними датчиками (РД), які ведуть відлік переміщення за допомогою оптичної виміральної шкали (ІШ). Сигнали датчика у вигляді імпульсів, кількість яких пропорційно переміщенню, подаються в операційний пристрій (ОП), де перетворюються на сигнали індикації (операційний пристрій у своєму ЗУ може порівнювати задане значення з виміряним і обчислювати відхилення). Оброблений в операційному пристрої сигнал подається на цифровий індикатор (ЦІП), де в цифровому коді індикуються вимірювана величина або її відхилення [10].

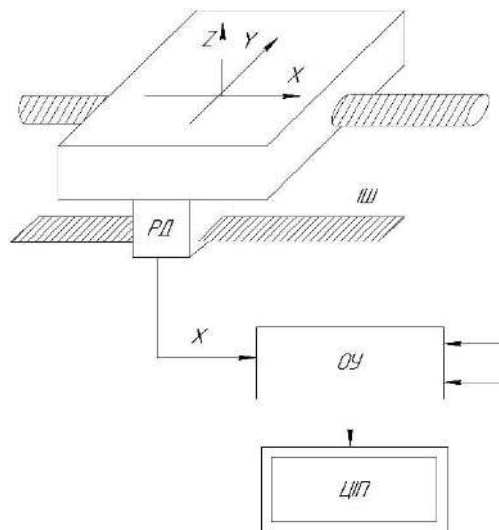


Рисунок 3.3 – Структурна схема координатно-виміральної системи

Існує п'ять типів координатно-виміральних машин [9]:

1. КІМ з мостом: у цій конструкції, найбільш поширеній, головка КІМ їде мостом. Одна сторона моста рухається рейкою на базі, а інша спирається на повітряну подушку або іншим способом на базу без направляючої.

2. Консольний КІМ: консоль підтримує міст лише з одного боку.
3. Портальний КІМ: Портал використовує напрямну рейку з обох сторін, як фрезерний верстат з ЧПК. Це, як правило, найбільші КІМ, тому їм потрібна додаткова підтримка.
4. КІМ з горизонтальним важелем: уявіть консоль, але весь міст переміщається вгору і вниз по одному важелю, а не його осі. Це не точні моделі КІМ, але вони можуть вимірювати великі тонкі компоненти, такі як кузов автомобіля.
5. КІМ з переносним важелем: у цих машинах використовуються зчленовані важелі, які зазвичай встановлюються вручну. Замість безпосереднього вимірювання XYZ вони обчислюють координати положення обертання кожного з'єднання і відомої довжини між з'єднаннями.

Кожен з них має свої переваги та недоліки залежно від необхідних типів вимірювання. Ці типи належать до конструкції машини, яка використовується для позиціонування його зонда щодо вимірюваної деталі.



Рисунок 3.4 – Координатно-вимірювальна машина Hexagon Global Classic CMM

KIM використовуються в трьох основних галузях:

- Відділи контролю якості: як правило, вони містяться в чистих приміщеннях з клімат-контролем, щоб максимізувати їхню точність.
- Цех: KIM знаходяться серед верстатів з ЧПУ, щоб спростити виміри на точність зазвичай поруч із верстатом, де обробляються деталі. Це дозволяє максимально швидко знайти і визначити навіть невелику помилку в точності.
- Портативний: портативні KIM легко переміщати. Вони можуть використовуватись у цехах або навіть на віддаленій від виробничого об'єкта ділянці для вимірювання деталей у польових умовах.

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

Вихідні дані:

Деталь – вал;

Модуль пружності – $E = 1,15 \cdot 10^5$ МПа;

Коефіцієнт Пуассона – $\mu = 0,3$;

Границя міцності – $\sigma_B = 980$ МПа;

За допомогою програмного модулю SIEMENS NX CAM побудували 3D модель деталі (рис. 4.1); розбили модель на сітку кінцевих елементів розміром 3 мм (рис. 4.2). Закріпили по діаметрам $\varnothing 32 \pm 0,008$ мм; $\varnothing 30 \pm 0,065$ мм та приклали навантаження 5 МПа на западини зубів (рис. 4.3). Результат розрахунку показаний на рисунку 4.4.

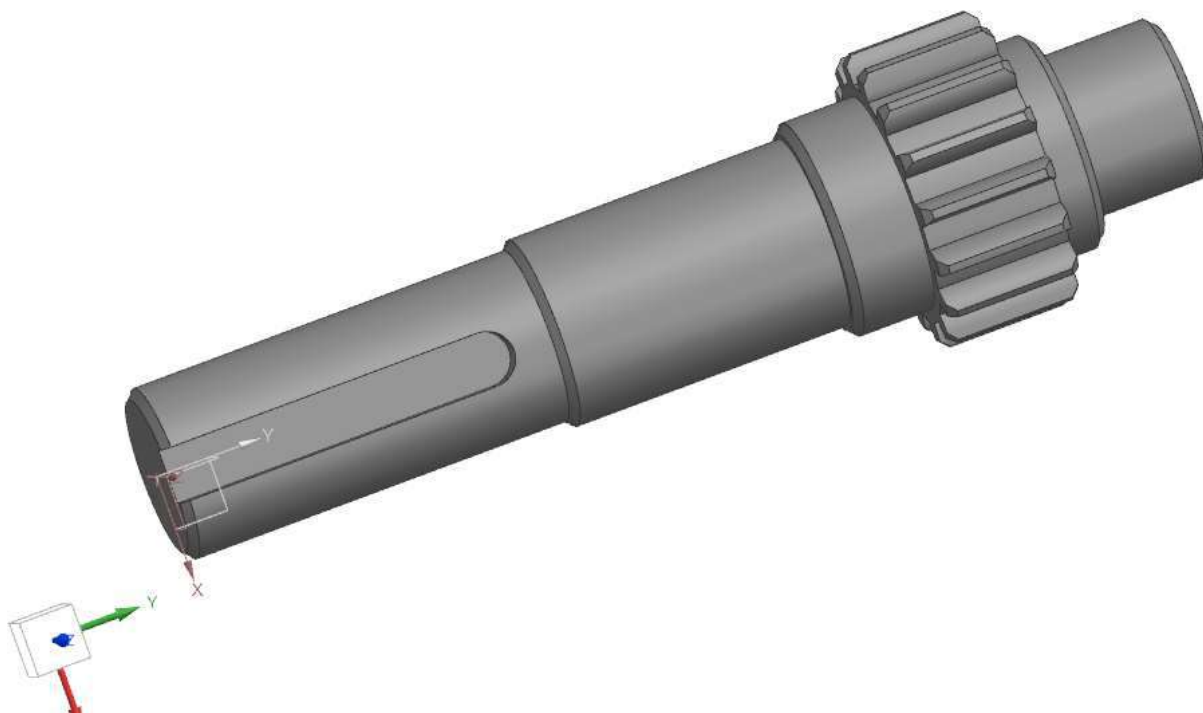


Рисунок 4.1 – 3D модель деталі

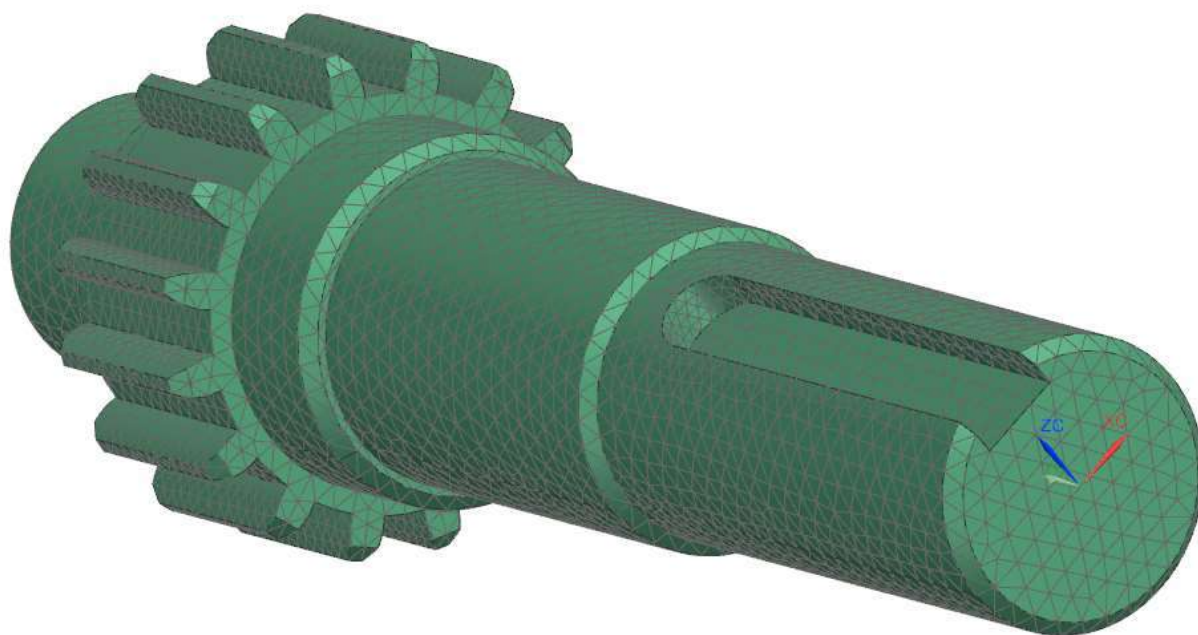


Рисунок 4.2 – Модель розбита на сітку кінцевих елементів

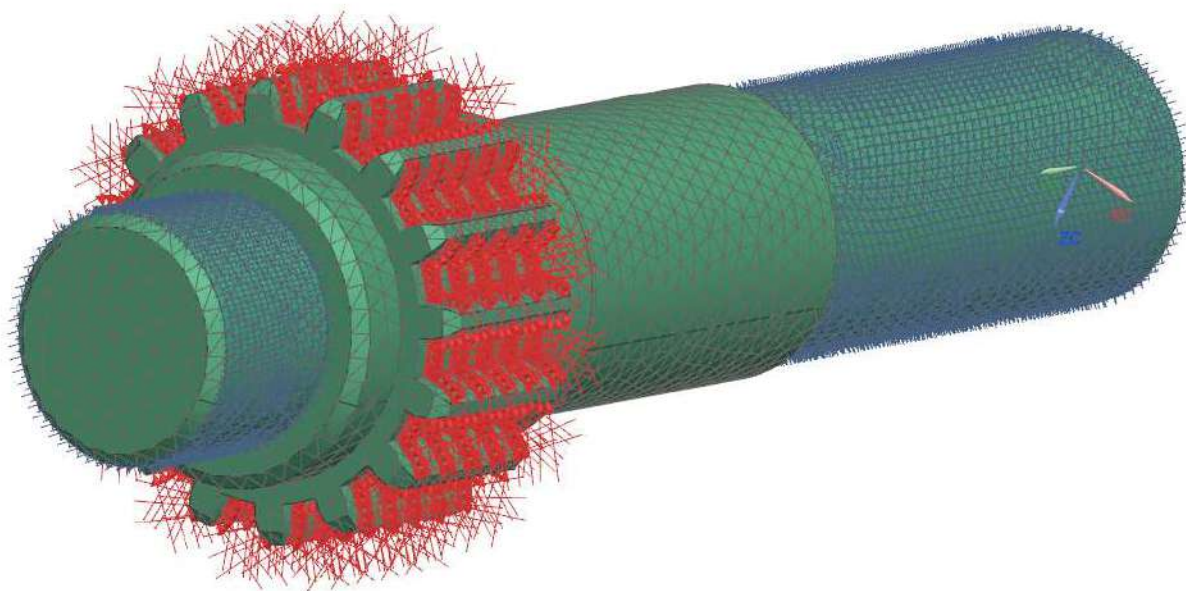


Рисунок 4.3 – Модель з прикладеним навантаженням

sim1 : Solution 1 Результат
 Subcase - Statics 1, Статический шаг 1
 Напряжение - По элементам, По Мизесу
 Мин. : 0.001, Макс. : 5.072, Единицы = МПа
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

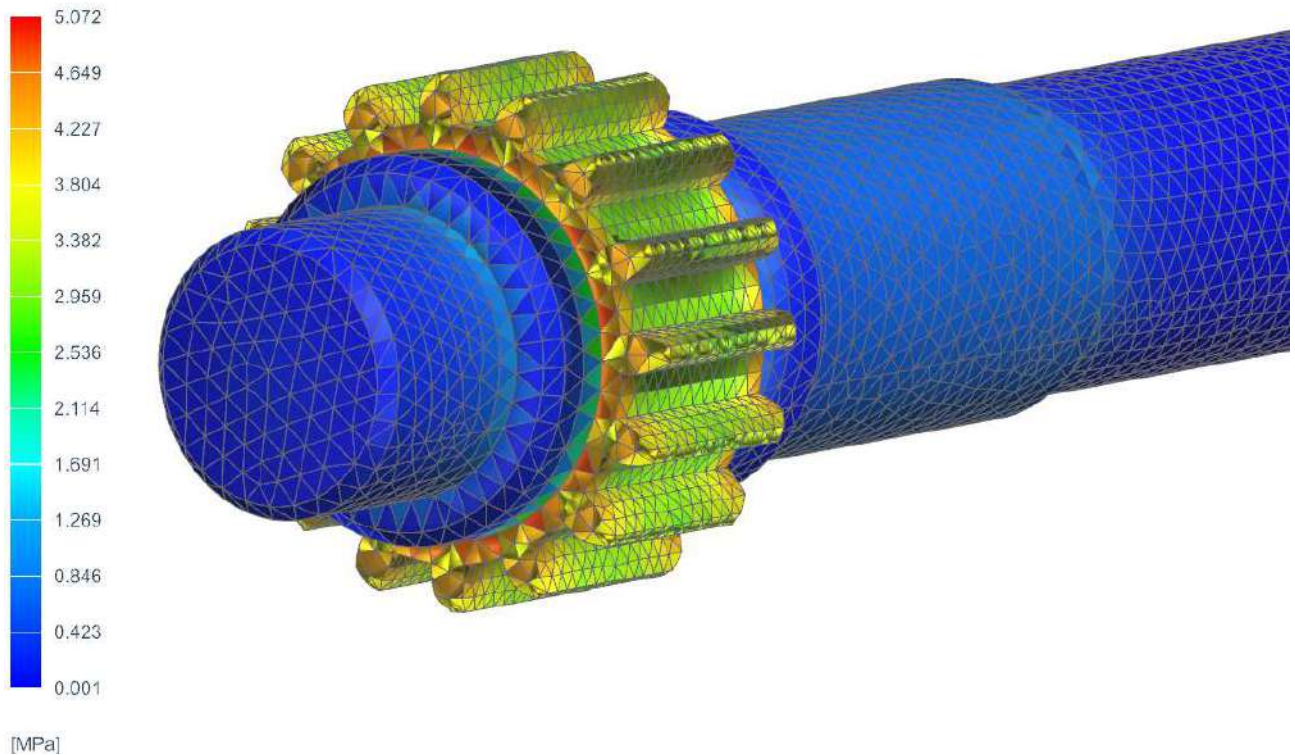


Рисунок 4.4 – Напружено деформований стан деталі (навантаження 5 МПа)

Максимальне напруження $\sigma_{max} = 5,07$ МПа.

Розраховуємо коефіцієнт запасу міцності за формулою (4.1):

$$n_{\sigma} = \frac{[\sigma_b]}{\sigma_{max}} \quad (4.1)$$

$$n_{\sigma} = \frac{980}{5,07} = 193,3$$

Допустиме значення запасу міцності для деталей при змінних навантаженнях $[n] = 2...5$.

Так як отримане значення запасу міцності $n_{\sigma} = 193,3$ більше допустимого, деталь не зруйнується и можна додати навантаження. Прикладаємо навантаження 50 МПа (рис. 4.5).

sim1 : Solution 1 Результат
 Subcase - Statics 1, Статический шаг 1
 Напряжение - По элементам, По Мизесу
 Мин. : 0.01, Макс. : 50.72, Единицы = МПа
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

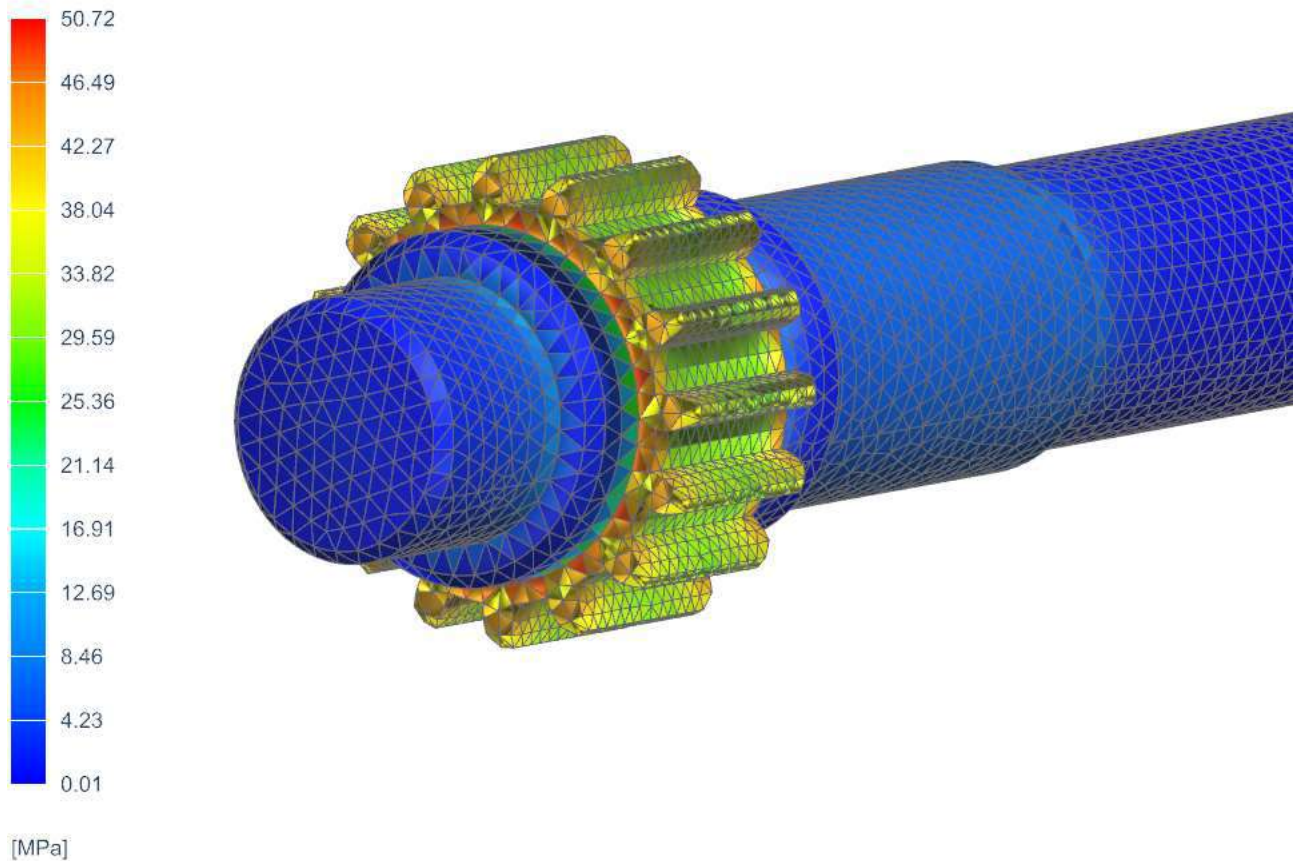


Рисунок 4.5 – Напружено деформований стан деталі (навантаження 50 МПа)

Максимальне напруження $\sigma_{max} = 50,72$ МПа.

Розраховуємо коефіцієнт запасу міцності за формулою (4.1):

$$n_{\sigma} = \frac{980}{50,72} = 19,3$$

Так як отримане значення запасу міцності $n_{\sigma} = 19,3$ більше допустимого, деталь не зруйнується и можна додати навантаження. Прикладаємо навантаження 400 МПа (рис. 4.6).

Максимальне напруження $\sigma_{max} = 405,77$ МПа.

Розраховуємо коефіцієнт запасу міцності за формулою (4.1):

$$n_{\sigma} = \frac{980}{405,77} = 2,4$$

Отримане значення запасу міцності $n_{\sigma} = 2,4$ лежить в межах допустимого.

Бачимо, що більші напруження виникають в місцях концентраторів напруження: отворів, радіусів заокруглення та фасок.

sim1 : Solution 1 Результат
Subcase - Statics 1, Статический шаг 1
Напряжение - По элементам, По Мизесу
Мин. : 0.05, Макс. : 405.77, Единицы = МПа
Деформация : Перемещение - По узлам Величина

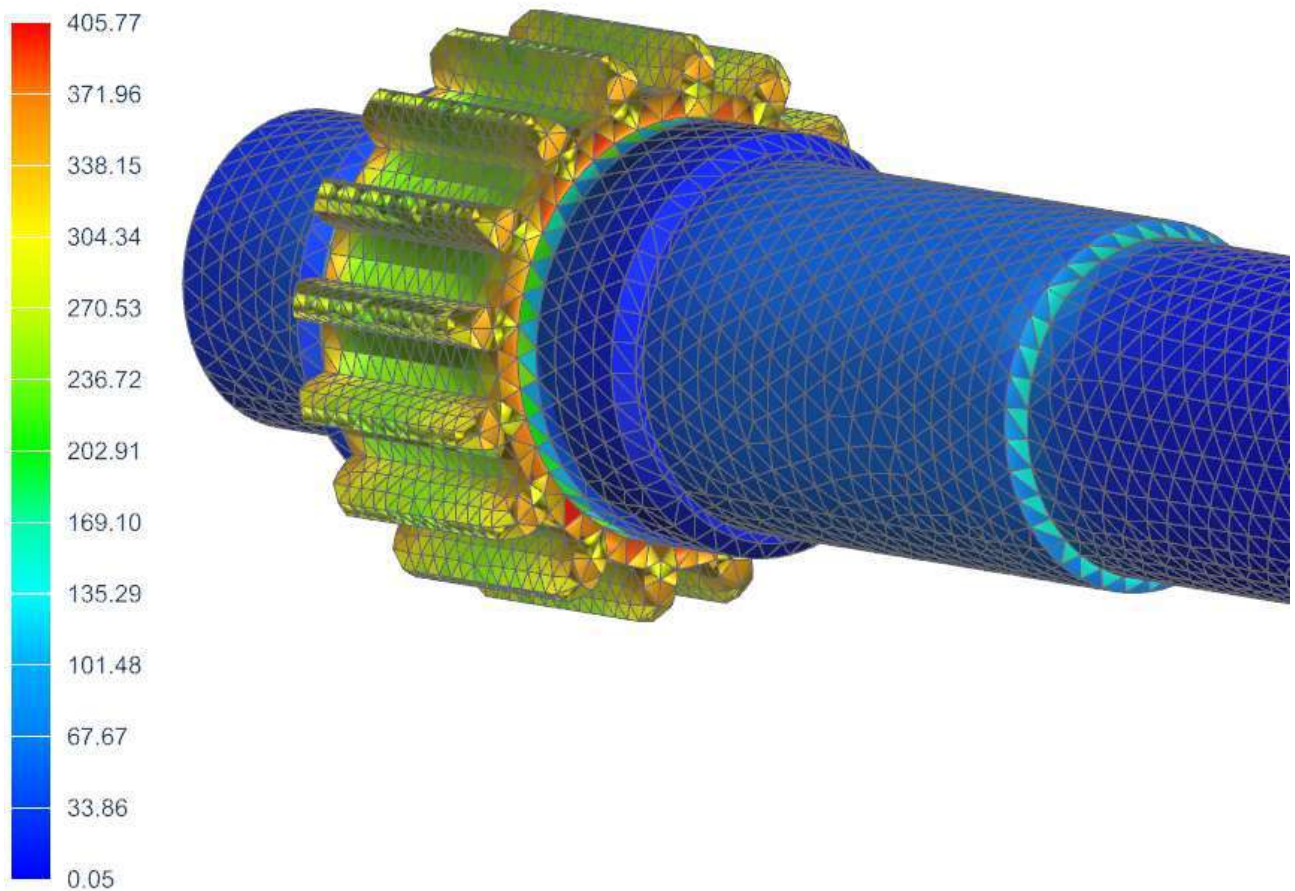


Рисунок 4.6 – Напружено деформований стан деталі (навантаження 400 МПа)

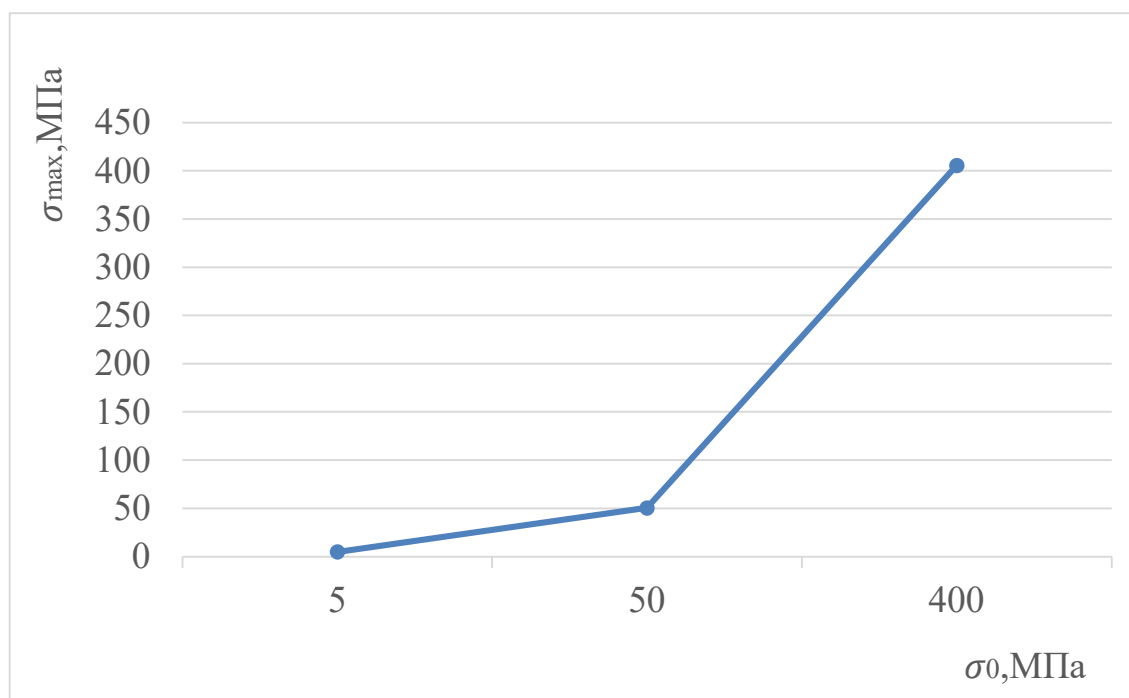


Рисунок 4.7 – Графік залежності напруження від прикладеного навантаження

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ФІНІШНА ОБРОБКА ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

У процесі виготовлення зубчастих коліс методом обкату або копіювання профіль зуба має недостатню точність і шорсткість поверхні для безпосередньої установки деталі в механізм. Також, щоб підвищити довговічність зубчастого колеса, що виготовляється, його необхідно піддати хіміко-термічній обробці, яка сильніше викривлює вихідний профіль. Для досягнення необхідної точності, шорсткості та зносостійкості в парі з хіміко-термічною операцією застосовують фінішну обробку поверхні зубів [11]. Удосконалення якості фінішної обробки поверхні зубів може бути використане в різних галузях машинобудування та приладобудування.

Існує два підходи до виконання фінішної обробки зубчастого вінця. При першому вінець піддається остаточній механічній обробці до гарту, при другому після гарту.

При зубонарізанні, в ході якого вінець готують до наступної фінішної обробки, на бокових сторонах зубів залишають невеликий за величиною припуск, залежно від модуля його величина коливається від однієї до кількох десятих часток міліметра. І крім цього припуск нерівномірний по висоті зуба, його найбільша величина припадає на середину висоти (в районі ділильного діаметру), а найменша – на голівку та ніжку зуба [12]. Тим самим полегшуються умови роботи різального інструменту, що виконує фінішну обробку.

Найбільш продуктивним способом фінішної обробки до загартування вважається зубошевінгування. Ріжучий інструмент – шевер є косоzubим зубчастим колесом, з кутом нахилу зубів 5° або 15° . Шевер є універсальним інструментом, для обробки колеса з будь-яким числом зубів, достатньо мати шевер того ж модуля. Канавки на зубах інструменту створюють велику кількість ріжучих кромek із переднім і заднім кутами різання, рівними 0° [12].

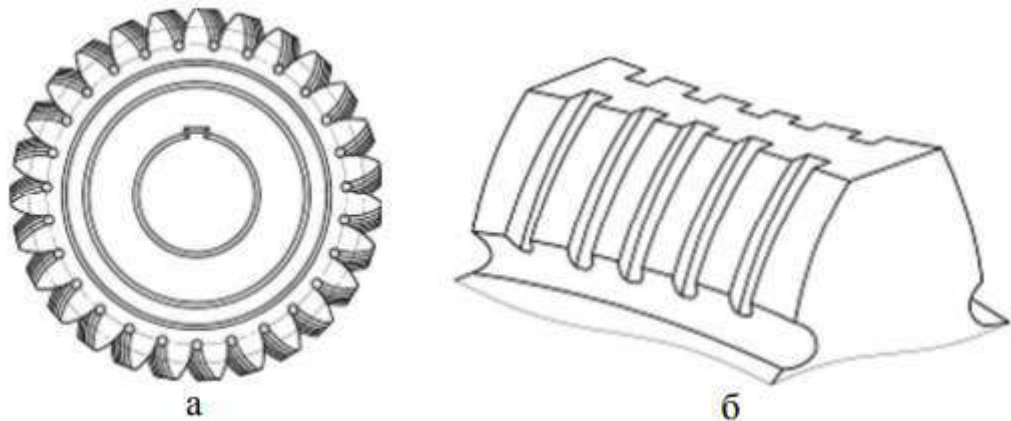


Рисунок 5.1 – Дісковий шевер:

а – дісковий шевер, б – зуб шевера [11]

Зубошевінгувальний верстат має дві осі, на одній закріплений шевер, ця вісь має примусове обертання від верстата. На другій осі встановлюють колесо, що обробляється. Між осями немає жорсткого кінематичного зв'язку. Осі лежать у паралельних площинах, але повернуті одна щодо одної на величину нахилу кута шевера. Таке розташування осей у просторі називається перекосом [12].

Шевер і колесо, що обробляється, вводять у щільне зачеплення з деяким натягом для того, щоб сталося вдавлювання матеріалу оброблюваного колеса в канавки на зубах шевера. При обертанні косозубого ріжучого інструменту в зачепленні з колесом, що має інший напрямок, відбувається взаємний рух поверхонь зубів інструменту вздовж зубців заготівлі та зіскоблювання з останніх тонких стружок [12]. Якщо ширина вінця у колеса, що обробляється ширше, ніж у шевера, то шеверу надається додаткове осьове переміщення.

Для нарізування шевером усієї поверхні зуба столу 5 (рис. 5.2) повідомляють поздовжню подачу 0,1-0,3 мм на один оберт зубчастого колеса. Наприкінці ходу столу повідомляють поперечну подачу 0,02-0,04 мм, після чого стіл повертається у зворотному напрямку. Число ходів столу залежить від величини припуску. При необхідності отримати зуби бочкоподібної форми 3 використовують передбачену в верстаті хитну плиту 4 з кронштейном 8 і

пальцем 6. Палець пов'язаний з копиром 7, закріпленим в кронштейні і, ковзаючи по копіру, змушує плиту 4 в кінці ходу столу нахилитися. Від цього шевер врізається в зуби і формує їх у країв тоншими, ніж у середині [13].

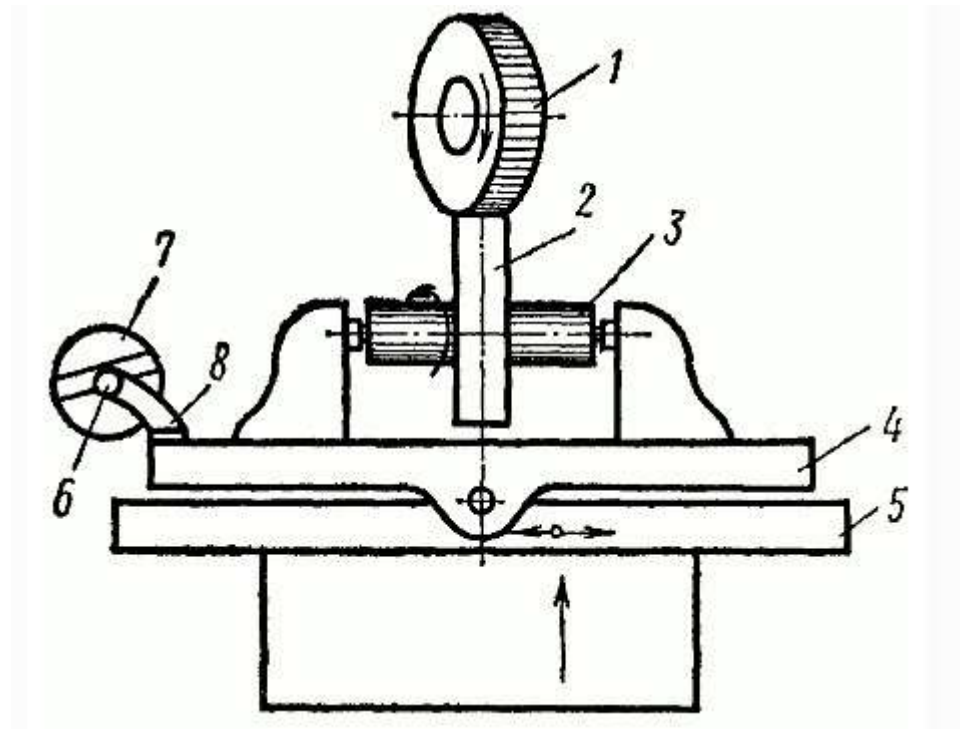


Рисунок 5.2 – Схема шевінгування на спеціальному верстаті [13]

Зубошевінг має високу продуктивність. Результати можна досягти вже після кількох обертів заготовки: покращений профіль, напрямок зуба та шорсткість поверхні, зменшено радіальне биття вінця. Однак шевінгування не може виправити похибку кроку, якщо вона є в зубчастому вінці заготовки [12].

Ще більшим недоліком є ненадійність технології з використанням зубошевінгування. Деформації при загартуванні призводять до зниження досягнутої точності. Після загартування роблять у колеса обробку отвору та торцю гострінням або шліфуванням. Базування колеса здійснюють по западинах між зубами, закладаючи в них циліндричні ролики. Потім шліфують другий торець, досягаючи його паралельності щодо першого.

Також ефективною операцією є зубохонінгування загартованого вінця. Інструмент – косозубе колесо з абразивного матеріалу. Процес зубохонінгування схожий із зубошевінгуванням, але, з меншим тиском інструменту на заготовку. Але труднощі полягають в проблемі виготовлення зубчастих хонів, адже це має бути високоточне абразивне колесо. Хонінг, як і шевінг, не може виправити похибку кроку [12].

Ненадійність технологічних процесів, що ґрунтуються на зубошевінгуванні, призвела до скорочення областей їх використання в машинобудуванні. Більшість виробників загартованих зубчастих коліс, які потребують малого рівня шуму, перейшли до фінішної обробки зубошліфуванням. Цей спосіб зубообробки виконується після гарту на самому фініші технологічного процесу і направлений на виправлення всіх похибок, які має зубчастий вінець. Цей підхід підвищує надійність технологічного процесу. Незважаючи на те, що зубошліфування має високу трудомісткість, порівняно із зубошевінгуванням, загалом витрати на отримання якіснішого виробу виправдовуються [12].

Зубошліфування – поширений метод остаточної обробки робочих поверхонь попередньо загартованих зубчастих коліс, застосування його порівняно обмежено низькою продуктивністю зубошліфувальних верстатів. Воно призначене для усунення деформацій, які виникають при хіміко-термічній обробці, та забезпечує 3–6-й ступінь точності та шорсткість поверхні $Ra = 0,20 - 1,2$ мкм. Зубошліфування вимагає відповідного виправлення робочої частини шліфувального кола та збереження її точності протягом певного часу [14].

Шліфування зубів проводиться:

- Методом копіювання, при цьому профіль робочої частини шліфувального кола повністю копіює профіль зуба, що шліфується.
- Методом обкатки, при цьому профілююча поверхня шліфувального кола в процесі шліфування займає ряд положень, що обгинають, щодо профілю шліфованого зуба.

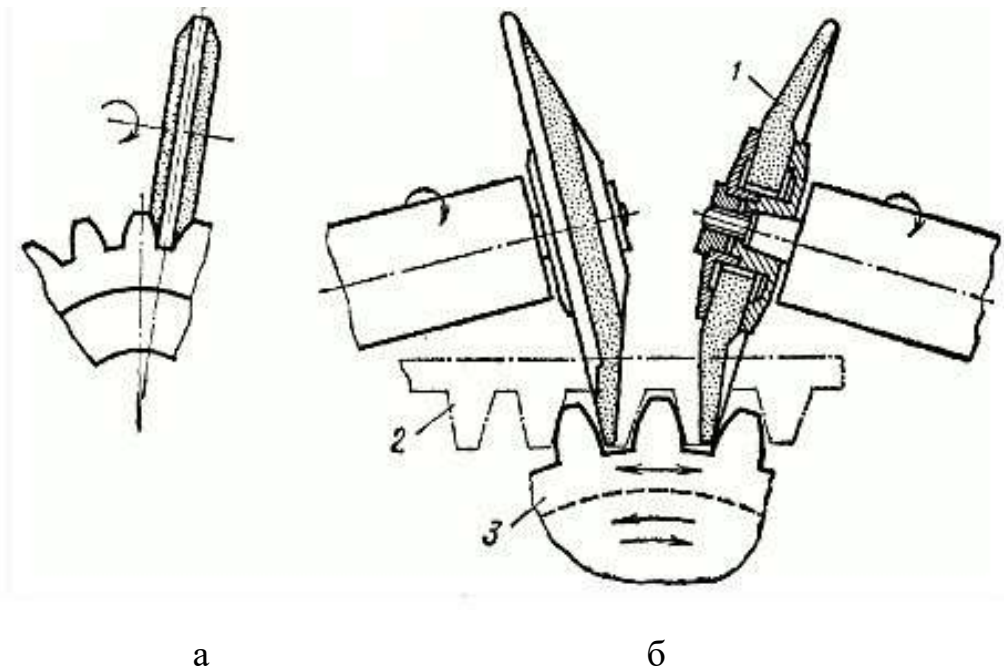


Рисунок 5.3 – Схема шліфування коліс:
а – методом копіювання; б – методом обкатки

В промисловості для шліфування евольвентних зубів циліндричних коліс застосовують такі методи – безперервне обкатне черв'ячним шліфувальним кругом та переривчасте копіювальне двостороннім конічним колом [4]. Наразі найбільшої популярності набуває зубошліфування тарілчастими колами.

Переривчасте копіювальне (профільне) зубошліфування виробляють шліфувальним колом, що обертається при поздовжньому русі подачі кола вздовж осі заготовки (рис. 5.4).

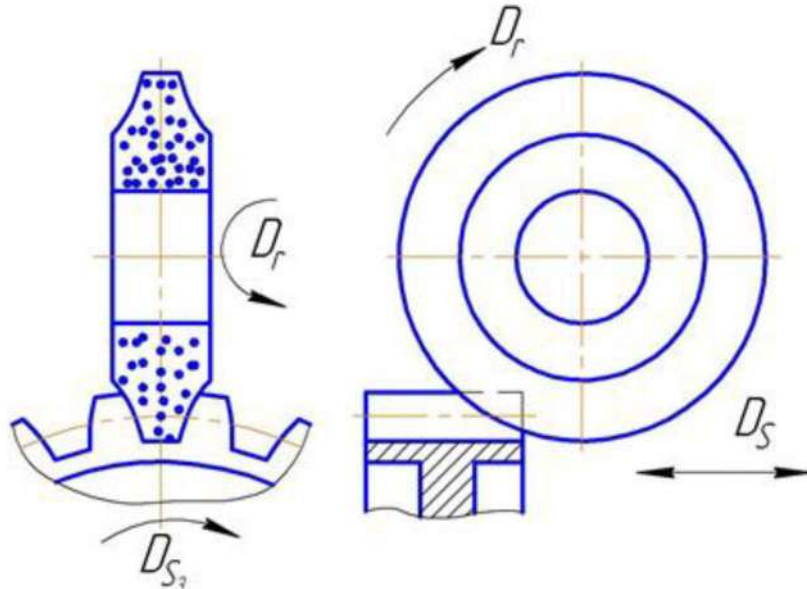


Рисунок 5.4 – Шліфування методом копіювання зубчастих коліс

Профіль кола при шліфуванні прямозубих коліс відповідає западині зубів оброблюваної заготівлі, включаючи модифікації профілю, а при шліфуванні косозубих коліс має незначні відхилення. Зазвичай кожна западина зуба шліфується кілька робочих ходів. В залежності від стратегії зубошліфування в кінці кожного ходу або через певну кількість робочих ходів виробляють радіальний рух подачі та шліфувальний круг заглиблюється в заготівлю. По завершенню обробки кожної западини шліфувальний круг виходить із зачеплення, і заготовка виконує поворот для обробки наступної западини [14].

Профільному зубошліфуванню властивий лінійний контакт між шліфувальним кругом та заготовкою. Визначимо основні області застосування цього методу для зубчастих коліс:

1. У одиничному та дрібносерійному виробництві, де використовують універсальний інструмент та невисока продуктивність.
2. З великим модулем (понад 10 мм), які можуть оброблятися на обкатних верстатах.
3. Зі спеціальними геометричними параметрами зубів (мала кількість зубів, великий кут профілю, маленька довжина лінії зачеплення тощо).

4. З близько розташованими зубчастими вінцями. Обробку роблять шліфувальними колами маленького діаметру, як правило, абразивними ріжучими елементами кубічного нітриду бору [14].

До негативних властивостей профільного зубошліфування слід віднести високу теплонапруженість процесу, тобто можливість утворення на поверхні зубів шліфувальних припалів у вигляді плям, смуг, що чергуються, або окремих дрібних штрихів. Тепло, що виділяється при шліфуванні, може викликати небажані зміни структури поверхневого шару та його фізичного стану, а також коливання твердості. Шліфувальні припали суттєво знижують контактну та згинальну витривалість зубів [14].

З метою зниження небезпеки виникнення припалів та отримання у поверхневому шарі зубів деформаційного зміцнення переривчасте профільне шліфування зубів слід проводити колами з високою пористістю [14]. Наявність між абразивними зернами великих пор забезпечує достатньо простору для відведення мікростружок при високій інтенсивності знімання матеріалу, а також підведення великої кількості СОЖ безпосередньо в зону різання через поровий простір кола.

Витки черв'ячного кола при безперервному обкатному зубошліфуванні, відтворюють евольвентний профіль та поздовжню форму зуба. Обкатний метод характеризується точковим контактом шліфувального кола та заготовки, що постійно змінює своє положення по висоті та довжині зуба. Так як контакт точковий і триває короткий час, він не викликає великих термічних навантажень на зуб колеса, що обробляється, тому при шліфуванні цим методом можна призначати високі швидкості різання без небезпеки виникнення припалів на поверхні зубів.

Найбільш продуктивний спосіб зубошліфування – шліфування методом безперервної обкатки абразивним черв'яком (рис. 5.5). Цей вид шліфування дозволяє отримати зубчасті колеса 5-6 ступеня точності з шорсткістю обробленої поверхні в межах $Ra = 1,0-0,2$ мкм [14].

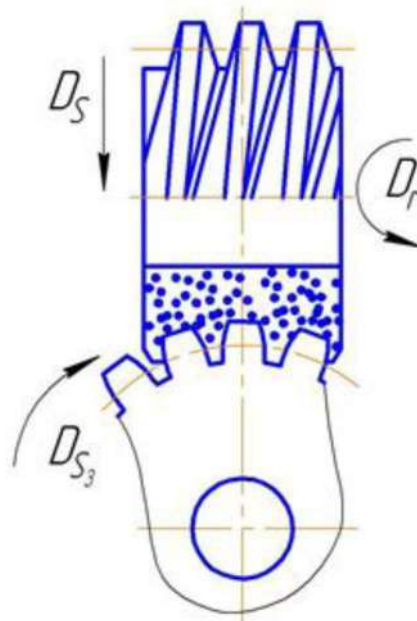


Рисунок 5.5 – Шліфування зубчастих коліс методом обкату

Для шліфування зубчастих коліс методом обкату створено верстат моделі 5В830, який призначений для шліфування прямозубих і косозубих циліндричних коліс абразивним черв'яком. Верстат даної моделі застосовують для серійного та багатосерійного виробництва. Точність зубчастих коліс, що обробляються на даному верстаті, відповідає нормам точності зубошліфувальних верстатів класу В.

Наразі найбільшу популярність має зубошліфування тарілчастими колами. При шліфуванні коліс двома тарілчастими колами шліфувальні кола можуть займати різні положення щодо колеса, що обробляється: паралельно між собою на відстані, що дорівнює довжині загальної нормалі оброблюваного колеса — « 0° метод», або під різними кутами (як правило 15° або 20°). Перевагою « 0° методу» є відсутність на шліфованих профілях зубів «сітки» та високий рівень чистоти їхньої поверхні [14].

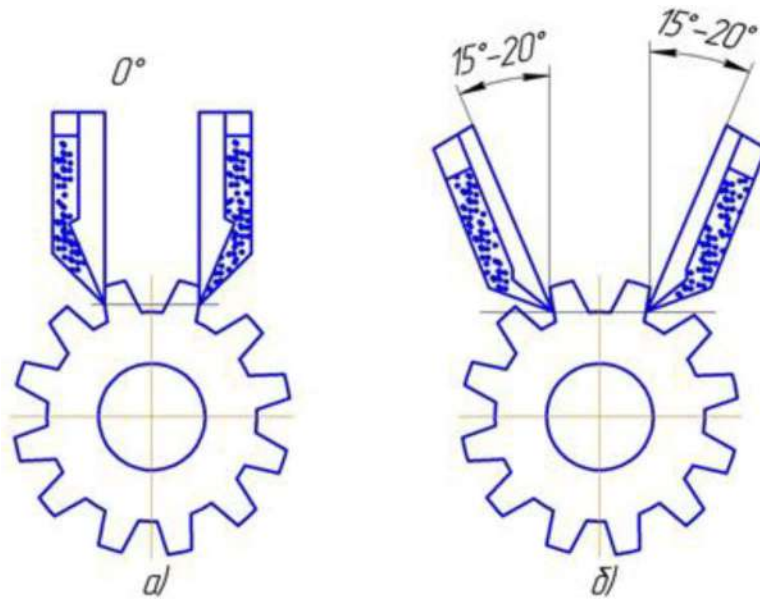


Рисунок 5.6 - Установка тарілчастих кіл:

а) – 0° - метод; б) – під різними кутами

Зубошліфування двома тарілчастими колами (рис. 5.6) дозволяє отримувати зубчасті колеса 3-4 ступеня точності і з шорсткістю поверхні $Ra=1,0-0,3$ мкм. Шліфувальні кола тарілчастої форми, працюючи вузькою кромкою, мають малу поверхню контакту з поверхнею зуба, що шліфується, що при поєднанні обкатного руху і поздовжньої подачі колеса призводить до швидкої зміни місць контакту краю кола зі шліфованою поверхнею. За рахунок цього зуб лише трохи нагрівається і коло майже не «засолюється», що є значною перевагою.

Оцінивши переваги та недоліки всіх перерахованих вище методів, можна підвести підсумок: для фінішної обробки зубів, в нашому випадку, найкраще підходить шліфування методом обкату абразивним черв'яком. Він ідеально підходить для багатосерійного виробництва, не викликає великих термічних навантажень, має достатньо високу точність.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИСТОСУВАННЯ

Використання складних спеціальних пристосувань підвищує продуктивність праці, але при невеликому річному випуску деталей такі пристосування можуть виявитись економічно недоцільними: від їх використання собівартість операції не знижується, а навпаки, підвищується.

Розрахунок економічної ефективності використання пристосувань має за основу порівняння затрат та економії, які виникають при його використанні відносно річного періоду. Затрати включають в себе амортизацію пристосувань та витрати на його утримання та експлуатацію. Економія досягається за рахунок зниження трудомісткості виготовлення деталей.

Пристосування вважається рентабельним, якщо річна економія більше річних затрат.

Собівартість C_a використання нового пристосування розраховують за формулою [15, с.28]:

$$C_a = Z_a \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right) + \frac{S_a}{P} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right) \quad (6.1)$$

Собівартість C_b використання старого пристосування розраховують за формулою [15, с.28]:

$$C_b = Z_b \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right) + \frac{S_b}{P} \cdot \left(\frac{1}{A} + \frac{q}{100}\right) \quad (6.2)$$

де Z_a, Z_b – заробітна плата робітника за одну деталь для нового і старого пристосування, відповідно, грн;

H – цехові накладні витрати у % до заробітної плати;

S_a, S_b – витрати на виготовлення нового та старого пристосувань, відповідно, грн;

P – річна програма випуску деталей, шт;

A – строк амортизації пристосування в роках;

q – витрати, пов'язані з експлуатацією пристосувань у % від їх вартості.

Затрати на виготовлення пристосування за наближеним способом розраховують за формулою [15, с.28]:

$$S = C_{\pi} \cdot N \quad (6.3)$$

де N – кількість деталей в пристосуванні, шт;

C_{π} – затрати на одну деталь пристосування, грн;

Для підрахування заробітної плати робітника використовуємо формулу [15, с.29]:

$$З = t_{шт} \cdot З_{хв} \quad (6.4)$$

де $t_{шт}$ – штучно-калькуляційний час;

$З_{хв}$ – хвилинна ставка робітника, грн.

Собівартість залежить в основному від річної програми випуску деталей. Програма випуску Π_k - програма при якій обидва порівнюваних варіанти пристосувань економічно рівноцінні [15, с.29].

$$\Pi_k = \frac{(S_a - S_b) \cdot \left(1 + \frac{q}{100}\right)}{(З_b - З_a) \cdot \left(1 + \frac{H}{100}\right)} \quad (6.5)$$

Якщо задана річна програма $\Pi > \Pi_k$, то більш вигідно застосовувати більш складне пристосування (з пневмоприводом), та навпаки, якщо $\Pi < \Pi_k$, вигідніше використовувати старе пристосування.

Отже, розрахуємо спочатку спроектоване пристосування з пневмоприводом.

За формулою (6.3) вирахуємо затрати на виготовлення пристосування:

$$S_a = 30 \cdot 20 = 600 \text{ грн}$$

де N – кількість деталей в пристосуванні, $N = 20$ шт;

C_{π} – затрати на одну деталь пристосування, $C_{\pi} = 30$ грн [15];

Хвилинна ставка робітника розраховується за формулою:

$$z_{\text{хв}} = \frac{z_{\text{П год}}}{60}$$

де $z_{\text{П год}}$ – тарифна ставка за годину, $z_{\text{П год}} = 65,1$ грн [15, с. 32, табл. А.1].

$$z_{\text{хв а}} = \frac{65,1}{60} = 1,085 \text{ грн}$$

Для підрахування заробітної плати робітника за одну деталь використовуємо формулу (6.4):

$$z_a = 3,04 \cdot 1,085 = 3,298 \text{ грн}$$

Собівартість використання модернізованого пристосування розрахуємо за формулою (6.1):

$$C_a = 3,298 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{600}{10000} \cdot \left(\frac{1}{3} + \frac{120}{100}\right) = 11,63 \text{ грн}$$

де A – строк амортизації, $A=3$ роки [15];

q – річні витрати, $q = 0,2 \cdot S_a = 120$ грн;

H – відсоток цехових накладних витрат, $H = 250\%$ [15].

Для заводського пристосування за формулою (6.3) вирахуємо затрати на його виготовлення:

$$S_v = 15 \cdot 10 = 250 \text{ грн}$$

де N – кількість деталей в пристосуванні, $N = 10$ шт;

C_{π} – затрати на одну деталь пристосування, $C_{\pi} = 15$ грн;

Хвилинна ставка робітника розраховується за формулою:

$$z_{\text{хв}} = \frac{z_{\text{П год}}}{60}$$

де $z_{\text{П год}}$ – тарифна ставка за годину, $z_{\text{П год}} = 76,6$ грн [15, с. 32, табл. А.1].

$$z_{\text{хв а}} = \frac{76,6}{60} = 1,28 \text{ грн}$$

Для підрахування заробітної плати робітника використовуємо формулу (6.4):

$$z_v = 5,21 \cdot 1,28 = 6,669 \text{ грн}$$

Собівартість використання пристосування розрахуємо за формулою (6.2):

$$C_v = 6,669 \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right) + \frac{250}{10000} \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{50}{100}\right) = 23,379 \text{ грн}$$

де A – строк амортизації, $A=1$ рік [15];

q – річні витрати, $q = 0,2 \cdot S_v = 50$ грн;

H – відсоток цехових накладних витрат, $H = 250\%$ [15].

За формулою (6.5) розрахуємо програму випуску, при якій обидва порівнюваних варіанти пристосувань економічно рівноцінні:

$$P_k = \frac{(600 - 250) \cdot \left(\frac{1}{1} + \frac{50}{100}\right)}{(6,669 - 3,298) \cdot \left(1 + \frac{250}{100}\right)} = 45 \text{ шт}$$

Отже, так як $P = 10\ 000 > P_k = 45$, то більш вигідно застосовувати спроектоване пристосування з пневмоприводом для виготовлення партії деталей в 10000 шт на рік.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Так як тема магістерської роботи «Підвищення якості фінішної обробки поверхні зубів на деталях типу вал-шестерня», в роботі використовується таке обладнання: верстати токарні з числовим програмним керуванням (ЧПК), фрезерний з ЧПК, фрезерно-центрувальний, зубофрезерний, шліфувальний.

При роботі на цих верстатах можуть виникнути такі види потенційних небезпек:

- фізичного характеру: при відсутності рукавиць можливі порізи стружкою або гострими кутами деталі що можуть призвести до ураження шкіри працівника; при неправильно закріпленій деталі можливий виліт деталі при її обробці що може призвести до механічних травм; при відсутності або невикористанні захисних огорож верстата можливе травмування працівника; ураження електричним струмом, у наслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням; підвищений рівень шуму, що притаманний для роботи значної кількості верстатів, може призвести до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках - до погіршення слуху.

- психофізичного характеру: при відсутності перерв та виконанні монотонної роботи можливе погіршення уваги працівника, внаслідок цього можуть виникнути фізичні травми.

- пов'язані з порушенням правил пожежної безпеки: несправність електрообладнання, коротке замикання можуть призвести до виникнення пожежі.

7.2 Заходи з забезпечення безпеки

Заходи з забезпечення безпеки формуються на основі аналізу потенційних небезпек та призначені для усунення встановлених небезпечних факторів. Вимоги до заходів з забезпечення безпеки прописані в ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож»; НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»; ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проектування та вибору»; ПУЕ-2017 «Правила улаштування електроустановок»; ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування»; ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1».

Згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» для виключення порізів і механічних травм; уникнення травмування через руйнування ріжучого інструмента, у разі неправильного підбору режимів різання; уникнення травмування різного ступеня важкості при роботі з ручним інструментом; уникнення травмування від руйнування інструменту, передбачено такі організаційні заходи, як проведення навчань з техніки безпеки та перевірка знань персоналу [19]. Також, в якості організаційних заходів для уникнення порізів і механічних травм під час роботи на верстатах і при виконанні слюсарних операцій передбачене забезпечення працівників засобами індивідуального захисту у вигляді рукавиць від механічних порізів, захисних окулярів, захисного одягу від механічних ушкоджень, напівчоботів для захисту від порізів стружкою і незначних вібрацій [19].

Верстати повинні бути обладнані захисними пристроями (екранами), заблокованими з пуском верстата для уникнення травмування персоналу при

роботі на верстатах, згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і змінних захисних огорож», блокувальні пристрої для виключення можливості проникнення людини в небезпечну зону обробки на верстаті, згідно ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проектування та вибору».

Для уникнення ураження електричним струмом передбачені:

- організаційні заходи: проведення навчань з електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.004.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»;
- згідно з вимогами ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. допустимий загальний опір усіх заземлюючих пристроїв, що споруджені в мережах напругою 380/220 В, повинен бути не більше 4 Ом [20].

Механічне травмування, ймовірно, може виникнути внаслідок неправильного розташування робочих місць, захаращення їх або пов'язане з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Щоб виключити травматизм, зроблено раціональне розташування робочих місць, збільшена відстань між ними. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше – 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5 метри, що дає можливість безпечно та зручно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі – сприяє швидкій евакуації людей [21]. Планування робочого місця передбачає місця для збереження тари з заготівками та готовою продукцією, стелажі для зберігання технічної документації та інструменту, а також місця для відходів виробництва [21].

В роботі мають бути передбачені перерви (15 хвилин кожні 2 години) для того щоб знизити нервово-емоційне напруження, стомлення зору, поліпшення кровообігу, запобігання втоми.

7.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» регламентуються температура повітря, вологість повітря й швидкість його переміщення на дільниці.

Роботи на дільниці належать до категорії Па – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року рекомендовано відносна вологість: 40-60%; температура 19-21°C; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с [22];

- у теплий період року рекомендовано відносна вологість: 40-60%; температура 21-23°C; швидкість переміщення повітря: 0,3 м/с [22].

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування необхідно забезпечити дільницю системою опалення, що пов'язана з припливно-витяжною вентиляцією.

Допустимий рівень шуму в робочій зоні встановлено в ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» і складає для механоскладального цеху 80 дБа [23].

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через вікна, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5% [24].

Проведемо розрахунок освітлення в механічному цеху довжиною $A=48$ м, шириною $B=12$ м, висотою $H=7,8$ м. Розряд зорової роботи (РЗР) IVб; $\rho_c = 50\%$; $\rho_{ст} = 30\%$; $\rho_{п} = 10\%$.

Висоту робочого столу рекомендується обирати $h_p=0,8$ м.

Використовуємо комбіновану систему освітлення для РЗР IVб. Для заданого РЗР за [17, с. 19, дод. А] обираємо значення загального освітлення $E_n=200$ лк.

Як джерело світла для механічного цеху підходять газорозрядні лампи типу ДРЛ та ДРИ. При висоті стелі $H=7,8$ м використовують лампи від 50 до 125 Вт. Ці лампи мають значну перевагу: світловіддача до 100 лм/Вт та термін експлуатації до 15000 годин.

Отже, для механічного цеху висотою $H=7,8$ м за [17, с. 23, дод. В] обираємо лампу високого тиску РПП з $IP=54$, $L/h=1,4$

Механічний цех запиленість менше 1 мг/м^3 , тому коефіцієнт запасу $k_3=1,6$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z , як правило дорівнює $z = 1,15$ – для газорозрядних ламп високого тиску типу ДРЛ і ДРИ.

В залежності від виділення пилу за параметрами $\rho_c = 50\%$; $\rho_{ст} = 30\%$; $\rho_{п} = 10\%$ можна встановити, що приміщення з незначним пиловиділенням.

Значення індексу приміщення визначаємо за формулою [17]:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} \quad (7.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Загальна висота приміщення розраховується за формулою [17]:

$$H = h + h_p + h_z \quad (7.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

h_z – висота звисання світильника від стелі, м.

Визначення h і h_z проводяться за наступною послідовністю:

а) розрахуємо кількість рядів світильників у приміщенні за формулою [17]:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]} \quad (7.3)$$

де $[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_p = \frac{12}{(7,8 - 0,8) \cdot 1,4} = 1,2$$

Приймаємо $N=2$ ряди.

б) визначимо максимальну відстань між рядами світильників за формулою [17]:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (7.4)$$

$$L_{max} = \frac{12}{2} = 6 \text{ м}$$

в) розрахуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею за формулою [17]:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} \quad (7.5)$$

$$h = \frac{6}{1,4} = 4,3 \text{ м}$$

г) знайдемо висоту звисання світильника від стелі за формулою [17]:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (7.6)$$

$$h_3 = 7,8 - 0,8 - 4,3 = 2,7 \text{ м}$$

$$i = \frac{48 \cdot 12}{4,3 \cdot (48 + 12)} = 2,23$$

За довідковою таблицею [17, с.30, дод. Д] визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку (η), що створюють світильники вибраного типу: в залежності від виду джерела світла – газорозрядна лампа, типу обраного світильника – РПП, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення ($\rho_c = 50\%$; $\rho_{ст} = 30\%$; $\rho_{п} = 10\%$) та індексу приміщення $i=2,25$: $\eta=61\%$.

Визначмо світловий потік стандартної лампи ($\Phi_{л}$) та кількість світильників (N_{ϕ}), які забезпечують у приміщенні нормовану освітленість:

а) визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки за формулою [17]:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta} \quad (7.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку;

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{200 \cdot 576 \cdot 1,6 \cdot 1,15}{0,61} = 347489 \text{ лм}$$

б) визначаємо розрахункову загальну кількість світильників N^* за формулою [17]:

$$N^* = \frac{A \cdot B}{L_{max}^2} \quad (7.8)$$

$$N^* = \frac{48 \cdot 12}{6^2} = 16$$

в) визначаємо розрахунковий світловий потік лампи $\Phi_{л}^*$ за формулою [17]:

$$\Phi_{л}^* = \Phi_{\Sigma} / N_{л} \quad (7.9)$$

де $N_{л}$ – загальна кількість ламп у приміщенні;

$$N_{л} = N^* \cdot n$$

n – кількість ламп у світильнику;

$$N_{л} = 16 \cdot 1 = 16$$

$$\Phi_{л}^* = \frac{347489}{16} = 21718 \text{ лм}$$

г) вибираємо тип стандартної лампи з найближчими значеннями фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{л}$ і знайдемо коефіцієнт пропорційності m за формулою [17]:

$$m = \Phi_{л}^* / \Phi_{л} \quad (7.10)$$

Для ДРЛ 400 $\Phi_{л} = 24000 \text{ лм}$ [17, с.22, дод. Б]

$$m = \frac{21718}{24000} = 0,9$$

д) визначаємо оптимальну кількість світильників у приміщенні за формулою [17]:

$$N = N^* \cdot m \quad (7.11)$$

$$N = 16 \cdot 0,9 = 14,4$$

Приймаємо $N_{\phi} = 16$ світильників.

Визначимо загальну розрахункову освітленість (E_p) у приміщенні, що створюється при застосуванні газорозрядних ламп за формулою [17]:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{фл}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} \quad (7.12)$$

де $N_{\text{фл}} = N_{\phi} \cdot n$ – фактична кількість ламп в приміщенні.

$$N_{\text{фл}} = 16 \cdot 1 = 16 \text{ шт}$$

$$E_p = \frac{24000 \cdot 16 \cdot 0,61}{576 \cdot 1,6 \cdot 1,15} = 221 \text{ лк}$$

$$E_p = (-10\% \dots + 20\%) \cdot E_{\text{н}}$$

Умова виконується, приймаємо 16 ламп ДРЛ 400.

Розрахуємо сумарну потужність освітлювальної установки за формулою [17]:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} \cdot P_{\text{л}} \quad (7.13)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраної стандартної лампи [17, с.22, дод. Б].

$$P_{\Sigma} = 16 \cdot 400 = 6400 \text{ Вт}$$

Виконаємо ескіз розташування світильників на плані приміщення, враховуючи розмір світильників (рис. 7.1 та 7.2).

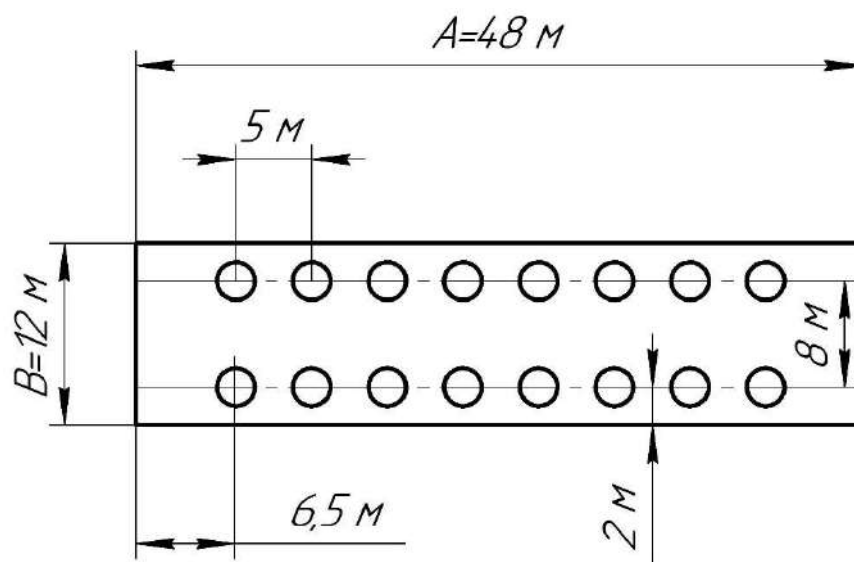


Рисунок 7.1 – Розміщення світильників

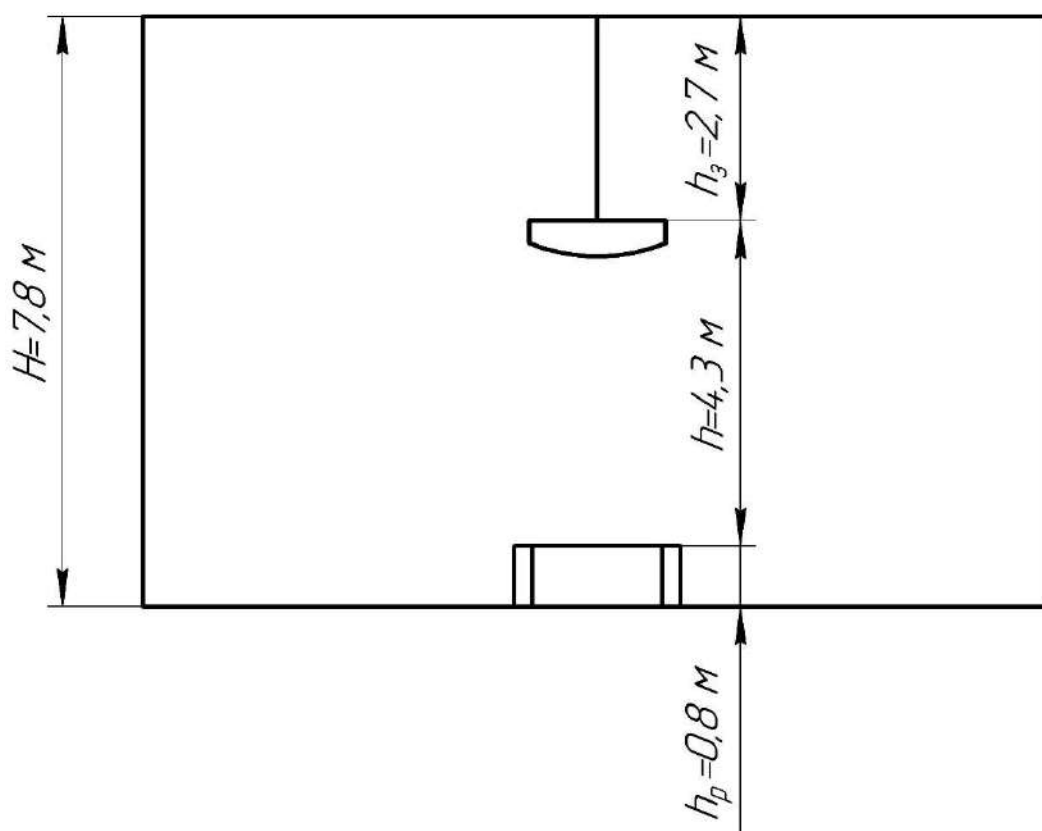


Рисунок 7.2 – Розміщення світильників над робочою поверхнею

7.4 Заходи з пожежної безпеки

НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» встановлює заходи з пожежної безпеки.

В залежності від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані горіння електроустановок (верстати), що перебувають під напругою до 1000 В).

За ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» механоскладальний цех відноситься до категорії «Д» з пожежної небезпеки: наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Ступінь вогнестійкості приміщення механічної дільниці – ІІ, згідно з ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [25].

Згідно [25], на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці.

Приміщення цеху повинні бути оснащені системами пожежної сигналізації, що виявляють ознаки пожежі на ранній стадії та передають сповіщення до пристроїв передавання пожежної тривоги для вжиття необхідних заходів (евакуювання людей, виклик пожежно-рятувальних підрозділів, запуск протидимних систем пожежогасіння), згідно з вимогами ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

Згідно «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 передбачена мінімальна кількість переносних

вуглекислотних вогнегасників – 4, що мають вагу 9 кг, відповідають вимогам експлуатаційної документації та пройшли технічне обслуговування. Переносні вогнегасники мають вивішуватися за допомогою кронштейнів на вертикальні поверхні на висоті не вище 1,5 м від підлоги до низу вогнегасника і на відстані від дверей, достатній для їх повного відчинення, або встановлюють у пожежні шафи, згідно з [26].

ВИСНОВКИ

Результатом виконання магістерської роботи є технологічний процес виготовлення валу-шестерні.

Спроековано пристосування з пневматичним затиском на фрезерну операцію для скорочення часу на встановлення деталі. Також спроековано пристосування для перевірки контролю биття.

Проведена порівняльна оцінка фінішних методів обробки зубів і становлено, що ефективніше обробляти поверхню зубів валу-шестерні шліфуванням методом обкату абразивним черв'яком

Розраховано ефективність використання пристосування з пневмоприводом в порівнянні з універсальним.

Розроблені та запропоновані заходи з охорони праці, які спрямовані на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні робіт.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.

2. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання/ Укл.: Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 61 с.

3. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 3-є). Під ред. Гончар Н.В. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019 – 61 с.

4. Баранчиков, В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов / В.И. Баранчиков – М.:Машиностроение, 1990.–400с.

5. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. –М.:Машгиз, 1961. – 890с.

6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.

7. Курс лекцій по дисципліне "Технологическая оснастка" для направлений подготовки 6.050502 "Инженерная механика" и 6.050503 "Машиностроение" по специальностям "Технологии машиностроения" и "Металлорежущие станки и системы" для всех форм обучения./ П.А. Каморкин. – Запорожье: ЗНТУ, 2015.–228 с.

8. Аверьянов, И.Н. Проектирование и расчет станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах / И.Н.Аверьянов, А.Н.Болотеин, М.А.Прокофьев – Рыбинск: РГАТА, 2010. – 220с.
9. Электронний ресурс: <https://studfile.net/preview/2360042/>
10. Электронний ресурс: <https://studopedia.info/1-16305.html>
11. Воронов А. Э. Повышение производительности финишной обработки зубчатых колес / А. Э. Воронов // Наукові вісті Дніпровського університету. – 2013. – №10.
12. Электронний ресурс: <https://studfile.net/preview/9326706/page:35/>
13. Электронний ресурс: <https://www.inmet16.ru/obrabotka-zubkoles/>
14. Соколова И.Д. Анализ методов шлифования зубчатых колес на современном оборудовании / И.Д. Соколова, А.С. Свитка // Инновационная наука. – 2016. – № 9 (21). – С. 83–87.
15. Богуслаев, В.А. Конструкции приспособлений. Справочное пособие / В.А. Богуслаев, В. Ф. Мозговой, А.Я. Качан и др. Изд. ОАО "Мотор Сич", Запорожье. - 2004 г. - 203 с.
16. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»(спеціалізація «Технологія машинобудування») / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 –28 с.
17. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с.
18. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.

19. НПАОП 0.00-4.12-05.Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці).

20. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

21. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.

22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

23. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»

24. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

25. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми).

26. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

Перш. примеч.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справа №					Документация		
	A1			НУЗП 293224.0353Б	Збірне креслення	1	
					Детали		
			1		Втулка	1	
			2		Корпус	1	
			3		Кришка пневмосистеми	1	
			4		Кутовий установ	1	
			5		Обмежувач	2	
			6		Плита	1	
			7		Поршень	1	
			8		Призма	1	
			9		Регулююча гайка	1	
			10		Регулюєма призма	1	
			11		Регулююча шпилька	1	
			12		Стійка	1	
			13		Упор	1	
			14		Упор	1	
		15		Установочна плита	1		
		16		Ущільнююча манжета	1		
		17		Циліндр	1		
		18		Шток	1		
Підп. і дата							
Інв. № дод.							
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.	Изм./лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 293224.035		
	Разработ.	Луканова О.В.			Пристосування для фрезерування шпонкового пазу		
Проб.	Степанов Д.М.						
Н.контр.	Дядя С.І.						
Утв.	Дядя С.І.						
	Лист	Лист	Листов				
		1	2				
	НУЗП						
	Група М-122м						

Копіював

Формат А4

[illegible]

ДОДАТОК Б

Специфікація контрольного пристосування

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №										
							Документация			
		A1			НУЗП 401382.0353Б	Збірне креслення				
							Детали			
				1		Вимірююча головка	2			
				2		Карпус	1			
		3		Призма	2					
		4		Ролик	8					
		5		Стійка	2					
Підп. і дата										
							Стандартные изделия			
				6		Болт М6-6gx15 ГОСТ 7798-70	4			
Инд. № дил.				7		Болт М24-6gx35 ГОСТ 7798-70	4			
				8		Шайба А.24.0108кп.016 ГОСТ 11371-78	2			
Взам. инв. №										
Підп. і дата										
Инд. № подл.										
					НУЗП 401382.035					
	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристосування для контролю биття			Лит.	Лист	Листов
	Разраб.	Лукінова О.В.								1
	Проб.	Степанов Д.М.								
	Н.контр.	Дядя С.І.								
	Утв.	Дядя С.І.						НУЗП Група М-122м		

Копировал

Формат А4