

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 «Технологічне забезпечення якості виготовлення деталей типу «Вал-
фланець»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи Мз-112м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

СУХІН О.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент ШИРОКОБОКОВ В.В.

(прізвище та ініціали)

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

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

« » 20 року

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

СУХІНА Олега Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Технологічне забезпечення якості виготовлення деталей типу «Вал-фланець»

керівник проекту (роботи) к.т.н., ст. викладач ТРИШИН Павло Романович
(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) робоче креслення деталі; програма випуску N=5000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина; 3. Автоматизація; 4. Розрахунок деталі на міцність; 5. Спеціальне завдання; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів -

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	к.т.н ., ст. викл. ТРИШИН П.Р.		
4	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 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2023	
2	Конструкторська частина	08.10.2023	
3	Автоматизація	15.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	22.10.2023	
5	Спецзавдання	05.11.2023	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2023	
7	Охорона праці	26.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2023	
9	Нормоконтроль	05.12.2023	
10	Рецензія	10.12.2023	
11	Захист дипломного проекту	11.12.2023	

Студент

_____ Олег СУХІН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Павло ТРИШИН
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 112 с., 46 рис., 21 табл., 3 додатки, 21 джерел.

ВАЛ-ФЛАНЕЦЬ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – вал-фланець.

Мета роботи – технологічно забезпечити якість виготовлення деталі типу «Вал-фланець».

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення вал-фланцю, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для свердління отворів у фланці валу та контрольне пристосування для перевірки биття у центрах, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розроблено керуючі програми для операцій токарної, свердлильної та фрезерної з ЧПК, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації завантаження та розвантаження деталей «Вал-фланець» на токарних операціях, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу, розроблені рекомендації технологічного забезпечення якості виготовлення деталі «Вал-фланець» шляхом застосування накатного зміцнення роликми зовнішніх поверхонь на верстаті WAM GAMMA NC 3500.

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 та форми організації робіт.....	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	14
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	15
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	18
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	21
1.6 Розрахунок режимів різання.....	27
1.6.1 Операція 030 – токарна з ЧПК.....	27
1.6.2 Операція 035 – фрезерна з ЧПК.....	33
1.6.3 Операція 080 – шліфувальна.....	36
1.6.4 Операція 040 – свердлильна з ЧПК.....	38
1.7 Технічне нормування операцій.....	41
1.7.1 Технічне нормування операцій 030.....	41
1.7.2 Технічне нормування операцій 035.....	43
1.7.3 Технічне нормування операцій 080.....	44
1.7.4 Технічне нормування операцій 040.....	45
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	47
1.8.1 Операція 030 – токарна з ЧПК.....	47
1.8.2 Операція 035 – фрезерна з ЧПК.....	51
1.8.3 Операція 040 – свердлильна з ЧПК.....	53
2 Конструкторська частина.....	56
2.1 Проектування робочого пристосування.....	56

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	56
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	57
2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	60
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	63
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	63
2.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	64
3. Автоматизація.....	66
3.1 Автоматизація завантаження та розвантаження деталей при токарній обробці	66
4. Розрахунок деталі на міцність.....	72
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....	72
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції....	73
4.3 Оптимізація геометрії деталі.....	74
5. Технологічне забезпечення якості виготовлення деталі «Вал-фланець».....	75
5.1 Методи поверхневого зміцнення деталей	75
5.2 Теоретичні основи пластичного деформування	78
5.3 Аналіз досліджень зміцнення валів обкаткою роликami.....	80
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	97
7 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	97
7.1 Аналіз і контроль метеорологічних умов на механічній дільниці.....	97
Висновки	102
Перелік джерел посилання.....	103
Додаток А. Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX.....	106
Додаток Б. Специфікація робочого пристосування	108
Додаток В. Специфікація контрольного пристосування	111

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГКМ – горизонтально-кувальна машина

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Актуальність проблеми технологічного забезпечення якості виготовлення деталей, зокрема типу «Вал-фланець», обумовлена стрімким розвитком сучасних технологій в машинобудівній галузі та підвищеним попитом на високоякісні, надійні вироби. Однак забезпечення високої якості виготовлення деталей, зокрема умовно найбільш складних структурних елементів, таких як «Вал-фланець», є завданням високого ступеня складності та вимагає комплексного підходу.

Об'єктом дослідження даної магістерської дипломної роботи є технологічне забезпечення якості виготовлення деталей типу «Вал-фланець». Основний акцент у роботі робиться на теоретичних аспектах пластичного деформування та методах зміцнення валів обкаткою роликми. У результаті аналізу проведених досліджень, визначено, що найбільш оптимальним методом зміцнення є поверхневе пластичне деформування обкаткою роликми.

Результатом дипломної роботи стала розробка рекомендацій щодо технологічного забезпечення якості виготовлення деталі «Вал-фланець» шляхом застосування накатного зміцнення роликми зовнішніх поверхонь на верстаті WAM GAMMA NC 3500. Велика увага приділяється вибору оптимальних параметрів обробки, які забезпечать досягнення високих показників міцності та тривалості експлуатації виробу.

Результатом виконаної роботи є вдосконалення технологічних процесів та підвищення якості виготовлення деталей типу «Вал-фланець», що в свою чергу сприятиме покращенню конкурентоспроможності механообробних підприємств на ринку.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Вал-фланець» (рис. 1.1) входить в склад редуктора. Вал-фланець призначений для передачі крутного моменту з валу електродвигуна на тихохідний вал редуктора. На діаметрі 30 мм встановлюється підшипник, а на діаметрі 25 мм встановлюється муфта. Через отвори діаметром 10 мм вал-фланець кріпиться до тихохідного валу редуктора, а центрується по діаметру 76 мм.

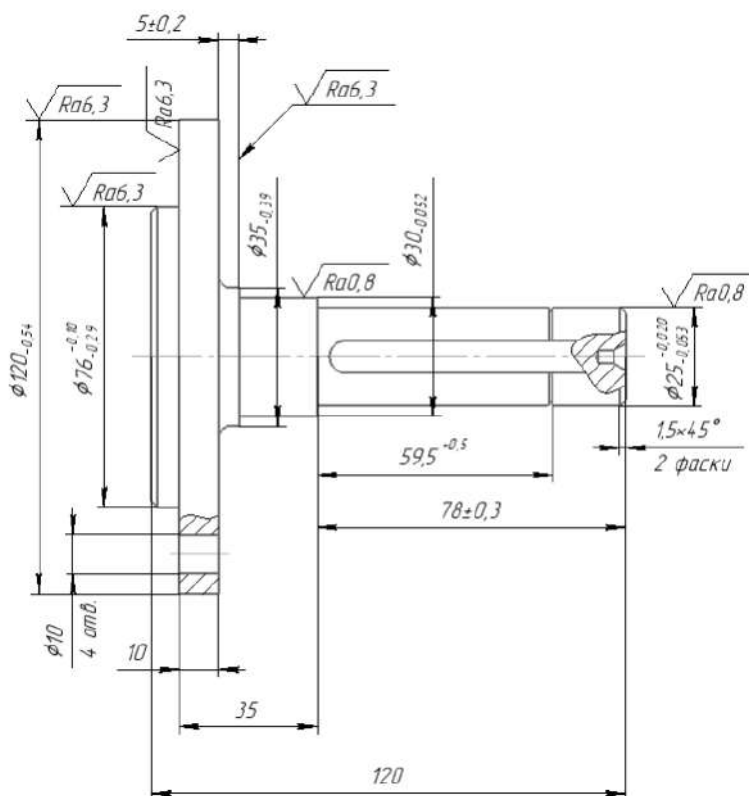


Рисунок 1.1 – Деталь

Матеріал деталі – середньолегована високовуглецева конструкційна сталь 30ХГСА (табл. 1.1). Завдяки високому вмісту вуглецю, сталь 30ХГСА відрізняється міцністю та стійкістю до фізичних впливів, чим зумовлено її широке застосування у машинобудівництві.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 30ХГСА [1]

C	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	S	P
0,28...0,34	0,8...1,1	<0,3	0,8...1,1	0,9...1,2	<0,3	<0,025	<0,025

Фізичні властивості сталі 30ХГСА [1]:

- щільність – 7870 кг/м^3 ;
- межа міцності при розтягуванні – 1080 МПа ;
- межа плинності – 835 МПа ;
- відносне подовження – 9% ;
- Ударна в'язкість – 490 кДж/м^2 .

Технічні вимоги до деталі:

- твердість – $28...32 \text{ HRC}$;
- невказані допуски розмірів по H14, h14, IT14/2.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва та форму організації робіт призначаємо серійним з потоковою організацією згідно маси деталі та програми випуску, від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу (ТП), кількості партії оброблюваних деталей [2, 3].

Кількість партії оброблюваних деталей:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, $N=5000$ шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha=3...5$;

A – кількість робочих днів на рік, $A=250$ днів.

$$n = \frac{3 \cdot 5000}{250} = 60 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для «Вал-фланцю» виконаємо економічне обґрунтування доцільності застосування одного із способів одержання заготовки:

- штампуванням на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ);
- штампуванням на молоті.

Для штампованої заготовки на ГКМ згідно рекомендацій [4] встановлюємо наступні характеристики: клас точності – Т3; група сталі – М2; ступінь складності – С3; нахили для зовнішніх поверхонь – 5° ; зовнішні радіуси заокруглень – 2 мм.

Припуски для штамповки на ГКМ [5]: для розмірів до 50 мм – 3,7 мм; для розмірів 50...120 мм – 4 мм. Припуски для штамповки на молоті [5]: для розмірів до 50 мм – 2,9 мм; для розмірів 50...120 мм – 3,1 мм.

Ескізи заготовок отриманих методом штамповки на ГКМ та на молоті наведені на рис. 1.2, 1.3.

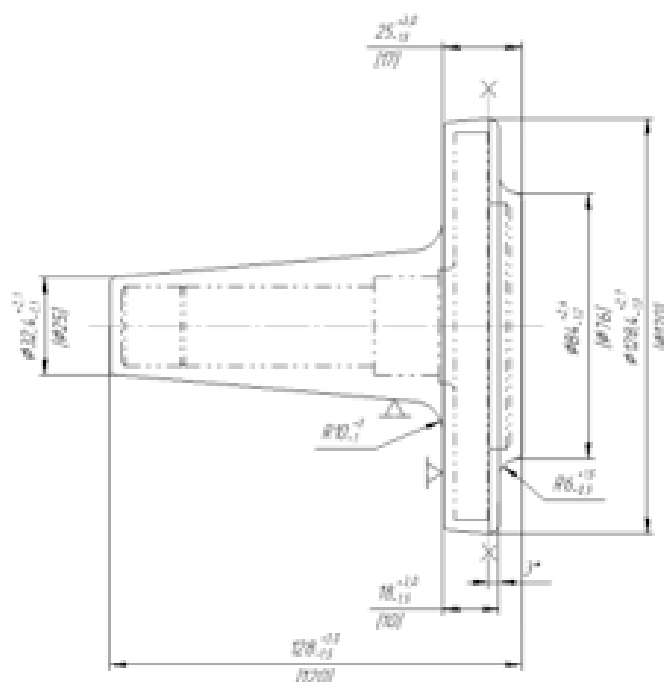


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки отриманої на ГКМ

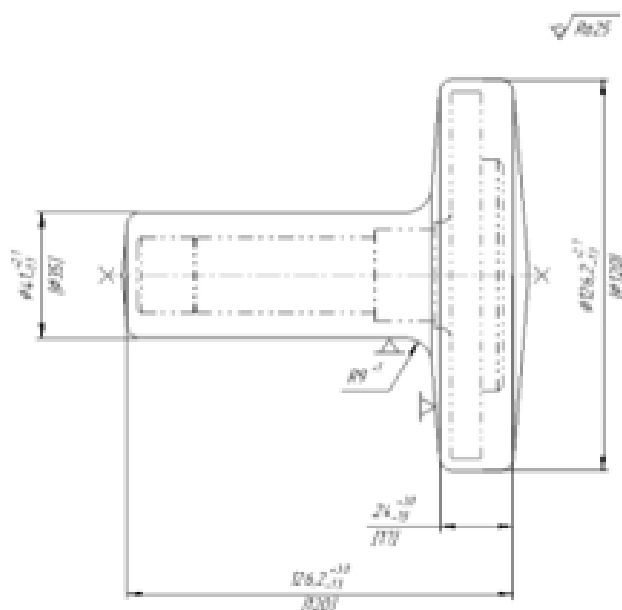


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки отриманої на молоті

Маси заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення (Додаток А).

Для техніко-економічне обґрунтування методу отримання заготовок оцінимо собівартість їх виготовлення.

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [5];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [5];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [5];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [5];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [5];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [5];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [5].

$$B_{\text{ГКМ}} = \frac{3150}{1000} \cdot 3,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (3,3 - 1,54) \cdot \frac{140}{1000} = 15,1 \text{ грн}$$

$$B_{\text{мол}} = \frac{3500}{1000} \cdot 3,64 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (3,64 - 1,54) \cdot \frac{140}{1000} = 18,52 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання заготовки:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$\eta_{\text{ГКМ}} = \frac{1,54}{3,3} = 0,46$$

$$\eta_{\text{мол}} = \frac{1,54}{3,64} = 0,42$$

Показники обраних методів заготовки в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			ГКМ	Молот
Вага заготовки	Q	кг	3,3	3,64
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3150	3500
Коефіцієнти	K_T		1,0	1,0
	K_M		1,51	1,51
	K_C		0,77	0,77
	K_3		1,27	1,27
	K_P		1,0	1,0
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення заготовки	B_3	грн	15,1	18,52
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,46	0,42

Річні заощадження за формулою:

$$E_B = (B_{ГКМ} - B_{мол}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма, шт.

$$E_B = (18,52 - 15,1) \cdot 5000 = 17100 \text{ грн}$$

Заощадження на металі розраховуємо по формулі:

$$M_e = \frac{q(\eta_{ГКМ} - \eta_{мол})}{\eta_{ГКМ} \cdot \eta_{мол}} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{1,54 \cdot (0,46 - 0,42)}{0,46 \cdot 0,42} \cdot 5000 = 1594 \text{ кг}$$

Штампування на ГКМ призначаємо як найкращий методом отримання заготовки, так як при цьому економія становить 17100 грн та 1594 кг металу.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

На першій операції (токарна чорнова) базами прийняті зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 120_{-0,54}$ та лівий торець $10_{-0,36}$ (рис. 1.1). Також при чорновому точінні виконуємо центрові отвори, які в подальшому використовуємо в якості баз. При призначенні баз подальших операцій витримуємо співпадіння установочної та вимірювальної баз та зберігаємо принцип постійності баз.

Для токарних операцій: центрові отвори, зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 120_{-0,36}$ та $\varnothing 30$, крайні торці.

Для фрезерування призначаємо: зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 25$ та $\varnothing 30$, крайній торець.

Для шліфування беремо центрові отвори.

Для свердлильної операції в якості баз використовуємо зовнішні циліндричні поверхні Ø25 та Ø30, крайній торець.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) призначає послідовність операцій, а також їх зміст. Спочатку необхідно провести технологічну розмітку поверхонь, яка зображена на рис. 1.4.

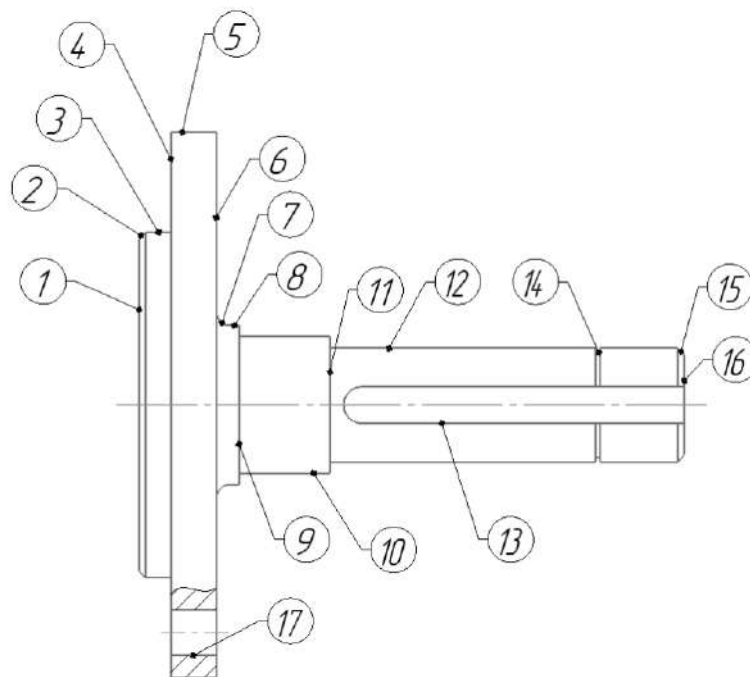


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

Загальне уточнення розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_z}{Ra_d} \quad (1.7)$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_z}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Td_z – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_z – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_z – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні 12 – $\varnothing 25_{-0,053}^{-0,020}$ уточнення дорівнюють:

$$\varepsilon_d = \frac{1,8}{0,033} = 54,5;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{2,5}{0,8} = 31,2;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,025} = 20;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 54,5 = 3,5 \rightarrow 4$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17 → h12 → h10 → TO → h9 → f8;

2) Для шорсткості – Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → TO → Ra1,6 → Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=210$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1800}{210} = 8,6;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,96.$$

Точіння чистове: $T_{D2}=84$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{210}{84} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 8,6 \cdot 2,5 = 21,5 < \varepsilon_d = 54,5;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,96 \cdot 2 = 7,9 < \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Шліфування чорнове: $T_{D4}=52$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{84}{52} = 1,6;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 21,5 \cdot 1,6 = 34,4 < \varepsilon_d = 54,5;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,9 \cdot 2 = 15,8 < \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Чистове шліфування: $T_{D5}=33$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d5} = \frac{52}{33} = 1,6;$$

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

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 34,4 \cdot 1,6 = 55 \geq \varepsilon_d = 54,5;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 15,8 \cdot 2 = 31,6 \geq \varepsilon_{Ra} = 31,2.$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до табл. 1.3.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це послідовність виконання певних операцій, для яких необхідно визначити обладнання та технологічне оснащення.

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі маємо головне завдання – забезпечити необхідну якість, максимальну продуктивність, мінімальну собівартість і знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Технологічні основи для цього встановлюються при призначенні переходів маршрутів обробки поверхонь.

При призначенні переходів маршрутів обробки поверхонь, розглядаються способи впливу на поверхню та заготовку, а при формуванні операцій МВД враховуються засоби впливу на заготовку, технологічне устаткування, ріжучий інструмент і т. д.

Технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на етапи: заготівельний, чорновий, напівчистовий, чистовий, фінішний та доводочний.

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ПІТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			Розр.	Прийн.		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня 12 $\varnothing 25_{-0,020}^{-0,020}$ $_{-0,053}$ Ra0,8	Td Ra	54,5 31,2	3,5	4	$\Delta IT = IT17 - f8 = 9$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h9$ $\rightarrow f8$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	1	Заготовка-штамповка	1800	25	-	-
						2	Точіння чернове	210	6,3	8,6	3,96
						3	Точіння чистове	84	3,2	2,5	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування чернове	52	1,6	1,6	2
						6	Шліфування чистове	33	0,8	1,6	2
Зовнішня циліндрична поверхня 10 $\varnothing 30h9$ Ra0,8	Td Ra	34,6 31,2	3,07	3	$\Delta IT = IT17 - h9 = 8$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h11 \rightarrow$ $h10 \rightarrow h9$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	1	Заготовка-штамповка	1800	25	-	-
						2	Точіння чернове	210	6,3	8,6	3,96
						3	Точіння чистове	130	3,2	1,6	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування чернове	84	1,6	1,6	2
						6	Шліфування чистове	52	0,8	1,6	2

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зовнішня циліндрична поверхня 3 $\varnothing 76_{-0,29}^{-0,10}$ Ra6,3	Td	10,5	2,05	2	$\Delta IT = IT17 - d11 = 6$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow d11$ $Ra25 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3$	1	Заготовка-штамповка	2000	25	-	-	
	Ra	62,4				2	Точіння чорнове	300	12,5	6,7	2	
						3	Точіння чистове	190	6,3	1,6	2	
						4	Термічна обробка	-	-	-	-	
Зовнішня циліндрична поверхня 5 $\varnothing 120h13$ Ra12,5	Td	3,7	1,2	2	$\Delta IT = IT17 - h13 = 4$ $IT17 \rightarrow h14 \rightarrow h13$ $Ra25 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3$	1	Заготовка-штамповка	2000	25	-	-	
	Ra	3,9					2	Точіння чорнове	870	12,5	2,3	2
							3	Точіння чистове	540	6,3	1,6	2
							4	Термічна обробка	-	-	-	-
Зовнішня торцюва поверхня 4 $10_{-0,36}$ Ra6,3	Td	5	1,4	2	$\Delta IT = IT17 - h14 = 3$ $IT17 \rightarrow h15 \rightarrow h14$ $Ra25 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3$	1	Заготовка-штамповка	1800	25	-	-	
	Ra	3,9					2	Точіння чорнове	580	12,5	3,1	2
							3	Точіння чистове	360	6,3	1,6	2
							4	Термічна обробка	-	-	-	-

Кожен з цих етапів виконує свої завдання і спрямований на досягнення встановлених технічних та якісних параметрів деталі.

Для деталі «Вал-фланець» МВД складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки;
 - Термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - чорнова токарна обробка;
 - чистова токарна обробка;
 - свердлильна обробка;
 - фрезерна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО;
- 5) V етап – механічна обробка: чорнове шліфування.

Маршрут виготовлення деталі наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715003.050.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – це додатковий шар матеріалу на поверхні заготовки, який може містити різні дефекти, недопустимі за умовами службового призначення деталі. Цей шар матеріалу необхідно видалити з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей обробленої поверхні. Припуск виступає як компенсатор похибок попередніх етапів обробки, забезпечуючи точність та якість готової деталі.

Для поверхні 12 – $\varnothing 25_{-0,053}^{-0,020}$ припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом:

- 1) для заготовки: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [6];

Просторові відхилення заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення соосності, $\rho_{зм} = 0,7$ мм [6];

$\rho_{кор}$ – короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.11)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна, $\Delta_{кор} = 1$ мкм/мм [6].

$$\rho_{кор} = 1 \cdot 120 = 120 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,7^2 + 0,12^2} = 0,71 \text{ мм}.$$

2) чорнове точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [6];

Просторові похибки розраховуємо за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.12)$$

де $K_{ут} = 0,06$ – коефіцієнт уточнення [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 710 = 42 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{заг}^2 + 1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,8^2 + 1} = 0,838 \text{ мм}$$

3) истовне точіння: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [6];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 42 = 1,7 \text{ мкм}$$

Похибка:

$$\varepsilon_2 = K_{yT} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 838 = 33,5 \text{ мкм}$$

4) термічна обробка:

$$\rho_4 = \Delta_K \cdot L \quad (1.15)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна $\Delta_{\text{кор}} = 0,1 \text{ мкм/мм}$ [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 120 = 12 \text{ мкм}$$

5) шліфування чорнове: $Rz_5 = 10 \text{ мкм}$ та $h_5 = 15 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (12 + 1,7) = 0,4 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 33,5 = 1 \text{ мкм}.$$

6) шліфування чистове: $Rz_6 = 6,3 \text{ мкм}$ та $h_6 = 10 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 0,4 = 0 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 1 = 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальні припуски:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.16)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{710^2 + 838^2}) = 2196 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{42^2 + 33,5^2}) = 267 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{12^2 + 1^2}) = 104 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,4^2 + 0^2}) = 51 \text{ мкм}.$$

Максимальний розмір:

$$d_6^{\max} = d_4^{\min} + ES_{d4} \quad (1.17)$$

$$d_6^{\max} = 25 - 0,02 = 24,98 \text{ мм}$$

Для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.18)$$

$$d_5^{\max} = 24,98 + 0,052 + 0,051 = 25,083 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 25,083 + 0,084 + 0,104 = 25,271 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 25,271 + 0,267 + 0,21 = 25,748 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 25,748 + 2,196 + 1,8 = 29,744 \rightarrow 29,7 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.19)$$

$$d_6^{\min} = 24,98 - 0,033 = 24,947 \text{ мм};$$

$$d_5^{\min} = 25,083 - 0,052 = 25,031 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 25,271 - 0,084 = 25,187 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 25,748 - 0,21 = 25,538 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 29,7 - 1,8 = 27,9 \text{ мм}.$$

Мінімальний припуск:

$$2z_i^{\min} = d_{i-1}^{\min} - d_i^{\max} \quad (1.20)$$

$$2z_2^{\min} = 27,9 - 25,748 = 2,152 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\min} = 25,538 - 25,271 = 0,267 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\min} = 25,187 - 25,083 = 0,104 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\min} = 25,031 - 24,98 = 0,051 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.21)$$

$$2z_2^{\max} = 29,7 - 25,538 = 2,196 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 25,748 - 25,187 = 0,561 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 25,271 - 25,031 = 0,717 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 25,083 - 24,947 = 0,136 \text{ мм}.$$

Схема розташування розрахованих припусків зображена на рис. 1.5 та приведена в таблиці 1.4.

Перевірка:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (1.23)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (1.24)$$

$$2z_0^{\max} = 29,7 - 24,947 = 4,753 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 27,9 - 24,98 = 2,92 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 1,8 + 0,033 = 1,833 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,753 - 2,92 = 1,833 \text{ мм}.$$

Розмір заготовки – $\varnothing 28,5^{+1,2}_{-0,6}$ мм.

Для $\varnothing 30_{-0,052}$ та $\varnothing 76_{-0,29}^{-0,10}$ припуски призначаємо табличним методом згідно [4].

Для поверхні $\varnothing 30_{-0,052}$:

- 1) Чорнове точіння: $2Z^{\min} = 3,2 \text{ мм};$
- 2) Чистове точіння: $2Z^{\min} = 1,4 \text{ мм};$
- 3) Шліфування чорнове: $2Z^{\min} = 0,5 \text{ мм};$

4) Шліфування чистове: $2Z^{min} = 0,2$ мм.

Для поверхні $\varnothing 76_{-0,29}^{0,10}$:

- 1) Чорнове точіння: $2Z^{min} = 3,2$ мм;
- 2) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1,4$ мм

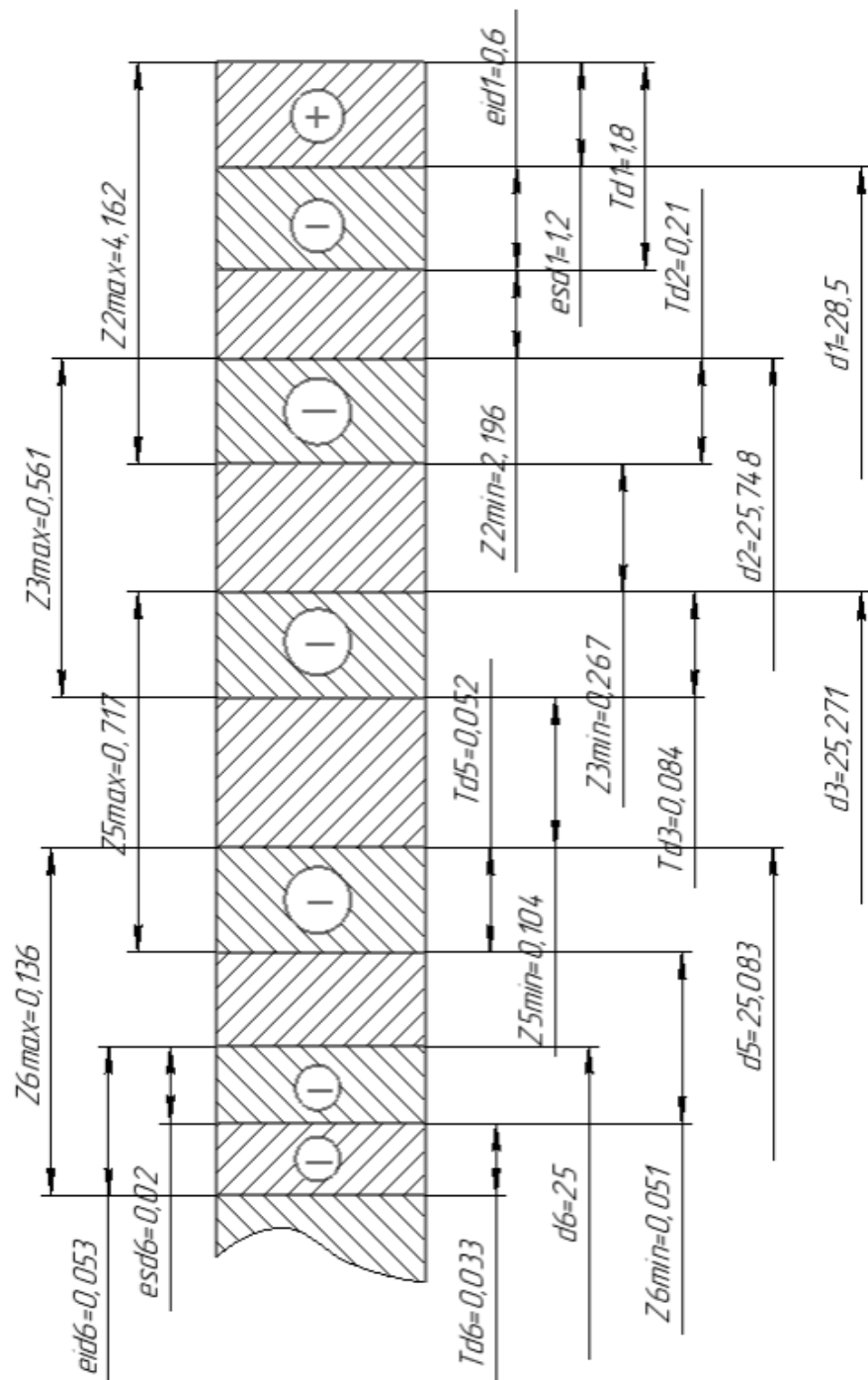


Рисунок 1.5 – Схема припусків

Таблиця 1.4 – Припуски

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Значення розмірів		Значення припуску		Розмір
	ІТ	Метод обробки	Td, мм	$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
12) Ø25f8 Ra=0,8 ↑=0,025	17	Заготовка	1,8	29,7	27,9	-	-	Ø28,5 ^{+1,2} _{-0,6}
	12	Точ. чорн.	0,21	25,748	25,538	4162	2196	Ø 25,748 ^{-0,21}
	10	Точ. чист.	0,084	25,271	25,187	561	267	Ø 25,27 ^{-0,084}
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	9	Шліф. чор.	0,052	25,083	25,031	717	104	Ø 25,083 ^{-0,052}
	8	Шліф. чис	0,033	24,98	24,947	136	51	Ø25 ^{-0,02} _{-0,053}
	4,753-2,92=1,8+0,033		1,833=1,833		4,753		2,92	
10) Ø30 ^{-0,052} Ra=0,8 ↑=0,025	17	Заготовка	1800	37,5	35,7	-	-	Ø36,3 ^{+1,2} _{-0,6}
	12	Точ. чорн.	210	32,524	32,314	5210	3200	Ø 32,52 ^{-0,21}
	10	Точ. чист.	130	30,914	30,784	1740	1400	Ø 30,91 ^{-0,13}
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	9	Шліф. чор.	84	30,284	30,2	714	500	Ø 30,284 ^{-0,084}
	8	Шліф. чис.	52	30	29,948	336	200	Ø30 ^{-0,052}
	7,576-5,724=1,8+0,052		1,852=1,852		7,576		5,724	
3) Ø76 ^{-0,10} _{-0,29} Ra=6,3 ↑=0,1	17	Заготовка	2000	82,8	80,8	-	-	Ø81,6 ^{+1,2} _{-0,8}
	12	Точ. чорн.	300	77,6	77,3	5500	3200	Ø 77,6 ^{-0,3}
	10	Точ. чист.	190	75,9	75,71	1890	1400	Ø76 ^{-0,10} _{-0,29}
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	7,09-4,9=1+0,19		2,19=2,19		7,09		4,9	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 030 – токарна з ЧПК

Операцію виконуємо на токарному верстаті з ЧПК CN-K50B. Операційний ескіз зображено на рис. 1.6. Пристосування – патрон трьохкулачковий. Паспортні дані верстата:

- 1) Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:
 - при встановленні над станиною – 500;
 - при встановленні над супортом – 280;
- 2) Найбільша довжина обробки, мм – 1000;
- 3) Діаметр отвору у шпинделі, мм – 82;

- 4) Подача, мм/хв:
 - Поздовжні, мм/хв – 0,01...20;
 - Поперечні, мм/хв – 0,01 – 20;
 - 5) Кількість інструментів – 6;
 - 6) Частота обертання, шпинделя, об/хв – 50...2500;
 - 7) Максимальна швидкість подачі, мм/хв – 8000/6000;
 - 8) Переміщення, мм:
 - Поздовжні, мм – 1020;
 - Поперечні, мм – 310;
 - 9) Потужність головного електродвигуна, кВт – 11.
- Операція складається з наступних переходів:
- 1) I перехід – точити зовні начисто;
 - 2) II перехід – точити канавку.

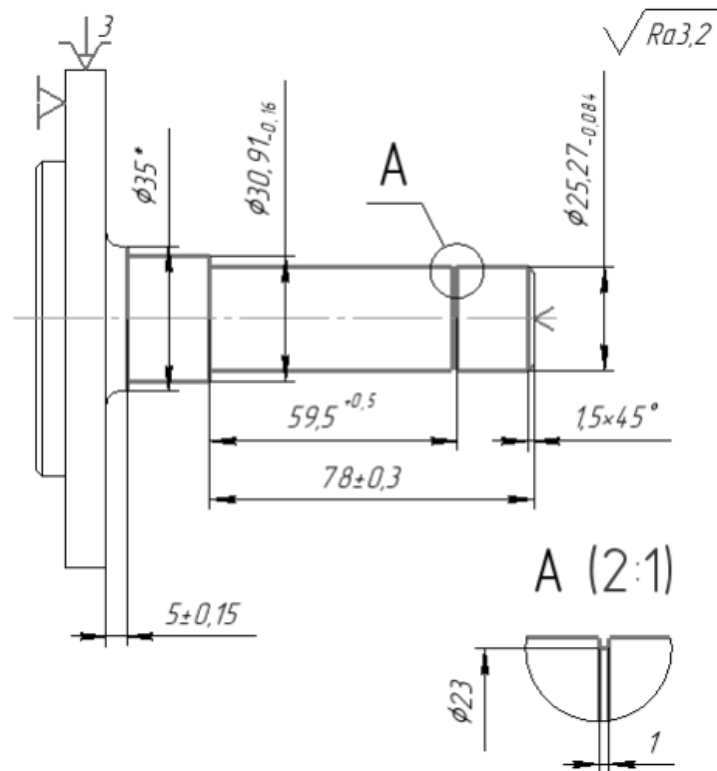


Рисунок 1.6 – Ескіз

Обираємо інструмент: різець прохідний упорний 2101-0569 $\phi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=0,5$ мм, 25x20x140, Т15К6 ГОСТ 18878-73 [7]; різець канавочний спеціальний $a=1$ мм, Т15К6, 25x20x140.

Виконаємо розрахунок першого переходу.

Припуск:

$$h = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (1.22)$$

де $D_{\text{заг}}$ – заготовка, мм;

$D_{\text{дет}}$ – деталь, мм.

$$h = \frac{32,52 - 30,91}{2} = 0,8 \text{ мм}$$

Глибина обробки:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.23)$$

де h – припуск, мм;

$i = 2$ – кількість обробок.

$$t = \frac{0,8}{2} = 0,4 \text{ мм}$$

Розрахуємо подачу:

$$S_0 = S_T \cdot K, \text{ мм/об} \quad (1.24)$$

де S_T – табличне значення [8];

K – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K = K_p \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\ell} \cdot K_{\varepsilon} \quad (1.25)$$

де K_p – коефіцієнт установки [8];

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт матеріалу ріжучого [8];

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт квалітету [8];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{S\ell}$ – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця [8];

$K_{S\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8].

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

$$S_0 = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.26)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання [8];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{VN} \cdot K_{Vj} \cdot K_{Vo} \cdot K_{VT} \cdot K_{VNB} \cdot K_{V\varepsilon} \cdot K_{Vж} \quad (1.27)$$

де K_{VM} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, [8];

K_{VN} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, [8];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата [8];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує вид обробки [8];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента [8];

K_{VNB} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{V\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням [8].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,22$$

$$V = 487 \cdot 0,22 = 109 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.28)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 109}{3,14 \cdot 35} = 991,8 \text{ об/хв}$$

Приймаємо фактичну частоту у $n_d=900$ об/хв.

Дійсна швидкість:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.29)$$

$$V_d = \frac{900 \cdot 3,14 \cdot 35}{1000} = 99 \text{ м/хв}$$

Довжина обробки:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.30)$$

де $l_{обр}$ – довжина оброблення, мм;

$l_{вр}$ – врізання [8];

$l_{пер}$ – перебіг [8].

$$L_{px} = 2 + 2 + 76,5 + 2,5 + 20 + 2,5 + 2 = 107,5 \text{ мм}$$

Розраховуємо другий перехід.

Припуск по формулі (1.22):

$$h = \frac{25,27 - 23}{2} = 1,1 \text{ мм}$$

Глибина обробки: $t=1$ мм

Подачу по формулі (1.24), (1.25):

де S_T – табличне значення $S_T = 0,1$ мм/об [8];

K_{Sp} – коефіцієнт установки $K_{Sp} = 0,8$ [8];

K_{Si} – коефіцієнт матеріалу $K_{Si} = 1,0$ [8];

K_{Sp} – коефіцієнт квалітету $K_{Sp} = 1,0$ [8];

K_{SM} – коефіцієнт, твердості $K_{SM} = 1,0$ [8];

$K_{S\ell}$ – коефіцієнт радіусу різця $K_{S\ell} = 1,0$ [8];

K_{SE} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця $K_{SE} = 1,0$ [8].

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

$$S_0 = 0,1 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,05$ мм/об.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою (26), (27):

де V_T – табличне значення швидкості різання $V_T = 487$ м/хв [8];

K_{VM} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{VM} = 0,85$ [8];

K_{VN} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{VN} = 0,6$ [8];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата $K_{Vj} = 0,7$ [8];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує вид обробки $K_{Vo} = 0,9$ [8];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента $K_{VT} = 0,7$ [8];

K_{VHB} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу $K_{VHB} = 1,0$ [8];

$K_{V\epsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця $K_{V\epsilon} = 1,0$ [8];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням $K_{Vж} = 1,0$ [8].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,22$$

$$V = 487 \cdot 0,22 = 109 \text{ м/хв}$$

Частота обертання за формулою (1.28):

$$n = \frac{1000 \cdot 109}{3,14 \cdot 25,27} = 1373 \text{ об/хв}$$

Приймаємо фактичну частоту обертання шпинделя верстата згідно паспорту $n_d = 1300$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.29):

$$V_d = \frac{1300 \cdot 3,14 \cdot 25,27}{1000} = 103 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу по формулі (1.30):

$$L_{px} = 2 + 1,1 = 3,1 \text{ мм}$$

Час обробки:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.31)$$

$$t_{o1} = \frac{107,5}{0,1 \cdot 900} \cdot 2 = 2,4 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{3,1}{0,05 \cdot 1300} \cdot 1 = 0,05 \text{ хв}$$

$$\Sigma T_o = 2,4 + 0,05 = 2,45 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 035 – фрезерна з ЧПК

Фрезерування пазу виконуємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК BAOFENG T-600. Паспортні дані верстата:

1) переміщення столу:

- повздовжнє переміщення – 600 мм;
- поперечне переміщення – 400 мм;
- вертикальне переміщення – 300 мм;

2) конусу шпинделі – BT50;

3) частота обертання, об/хв – 50 ... 15000;

4) стіл, мм – 700x420

5) подача столу, мм/хв – 50 ... 48000;

6) потужність електродвигуна – 5,5 кВт;

В якості інструменту використовуємо кінцеву фрезу 2220-0009 D=8 мм, z=4, L=63 мм P6M5 за ГОСТ 17025-71 [7]. Ескіз зображено на рис. 1.7.

Подача [7]: $Sz_{\text{табл}}=0,022 \text{ мм/зуб}$.

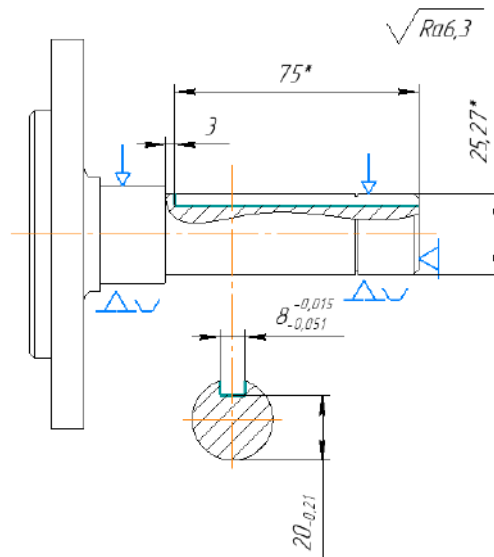


Рисунок 1.7 – Ескіз

Глибина різання та проходи: $t=2,65$ мм, $i=2$.

Швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_{zy} \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{VP}, \text{ м/хв} \quad (1.32)$$

де C_v, q, x, y, u, p, t – коефіцієнти [7];

K_{VM} – коефіцієнт матеріалу [7];

K_{VI} – коефіцієнт матеріалу інструмента [7];

K_{VP} – коефіцієнт поверхні [7];

T – період стійкості;

D_ϕ – діаметр кінцевої фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n = \left(\frac{750}{650} \right)^{0.9} = 1.13 \quad (1.33)$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 8^{0.3}}{80^{0.26} \cdot 2.5^{0.3} \cdot 0.022^{0.25} \cdot 8^0 \cdot 4^0} \cdot 1.13 \cdot 1 \cdot 1 = 17.3 \text{ м/хв}$$

Частота шпинделя за формулою (1.28):

$$n = \frac{1000 \cdot 17.3}{3.14 \cdot 8} = 688 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по верстату: $n_d=630$ об/хв.

Дійсну швидкість за формулою (1.29):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 630}{1000} = 15,8 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача інструменту:

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z \quad (1.34)$$

$$S_{M \text{ повз}} = 0,022 \cdot 630 \cdot 4 = 55 \text{ мм/хв}$$

За паспортом верстата $S_{M \text{ повз}}=50$ мм/хв.

Час обробки:

$$t_o = \frac{l+l_1}{S} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.35)$$

де l – довжина різання, мм;

l_1 – врізання, мм;

$$l_1 = 0,5 \cdot D_\phi \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_\phi} \right) \right), \text{ мм} \quad (1.36)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 8 \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 2,5}{8} \right) \right) = 4 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{75+4}{50} \cdot 2 = 3,7 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 080 – шліфувальна

Деталь шліфуємо на круглошліфувальному верстаті 3А151. Інструмент

використовуємо— круг шліфувальний 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83. Оснащення – центри, хомутик. Технічні дані верстата:

- 1) діаметр заготовки – 200мм;
- 2) довжина заготовки – 700 мм;
- 3) частота обертання – 1272об/хв;
- 4) частота обертання деталі – 63 ... 400 об/хв;
- 5) потужність верстату – 7,5 кВт.

Ескіз обробки зображено на рис. 1.8.

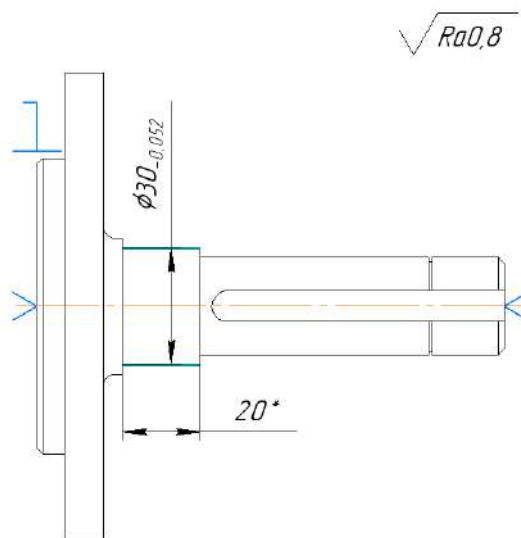


Рисунок 1.8 – Ескіз

Припуск: $z=0,118$ мм (табл. 1.4).

Подача по формулі (1.24), (1.25):

де S_T – табличне значення подачі $S_T=0,008$ мм/об [8];

KD – коефіцієнт діаметр $= 0,9$ [8];

KR – коефіцієнт радіусу $KR = 0,85$ [8];

KT – коефіцієнт стійкості $KT = 1,0$ [8];

Kh – коефіцієнт припуску $Kh = 1,0$ [8];

KlT – коефіцієнт квалітету $KlT = 0,8$ [8];

KM – коефіцієнт матеріала $KM = 1,0$ [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0048 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстату: $S_{\text{рад}}=0,005 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання:

- для круга – $V_{\text{ш.кр.}}=50 \text{ м/с}$ [8];
- для деталі – $V_{\text{ш.дет.}}=50 \text{ м/хв}$ [8].

Частоту обертання:

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.кр.}} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.37)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.38)$$

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 1592 \text{ об/хв};$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 30} = 530,8 \text{ об/хв}.$$

За паспортом: $n_{\text{ш.кр.}}=1272 \text{ об/хв}$, $n_{\text{дет.}}=400 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість за формулою (1.29):

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 400}{1000} = 37 \text{ м/хв}.$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{ш.кр.}}}{1000 \cdot 60}; \quad (1.39)$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 40 \text{ м/с};$$

Час обробки:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.40)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт.

z – припуск, мм.

$$T_o = \frac{0,118 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,005} = 0,34 \text{ хв}.$$

1.6.4 Операція 040 – свердлильна з ЧПК

Деталь оброблюємо на вертикально-свердлильному верстаті з ЧПК 2P135Ф2. Технічні дані верстата:

- 1) Найбільший діаметр свердління – 35 мм;
- 2) Переміщення столу:
 - поздовжнє переміщення – 630 мм;
 - поперечне переміщення – 360 мм;
 - вертикальне переміщення – 560 мм;
- 3) Конус шпинделя – 5;
- 4) Число швидкостей – 12;
- 5) Частота шпинделя – 45..2000 об/хв;
- 6) Число подач шпинделя – 18;
- 7) Швидкість переміщення столу:
 - поздовжнього та поперечного переміщення – 10...500 мм/хв;
 - вертикального переміщення – 10...500 мм/хв;
- 8) Потужність електродвигуна – 3,7 кВт.

Для свердління отворів вибираємо свердло спіральне, діаметром 10 мм із швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 10902-77. Операційний ескіз зображено на рис. 1.9.

Глибина різання за формулою (1.21):

$$t = \frac{10}{2} = 5 \text{ мм}$$

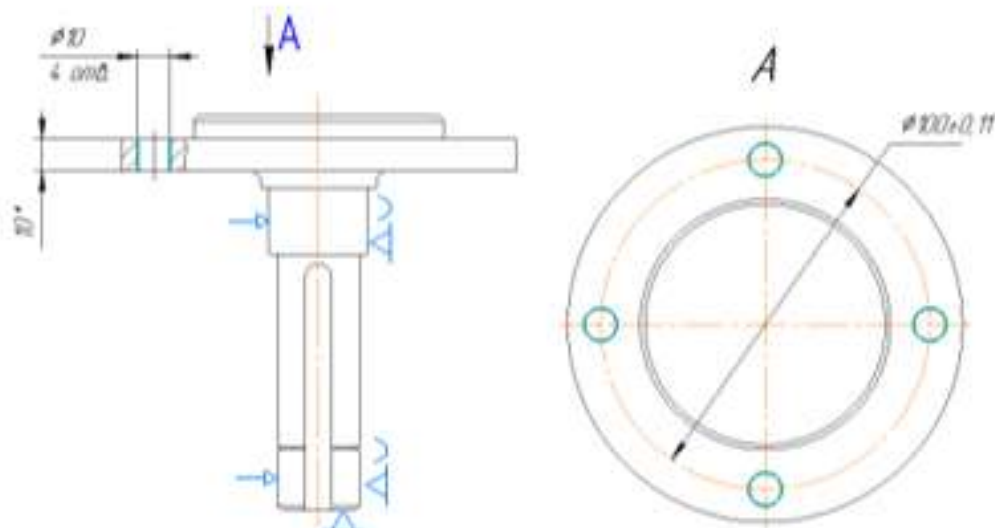


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз

Подача розраховується за формулою (1.24), (1.25):

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,35$ [8];

K_{SH} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези $K_{SH} = 0,9$ [8];

K_{SZ} – коефіцієнт, що враховує заточку свердла $K_{SZ} = 0,9$ [8];

K_{SL} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла $K_{SL} = 0,9$ [8];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу $K_{SM} = 0,9$ [8].

$$K_S = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,59$$

$$S_0 = 0,35 \cdot 0,59 = 0,2 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо швидкість різання (1.26), 1.27):

де V_T – табличне значення швидкості різання $V_T = 45,7$ м/хв [8];

K_{VC} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{VC} = 1$ [8];

K_{VH} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{VH} = 1$ [8];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента $K_{VT} = 1$ [8];

K_{VJ} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла $K_{VJ} = 1,0$ [8];

K_{VO} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні $K_{VO} = 1,0$ [8];

$K_{VЖ}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням $K_{VЖ} = 0,8$ [8].

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

$$V = 45,7 \cdot 0,8 = 36,5 \text{ м/хв}$$

Частота шпинделя за формулою (1.28):

$$n = \frac{1000 \cdot 36,5}{3,14 \cdot 10} = 1162 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата: $n_d = 1130 \text{ об/хв}$.

Дійсну швидкість за формулою (1.29):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 1130}{1000} = 39 \text{ м/хв}$$

Час обробки:

$$t_o = \frac{l + l_2 + l_1}{nS} \cdot n, \text{ хв} \quad (1.41)$$

де l – довжина обробки, мм;

l_2 – перебіг, мм;

l_1 – врізання, мм;

n – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{CB}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (1.42)$$

$$l_1 = \frac{10}{2ctg60} = 3,2 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{10 + 3,2 + 2}{0,2 \cdot 1130} \cdot 4 = 0,3 \text{ хв.}$$

Результати режимів різання інших операцій приведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати режимів різання

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна з ЧПК	01	1	4	0,2	78	250
	02	1,57	1	0,1	16	1600
020 Токарна з ЧПК	01	1	2	0,2	78	250
	02	1,57	1	0,1	16	1600
025 Токарна з ЧПК	01	0,25	2	0,1	103	250
030 Токарна з ЧПК	01	0,4	2	0,1	99	900
	02	1,1	1	0,05	103	1300
035 Фрезерна з ЧПК	01	2,5	2	50 мм/хв	15,8	630
040 Свердлильна з ЧПК	01	5	4	0,2	39	1130
065 Круглошліфувальна	01	0,717	1	0,01	40/35	1272/400
070 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,01	40/37	1272/400
075 Круглошліфувальна	01	0,136	1	0,005	40/35	1272/400
080 Круглошліфувальна	01	0,118	1	0,005	40/37	1272/400

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції 030

Час допоміжний:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.43)$$

де $t_{\text{вст}}$ – встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,5$ хв [9];

$t_{\text{уп}}$ – управління верстатом $t_{\text{уп}} = 0,2$ хв [9];

$t_{\text{пр.рух.}}$ – пришвидшені рухи $t_{\text{пр.рух.}} = 0,3$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – контроль розмірів, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [9].

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,2 + 0,3 + 0,2 = 1,2 \text{ хв}$$

Час оперативний:

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{o}} + t_{\text{доп}} \quad (1.44)$$

$$t_{\text{оп}} = 2,45 + 1,2 = 3,65 \text{ хв}$$

Час додатковий:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.45)$$

де α – частка від оперативного часу на роботу з робочим місцем ,
 $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 3,65 \cdot 0,1 = 0,37 \text{ хв}$$

Штучний час:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.46)$$

$$t_{\text{шт}} = 3,65 + 0,37 = 4,02 \text{ хв}$$

Підготовчо – заключний час:

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} \quad (1.47)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що включає отримання нарядів, креслень, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 15 \text{ хв}$ [9];
 $t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 10 \text{ хв}$ [9].

$$t_{\text{пз}} = 15 + 10 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} \quad (1.50)$$

$$t_{\text{шт-к}} = 4,02 + \frac{25}{60} = 4,43 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування фрезерної операції 035

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення деталей $t_{\text{вст}} = 0,3$ хв [9];

$t_{\text{мд}}$ – на виконанням допоміжних рухів та прийомів

$t_{\text{мд}} = 0,5$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – час вимірювань $t_{\text{контр}} = 0,1$ хв [9].

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,5 + 0,1 = 0,9 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{оп}} = 3,7 + 0,9 = 4,6 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – частка від оперативного часу на роботу з робочим місцем, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 4,6 \cdot 0,1 = 0,46 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт}} = 4,6 + 0,46 = 5,06 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – отримання нарядів, креслень, технологічної документації для роботи, $t_{\text{пз1}} = 13$ хв [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час невключені прийоми, $t_{\text{пз2}} = 7$ хв [9].

$$t_{пз} = 13 + 7 = 20 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.48):

$$t_{шт-к} = 5,06 + \frac{20}{60} = 5,39 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 080

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{вст}$ – встановлення та зняття заготовки $t_{вст} = 0,2 \text{ хв}$ [9];

$t_{мд}$ – допоміжний час на виконання допоміжних рухів та прийомів $t_{мд} = 0,5 \text{ хв}$ [9];

$t_{контр}$ – час контролю $t_{контр} = 0,1 \text{ хв}$ [9].

$$t_{доп} = 0,2 + 0,5 + 0,12 = 0,8 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{оп} = 0,34 + 0,8 = 1,14 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – частка від оперативного часу на роботу з робочим місцем, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{дод} = 1,14 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{шт} = 1,14 + 0,11 = 1,25 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{пз1}$ – отримання нарядів, креслень, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12 \text{ хв}$ [9];

$t_{пз2}$ – додаткові прийоми, $t_{пз2} = 10 \text{ хв}$ [9].

$$t_{пз} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{шт-к} = 1,25 + \frac{22}{60} = 1,62 \text{ хв}$$

1.7.4 Технічне нормування свердильної операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{вст}$ – час на встановлення заготовок $t_{вст} = 0,5 \text{ хв}$ [9];

$t_{мд}$ – допоміжний час, на виконання допоміжних рухів та прийомів $t_{мд} = 0,73 \text{ хв}$ [9];

$t_{контр}$ – час контролю деталі, $t_{контр} = 0,11 \text{ хв}$ [9].

$$t_{доп} = 0,5 + 0,73 + 0,11 = 1,34 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{оп} = 0,3 + 1,34 = 1,64 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – частка від оперативного часу на роботу з робочим місцем, відпочивання, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,64 \cdot 0,1 = 0,16 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт}} = 1,64 + 0,16 = 1,8 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – отримання нарядів креслень, технологічної

документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз2}}$ – додаткові прийомчики, $t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз3}}$ – пробна обробка $t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$ [9].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,8 + \frac{30}{60} = 2,3 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{\text{доп}}$, хв	$t_{\text{дод}}$, хв	$t_{\text{шт}}$, хв	$t_{\text{пз}}$, хв	$t_{\text{шт-к}}$, хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна з ЧПК	5,5	1,2	0,67	7,37	25	7,78
020 Токарна з ЧПК	6,8	1,2	0,80	8,80	25	9,22
025 Токарна з ЧПК	8,5	1,2	0,97	10,67	25	11,09
030 Токарна з ЧПК	2,45	1,2	0,37	4,02	25	4,43
030 Фрезерна з ЧПК	3,7	0,9	0,46	5,06	20	5,39

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7
035 Свердлильна з ЧПК	0,3	1,34	0,16	1,80	30	2,30
065 Круглошліфувальна	0,5	0,8	0,13	1,43	22	1,80
070 Круглошліфувальна	0,8	0,8	0,16	1,76	22	2,13
075 Круглошліфувальна	0,65	0,8	0,15	1,60	22	1,96
080 Круглошліфувальна	0,34	0,8	0,11	1,25	22	1,62

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

1.8.1 Операція 030 – токарна з ЧПК

Керуючу програму (КП) складемо для токарної обробки за допомогою програмного продукту NX. Моделі деталі (оп.030) та її заготовки (оп. 025) зображено на рис. 1.10, 1.11.

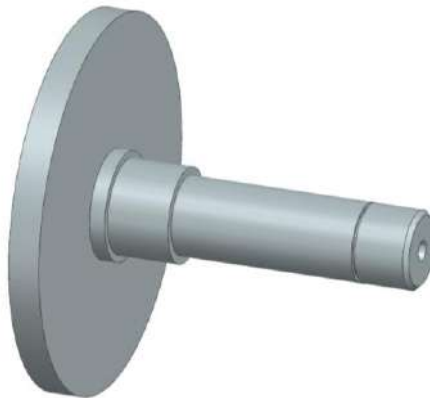


Рисунок 1.10 – Модель деталі після обробки

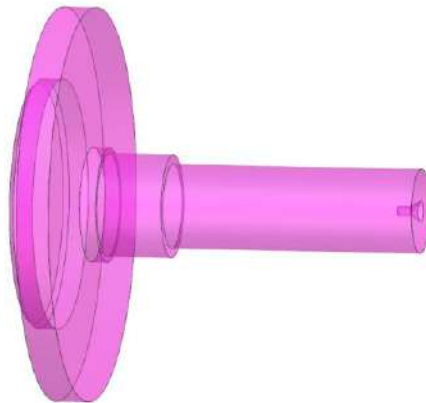


Рисунок 1.11 – Модель деталі до обробки

Задаємо систему координат верстату та деталі, накладаємо модель деталі на модель заготовки (рис. 1.12).

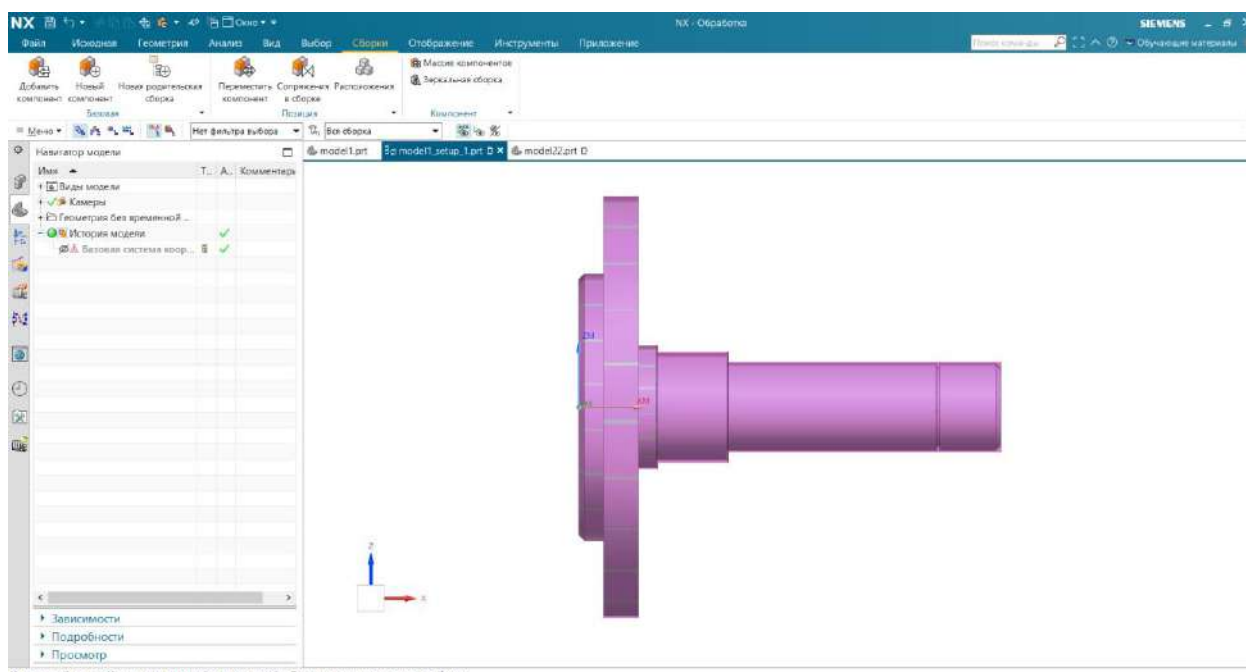


Рисунок 1.12 – Завдання умов обробки

Після цього генеруємо токарний переріз та визначаємо початкові точки руху інструменту (рис. 1.13).

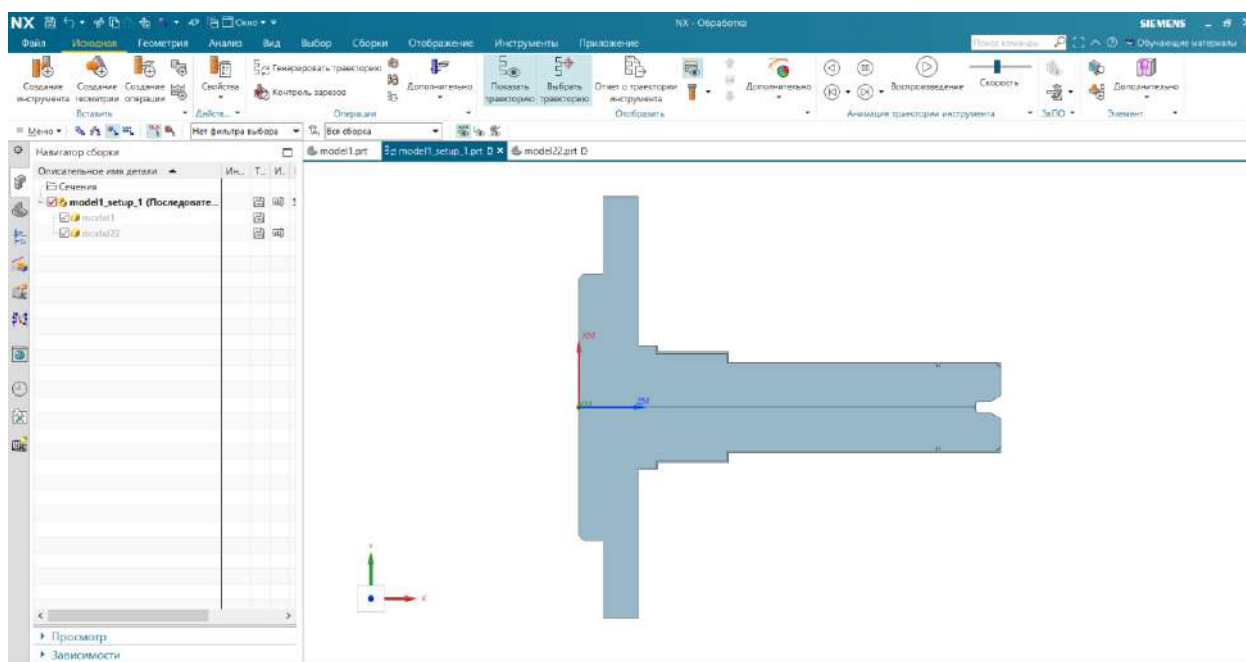


Рисунок 1.13 – Токарний переріз

Задаємо необхідні різці для обробки інструментів (рис. 1.14).

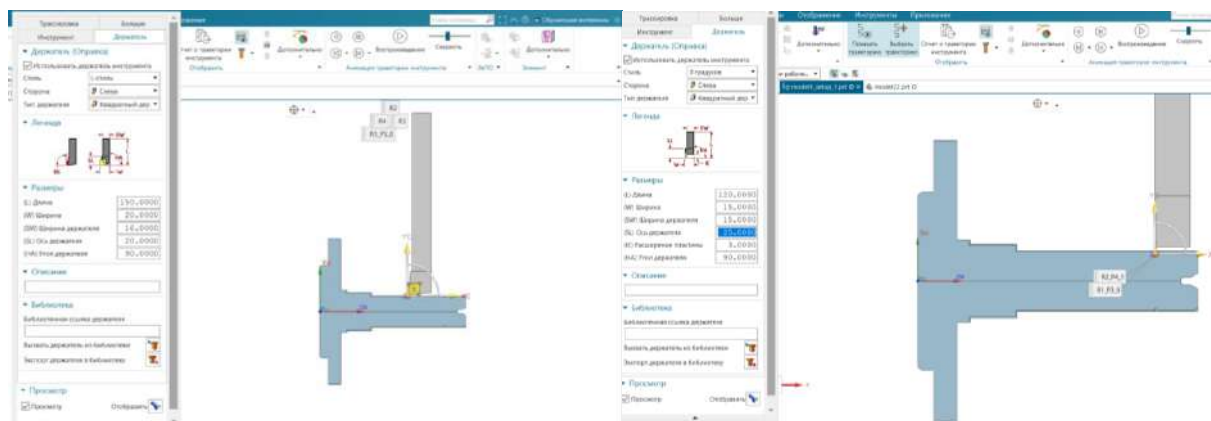


Рисунок 1.14 – Завдання інструменту

Створюємо операцію чистового точіння зовні FINISH TURN (рис. 1.15) та робимо її візуалізацію (рис. 1.16).

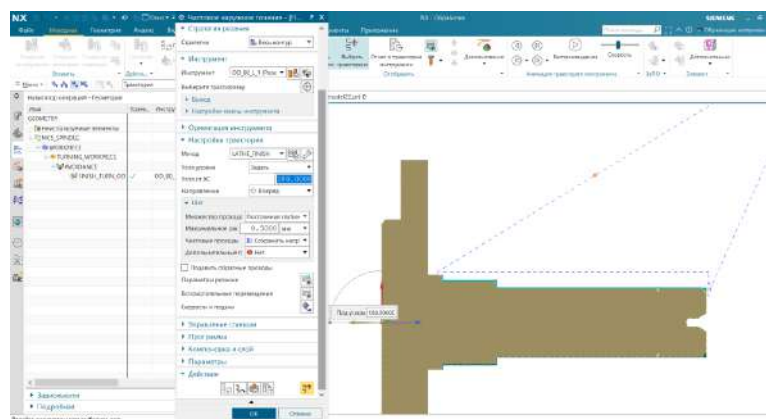


Рисунок 1.15 – Траєкторія обробки

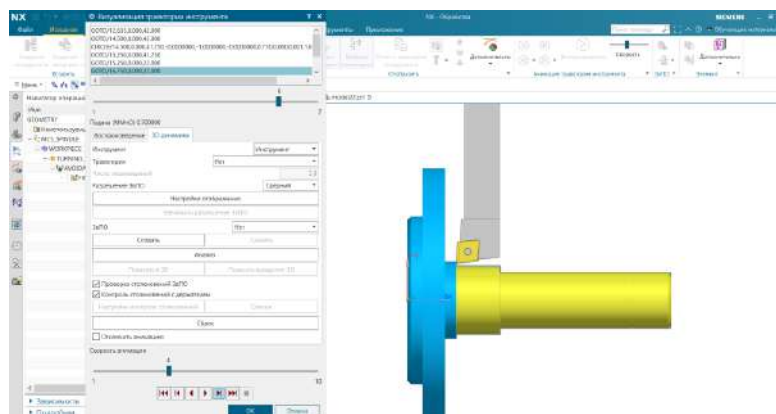


Рисунок 1.16 – Візуалізація обробки

Створюємо операцію точіння канавки GROOVE (рис. 1.17) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.18).

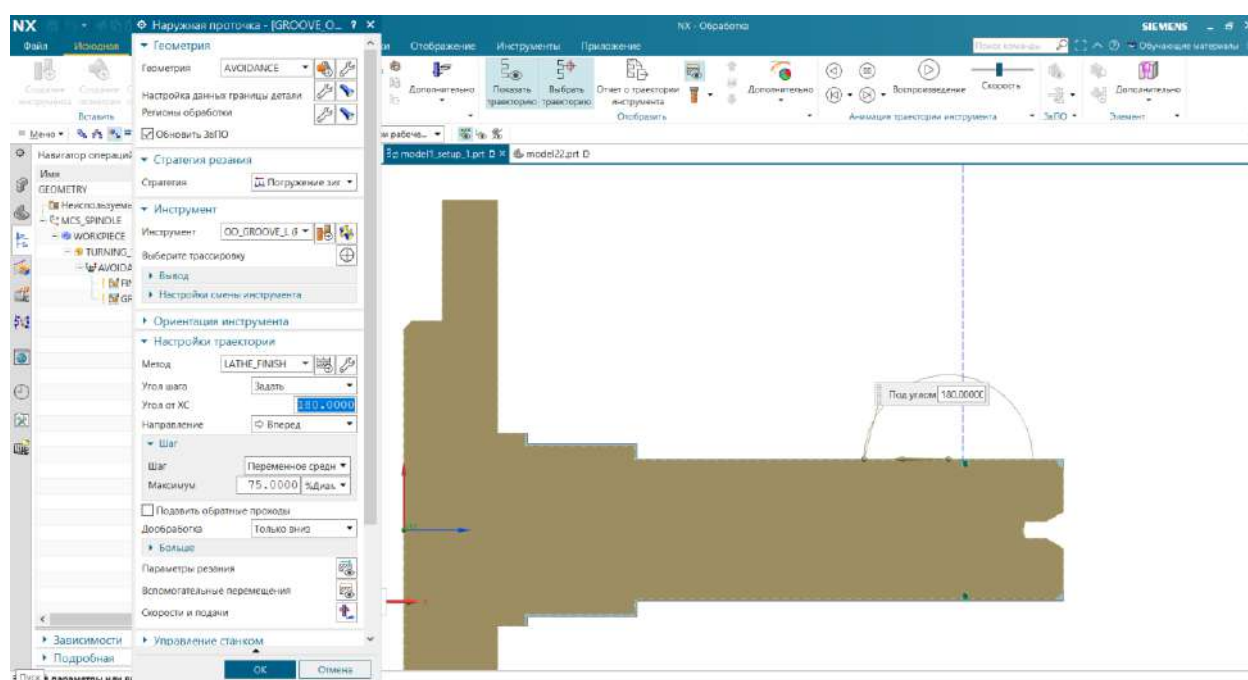


Рисунок 1.17 – Траєкторія обробки

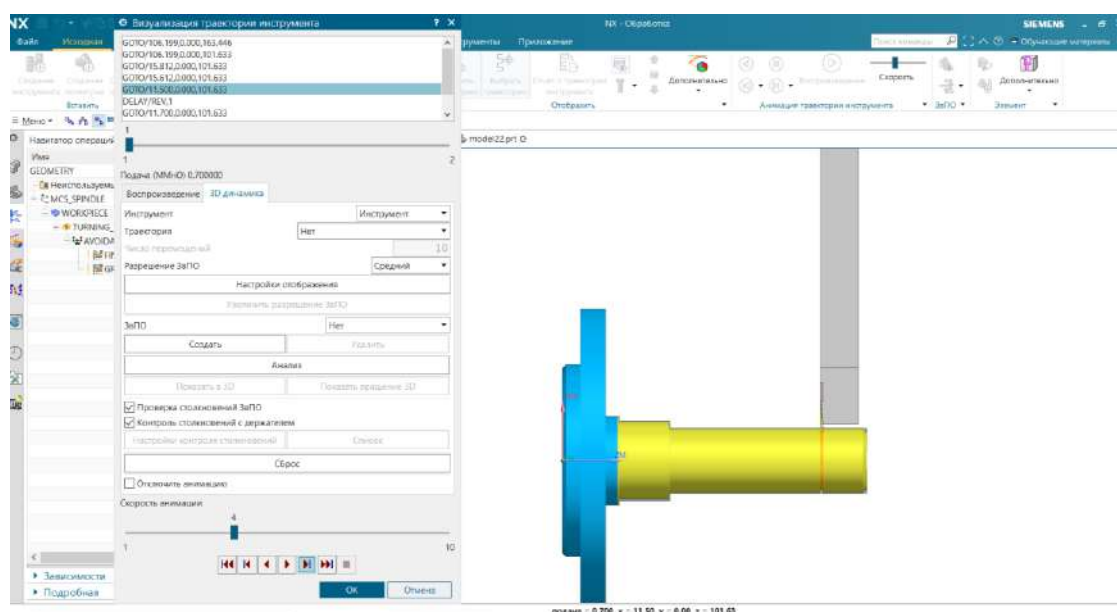


Рисунок 1.18 – Візуалізація обробки

План розробки КП токарної операції в програмі NX на плакаті НУЗП 715004.050.

1.8.2 Операція 035 – фрезерна з ЧПК

Розробимо КП для фрезерної операції 035 за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.19, 1.20.

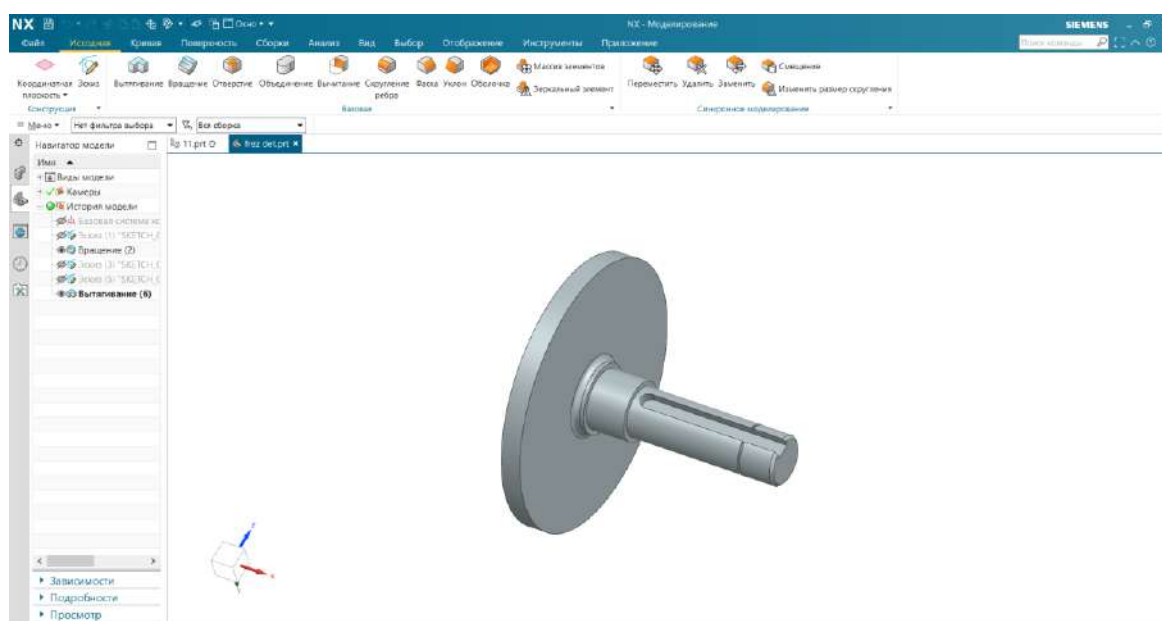


Рисунок 1.19 – Модель деталі

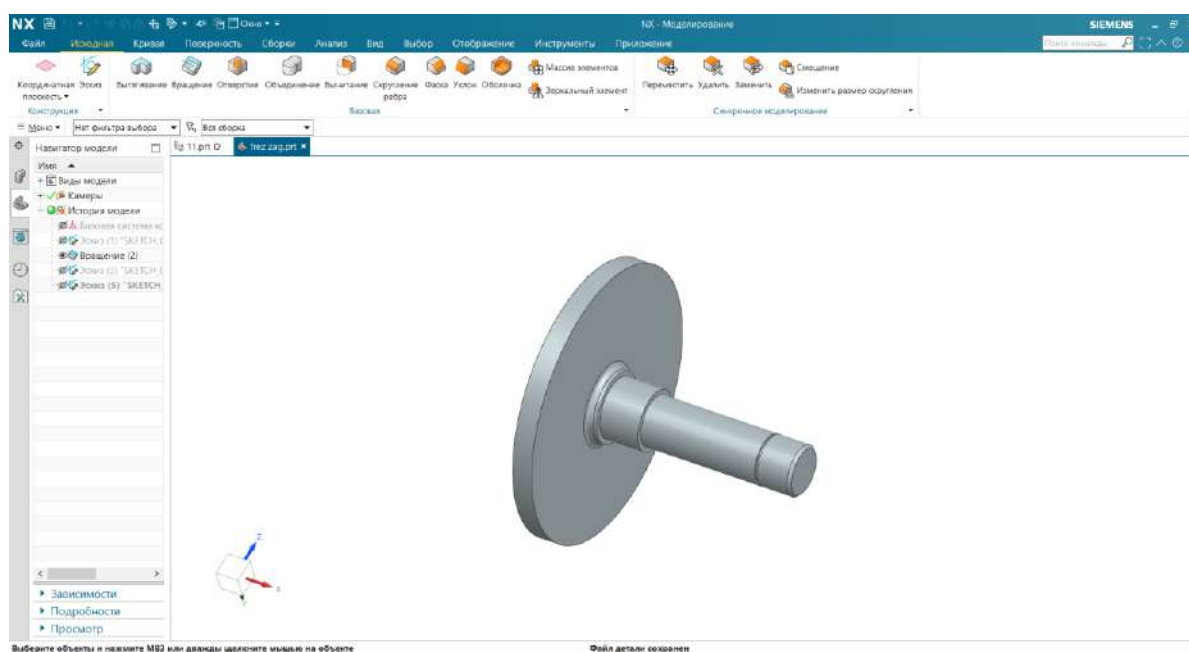


Рисунок 1.20 – Модель заготовки

Визначаємо робочу геометрію WORKPIECE: контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.21).

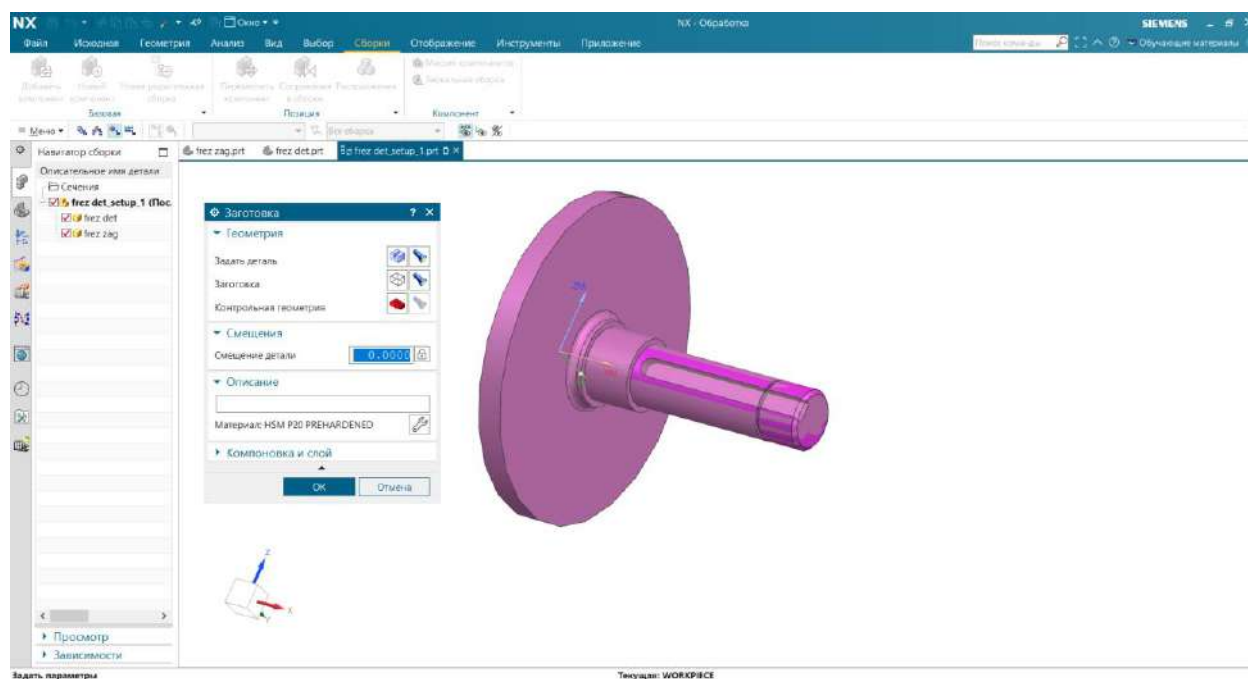


Рисунок 1.21 – Визначення робочої геометрії

Розроблюємо операцію фрезерування шпоночного пазу (рис. 1.22). Візуалізація обробки зображено на рис. 1.23

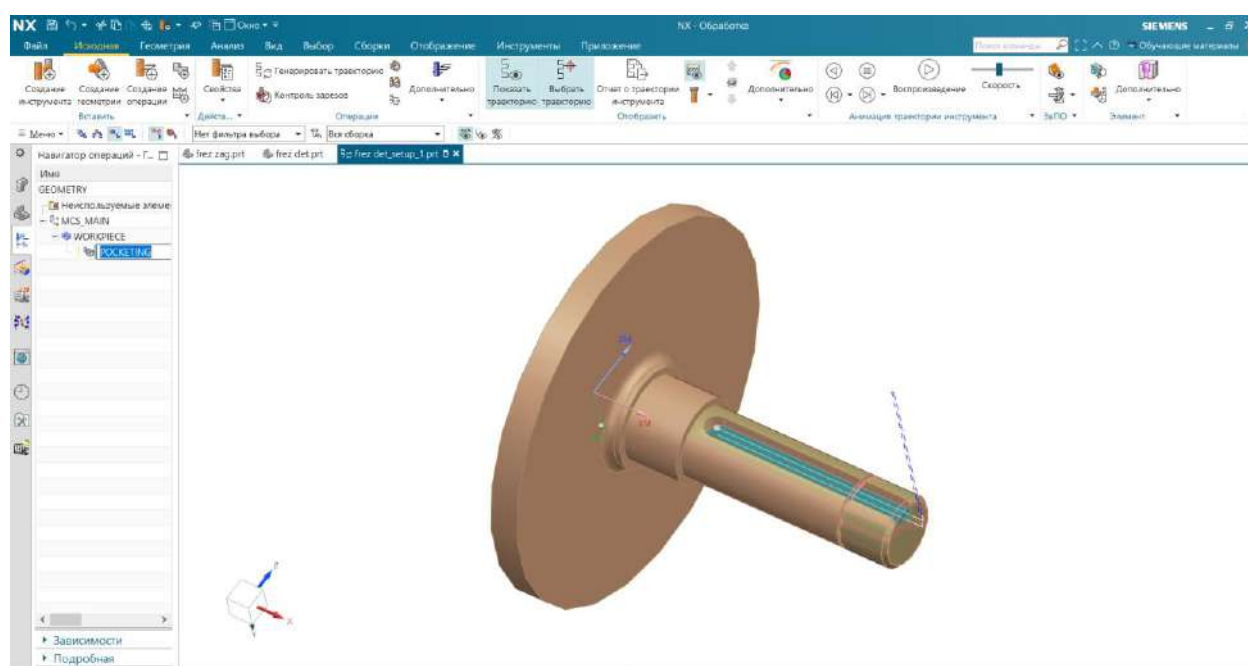


Рисунок 1.22 – Траектория обработки

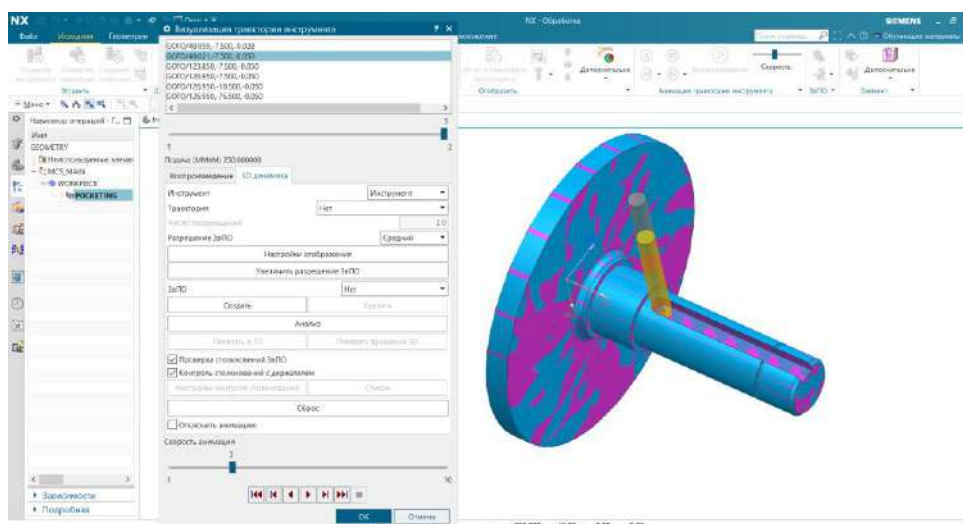


Рисунок 1.23 – Візуалізація

План розробки КП фрезерної операції в ПРОГРАМІ наведено в на плакаті НУЗП 715004.050.

1.8.3 Операція 040 – свердлильна з ЧПК

Розробимо КП для свердлильної операції 040 за допомогою програми NX. моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.24, 1.25.

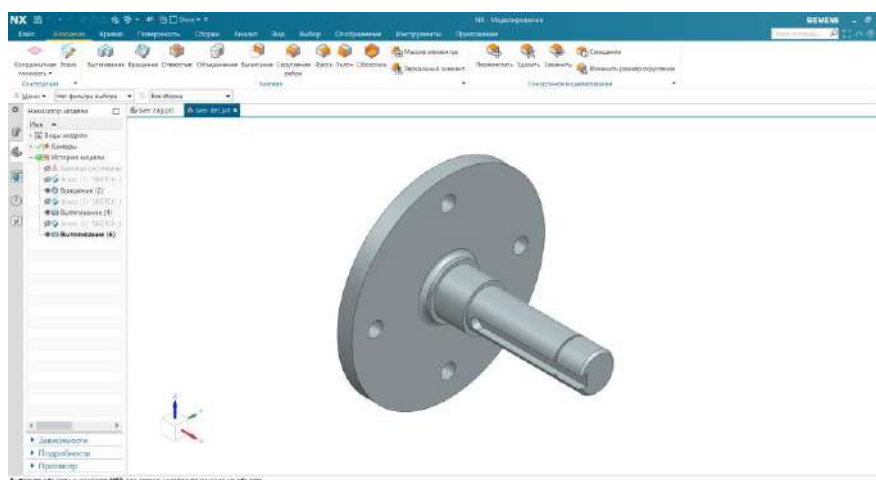


Рисунок 1.24 – Модель деталі

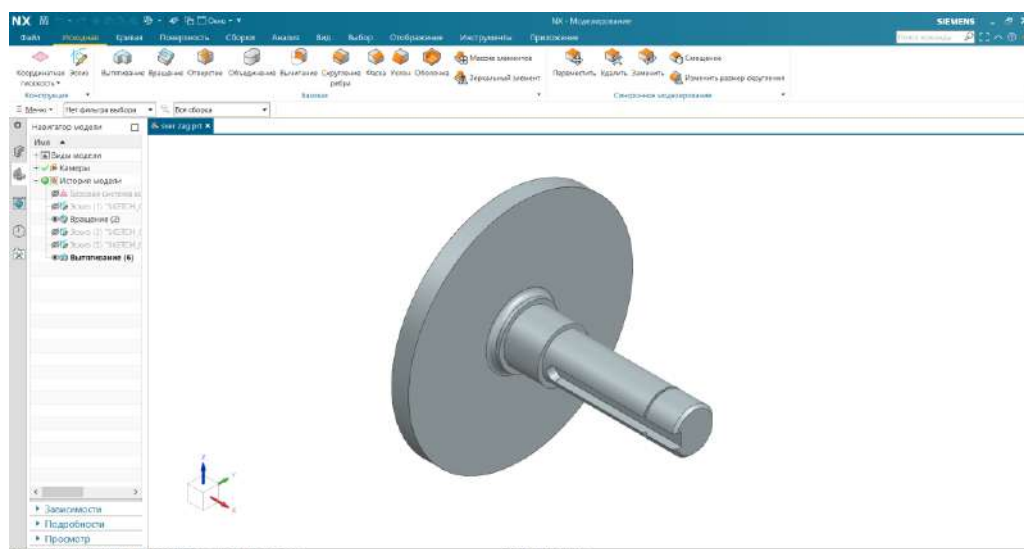


Рисунок 1.25 – Модель заготовки

Визначаємо робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.26).

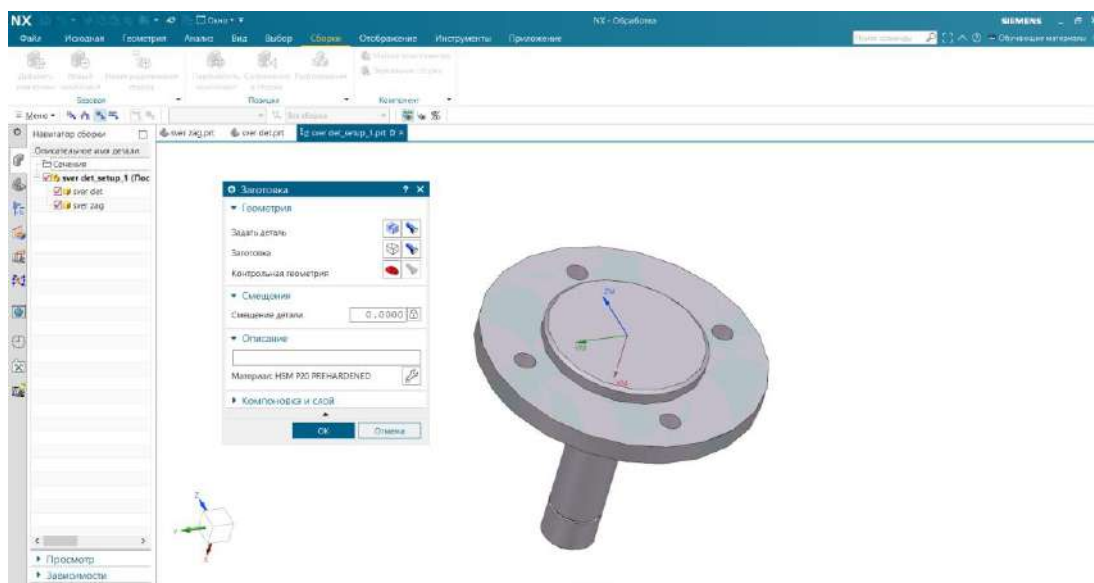


Рисунок 1.26 – Визначення робочої геометрії

Розроблюємо операцію DRILLING – свердління чотирьох отворів (рис. 1.27). Візуалізація обробки зображено на рис. 1.28.

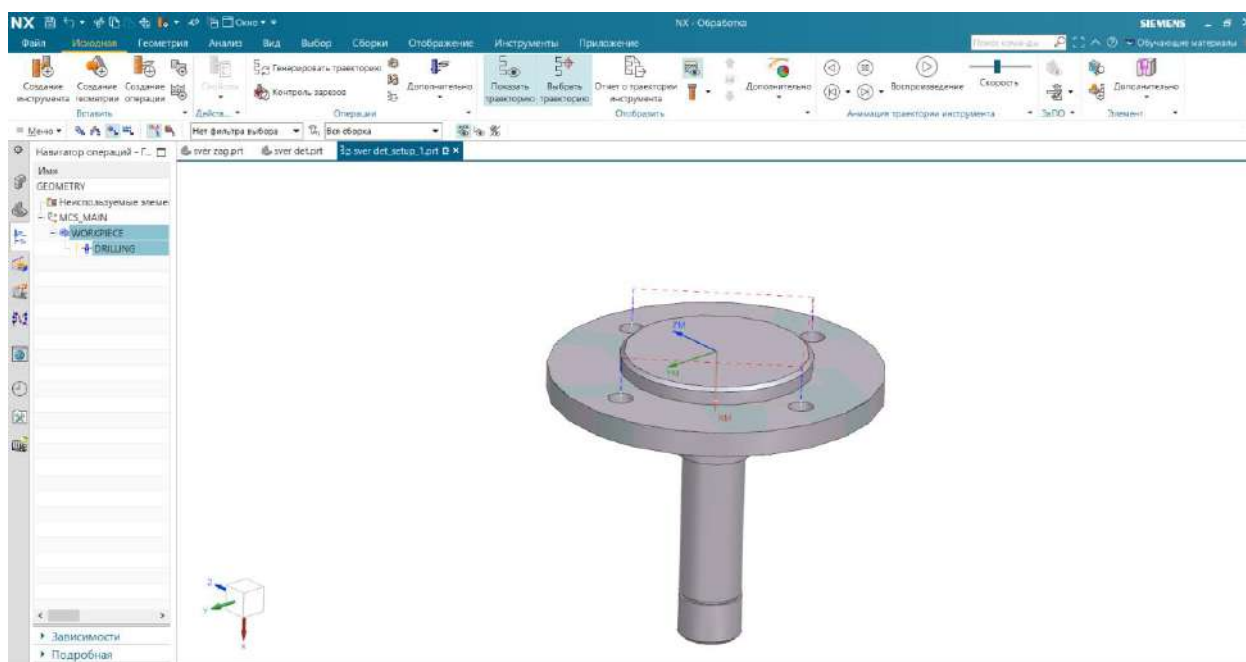


Рисунок 1.27 – Траекторія обробки

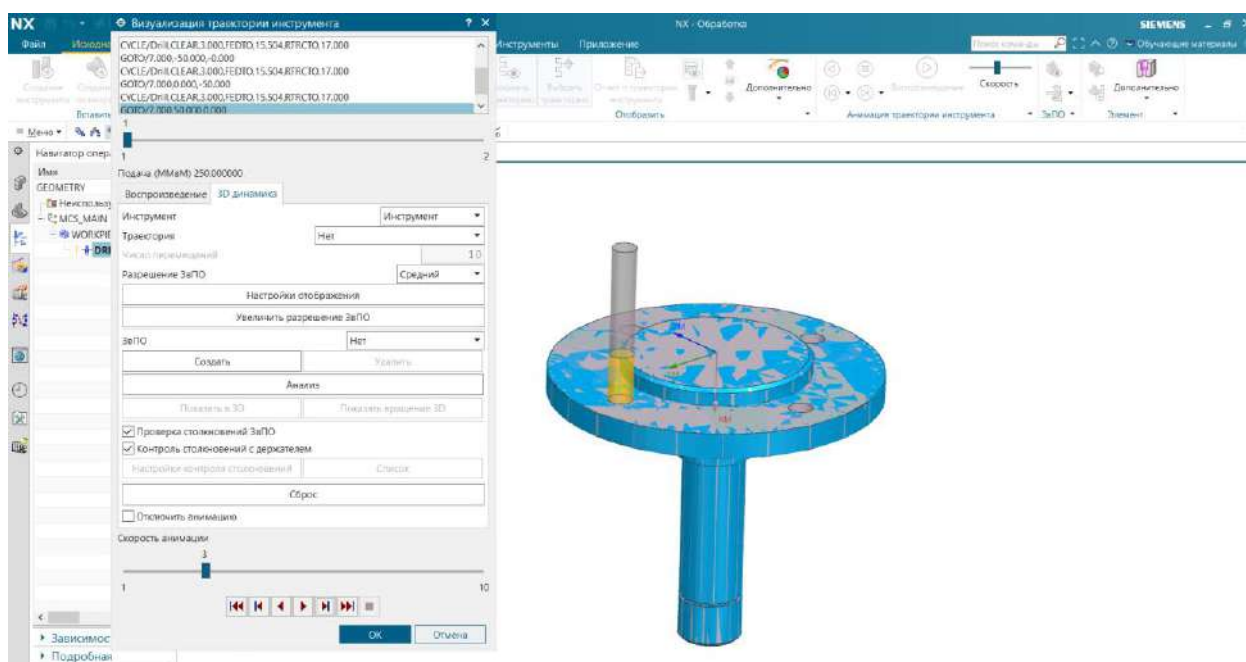


Рисунок 1.28 – Візуалізація обробки

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування використовується для свердління отворів в деталі «Вал-фланець» (рис. 2.1). Для закріплення деталі в пристосуванні встановлений гідроциліндр 1. Гідроциліндр 1 кріпиться гвинтами до корпусу 2 пристосування. Спочатку деталь встановлюється у призму 6 після чого включається насос і шток рухається вправо тягнучи за собою коромисло. Коромисло через шпильки тягне прижим, який притискає деталь до призми. Після обробки насос вимикають, тиск в гідросистемі зникає і деталь звільняється.

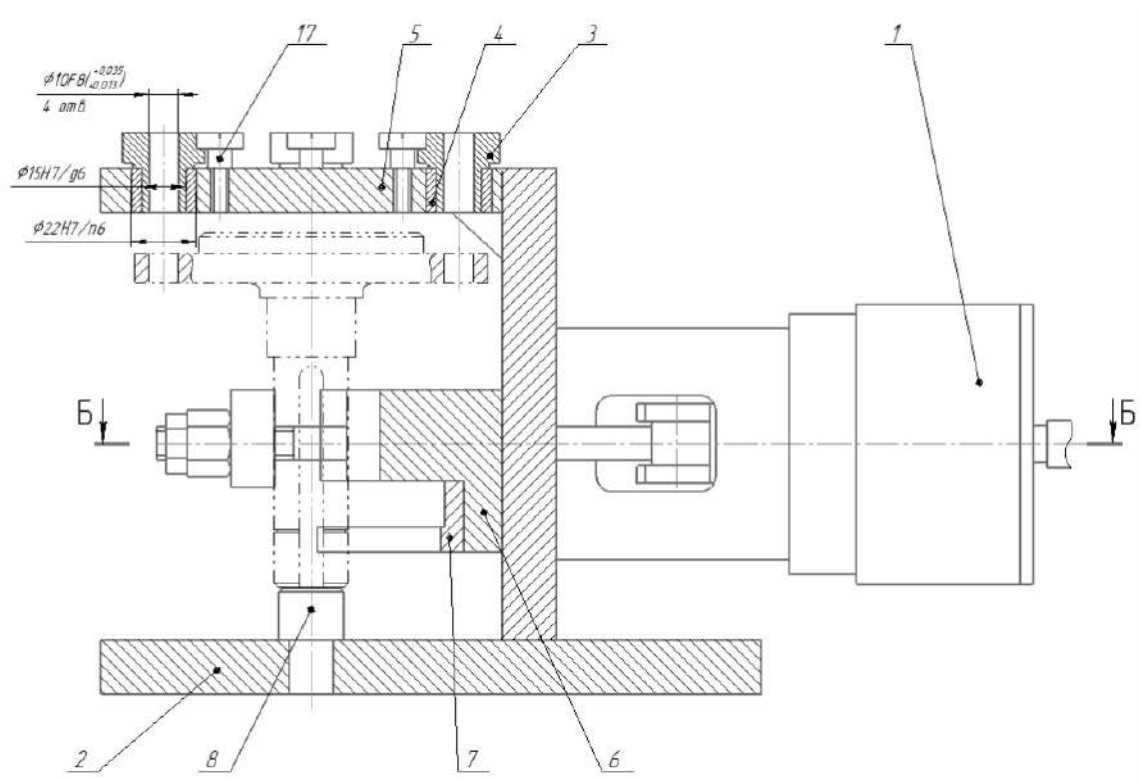


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування деталі;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення деталі

Деталь встановлюється по $\varnothing 25,27_{-0,084}$ у призму (рис. 2.2).

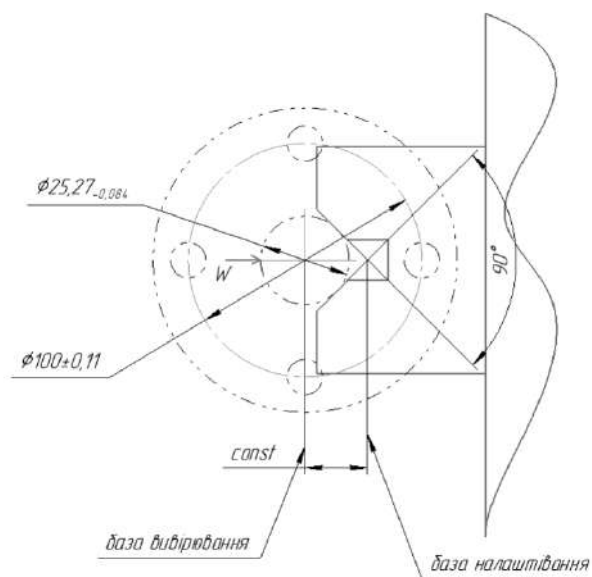


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення

Похибка базування:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = K_1 \cdot Td \quad (2.2)$$

де Td – допуск;

K_2 – коефіцієнт, $K_2=0,7$.

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,7 \cdot 0,084 = 0,059 \text{ мм}$$

Похибку закріплення $\varepsilon_{\text{зак}}=0,035$ мм визначаємо з довідкової літератури [10].

Похибка встановлення по формулі (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,059^2 + 0,035^2} = 0,068 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність пристосування полягає у визначенні виконавчих розміру та допуску на розташування осей кондукторних втулок (рис. 2.3).

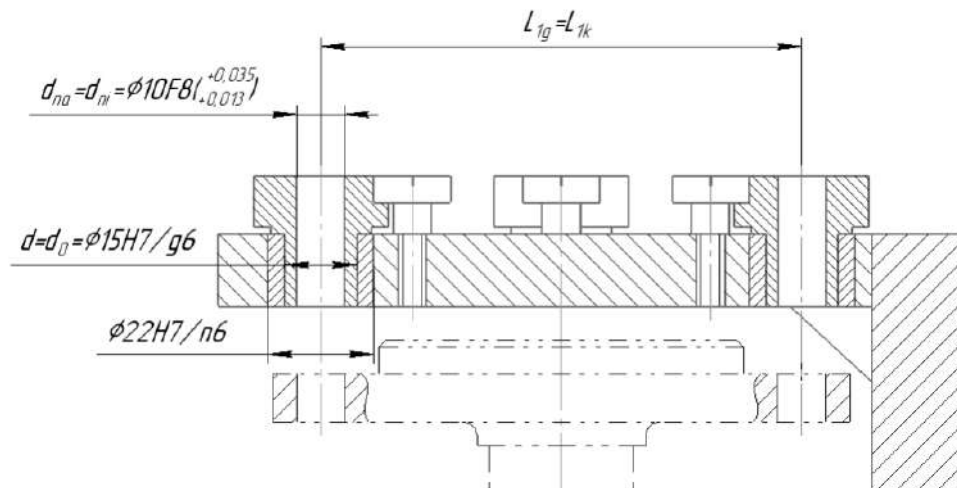


Рисунок 2.3 – Ескіз

Визначаємо номінальні розміри між осями кондукторних втулок. Оскільки допуски на оброблені отвори задаються симетрично, то $L_k=L_d=100$ мм.

Розраховуємо допуск на розмір кондукторних втулок L_k, L_d :

$$T_k \leq T_d - k \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} \quad (2.3)$$

де $T_d=0,22$ мм – допуск;

$k=1$ – коефіцієнт, враховуючий відхил відстані складових величин від закону нормального розподілу, і залежить від кількості складових похибок;

Δ_2 – відсоток похибки обробки, яка залежить від зміщення осі змінної втулки щодо постійної:

$$\Delta_2 = S_{2\max} = d_{\max} - d_{0\min} = 15,018 - 14,983 = 0,035 \text{ мм} \quad (2.4)$$

$\Delta_3 = 0,01 \text{ мм}$ – відсоток похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок;

$\Delta_4 = 0,015 \text{ мм}$ – відсоток похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу;

Δ_5 – частка похибки обробки, що враховує перебіс інструменту в процесі обробки (рис. 2.4):

$$\Delta_5 = \frac{\Delta_1 \cdot (H + 2a)}{H} = \frac{0,065 \cdot (27 + 2 \cdot 8)}{27} = 0,103 \text{ мм} \quad (2.5)$$

де Δ_1 – відсоток похибки обробки, яка залежить від зміщення осі свердла щодо осі отвору змінної втулки;

a – відстань від кондукторної втулки до деталі;

$$\Delta_1 = S_{1\max} = d_{\text{зм.}\max} - d_{\text{св.}\min} = 10,035 - 9,97 = 0,065 \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$a = (0,5 - 0,8) d_{\text{св}} = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ мм} \quad (2.7)$$

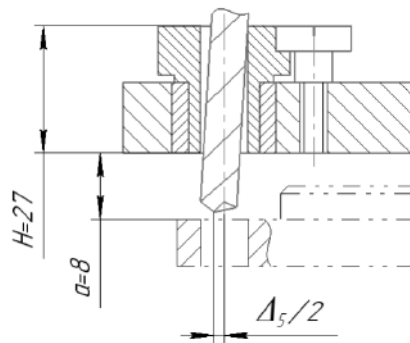


Рисунок 2.4 – Схема

$$T_k \leq 0,22 - 1 \cdot \sqrt{0,059^2 + 0,035^2 + 0,035^2 + 0,01^2 + 0,015^2 + 0,103^2} = 0,09 \text{ мм}$$

$$\frac{T_k}{2} \leq \frac{0,09}{2} \Rightarrow \pm 0,05$$

Розмір установка:

$$[L_k] = L_k \pm \frac{T_k}{2} \quad (2.8)$$

$$L_k = 100 \pm 0,05$$

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу

Сила різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S_0^y \cdot K_{mp}; \quad (2.9)$$

де $y=0,7$; $q=1$; $C_p=68$ – коефіцієнти [8].

K_{mp} – коефіцієнт матеріалу.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^{0,3}; \quad (2.10)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,3} = 0,95$$

$$P_z = 10 \cdot 68 \cdot 10^1 \cdot 0,3^{0,7} \cdot 0,95 = 1288 \text{ Н}$$

За методикою [11] (рис. 2.5) визначимо всі моменти та сили що діють в закріпленні:

$$\sum P_x = 0; \quad P_z - T_1 - T_2 = 0; \quad (2.11)$$

$$\sum P_y = 0; \quad -W_{ct} + M_1 + M_2 = 0; \quad (2.12)$$

$$\frac{M_1}{N_1} = \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (2.13)$$

$$N_1 = \frac{T_1}{f}; \quad (2.14)$$

$$M_1 = \frac{T_1}{f} \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (2.15)$$

$$W_{\text{CT}} = \frac{2T_1}{f} \cdot \sin \frac{\alpha}{2}; \quad (2.16)$$

$$P_z = 2 \cdot T_1 \quad (2.17)$$

$$W_{\text{CT}} = \frac{P_z}{f \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (2.18)$$

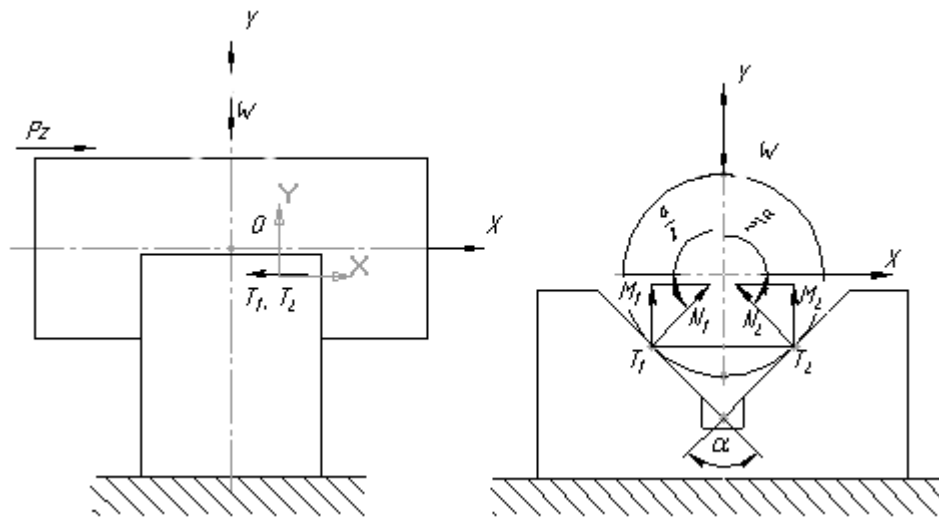


Рисунок 2.5 – Схема закріплення [11]

Дійсна сила закріплення [11]:

$$W = \frac{k \cdot P_z}{f \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad (2.19)$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

Коефіцієнт запасу закріплення [11]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.20)$$

де $k_0=1,5$ – гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1=1$ – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці;

$k_2=1,7$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту.

$k_3=1,2$ – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

$k_4=1$ – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами;

$k_5=1$ – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток;

$k_6=1$ – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту.

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (2.29):

$$W = \frac{3,06 \cdot 1288}{0,15 \cdot 0,707} = 37191 \text{ Н}$$

Діаметр штоку [11]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.21)$$

де p – тиск в гідросистемі $p=5 \dots 10$ МПа;

α – коефіцієнт затягування $\alpha=2,25$;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 45 $[\sigma]=210$ МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 37191}{3,14 \cdot 210}} = 22,5 \rightarrow 36 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра [11]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.22)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує тертя, $\eta = 0,85 \dots 0,9$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 37191}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,85} + 36^2} = 74 \rightarrow 80 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначено для контролю радіального биття 0,025 мм діаметру 25 мм. Контрольне пристосування (рис. 2.6) складається зі корпусу 5, на якому встановлюється два центри 1, 2. Також на корпусі 5 встановлено штангу 3, на якій розміщено індикаторний годинник. Штанга 3 з індикаторним годинником має можливість переміщення у вертикальній площині та обертатися. Деталь при контролі базується на центри 1, 2 по центровим отворам. Центри 1, 2 мають можливість горизонтального переміщення та перезакріплення. При обертання деталі по індикаторному годиннику знімають значення радіального биття.

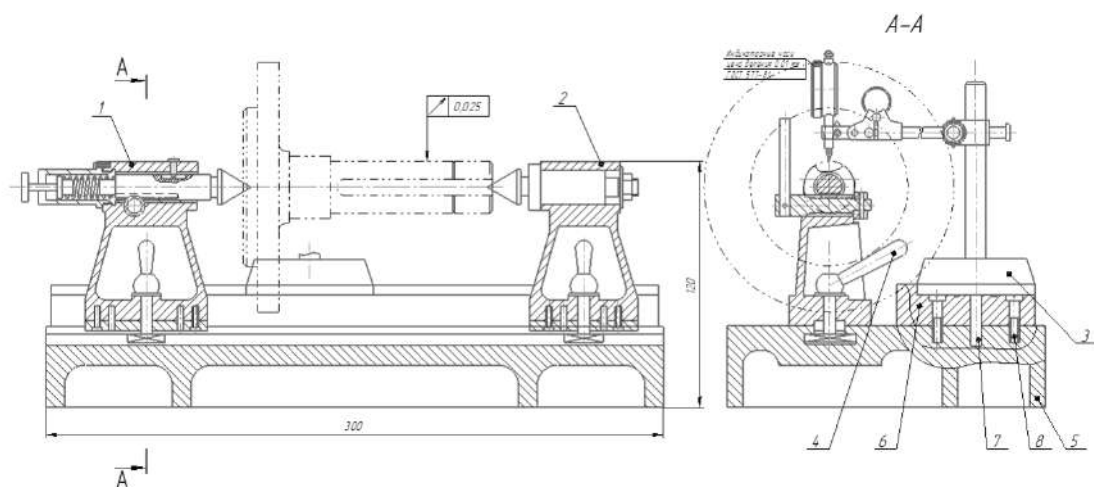


Рисунок 2.6 – Пристосування

2.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою [11]:

$$\varepsilon_{\text{изм}} = \varepsilon_{\text{изр}} + \varepsilon_{\text{изп}} + \varepsilon_{\text{изм}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{ис}}^2 + \varepsilon_{\text{ит}}^2 + \varepsilon_{\text{си}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2} \quad (2.23)$$

де $\varepsilon_{\text{изм}}=0$ – похибка, спричинена неточністю зразка. У цьому пристрої еталон не використовується.

$\varepsilon_{\text{нб}}=0$ – похибка базування, тому що настроювальна та вимірювальні бази збігаються;

$\varepsilon_{\text{ис}}=0$ – похибка закріплення, оскільки схема виміру в пристосуванні не затискається;

$\varepsilon_{\text{изр}}=0,0015\text{мм}$ – частка похибки конструкції пристосування;

$\varepsilon_{\text{ит}}=0,006\text{мм}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності;

$\varepsilon_{\text{си}}=0,001\text{мм}$ – похибка засобу вимірювання;

$\varepsilon_{\text{др}}=0,0015\text{мм}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів.

$$\varepsilon_{\text{ит}} = \Delta_{\text{рд}} + \Delta_{\text{ру}} + \Delta_{\text{ри}} + \Delta_{\text{рк}} + \Delta_{\text{ра}} \quad (2.24)$$

$\Delta_{\text{рд}}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів;

$\Delta_{\text{ру}}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів;

$\Delta_{\text{ри}}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів;

$\Delta_{\text{рк}}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів;

$\Delta_{\text{ра}}$ – похибка прямої передачі.

$$\varepsilon_{\text{ит}} = 0 + 0 + 0 + 0 + 0,0002 = 0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{изм}} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008\text{мм}$$

$$\varepsilon_{uzm} = 0,008_{mm} \leq [\varepsilon_{uzm}] = 0,025_{mm}$$

Умова придатності виконується, пристрій можна використовувати для даної контрольної операції.

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Автоматизація завантаження та розвантаження деталей при токарній обробці

У прагненні знизити вартість деталей неминуче потрібно шукати місце для автоматизації. Ключовим способом зниження витрат на робочу силу на токарних верстатах є автоматизація завантаження та розвантаження деталей.

Одним із найпростіших і найстаріших видів автоматизованої обробки є поєднання токарного верстата та пристрою подачі прутка [12]. В часи розквіту токарно-гвинтових верстатів, коли за мінімальної праці з напіваавтоматичною системою, здавалося, отримували мільйони деталей. Навіть сьогодні найпоширенішим способом автоматизації токарного центру є оснащення верстата пристроєм подачі прутка. Про цю популярність свідчить кількість компаній, які сьогодні продають пристрої подачі прутку.

Проте з низки причин не всі робочі місця піддаються такій обробці. Деякі приклади застосування «непруткових» заготовок включають попередньо оброблені деталі, ковані, литі деталі або деталі, які є надто великими для виготовлення з прутка. Основні вимоги, що не дозволяють обробляти прутки – це якість деталі і розмір верстата. Вплив прутка, що обертається, може негативно позначитися на якості деталі. Прутки, що обертаються, можуть вібрувати, і це може вплинути на допуски деталей, биття і особливо якість обробки деталей. Часто швидкість шпинделя знижують, щоб зменшити цю проблему, і це може вплинути на умови різання та час циклу. Завантажуючи окремі заготовки, цих проблем можна уникнути, і в багатьох випадках це призводить до збільшення швидкості обертання шпинделя та скорочення часу циклу. Крім того, при завантаженні окремих заготовок частину можна запускати на меншому, швидшому, і, як правило, менш дорогому верстаті, ніж ті, які вимагають певного розміру отвору шпинделя для розміщення прутка. Важливо відзначити, що, як і в верстаті з прутковою

подачею, застосування автоматизації до токарного верстата може дозволити виконувати роботи, не пов'язані з прутком, практично без участі оператора.

Для токарних центрів є кілька різних типів автоматизації (рис. 3.1). Пристрій подачі прутка, безумовно, є однією з найпопулярніших форм автоматизації токарного верстата. Роботи з шарнірно-зчленованою рукою та декартові роботи з фіксованою напрямною також є популярними формами автоматизації. Крім того, різні види "жорсткої" автоматизації, розроблені за допомогою циліндрів, напрямних і т. д., пропонуються в стандартних конструкціях для установки перед будь-яким токарним центром або можуть бути розроблені на індивідуальне замовлення для конкретного застосування.



Рисунок 3.1 – Технічні засоби автоматизації та механізації токарного верстата

Великі і важкі деталі завжди вимагали великих витрат праці при їх завантаженні в машину і з неї, тому майстерні, які виконують цей тип робіт, можуть виграти від автоматизації. А зі зростанням розвитку систем, які швидко виконують переналагодження, навіть майстерні, які можуть налаштувати виробництво менш як за день, можуть виграти від автоматизації.

Виробники із сімействами деталей, у тому числі з невеликими партіями, також є кандидатами на автоматизацію. Протягом багатьох років роботи та автоматизовані верстати використовувалися у великих автомобільних майстернях, виготовляючи мільйони однакових деталей. У свою чергу, багато власників магазинів дійшли висновку, що роботи та автоматизовані системи настільки складні, що їх слід розглядати тільки для виготовлення великих кількостей тих самих деталей (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Технічні засоби автоматизації токарного верстата

Однак системи автоматизації можуть бути налаштовані для підтримки багатьох різних вимог. Наприклад, у систем автоматизації, що використовують роботів (рис. 3.3), сам робот є пристроєм, який рухається на основі набору інструкцій. Робот та пов'язана з ним система можуть бути налаштовані для підтримки унікальних вимог. Автоматизовані системи можуть бути розглянуті для додатків, що включають деталі великого об'єму, а також деталі з більшою чи меншою кількістю деталей.

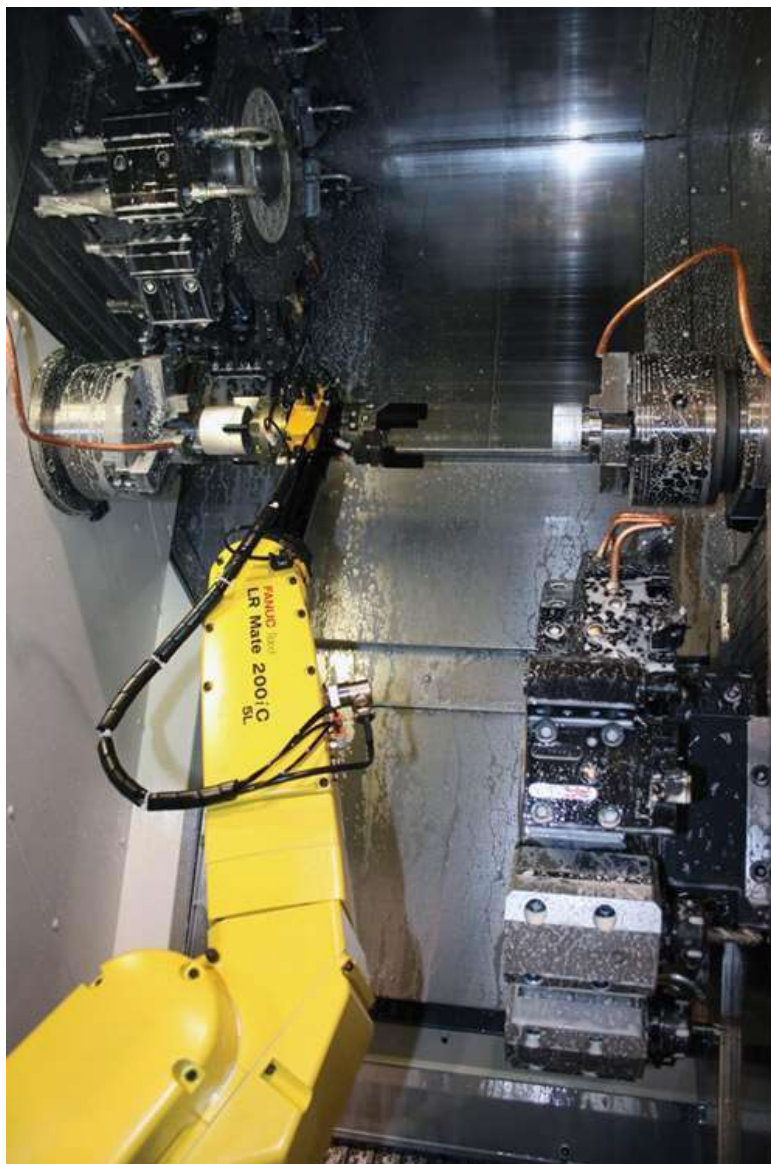


Рисунок 3.3 – Робот для токарного верстата

Приклад автоматизації завантаження та розвантаження деталей при токарній обробці – роботизований токарний центр для базової майстерні. Метою розробки цього рішення було створення осередку автоматизації (рис. 3.4), який дозволяв би швидко переналаштовуватися для виконання різних завдань. Цей тип автоматизації можна використовувати на токарних центрах будь-якого типу, включаючи прості одношпиндельні/одноревольверні токарні верстати, двошпиндельні/двохревольверні токарні центри та багатоосьові верстати з пристроєм зміни інструменту. Серед ремонтних майстерень не прийнято знати, які роботи чекають, тому більшість цих деталей

виготовляється з розрізаного круглого прутка. Одним з ключових елементів цієї конструкції є конвеєр, що подає, з регульованими бічними напрямними, який дозволяє швидко і легко регулювати круглі шматки матеріалу різного розміру, включаючи безконтактний перемикач в кінці конвеєрної доріжки для підтвердження наявності деталі. Відвідний конвеєр змонтований під конвеєром, що подає, для економії місця. Конструкція із двома захватами дозволяє за один вхід у верстат вивантажувати готові деталі та завантажувати сиру заготовку. Крім того, пальці на захватах легко змінюються, щоби пристосувати кулі різного розміру. Користувачам цього типу автоматизації не потрібно перепрограмувати роботу, а потрібно буде лише «перенавчити» точки захоплення та завантаження в міру потреби. Купуючи гнучке рішення для автоматизації з функціями, що дозволяють швидко змінювати його, майстерня або інший виробник з меншим обсягом виробництва може отримати вигоду з автоматизації на токарному центрі. Користувачам цього типу автоматизації не потрібно перепрограмувати роботу, а потрібно буде лише «перенавчити» точки захоплення та завантаження в міру потреби.



Рисунок 3.4 – Автоматизований комплекс

В цілому системи автоматизації можуть бути спроектовані таким чином, щоб система працювала для різних потреб. Будь то майстерня з різними програмами або виробник з лінійкою продуктів та конкретними потребами, система автоматизації може бути розроблена для задоволення цих вимог.

Токарні центри добре піддаються автоматизації і рішення можуть бути розроблені з урахуванням різних вимог. Тісна співпраця з авторитетним системним інтегратором дасть найкращі результати. Інтегратор використовує робота електрично та механічно для виконання свого завдання. Деякі верстатобудівні компанії мають у своєму штаті власних фахівців з інтеграції, надаючи клієнтам «одне вікно» для придбання верстата та автоматизації, і, таким чином, одна група відповідає за всю систему. Ще один спосіб роботи з інтегратором – звернутися до інтеграційної компанії, що спеціалізується на інтеграції роботів у верстати. Інтегратор займається різними питаннями, включаючи поєднання робота з машиною та іншим допоміжним обладнанням.

4. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

При роботі вал-фланець діаметром 120 мм через отвори кріпиться до тихохідного валу, а через муфту, яка встановлена на діаметрі 25 мм передається крутний момент 350 Нм з електродвигуна. Під дією крутного моменту вал-фланець зазнає кручення. Розрахунок вал-фланцю на міцність проведено за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. Спочатку створено 3D-модель деталі (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – 3D-модель вал-фланцю

Наступним етапом модель деталі було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Модель деталі розбита на сітку кінцевих елементів

В місці закріплення вал-фланцю у отворах було створено обмеження переміщень (рис. 4.3). На діаметрі 25 мм було прикладемо крутний момент (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Модель з накладеними обмеженнями

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Виконаємо розрахунок напружено-деформованого стану вал-фланцю за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. Результат цього розрахунку представлений нарис. 4.4.

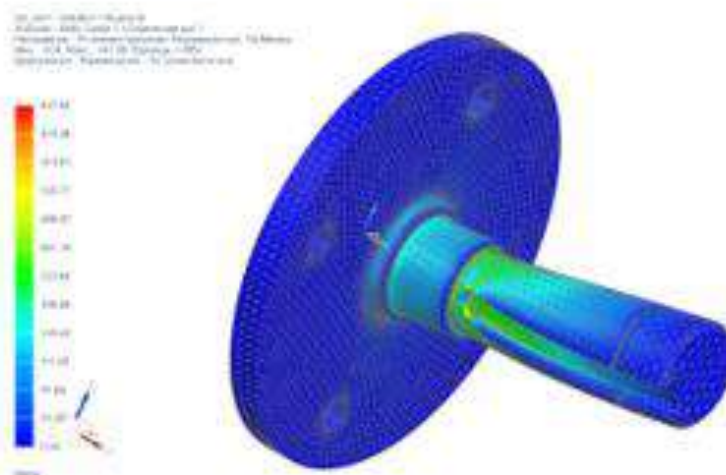


Рисунок 4.4 – Напруження на вал-фланці

Максимальне напруження виникає у куті переходу діаметра 25 мм і діаметра 30 мм і дорівнює 447,68 МПа.

4.3 Оптимізація геометрії деталі

Виконаємо перевірку запасу міцності. Коефіцієнт запасу міцності по напруженням визначається за наступною формулою:

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

де $[\sigma]=670$ МПа – допустиме значення границі плинності для сталі 30ХГСА;

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження.

$$k = \frac{670}{447,68} = 1,49$$

Згідно розрахунків конструкція вал-фланцю відповідає діючим навантаженням, тому що запас міцності дорівнює 1,49. Оптимізація геометрії деталі не потрібна.

5. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ-ФЛАНЕЦЬ»

5.1 Методи поверхневого зміцнення деталей

Підвищення якості поверхонь та довговічності валів є одним із головних завдань сучасного машинобудування. Для підтримки необхідної працездатності валів, щоб штучно не обмежувати їхній ресурс або пом'якшувати режим навантаження, широко застосовують різні технологічні методи зміцнювальної обробки. Серед них особливе місце займають механічні способи, що базуються на поверхневому пластичному деформуванні [13].

Підвищення опору деталі руйнуванню при різних видах експлуатації може бути досягнуто декількома технологічними методами: поверхневого (плівкового) та об'ємного (товщиною в кілька часток міліметра) зміцнення. Поверхнєве зміцнення деталей досягається шляхом осадження на неї поверхні матеріалів, які за своїми властивостями відрізняються від основного металу, але найповніше відповідають умовам експлуатації (знос, корозія, хімічна дія тощо). Серед поверхневих методів зміцнення найбільш поширені такі: а) осадження хімічної реакції – оксидування, сульфидування, фосфатування, нанесення мастильного матеріалу, що зміцнює, осадження з газової фази; б) осадження з пари - термічне випаровування тугоплавких сполук, катодноіонне бомбардування, пряме електронно-променеве випаровування, реактивне електроннопроменеве випаровування, електронно-хімічне випаровування; в) електролітичне осадження – хромування, нікелювання, електрофорез, нікельфосфатування, борування, борохромування, хромофосфатування; г) напилення зносостійких сполук – плазмове напилення порошкових матеріалів, детонаційне напилення, електродугове напилення, лазерне напилення, вихрове напилення, індукційне припікання порошкових матеріалів. Загальним недоліком розглянутих вище методів поверхневого зміцнення є складність технологічного процесу та

незначна товщина зміцненого шару. При модифікації поверхневих шарів дифузійним нанесенням елементів, що легують, зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу можливі два методи. Перший – дифузійне насичення борування, ціанування, азотування, нітроцементация тощо. приповерхневих шарів. І другий – хімічний та фізико-хімічний вплив хімічна обробка, іонна імплантация, електроіскрова обробка тощо. Спосіб дифузного нанесення легуючих елементів дає стійкіші результати, ніж спосіб осадження плівок, проте в заводських умовах його застосування пов'язане з великими труднощами. Зміцнення зі зміною структури поверхневого шару значної товщини може здійснюватися механічним деформуванням поверхневого шару деталі з використанням відносно простого універсального обладнання в поєднанні зі спеціальним інструментом – зміцнення вібрацією, фрикційнозміцнювальна обробка, дробоструминна, обробка вибухом, термомеханічна, електромеханічна [13].

Існує кілька методів поверхнево пластичного деформування, заснованих на обробці деталей тиском без зняття стружки. При цьому пластично деформується поверхневий шар деталі. Поверхнево пластичне деформування здійснюється інструментом, деформують елементи якого (кульки, ролики або тіла іншої конфігурації) взаємодіють з оброблюваною поверхнею за схемами кочення, ковзання або впровадження (рис. 5.1). При схемі кочення деформуючий елемент (як правило, ролик або кулька) притискається до поверхні деталі з фіксованим зусиллям і переміщається щодо неї, здійснюючи обертання навколо своєї осі. У зоні локального контакту деформуючого елемента з оброблюваною поверхнею виникає осередок пластичної деформації, який переміщається разом з інструментом, завдяки чому поверхневий шар послідовно деформується на деяку глибину. Характерною ознакою методів поверхнево пластичного деформування є стабільність форми та розмірів вогнища деформації у стаціонарній фазі процесу. Перевагою накочування є зниження сил тертя між інструментом і матеріалом, що обробляється. Поруч із цими методами в машинобудуванні існує велика

кількість методів поверхнево пластичного деформування, заснованих на динамічному (ударному) впливі інструменту на поверхню деталі. У цих процесах інструмент впроваджується в поверхневий шар деталі перпендикулярно до профілю поверхні або під деяким кутом до неї.



Рисунок 5.1 – Поверхнєве пластичне деформування обкаткою роликми [13]

Численні удари, які завдаються інструментом по деталі за заданою програмою або хаотично, залишають на ній велику кількість локальних пластичних відбитків, які в результаті покривають (з перекриттям або без нього) всю поверхню деталі. Розміри вогнища деформації залежать від матеріалу деталі, розмірів та форми інструменту та від енергії удару по поверхні. До методів ударного поверхнево пластичного деформування відносяться карбування, обробка дробом, віброударна, ультразвукова, відцентрово-ударна обробка та ін. Ці методи забезпечують досить стабільне зміцнення поверхневих шарів деталі, проте не дозволяють отримати поверхню малої шорсткості, що не прийнятно у виробництві форм гуми. Загалом поверхнєве пластичне деформування підвищує щільність дислокацій у зміцненому шарі та подрібнює вихідну структуру, що сприяє загальному

підвищенню міцності деталі. Зменшення шорсткості з одночасним підвищенням твердості поверхні так само покращує зносостійкість деталі.

Проблеми, що під час здійснення операцій поверхневого пластичного деформування, ставляться, переважно, до галузі технології, тобто до пошуку найбільш раціональних режимів обробки, що дозволяють суттєво підвищити межі витривалості валів та гарантувати отримання в них заданих значень залишкових стискаючих напруг, відповідальних за рівень циклічної міцності валів.

В даний час основним засобом оцінки рівня залишкових напруг є трудомісткі експериментальні методи, пов'язані, як правило, з руйнуванням деталей. Безсумнівно, що у умовах більший науковий і практичний інтерес представляє можливість як розрахункового прогнозування величини і характеру розподілу залишкових напруг по товщині пластично деформованого шару валів, а й цілеспрямованого (з урахуванням конкретних експлуатаційних вимог) управління значеннями цих напруг у процесі деформування. Це особливо важливо на стадії ранньої конструкторської та технологічної підготовки виробництва, коли створюваний комплекс службових властивостей поверхневого шару деталі буде найповніше адаптований до умов її експлуатації.

Таким чином, на підставі проведення літературного аналізу як спосіб підвищення експлуатаційних властивостей валу найбільш прийнятним є спосіб поверхневого пластичного деформування обкатування сталевим роликом.

5.2 Теоретичні основи пластичного деформування

Зміцнений шар – шар, параметри стану якого відрізняються від параметрів основного матеріалу. Однак межа розділу зміцненого та

основного матеріалу сильно розмита через те, що контрольований параметр змінюється поблизу цього кордону з дуже малим градієнтом. Тому товщина зміцненого шару визначається завжди з похибкою, величина якої залежить від методу виміру та властивих йому похибок. У зв'язку з цим поняття товщини зміцненого шару досить умовним, а числові значення, наведені в різних джерелах, можуть відрізнятися на десятки відсотків. Полікристалічні тверді тіла складаються з великої кількості зерен (кристалів), розділених між собою межами. Кожне зерно містить дефекти. Зерна мають різне орієнтування. При додаванню зовнішньої напруги до металу пластична деформація в першу чергу відбудеться в зерні, найбільш сприятливо орієнтованому до зовнішньої напруги (тобто з найбільшою напругою). Зі зростанням зовнішньої напруги спостерігається поступове залучення інших зерен у процесі пластичної деформації за збереження суцільності зерна. Під дією зовнішнього зсуву напруги дислокації, що генеруються активним джерелом, приходять до межі зерна і затримуються біля неї. У міру накопичення дислокацій зростає напруга. Однак цього недостатньо, щоб перейти з одного зерна до іншого. Тому поширення ковзання від одного зерна до іншого здійснюється за рахунок того, що при досягненні певного значення напруги збуджується джерело дислокацій у сусідньому зерні. Якщо дислокація надійно затримується кордоном і можливості естафетної передачі деформації обмежені, деформація локалізується в мікрообсягах, а напруга плинності зростає. Істотна локалізація деформацій підвищує концентрацію напруги, що призводить до передчасного руйнування, тобто зниження пластичності. Поряд із величиною зерна на деформаційне зміцнення металів великий вплив надає кількість та розмір внутрішньозеренних блоків (осередків). З підвищенням ступеня деформації та зростання щільності дислокацій відбувається дроблення зерна на блоки по площинах накопичення дислокацій. Поряд із дробленням зерна на блоки відбувається, розорієнтація блоків по кордонах на деякий кут межа блоків чинить опір руху дислокацій. В результаті пластичного деформування оброблюваної поверхні відбувається згладжування вихідних нерівностей та

утворення нового мікрорельєфу поверхні. Розмір деталі зменшується на величину залишкової деформації. На величину і форму нерівностей, що утворюються, впливає також неоднорідність шорсткості поверхні і твердості оброблюваної поверхні, коливання сили при механічному впливі, викликані биттям деталі. Якість поверхні оброблених пластичною деформацією деталей значною мірою залежить від характеру взаємодії матеріалу деталі та інструменту в зоні контакту. Збільшення коефіцієнта тертя веде до інтенсивного зношування інструменту та зниження якості оброблюваної поверхні. Сукупність розглянутих процесів призводить до зміцнення поверхневого шару металу після механічного деформування.

5.3 Аналіз досліджень зміцнення валів обкаткою роликами.

Численні рекомендації щодо вибору режимів зміцнювальної обробки, як правило, мають приватний характер і не враховують конкретних умов експлуатації. Важливого значення набувають лабораторні експериментальні дослідження, у ході яких встановлюється вплив різних параметрів зміцнювальної обробки на експлуатаційні та механічні характеристики деталей. Лише на основі експерименту, максимально наближеного до конкретних умов експлуатації деталі, що зміцнюється, можна визначити раціональні режими обробки і повністю реалізувати переваги того чи іншого способу зміцнення. Одне з найефективніших методів підвищення довговічності деталей – обкатка роликами, досліджений Ю.П. Бойцовим у роботі [13].

Для проведення досліджень зносостійкості автором виготовлено сталеві зразки діаметром 58 мм, шириною 12 мм. Зміцнення зразків велося на токарно-гвинторізному верстаті за допомогою накатника, виготовленого зі сталі У8 з твердістю HRC 62. Випробування зносостійкості зразків велися на

випробувальній машині МІ-1. Як еталонні, що сполучаються з випробуваними, використовувалися диски діаметром 80 мм і шириною 12 мм з твердістю HRC 50. Частота обертання еталонного зразка $9,6\text{с}^{-1}$; випробуваних $8,1\text{с}^{-1}$. Величина зношування визначалася ваговим способом і контролювалася зміною діаметрального розміру. Обробка результатів проводилася за методикою Протодяконова, заснованої на методі послідовних наближень за рахунок спеціально спланованої комбінації факторів, коли кожен з них вибирається по одному разу у всіх варіантах.

На рис. 5.2 наведено зведений графік залежностей зносу від режимів обкатки при середніх значеннях режимів обкатки. Аналіз цих залежностей показує, що найбільше впливають на зношування зусилля обкатки, профільний радіус ролика і, меншою мірою, подача інструменту і твердість матеріалу.

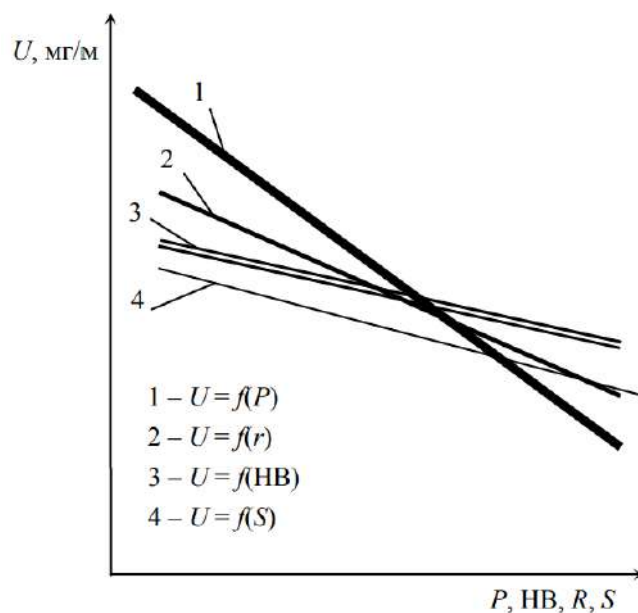


Рисунок 5.2 – Зміна величини зношення від режимів зміцнення [13]

Підвищення зусилля обкатки з 400 до 2000 Н зменшило зношування в 1,7 раза, зміна вихідної твердості матеріалу з HB 110 до HB 270 – на 10 %, підвищення профільного радіусу ролика від 1,5 до 9 мм – на 35 %. Ще більший вплив має поверхневе пластичне зміцнення на втомну міцність. Досліджувані

зразки з концентраторами напруги і без них піддавали обкатці роликом при наступних режимах: зусилля обкатки 300-1500 Н; подача інструменту 0,14-0,56 мм/об, профільний радіус ролика 1,5-9 мм. Випробування зміцнених та неукріплених зразків проводилися на стандартній випробувальній машині з навантаженням $P=280$ Н, згинальним моментом 14 Нм та частотою обертання 3000 об/хв у функції режимів зміцнення. Число циклів навантаження до повного руйнування зразків коливалося від 48 000 для неупрочених (еталонних) до 405 000 для зміцнених.

На основі аналізу результатів проведених експериментів встановлено таке:

- 1) найбільший вплив на втомну міцність надає зусилля P і профільний радіус інструменту r . Втомна міцність зразків при зусиллі обкатки 600 Н підвищилася в 2,5 рази. При малих радіусах інструменту число циклів навантаження падає, що, мабуть, пов'язане з перенаклеп поверхневого шару і наявністю явно вираженої шорсткості;
- 2) подача інструменту має мінімальний вплив на втомну міцність;
- 3) особливо великий вплив на тривалість випробувань до руйнування надають концентратори напруги, які знижують міцність втоми в 2,3-2,5 рази. Зміцнення жолобників дозволило підвищити число циклів навантажень з 21000 до 405100 (сила обкатки 1200 Н). При більшому зусиллі спостерігається зниження міцності втоми;
- 4) аналіз зносостійкості та втомної міцності зміцнених зразків показав ідентичність впливу режимів зміцнення на експлуатаційні характеристики.

У роботі [14] експериментальні дослідження проводилися на токарному верстаті при ротаційній обкатці оброблюваного валу сталевим роликом. В якості деформуючого ролика використовувалися зовнішні кільця підшипника важкої серії типу 32000 з радіальним навантаженням, що допускається, 35000кг. Ширина робочої частини ролика становила 7 мм у всіх серіях експерименту. Її форма циліндрична з фаскою з боків під кутом 20° . Зусилля

деформування створювалося подачею поперечного супорта верстата та контролювалося динамометром пружинного типу в діапазоні 50...300 кг. Поздовжня подача обкатного ролика змінювалася в межах від 0,05 до 0,4 мм/об. Швидкість обкатування змінювалася в межах 30...100 м/хв. Як змащувальне середовище використовувалося індустріальне масло І-8. Величина мікротвердості вимірювалася на мікротвердомірі ПМТ-3. На зовнішній стороні круглому зразку робили косий шліф, на якому вимірювали під кутом до поверхні зразка. Це дозволило виконати вимірювання з кроком 0,03 мм нормалі до зовнішньої поверхні зразка. При мікротвердості вихідної поверхні деталі 2...2,5 ГПа мікротвердість зміцненого шару коливається не більше 3...5,5 ГПа залежно від режимів обробки.

Загальний вид розподілу мікротвердості за глибиною зразка носить хвилеподібний характер. Безпосередньо приповерхневий шар товщиною від 0,01 до 0,03 мм має значний розкид величини мікротвердості, що можна пояснити втомними процесами, в результаті якого виникає лущення тонких шарів лежачих безпосередньо на поверхні. У ряді випадків мікротвердість цього шару виявилася нижчою за мікротвердість вихідного матеріалу зразка. При зовнішньому огляді зі збільшенням 15 крат на поверхні зразка ясно помітні окремі лусочки відшарованого металу. Шар, розташований на глибині від 0,03 до 0,07 мм, має найбільшу твердість, досягаючи 5...5,5 ГПа в залежності від режимів обробки. Загальна мікротвердість цього шару мало змінюється на глибині. Далі йде плавне зменшення твердості на глибину до 0,1...0,2 мм, залежно від режимів обробки. В той же час необхідно відзначити, що у всіх випадках безпосередньо за шаром підвищеної мікротвердості лежить шар зниженої твердості, товщина якого дорівнює в середньому 0,03 мм. Очевидно, цей шар є прикордонним між шаром, в якому відбулися пластичні деформації та шаром, який зазнав лише пружних деформацій. Мікротвердість цього шару на 5...7% нижча, ніж основний матеріал зразка.

Слід зазначити, що зменшенням величини поздовжньої подачі до 0,05 мм і одночасному збільшенні швидкості обкатки до 250 м/хв зміцнює ефект

змінюється розпушенням поверхневого шару деталі. Це можна пояснити тим, що при малій подачі і щодо широкої робочої частини ролика відбувається багаторазове деформування одних і тих же ділянок поверхні. В результаті цього починають превалювати втомні процеси. Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що ротаційне обкатування валів сталевим роликом, підвищує мікротвердість поверхневого шару деталі в 1,5...2 рази на глибину 0,07...0,15 мм залежно від зусилля, з яким ролик притискається до поверхні деталі. Режимми обробки, що забезпечують отримання стабільно повторюваних результатів такі: швидкість обкатки 40...50 м/хв, поздовжня подача 0,15...0,2 мм/об. При збільшенні подачі більше 0,3 мм/про поверхневий шар має нерівномірність твердості вздовж осі деталі, а при подачі 0,05 мм/про спостерігається значне лущення.

У роботі [15] в результаті проведення досліджень глибини зміцнення (рис. 5.3) з аналітичних залежностей було виявлено, що глибина зміцнення зростає зі збільшенням зусилля деформування за формулами Хейфеца С. Г., Дрозда М.С., Папшева Д. Д., зі збільшенням радіусів сполучення за формулою Ярославцева і зменшується за формулами Кудрявцева І. В., Матліна М. М., Лебського С. Л. .С. Дрозда, А.В. Федорова, Ю.І. Сидякіна за інших рівних умов.

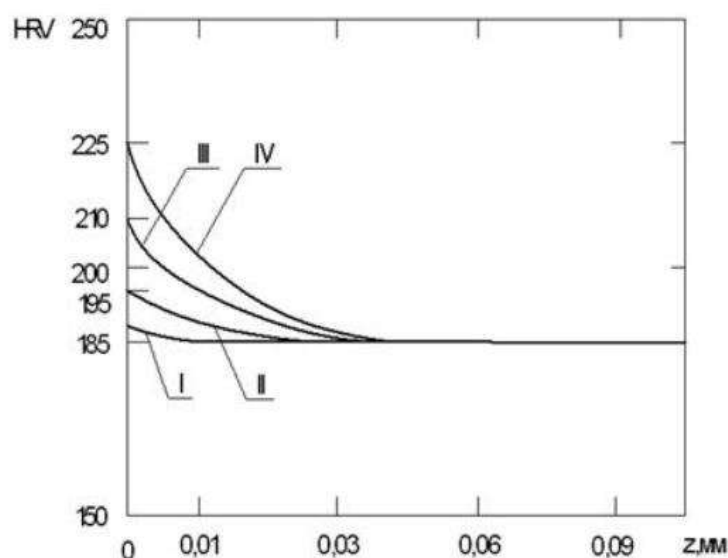


Рисунок 5.3 – Залежність твердості за Віккерсом HRV_e від координати z пружнопластичної площі контакту циліндричного ролика з поверхнею деталі: I – зразок № 0; II – зразок № 1; III – зразок № 2; IV – зразок № 3 [15]

Найбільш прогресивним методом зміцнення поверхонь валів є застосування сучасного обладнання, такого як WAM GAMMA NC 3500 – верстат для накатного зміцнення зовнішніх поверхонь валів (рис. 5.4) [16].

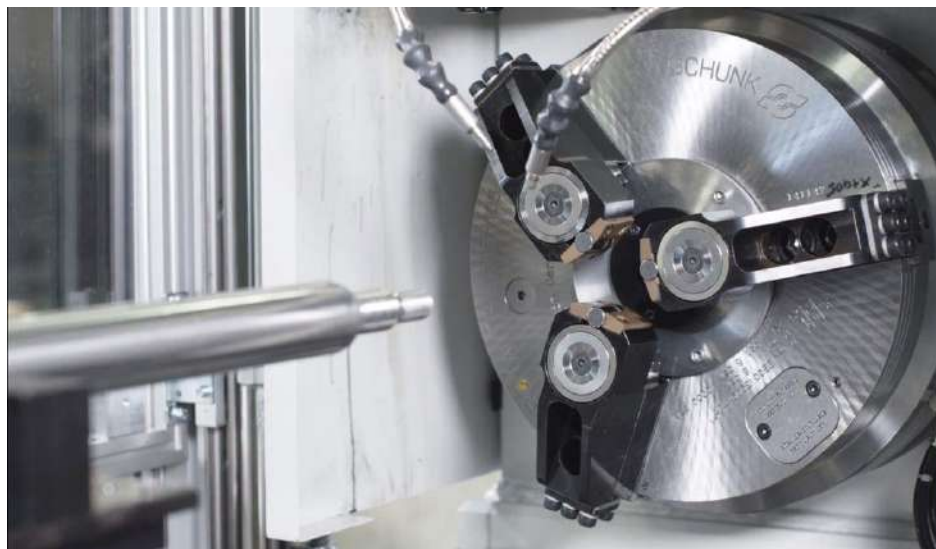


Рисунок 5.4 – Верстат WAM GAMMA NC 3500 [16]

Верстати WAM використовуються для роlikової обкатки деталей типу ступінчастий вал і звичайний вал. Крім високої шорсткості, верстат забезпечує поверхневу міцність та невелике калібрування деталі. Скорочення часу обробки за рахунок високої продуктивності та високої швидкості. Завдяки цим перевагам верстат ідеально підходить для виробництва серійної продукції. Технічні характеристики:

- 1) Роликові накатні верстати WAM можуть накочувати поверхню циліндричних валів до допуску H8 за один прохід.
- 2) Ці верстати можуть обробляти будь-які матеріали з межею міцності 1400 Н/мм² та твердістю до 42...45 HRC та шорсткістю до Ra=0,02мкм.

- 3) На верстатах типу WAM подача деталей та налаштування допусків може здійснюватися автоматично.
- 4) Верстат самостійно захоплює деталь та видає її після завершення процесу обробки.
- 5) Верстат може досягати високошвидкісної обробки за рахунок автоматичної системи подачі.
- 6) Верстат може бути убудований у будь-яку виробничу лінію для будь-якого типу серійного виробництва.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-фланець» було замінено обробку на універсальних токарних верстатах обробкою на верстатах з ЧПК (табл. 6.1). Розрахунок очікуваної економічної ефективності виконаємо за рекомендаціями згідно [17].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія			
Модель верстата	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	CN-K50B	CN-K50B	CN-K50B	CN-K50B
Штучний час $t_{шт}$, хв	25	35	15	12	8	10	7.37	8.8	10.67	4.02
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	307200						1584000			
Число верстатів, C_n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань H_n , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [17, с.12]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-ш} \cdot C_{тар} \cdot K_6 \cdot k_{доп} \cdot k_{сеп}}{60} \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{штi}$ – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $K_б=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
015	Токарна	35	76,6	1,2	1,4	75,07
020	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
025	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
030	Токарна	8	76,6	1,2	1,4	17,16
035	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
					Σ	225,21

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
015	Токарна	7,37	57,5	1,2	1,4	11,87
020	Токарна	8,8	57,5	1,2	1,4	14,17
025	Токарна	10,67	57,5	1,2	1,4	17,18
030	Токарна	4,02	57,5	1,2	1,4	6,47
					Σ	49,68

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [17, с.13]:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар}} \cdot Ч_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{\text{тар}}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2028$ год;

$m_{\text{оп}}$ – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	9,83
020	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	9,83
025	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	9,83
030	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	9,83
						Σ	39,32

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання [17, с.14]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{\text{ам}} \cdot t_{\text{шт-ам}}}{100 \cdot F_n \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

$H_{\text{ам}}$ – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [17, с.15]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{Ц_{\text{ін}} \cdot t_{\text{шт-ін}} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де $Ц_{\text{ін}}$ – ціна інструменту j – го виду на i – ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт-ін}}$ – штучний час роботи j – го інструменту на i – ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення;

T_{ij} – період стійкості інструменту j – го виду на i – ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i – ої операції;

n_j – число переточок інструменту j

– го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{оп}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	25	307200	14,2	4015	4,53
015	Токарна	35	307200	14,2	4015	6,34
020	Токарна	15	307200	14,2	4015	2,72
025	Токарна	12	307200	14,2	4015	2,17
030	Токарна	8	307200	14,2	4015	1,45
035	Токарна	10	307200	14,2	4015	1,81
					Σ	19,01

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{оп}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	7,37	1584000	12,2	4015	18,97
020	Токарна	8,8	1584000	12,2	4015	22,50
025	Токарна	10,67	1584000	12,2	4015	6,00
030	Токарна	4,02	1584000	12,2	4015	6,35
					Σ	3,22

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{оп}$, хв	Найменування інструменту	C_i , грн	n_{in}	T , хв	n_i	η_{mi}	S_{in} , Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	25	Різець прохід.	150	2	60	10	0,4	1,36
			Різець. розг.	180	2	60	10	0,4	1,09
015	Токарна	35	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	3,21

Продовження табл. 6.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Різець. канав.	200	1	45	20	0,4	0,85
020	Токарна	15	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	0,64
			Різець. канав.	150	1	45	20	0,4	0,63
025	Токарна	12	Різець. прохід.	250	2	60	12	0,4	1,03
			Різець. розт.	180	2	60	20	0,4	0,23
030	Токарна	8	Різець. прохід.	200	1	45	15	0,4	0,89
035	Токарна	10	Різець. розт.	200	1	60	12	0,4	0,51
			Різець. канав.	150	1	45	8	0,4	0,74
								Σ	10,38

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _і грн	n _{ін}	T, хв	n _і	η _{МП}	S _{ін} грн
015	Токарна	7,37	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,42
			Свердл. центр.	50	1	120	1	0,4	0,96
020	Токарна	8,8	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,35
			Свердл. центр.	50	1	120	1	0,4	1,92
025	Токарна	10,67	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,89
030	Токарна	4,02	Різець прохід.	250	1	240	4	0,4	0,17
			Різець канав.	250	1	240	1	0,4	0,42
								Σ	5,12

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [17, с.15]:

$$S_e = \frac{N_n \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_n \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_n – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю
(для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_n – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом
(для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_n – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_c кВт	k_N	k_n	$k_{од}$	k_w	η	k_n	S_e
010	Токарна	25	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,97
015	Токарна	35	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	6,96
020	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
025	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
030	Токарна	8	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,59
035	Токарна	10	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,99
										Σ	20,87

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_c кВт	k_N	k_n	$k_{од}$	k_w	η	k_n	S_e
015	Токарна	7,37	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	3,60
020	Токарна	8,8	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,30
025	Токарна	10,67	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	5,22
030	Токарна	4,02	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,97
										Σ	15,09

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [17, с.16]:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

де $Ц_{\text{инв}}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{инв} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
015	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
020	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
025	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
030	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
035	Токарна	307200	0,02	0,64	0,79
				Σ	4.72

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{инв} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
015	Токарна	1584000	0,02	0,78	4,94
020	Токарна	1584000	0,02	0,78	4,94
025	Токарна	1584000	0,02	0,78	4,94
030	Токарна	1584000	0,02	0,78	4,94
				Σ	19.77

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [17, с.16]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{\text{ин}} \cdot t_{\text{ин}} \cdot t_0 \cdot K_r}{T_H \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту;

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ін}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом
($t_{ін} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК.

t_0 – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_T – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_0 , хв	$C_{гн}$, грн/год	n	$t_{ін}$, хв	K_T	T_M	m	S_n , грн
015	Токарна	Різець прохід.	4,5	50,9	6	4	0,9	240	4	0,02
		Свердл. центр.	1,8	50,9	6	4	0,9	120	1	0,06
020	Токарна	Різець прохід.	4,2	50,9	6	4	0,9	240	4	0,02
		Свердл. центр.	4,1	50,9	6	4	0,9	120	1	0,14
025	Токарна	Різець прохід.	8,5	50,9	6	5	0,9	240	4	0,04
030	Токарна	Різець прохід.	1,5	50,9	6	5	0,9	240	4	0,01
		Різець канав.	1,6	50,9	6	5	0,9	240	1	0,03
									Σ	0,31

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [17, с.16]:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (6.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{н1} = 225,21 \cdot 0,2 = 45,04 \text{ грн}$$

$$I_{н2} = 49,68 \cdot 0,2 = 22,53 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [17, с.6]:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у табл. 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	225,21	49,68
Заробітна плата наладчика	Z_n		39,32
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	19,01	3,22
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	10,38	5,12
Витрати на електроенергію	S_e	20,87	15,09
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	4,72	19,77
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,31
Витрати інші	I_n	45,04	9,93
Технологічна собівартість	C_T	325,23	142,44

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [17, с.7]:

$$E_{yp} = (C_{T_1} - C_{T_2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{yp} = (325,23 - 142,44) \cdot 5000 = 913950 \text{ грн}$$

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз і контроль метеорологічних умов на механічній дільниці

ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» регламентують умови праці, на сам перед, температуру та вологість, в залежності від енергії, яку витрачає людина на виконання своїх посадових обов'язків. Як відомо, внаслідок обміну речовин людина видаляє тепло, що підтримує на постійному рівні фізіологічні показники. У стані спокою видаляється приблизно 100 ккал/год, із збільшенням навантажень та рухової активності цей показник може збільшитися у двічі. Якщо температура в приміщенні становить понад 30°C, то людина пітніє, а організм, при цьому, втрачає вологу та мікроелементи. В таких умовах погіршується працездатність та робота серцево-судинної системи, що є особливо небезпечним для людей з вадами здоров'я. Тому, прогнозування метеорологічних умов, за допомогою розрахунків тепловипромінювання, є актуальним і необхідним для розробки заходів по створенню оптимальних умов праці на механічній дільниці.

Звісно, на метеорологічні умови впливає і зовнішній фактор, тобто холодний чи теплий сезон назовні. [18]. Враховуючи, що Запоріжжя знаходиться на півдні України, то забезпечити нормативні значення в механічному цеху в літку досить складно. Також при прогнозуванні температур, що можуть бути на робочих місцях необхідно комплексно оцінювати усі фактори, що можуть впливати на загальне підвищення температури.

Для забезпечення зазначених температур в холодний період року в адміністративних приміщеннях передбачена система загального опалення, що узгоджується з ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». [19].

В робочих кімнатах і невеликих приміщеннях, де виконується операторські роботи, контроль якості деталей передбачена система

кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається. Для комфортної роботи необхідно дотримуватися двократного повітрообміну.

Таблиця 7.1 – Характеристики мікроклімату в виробничих приміщеннях

Категорія робіт	Період року	Допустима температура повітря, °C (верхня межа)	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Легка Іб (незначні фізичні навантаження)	Холодний	24	40-60	Не більше ніж 0,2
Середньої важкості Па (сидячи, стоячи, ходьба)	Холодний	21	40-60	Не більше ніж 0,4
Легка Іб (контролери, технологи)	Теплий	23	40-60	Не більше ніж 0,2
Середньої важкості Па (незначне фізичне напруження)	Теплий	27	40-60	0,2-0,4

Проаналізуємо яке тепловипромінювання може супроводжувати роботу різноманітних верстатів на механічній дільниці, а саме: токарних верстатів з ЧПУ, токарно гвинторізного, круглошліфувального, зубофрезерного, шліцефрезерного, радіально-свердлильного, зубошліфувального. Загальна потужність верстатів становить $\Sigma N = 405$ кВт.

Необхідний повітрообмін для вилученні надлишкового тепла розраховується за формулою: [20,21].

$$L = \frac{Q_H}{c \cdot \rho_H \cdot (t_{\text{вид}} - t_{\text{пр}})}, \quad (7.1)$$

де Q_H - надлишкове тепловипромінювання;

$\rho_H = 1,3$ – питома вага повітря, що надходить до приміщення, кг/м^3

$$t_{\text{вид}} = t_{\text{рз}} + \Delta t(H - 2) \quad (7.2)$$

$$t_{\text{вид}} = 24 + 1.3(7.8 - 2) = 31.54^\circ\text{C}$$

$t_{\text{рз}}$ – температура повітря в робочій зоні, $^\circ\text{C}$,

$\Delta t = (1 - 5)^\circ\text{C/м}$ – температурний градієнт,

H – висота механічного цеху,

$t_{\text{вид}}, t_{\text{пр}}$ – відповідно температура внутрішнього та зовнішнього (припливного) повітря, $^\circ\text{C}$.

Визначимо надлишкове тепло Q_H :

$$Q_H = Q - Q_{\text{вид}}, \quad (7.3)$$

де Q – загальна кількість тепла, що надходить в приміщення;

$Q_{\text{вид}}$ – загальна кількість тепла, що видаляється із приміщення;

$$Q = Q_{\text{дв}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{сон}} + Q_{\text{л}}, \quad (7.4)$$

де $Q_{\text{дв}}$ - тепло, що супроводжує роботу електродвигунів верстатів, [4]:

$$Q_{\text{дв}} = \Sigma N \cdot 860 \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \cdot \psi_4, \quad (7.5)$$

де ΣN – загальна потужність верстатів;

860 – теплоелектричний еквівалент;

ψ_1 – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів;

ψ_2 – коефіцієнт використання двигунів;

ψ_3 – коефіцієнт одночасної роботи двигунів;

ψ_4 – коефіцієнт, що характеризує перехід механічної енергії в теплову

Згідно рекомендацій [21]:

$$\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3 \cdot \psi_4 = 0,1, \quad (7.6)$$

тоді

$$Q_{\text{дв}} = 405 \cdot 860 \cdot 0,1 = 34830 \frac{\text{ккал}}{\text{г}};$$

$Q_{\text{осв}}$ – тепло, що супроводжує роботу освітлювальних приладів. Враховуючи, що для забезпечення нормованого рівня освітлення 200 люкс необхідним є постійне загальне освітлення, то вибираємо лампи типу ДРЛ (досить економічні та мають тривалий термін експлуатації), потужність яких- 600Вт.

N –кількість ламп типу ДРЛ, потужністю 400Вт

$$Q_{\text{осв}} = \Sigma N \cdot 860 = 20 \cdot 860 = 17200 \frac{\text{ккал}}{\text{г}};$$

$Q_{\text{сон}}$ - тепло від сонця в теплий період року, що може проникнути у виробниче приміщення крізь вікна, перекриття, ліхтарі, згідно досліджень [4] для кліматичною зони Запоріжжя приблизно становить $41000 \frac{\text{ккал}}{\text{г}}$.

$Q_{\text{л}}$ - тепло, що виділяють робітники виконуючи роботу середньої важкості:

$$Q_{\text{л}} = 12 \cdot 220 = 2640 \frac{\text{ккал}}{\text{г}};$$

Сумарне надходження тепла:

В холодний період року:

$$Q = 34830 + 17200 + 2640 = 54670 \frac{\text{ккал}}{\text{г}};$$

В теплий період року:

$$Q_{\text{н}} = 54670 + 41000 = 95670 \frac{\text{ккал}}{\text{г}}.$$

Необхідний повітрообмін для вилученні надлишкового тепла:

$$L = \frac{95670}{0,24 \cdot 1,3(31,54 - 25)} = 47835 \frac{\text{м}^3}{\text{г}}.$$

Для запобігання негативного впливу надлишкового тепла в механічному цеху передбачено застосування загальної припливно-витяжної вентиляції. Для створення комфортних умов праці передбачено, що швидкість переміщення повітря в робочій зоні не буде перевищувати допустимі значення (0,2-0,4м/с) [18, 19]. Крім того, будівельно-архітектурні заходи по зменшенню впливу сонячної енергії, а саме застосування тепло ізолюючих матеріалів на основі скловати для ізоляції перекриття даху будівлі також можуть покращити метеоумови у виробничому приміщенні.

ВИСНОВКИ

Для виготовлення деталі «Вал-фланець» у серійному виробництві було розроблено технологічний процес. В якості метод отримання заготовки обрано штампування на КГМ. При даному методу отримання заготовки коефіцієнт використання матеріалу становив 0,46, економічний ефект – 17100грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних токарно-гвинторізних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі, економічний ефект становив 913950 грн.

Для токарної, фрезерної та свердлильної обробок були розроблені керуючі програми за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX.

Запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації завантаження та розвантаження деталей «Вал-фланець» на токарних операціях.

Було спроектовано робоче пристосування для свердління отворів. Було розраховано похибку встановлення та розраховані розміри розміщення кондукторних втулок. Було визначено зусилля затиску та обраний гідроциліндр з діаметром 80 мм.

Розроблені рекомендації технологічного забезпечення якості виготовлення деталі «Вал-фланець» шляхом застосування накатного зміцнення роликками зовнішніх поверхонь на верстаті WAM GAMMA NC 3500.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
2. Богуслаев В.О. Основы технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаев, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
4. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
5. 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.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 652 с.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
9. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

10. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.
11. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та » усіх форм навчання / Укл. О.Б. Козлова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 118 с.
12. Practical Automation for a Variety of Turning Applications. [Electronic resource]. – Regime of access: <https://www.productionmachining.com/articles/practical-automation-for-a-variety-of-turning-applications> (date of the application: 13.11.2023). – Header from the screen.
13. Бойцов Ю.П. Исследование и анализ упрочнения валов обкаткой роликами / Бойцов Ю.П., Иванова Г.В. // Записки Горного института. 2004. – № 157. – С. 150-152.
14. Солодкий В.И. Ротационно деформирующая обработка стальных валов. / Солодкий В.И., Долгов А.П. // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». 2009. – № 56, –С. 20-25.
15. Мартыненко О.В. Прогнозирование глубины упрочнения при обкатке деталей цилиндрическими роликами / Мартыненко О.В. // Современные проблемы науки и образования. 2011. – № 6. – С. 112-113.
16. WAM GAMMA NC β500 станок для накатного полирования и упрочнения внешних поверхностей длинномерных валов и штоков. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sensor-tool.ru/products/42534928> (дата звернення: 13.11.2023). – Назва з екрана.
17. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 41 с.

18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>. — Назва з екрана.

19. 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.

20. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Визначення типу технічних систем для нормалізації параметрів повітряного середовища» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх форм навчання / Укл. О.Л. Скуйбіда — Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. — 27 с.

21. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. / Жидецький В. Ц. // — Львів : Афіша, 2000. — 352 с.

ДОДАТОК А

Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX

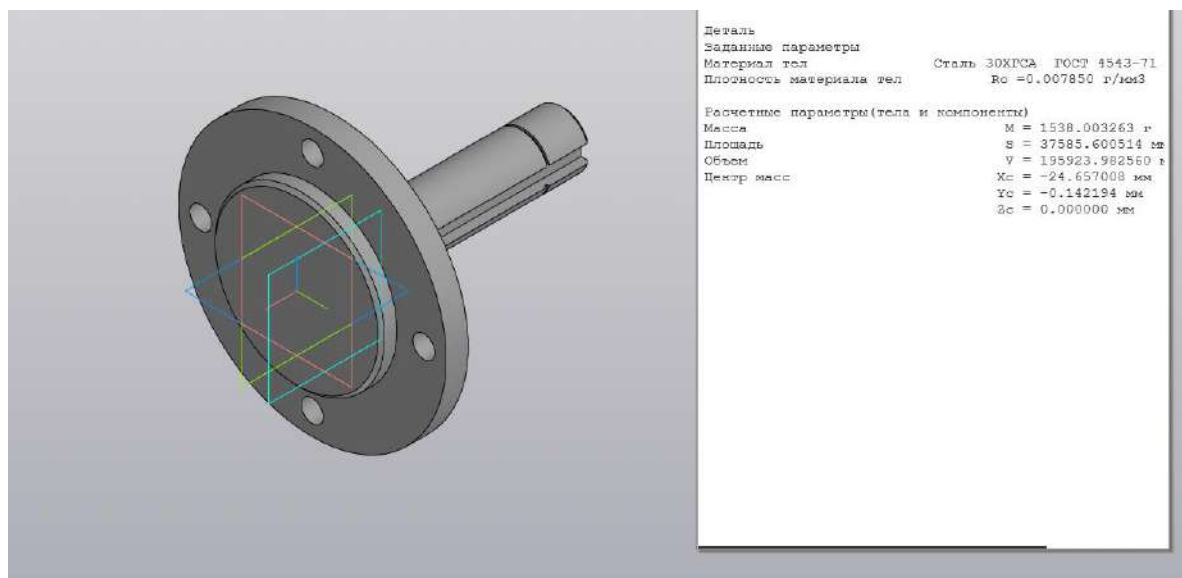


Рисунок А.1 – Ваги деталі

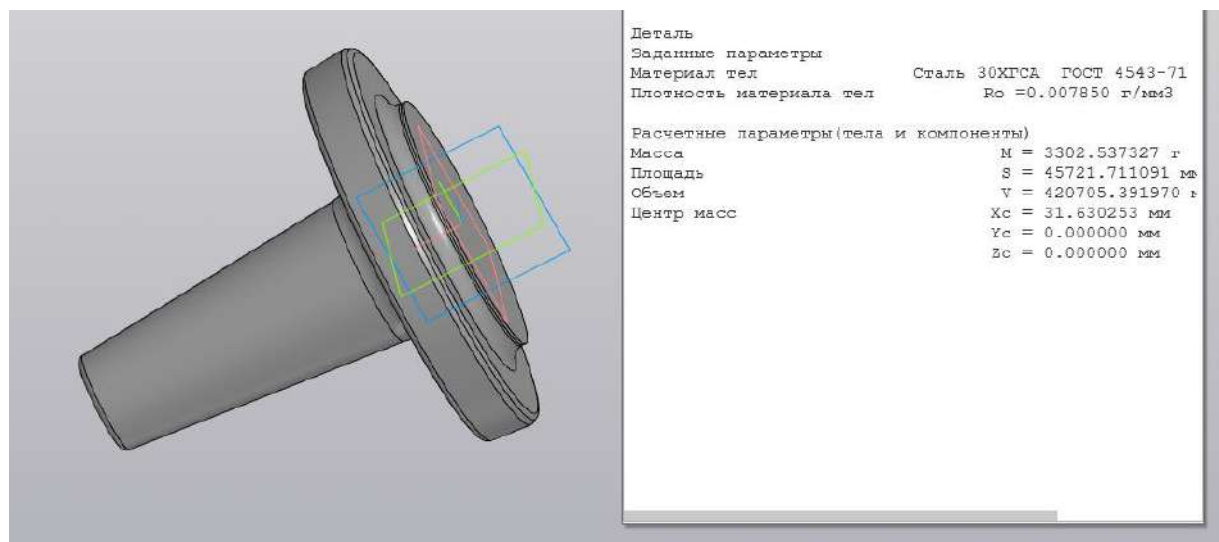


Рисунок А.2 – Вага заготовки на ГKM

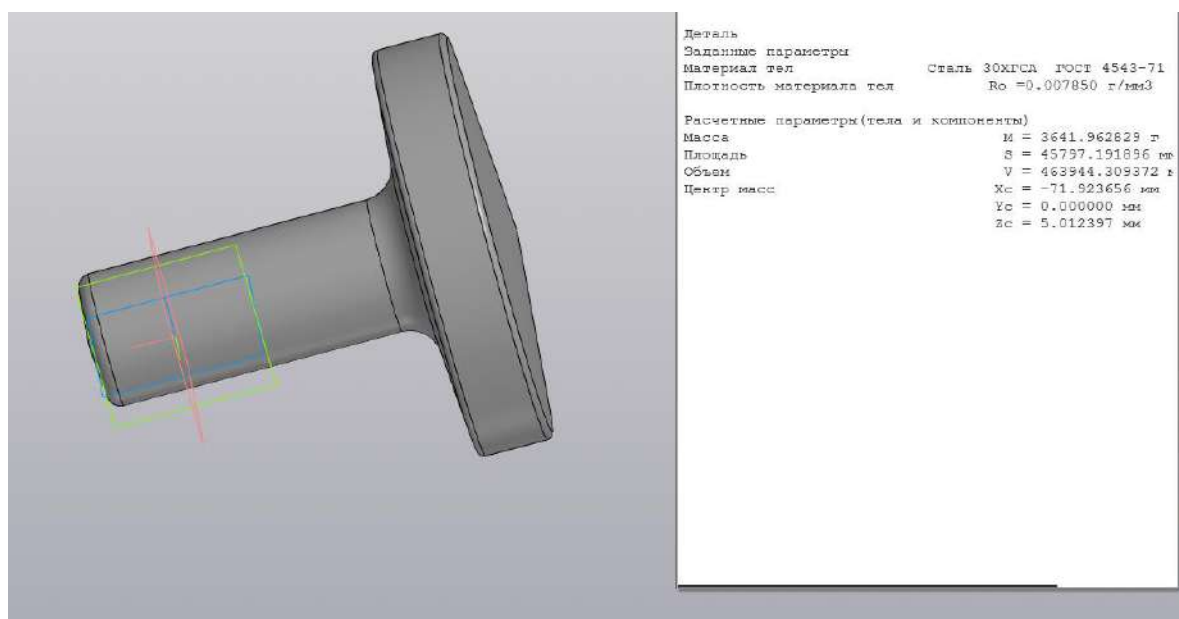


Рисунок А.3 – Ваги заготовки на молоті

ДОДАТОК Б
Специфікація робочого пристосування

Формат Знак		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Лист примен							
				Документация			
			НУЗП 293226.050	Складальне креслення			
Стор. №							
				Сборочные единицы			
		1		Гідроциліндр	1		
		2		Корпус	1		
				Детали			
Лист и дата		3		Змінна втулка	4		
		4		Постійна втулка	4		
		5		Плита	1		
		6		Призма	2		
		7		Скоба	1		
Ин. № докл.		8		Палець	1		
		9		Прижим	1		
		10		Корпус	1		
		11		Штак	1		
		12		Штифт	2		
Взам. ин. №		13		Каромисло	1		
	Лист и дата						
Ин. № подл.							
				НУЗП 293226.050			
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб. Сухан							
Проб. Тришин							
Н.контр. Дядя							
Утв. Дядя							
Адаптація для свердління 4 отв. $\phi 10$ мм					Лит. 1 Листов 2		
					НУЗП		
					гр. Мз-112м		
					Формат А4		

Καταγωγή

Формат А4

[illegible]

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

