

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі
«Втулка»»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-113сп

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ПЯТКОВСЬКИЙ В.А.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ПУХАЛЬСЬКА Г.В.

(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 перший (бакалаврський)
 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 Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ПЯТКОВСЬКИЙ Владислав Андрійович
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ПУХАЛЬСЬКА Г.В.
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» травня 2026 року №233

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (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. Розробка планування ділянки; 4. Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів; 5. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; креслення робочого пристосування; плакат розрахунку деталі на міцність. Кількість слайдів - 10

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	11.05.2026	
2	Розрахунок режимів різання	13.05.2026	
3	Розробка керуючої програми	15.05.2026	
4	Розрахунок на міцність	18.05.2026	
5	Конструкторська частина	20.05.2026	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	22.05.2026	
7	Охорона праці	25.05.2026	
8	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2026	
9	Нормоконтроль і рецензія	29.05.2026	
10	Захист дипломного проекту	02.06.2026	

Студент

(підпис)

Владислав ПЯТКОВСЬКИЙ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Гульнара ПУХАЛЬСЬКА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 101 с., 29 рис., 11 табл., 1 додатки, 11 джерел.

ВТУЛКА, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – втулка.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення втулки.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний розрахунково-аналітичний, комп'ютерне моделювання деталі.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Втулки», вибрано і економічно обґрунтовано метод отримання заготовки, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму для операцію з ЧПК, спроєктовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	
Вступ.....	8
1 Технологічна частина.....	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	10
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	12
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	16
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	16
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	17
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	22
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	23
1.6 Розрахунок режимів різання.....	28
1.6.1 Операція 035 – токарна з ЧПК.....	30
1.6.2 Операція 095 – шліфувальна.....	33
1.6.3 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	36
1.7 Технічне нормування операцій.....	41
1.7.1 Технічне нормування операції 035.....	42
1.7.2 Технічне нормування операції 095.....	44
1.7.3 Технічне нормування операції 025.....	45
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	47
2 Конструкторська частина.....	51
2.1 Проектування робочого пристосування.....	51
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	51
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	52

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	56
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	59
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	59
2.3 Розрахунок деталі на міцність	60
3 Розробка планування ділянки.....	63
4 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	66
5 Охорона праці.....	78
Висновки	83
Перелік джерел посилання.....	85
Додаток А. Технологічні карти.....	87

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампувальний прес

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТП – технологічний процес

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні підвищення вимог до якості, точності та надійності деталей обумовлює необхідність удосконалення технологічних процесів їх виготовлення. Особливо це стосується деталей типу «Втулка», які широко застосовуються в різноманітних вузлах машин і механізмів та виконують важливі функції спрямування, центрування та зменшення зносу сполучених поверхонь.

Актуальність даної дипломної роботи полягає у необхідності розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка», що забезпечує задані показники точності, шорсткості та експлуатаційної надійності при мінімальних витратах матеріалу, часу та собівартості виробництва. Використання сучасних методів проектування технологічних процесів, а також впровадження обладнання з числовим програмним керуванням дозволяє підвищити ефективність виробництва та стабільність якості продукції.

Метою дипломної роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка» з урахуванням вимог серійного виробництва, вибору раціональної заготовки, призначення оптимальних режимів обробки, розрахунку припусків і норм часу, а також проектування спеціального технологічного оснащення.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання: аналіз конструкції та службового призначення деталі, вибір способу отримання заготовки, розроблення маршруту механічної обробки, визначення технологічних баз, розрахунок припусків і режимів різання, технічне нормування операцій, а також проектування керуючої програми для операції з ЧПК та розроблення спеціального пристосування для свердління.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення деталі «Втулка», а предметом дослідження – технологічні методи та засоби забезпечення її точності та якості в умовах серійного виробництва.

У роботі також розглядаються питання організації виробничої дільниці та охорони праці, що забезпечує безпечні умови роботи та ефективну організацію технологічного процесу.

Таким чином, виконання даної дипломної роботи спрямоване на розроблення сучасного, економічно обґрунтованого та технологічно доцільного процесу виготовлення деталі «Втулка», який відповідає вимогам виробництва та забезпечує стабільну якість продукції.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Втулка (рис. 1.1) є деталлю типу тіл обертання, що має циліндричну зовнішню та внутрішню поверхні, і призначена для забезпечення надійного кріплення та фіксації важеля перемикавання швидкостей у вузлі редуктора. Конструктивно деталь являє собою порожнистий циліндр з обробленим центральним отвором, який слугує базовою поверхнею для встановлення на вал. Зовнішня поверхня втулки виконує функцію посадкової, а також забезпечує взаємодію з іншими елементами механізму. Наявність точних геометричних параметрів, таких як діаметри, довжина та радіальне биття поверхонь, є критично важливою для забезпечення правильної роботи механізму перемикавання передач.

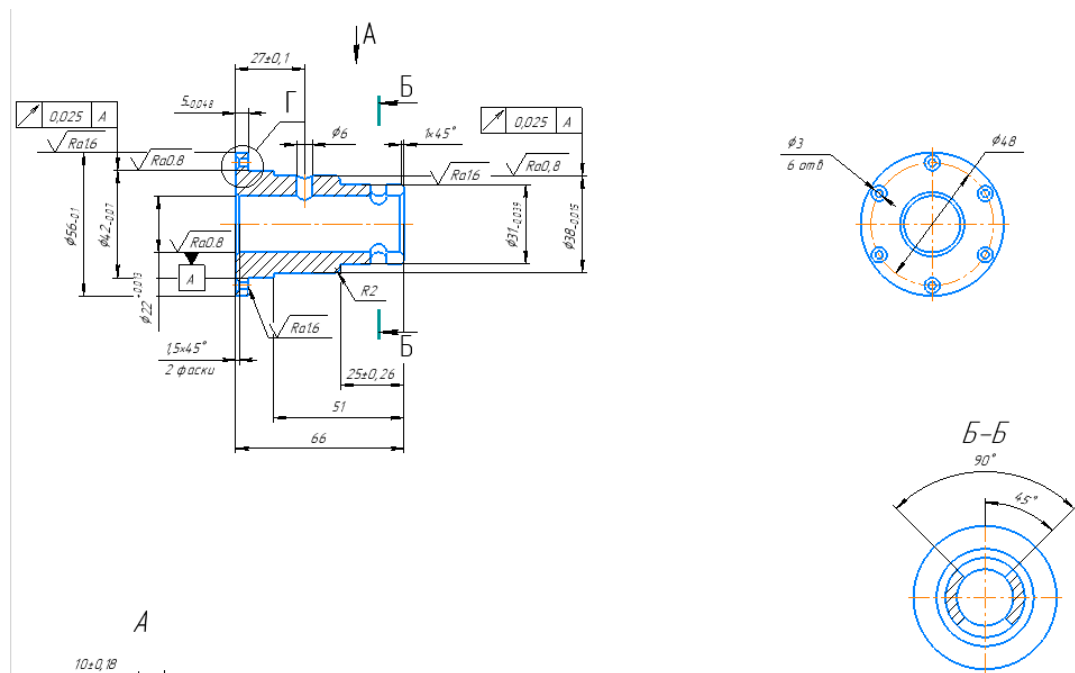


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі

Службове призначення втулки полягає у забезпеченні точної фіксації положення важеля, передачі зусиль та зменшенні зносу сполучених деталей. У процесі експлуатації деталь піддається змінним навантаженням, тертю та

ударним впливам, що висуває підвищені вимоги до її міцності, зносостійкості та стабільності розмірів. Саме тому для виготовлення втулки використовується легована конструкційна сталь 40X (таблиця 1.1), яка характеризується високою міцністю та добрими механічними властивостями після термічної обробки (ТО).

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40X [1]

Fe	C, %	Si, %	Mn, %	Ni, %	S, %	P, %	Cr, %	Cu, %
основа	0,36... 0,44	0,17... 0,37	0,5... 0,8	<0,3	<0,035	<0,035	0,8... 1,1	<0,3

Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик деталей піддається термічній обробці, що включає гартування з подальшим відпуском. У результаті такої обробки досягається твердість у межах 28...32 HRC, що забезпечує оптимальне поєднання міцності, зносостійкості та в'язкості матеріалу. Це дозволяє втулці ефективно працювати в умовах циклічних навантажень і тертя без передчасного зношування або руйнування. Таким чином, конструкція деталі та обраний матеріал із відповідною термічною обробкою повністю відповідають її службовому призначенню та умовам експлуатації.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Маса деталі «Втулка» становить 0,4 кг. Враховуючи річну програму випуску 5000 штук та характер конструкції деталі, тип виробництва визначається згідно з методикою [2] як серійний. Даний тип виробництва є доцільним, оскільки він забезпечує поєднання достатньої продуктивності з можливістю періодичного переналагодження обладнання під виготовлення партій деталей.

Серійний тип виробництва характеризується виготовленням деталей партіями з повторюваністю випуску, що дозволяє застосовувати спеціалізоване

та універсальне обладнання, використовувати спеціальне технологічне оснащення, а також впроваджувати раціональну організацію праці з елементами потоковості.

Для обробки деталі «Втулка» приймається змінно-поточна форма організації робіт, яка забезпечує послідовне виконання технологічних операцій відповідно до маршруту обробки із закріпленням операцій за певними робочими місцями. Така форма організації дозволяє скоротити внутрішньоцехові переміщення деталей, зменшити допоміжний час та підвищити загальну ефективність виробничого процесу.

Застосування змінно-поточної організації робіт у поєднанні із серійним типом виробництва є оптимальним рішенням для заданих умов виготовлення деталі «Втулка», оскільки забезпечує раціональне використання обладнання, стабільну якість продукції та економічну ефективність виробництва.

Кількість партії оброблюваних деталей розраховується за формулою [2]:

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

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

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

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

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

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Згідно з аналізом конструкції деталі, її маси та річної програми випуску, заготовку деталі «Втулка» доцільно отримувати методами гарячого об'ємного штампування. У межах розглянутих варіантів можливими способами

виготовлення заготовки є штампування в закритому штампі на кривошипному гаряче штампувальному пресі (КГШП) та штампування у відкритому штампі на молоті.

Для серійного виробництва більш раціональним є застосування штампування в закритому штампі на КГШП, оскільки даний спосіб забезпечує більш високу точність заготовки, менші припуски на механічну обробку, кращий коефіцієнт використання матеріалу та зниження витрат на подальшу механічну обробку.

Для штампованої заготовки приймаються наступні характеристики згідно з [3]: клас точності Т2, група сталі М3, ступінь складності С1. Нахили для зовнішніх поверхонь приймаються $3 \pm 1^\circ$, а радіуси заокруглень – 2 мм, що забезпечує нормальне заповнення штампу та підвищує стійкість інструменту.

Величина припусків на механічну обробку залежить від способу отримання заготовки та її маси. Для штампування на КГШП припуски приймаються в межах 1,9...2,5 мм, тоді як для штампування на молоті вони становлять 3...5 мм, що призводить до збільшення обсягу подальшої механічної обробки та витрат часу.

Маса заготовки визначається із застосуванням програмного забезпечення NX CAD (рис. 1.2-1.3), що дозволяє отримати більш точні результати розрахунку та врахувати геометричні особливості деталі.

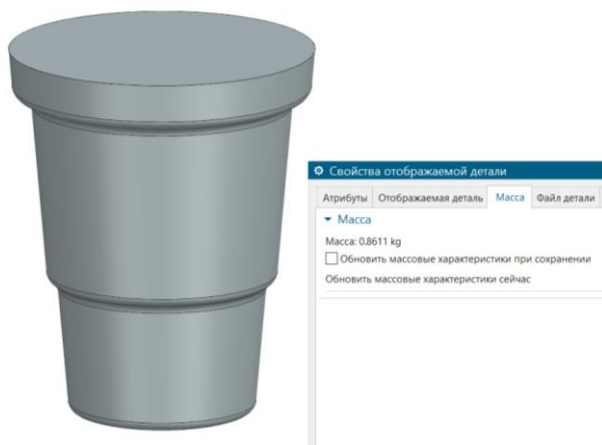


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки, що отримується на КГШП

Таким чином, з економічної точки зору доцільним є вибір штампування в закритому штампі на КГШП, оскільки цей спосіб забезпечує менші витрати матеріалу, зниження собівартості виготовлення та підвищення коефіцієнта використання металу, що є особливо важливим в умовах серійного виробництва.



Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки, що отримується на молоті

Собівартість виготовлення однієї заготовки B , грн, розраховується за формулою [4]:

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

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн. [4];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [4];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [4];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [4];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [4];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [4].

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{35000}{1000} \cdot 0,86 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1 - (0,86 - 0,4) \cdot \frac{1400}{1000} = 42,7 \text{ грн}$$

$$B_{\text{МОЛОТ}} = \frac{35000}{1000} \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1 - (1,14 - 0,4) \cdot \frac{1400}{1000} = 56,4 \text{ грн}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	МОЛОТ
Вага заготовки	Q	кг	0,86	1,14
Базова вартість 1 т заготовки	B _Б	грн	35000	26000
Коефіцієнти	K _Т		1	1
	K _М		1,51	1
	K _С		0,77	1
	K _З		1,27	1
	K _П		1	1
Вартість 1 т стружки	B _{відх}	грн	1400	1400
Собівартість заготовки	B _з	грн	42,7	56,4
КВМ	η		0,4	0,35

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

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

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,4}{0,86} = 0,43$$

$$\eta_{\text{П}} = \frac{0,4}{1,14} = 0,35$$

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_{\text{КГШП}} - B_{\text{МОЛОТ}}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (56,4 - 42,7) \cdot 5000 = 68500 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_{\text{П}})}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_{\text{П}}} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{0,4 \cdot (0,4 - 0,35)}{0,4 \cdot 0,35} \cdot 5000 = 714,3 \text{ кг}$$

Враховуючи те, що $V_{\text{КГШП}} < V_{\text{МОЛОТ}}$ кращим варіантом отримання заготовки буде штампування на ГКШП.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз є важливим етапом розробки технологічного процесу, оскільки він безпосередньо впливає на точність обробки, взаємне розташування поверхонь та якість готової деталі. При виборі баз враховуються конструктивні особливості втулки, її службове призначення та умови роботи в вузлі редуктора.

В якості чорнових баз на першій операції обираються циліндрична поверхня діаметром $\varnothing 56$ мм, крайній торець довжиною 66 мм та центровочний отвір. Такий вибір забезпечує надійне базування заготовки, дозволяє правильно зорієнтувати її відносно осі обробки та створює умови для подальшого формування точних поверхонь.

На токарних операціях в якості технологічних баз використовуються зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 42$ мм і $\varnothing 56$ мм, крайній торець, а також отвір $\varnothing 22$ мм. Саме на цих операціях формуються основні базові поверхні, які надалі

будуть використані при виконанні інших видів обробки. Це дозволяє забезпечити співвісність внутрішніх і зовнішніх поверхонь, а також підвищити точність взаємного розташування елементів деталі.

Під час токарної обробки здійснюється підготовка технологічних баз, які в подальшому застосовуються для фрезерної, свердлильної та шліфувальної операцій. Для фрезерної обробки в якості баз використовуються циліндрична поверхня $\varnothing 56$ мм і крайній торець, що забезпечує стійке положення деталі та точність обробки площин або пазів. При свердлильній обробці базування здійснюється по циліндричній поверхні $\varnothing 38$ мм і крайньому торцю, що дозволяє точно витримати положення отворів відносно осі деталі.

Для шліфувальної операції в якості баз застосовуються отвір $\varnothing 22$ мм і крайній торець. Такий вибір є доцільним, оскільки забезпечує високу точність обробки відповідальних поверхонь, мінімізацію похибок базування та досягнення необхідної шорсткості.

Обраний принцип базування відповідає вимогам єдності баз і забезпечує мінімальну похибку установки, що в свою чергу гарантує необхідну точність виготовлення деталі та її надійну роботу в експлуатаційних умовах.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) складається з послідовності технологічних переходів, які забезпечують поступове формування заданих геометричних параметрів, точності та шорсткості поверхонь деталі «Втулка». Побудова МОП виконується з урахуванням конструктивних особливостей деталі, вимог креслення, вибраного типу виробництва та можливостей технологічного обладнання.

При проектуванні маршруту обробки поверхонь враховується принцип поступового зменшення припусків, починаючи з чорнових операцій і

завершуючи чистовою та фінішною обробкою. Це дозволяє забезпечити стабільність процесу різання, зменшити деформації деталі та отримати необхідну точність розмірів і взаємного розташування поверхонь.

Для деталі «Втулка» маршрут обробки формується таким чином, щоб спочатку створити базові поверхні, які забезпечують правильне базування на наступних операціях. Далі виконуються чорнові та напівчистові операції, під час яких знімається основна частина припуску та формується геометрія деталі. Завершальними є чистові та фінішні операції, які забезпечують досягнення заданих допусків і шорсткості поверхонь.

Особлива увага приділяється вибору технологічних баз, оскільки правильне базування забезпечує мінімізацію похибок установлення та підвищення точності взаємного розташування поверхонь. Також враховується необхідність виконання термічної обробки між чорновими та чистовими операціями, що дозволяє знизити вплив внутрішніх напружень і забезпечити стабільність розмірів.

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

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

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.7)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Виконуємо розрахунок для поверхні $\varnothing 38h6(-0,015)$.

$$\varepsilon_d = \frac{1,2}{0,015} = 80$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31,2$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1}{0,025} = 40$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

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

$$k = 2 \cdot \lg 80 = 3,8$$

Приймаємо $k=4$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=4$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT17-h6=11=5+2+2+2$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) Для допуску – $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow TO \rightarrow h8 \rightarrow h6$
- 2) Для шорсткості – $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$

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

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1200}{250} = 6$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{250}{100} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,9$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 4,8 \cdot 2,5 = 12 < \varepsilon_d = 30,7$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 1,9 = 7,4 < \varepsilon_{Ra} = 15,6$$

Третій перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=39$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{100}{39} = 2,5$$

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

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 12 \cdot 2,5 = 30 < \varepsilon_d = 30,7$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 7,4 \cdot 2 = 14,8 < \varepsilon_{Ra} = 15,6$$

Четвертий перехід – шліфування чистовий: $T_{D4}=15$ мкм; $T_{Ra4}=0,8$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{39}{15} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{1,6}{0,8} = 2$$

Перевірка:

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру, мм	шорсткість, мкм	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 38h6_{(-0,015)}$ Ra0,8	Td	80	3,8	4	$\Delta IT = IT17 - h6 = 11$	1	Заготовка-штамповка	1200	25	-	-
	Ra	31,2			$IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8 \rightarrow h6$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	2	Точіння чорнове	250	6,3	4,8	3,9
						3	Точіння чистове	100	3,2	2,5	1,9
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування чорн.	39	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чист.	15	0,8	2,5	2
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 31h8_{(-0,039)}$ Ra1.6	Td	30,7	3,2	3	$\Delta IT = IT17 - h8 = 9$	1	Заготовка-штамповка	1200	25	-	-
	Ra	15,6			$IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8$ $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6$	2	Точіння чорнове	250	6,3	4,8	3,9
						3	Точіння чистове	100	3,2	2,5	1,9
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування	39	1,6	2,5	2

$$\begin{aligned}\Pi \varepsilon_{di} &= 30 \cdot 2,5 = 75 < \varepsilon_d = 80 \\ \Pi \varepsilon_{Ra} &= 14,8 \cdot 2 = 29,6 < \varepsilon_{Ra} = 31,2\end{aligned}$$

Розрахунок МОП інших поверхонь заносено до таблиці 1.3.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі «Втулка» складається з послідовності взаємопов'язаних етапів, які забезпечують отримання готової деталі з заданими технічними вимогами щодо точності, шорсткості та експлуатаційних властивостей.

Першим етапом є отримання заготовки, яка виготовляється методом гарячого об'ємного штампування, що забезпечує раціональне наближення форми заготовки до готової деталі та зменшення обсягу подальшої механічної обробки.

Другим етапом виконується попередня термічна обробка (ТО), яка спрямована на покращення оброблюваності матеріалу, зняття внутрішніх напружень та стабілізацію структури після штампування.

Третій етап включає механічну обробку, під час якої виконується токарна обробка (чорнова та чистова), фрезерна обробка, свердлильна обробка, а також слюсарні операції. На цьому етапі формується основна геометрія деталі та забезпечується необхідна точність базових поверхонь.

Четвертим етапом є мийка та контроль, що дозволяє видалити забруднення після механічної обробки та виконати проміжну перевірку якості виготовлених поверхонь.

П'ятим етапом виконується остаточна термічна обробка, яка забезпечує досягнення необхідних механічних властивостей матеріалу, зокрема міцності,

твердості та зносостійкості.

Шостий етап передбачає фінішну механічну обробку, до якої входить зовнішнє шліфування (чорнове та чистове), а також внутрішнє шліфування (чорнове та чистове). Цей етап забезпечує досягнення остаточних розмірів, точності та шорсткості поверхонь деталі.

Сьомим етапом є мийка та контроль, під час яких виконується остаточна перевірка відповідності деталі вимогам креслення та технічної документації.

Завершальним восьмим етапом є нанесення захисного покриття, яке підвищує корозійну стійкість та експлуатаційну надійність деталі «Втулка».

Таким чином, сформований маршрут виготовлення забезпечує раціональну послідовність технологічних операцій, стабільну якість продукції та ефективне використання виробничих ресурсів у умовах серійного виробництва.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків і технологічних розмірів є важливим етапом проектування технологічного процесу, оскільки забезпечує раціональне призначення обсягів зняття матеріалу на кожній операції, досягнення заданої точності деталі та мінімізацію витрат матеріалу і часу обробки.

Припуск на обробку являє собою шар матеріалу, який видаляється з поверхні заготовки для отримання готової деталі з необхідними розмірами, шорсткістю та точністю. Правильне визначення припусків дозволяє уникнути як недостатньої обробки (недотримання точності), так і надмірного зняття матеріалу (збільшення собівартості).

У машинобудівній практиці застосовуються такі основні методи розрахунку припусків:

Аналітичний (розрахунково-аналітичний) метод, який базується на

поопераційному визначенні припусків із врахуванням похибок попередньої обробки, просторових відхилень заготовки, похибок базування та закріплення, а також шорсткості поверхні. Цей метод є найбільш точним і дозволяє обґрунтовано розподілити припуски між операціями.

Дослідно-статистичний метод, який ґрунтується на використанні узагальнених нормативних даних, довідників та практичного досвіду виробництва. Припуски визначаються за таблицями залежно від виду заготовки, матеріалу, типу виробництва та точності обробки. Метод є швидким, але менш точним порівняно з аналітичним.

Нормативний (табличний) метод, який є різновидом статистичного і передбачає вибір припусків за стандартними нормативами, що встановлені галузевими стандартами або довідковою літературою. Він широко застосовується в умовах серійного та масового виробництва.

Комбінований метод, який поєднує елементи аналітичного та нормативного підходів. У цьому випадку базові значення припусків приймаються з нормативних таблиць, а їх уточнення виконується аналітичним розрахунком з урахуванням конкретних умов обробки.

Для технологічного проектування деталі «Втулка» доцільно використовувати розрахунково-аналітичний метод, оскільки він забезпечує більш точне визначення припусків між окремими операціями, дозволяє оптимізувати технологічний процес та зменшити витрати матеріалу при серійному виробництві.

Розрахунок припусків на поверхні деталі виконаємо розрахунково-аналітичним методом. Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 38h6(-0.015)$:

1) для заготовки значення: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [5]

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

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

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності [5];

$\rho_{\text{кор}}$ – похибка від короблення.

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

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна поковки [5].

$$\rho_{\text{кор}} = 1,5 \cdot 66 = 100 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,1^2} = 0,6 \text{ мм}$$

2) для чорнового точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [5];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

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

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки по [5].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 600 = 36 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

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

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,2^2 + 1} = 0,45 \text{ мм}$$

3) для чистового точіння: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [5];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 36 = 1,4 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 450 = 18 \text{ мкм}$$

4) для ТО:

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

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО [5].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 66 = 6,6 \text{ мкм}$$

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

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (6,6 + 1,4) = 0,2 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 18 = 0,5 \text{ мкм}$$

6) для шліфування чистового: $Rz_5=5 \text{ мкм}$ та $h_5=5 \text{ мкм}$ [5];

$$\rho_5 = 0,02 \cdot 0,2 = 0 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,02 \cdot 0,5 = 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

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

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{600^2 + 450^2}) = 2220 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{36^2 + 18^2}) = 240 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{1,4^2 + 0,5^2}) = 94 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,2^2 + 0^2}) = 50 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d6} \quad (1.17)$$

$$d_6^{\max} = 38 + 0 = 38 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

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

$$d_5^{\max} = 38 + 0,050 + 0,039 = 38,089 \text{ мкм}$$

$$d_3^{\max} = 38,089 + 0,094 + 0,1 = 38,283 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 38,283 + 0,24 + 0,25 = 38,773 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 38,773 + 2,22 + 1,2 = 42,193 \rightarrow 42,2 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

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

$$d_6^{\min} = 38 - 0,015 = 37,985 \text{ мм}$$

$$d_5^{\min} = 38,089 - 0,039 = 38,05 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 38,283 - 0,1 = 38,283 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 38,773 - 0,25 = 38,523 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 42,2 - 1,2 = 41 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

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

$$2z_2^{\max} = 42,2 - 38,523 = 3,677 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 38,773 - 38,283 = 0,490 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 38,283 - 38,05 = 0,233 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 38,089 - 37,985 = 0,104 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}} \quad (1.21)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (1.22)$$

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

$$2z_0^{\max} = 42,2 - 37,985 = 4,215 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 41 - 38 = 3 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,2 + 0,015 = 1,215 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,215 - 3 = 1,215 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 41,4^{+0,8}_{-0,4}$ мм.

Розрахунок припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуска		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки	Td, мм	$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
Пов. цил. $\varnothing 38_{-0,015}$ Ra=0,8 $\uparrow=0,025$	17	Заготовка	1,3	42,2	41	-	-	$\varnothing 41,4^{+0,8}_{-0,4}$
	12	Точін. чорн.	0,25	38,773	38,523	3,677	2,22	$\varnothing 38,77_{-0,25}$
	10	Точін. чист.	0,1	38,283	38,283	0,49	0,24	$\varnothing 38,3_{-0,1}$
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф. чорн.	0,039	38,089	38,05	0,233	0,094	$\varnothing 38,09_{-0,039}$
	6	Шліф. чист.	0,015	38	37,985	0,104	0,050	$\varnothing 38_{-0,015}$
	4,215-3=1,2+0,015 1,215=1,215					4,215	3	

1.6 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання є одним із ключових етапів проектування технологічного процесу, оскільки від правильного вибору швидкості різання,

подачі та глибини різання залежить продуктивність обробки, стійкість інструменту, якість обробленої поверхні та економічна ефективність виробництва.

Режими різання встановлюються для кожної технологічної операції з урахуванням матеріалу заготовки, типу інструменту, жорсткості системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь» та вимог до точності і шорсткості поверхні.

У практиці машинобудування застосовуються такі основні методи визначення режимів різання:

Табличний (нормативний) метод, який базується на використанні довідкових даних, стандартів та режимних карт. Значення швидкостей різання, подач і глибин різання вибираються залежно від матеріалу заготовки, інструменту та виду обробки. Метод є найбільш поширеним у навчальному та серійному виробництві, оскільки дозволяє швидко отримати прийнятні значення режимів.

Аналітичний метод, який передбачає розрахунок режимів різання на основі фізико-механічних закономірностей процесу різання. При цьому враховуються сили різання, потужність верстата, стійкість інструменту та теплові процеси. Метод забезпечує високу точність, однак є більш трудомістким.

Експериментально-дослідний метод, який ґрунтується на практичному підборі режимів різання шляхом випробувань на конкретному обладнанні. Даний підхід використовується для нових матеріалів, інструментів або особливо відповідальних операцій, коли відсутні достатні нормативні дані.

Оптимізаційний метод, який передбачає вибір режимів різання з урахуванням критерію оптимальності, наприклад мінімальної собівартості обробки, максимальної продуктивності або максимальної стійкості інструменту. Для цього використовуються математичні моделі та програмні засоби.

Для умов серійного виробництва деталі «Втулка» найбільш доцільним є

використання табличного (нормативного) методу з подальшим уточненням аналітичними розрахунками, що дозволяє забезпечити раціональний баланс між продуктивністю, якістю обробки та стійкістю ріжучого інструменту.

1.6.1 Операція 095 – шліфувальна

Чистове шліфування зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 38$ мм виконується на круглошліфувальному верстаті моделі 3A151. Дана операція забезпечує отримання необхідної точності розміру, форми та шорсткості поверхні відповідно до вимог креслення.

Як різальний інструмент застосовується шліфувальний круг 1 600×63×305 15A 40H CT1 6 K8 A зі швидкістю різання 50 м/с згідно ГОСТ 2424-82 [6]. Обраний абразивний інструмент забезпечує стабільну якість обробки та високу стійкість при шліфуванні сталі.

Базування та закріплення деталі здійснюється в центрах із використанням повідкового хомутика, що забезпечує передачу крутного моменту та стабільне положення заготовки під час обертання. Така схема встановлення гарантує точність обробки та мінімізацію похибок базування.

Операційний ескіз обробки наведено на рис. 1.4.

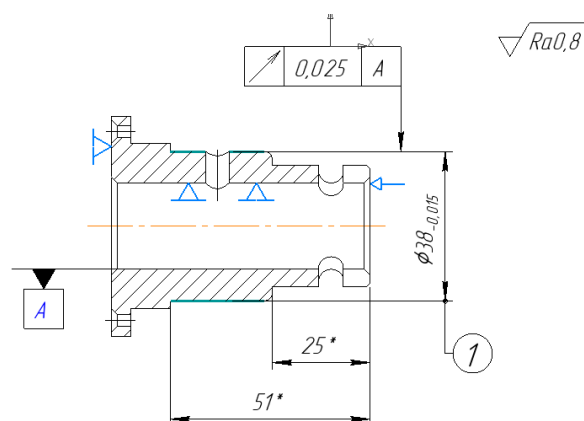


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз

Технічні характеристики верстата:

- 1) частота обертання круга – 1272 об/хв;
- 2) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 200 мм;
- 3) потужність – 7,5 кВт.
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 63...400 об/хв;
- 5) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 700 мм;

Припуск на обробку $2Z_{\max}=0,104$ мм згідно таблиці 1.5.

Подача радіальна розраховуємо по формулі:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.24)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,011$ мм/об [7];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{SY} \cdot K_{S\varphi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (1.25)$$

де K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга, $K_D = 0,42$ [7];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі, $K_R = 0,85$ [7];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга, $K_T = 1,0$ [7];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку, $K_h = 1,0$ [7];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT} = 0,5$ [7];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі, $K_M = 1,0$ [7].

$$K_S = 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,19$$

$$S_{\text{поп}} = 0,011 \cdot 0,19 = 0,0022 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}} = 0,002$ мм/об.

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою літературою:

- швидкість обертання круга – $V_{\text{ш.кр.}} = 45$ м/с [6];
- швидкість обертання деталі – $V_{\text{ш.дет.}} = 35$ м/хв [6].

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.кр.}} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.26)$$

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 45 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 1433 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.27)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 38} = 293 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}}=1272 \text{ об/хв}$, $n_{\text{дет.}}=300 \text{ об/хв}$.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot D_{\text{шкр}} \cdot n_{\text{шкр}}}{1000 \cdot 60} \quad (1.28)$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot d_{\text{дет}} \cdot n_{\text{дет}}}{1000} \quad (1.29)$$

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

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 38 \cdot 300}{1000} = 35 \text{ м/хв}$$

Визначаємо основний час:

$$t_0 = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.30)$$

де k – коефіцієнт уточнення.

$$t_0 = \frac{0,052 \cdot 1,7}{300 \cdot 0,002} = 0,15 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 035 – свердлильна

Свердління отворів виконується на вертикально-свердлильному верстаті моделі JET JMD-1, який забезпечує необхідну точність позиціонування та стабільність процесу обробки при виготовленні деталі «Втулка».

У процесі операції формується наскрізний або глухий отвір відповідно до вимог креслення, з дотриманням заданих допусків і шорсткості поверхні. Для виконання свердління застосовується стандартне центровочне та спіральне свердла діаметра 2 мм та 6 мм.

Закріплення деталі здійснюється у спеціальному пристосуванні або машинних лещатах, що забезпечує її надійне базування та виключає зміщення під час обробки. Така схема встановлення гарантує стабільність процесу свердління та підвищує точність отриманого отвору.

Операційний ескіз обробки наведено на рис. 1.5.

Технічні характеристики верстата:

- Максимальний діаметр свердління: Ø 10 мм
- Відстань від шпинделя до столу: 140 мм
- Максимальна відстань від шпинделя до столу: 210 мм
- Конус шпинделя: МК-2/М10
- Частота обертання шпинделя: 200-2000 об/хв
- Хід пінолі шпинделя: 30 мм
- Вхідна потужність: 0,26 кВт

Інструмент: свердло центровочне $D_{cb}=2$ мм, Р6М5 ГОСТ 14952-75, свердло спіральне $D_{cb}=6$ мм, Р6М5 ГОСТ 19265-73 [6].

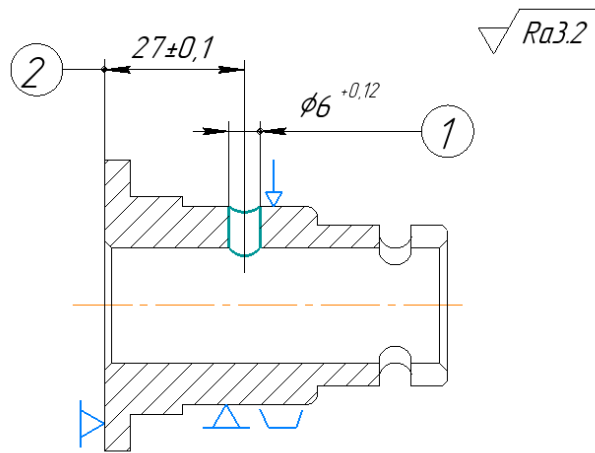


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Глибина різання дорівнює:

$$t = \frac{D_{\text{св}}}{2}. \quad (1.31)$$

$$t_{\text{центр}} = \frac{2}{2} = 1 \text{ мм.}$$

$$t_{\text{спір}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ мм.}$$

Подача розраховується за формулою (1.24, 1.25):

де S_T – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,25$ мм/об [7];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{SI} = 0,9$ [7];

K_{SZ} – коефіцієнт, що враховує заточку свердла, $K_{SZ} = 0,9$ [7];

K_{Sl} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла, $K_{Sl} = 0,9$ [7];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{SM} = 0,9$ [7].

$$K_S = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,596$$

$$S_{\text{центр}} = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ мм/об}$$

$$S_{\text{спір}} = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ мм/об}$$

Приймаємо: $S_{\text{центр}} = 0,1$ мм/об; $S_{\text{спір}} = 0,15$ мм/об;

Швидкість різання розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.32)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 35$ м/хв [7];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_{\text{и}}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{\text{HB}}} \cdot K_{V_{\varepsilon}} \cdot K_{V_{\text{ж}}} \quad (1.33)$$

де K_{V_c} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_c} = 1$ [7];

$K_{V_{\text{и}}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{V_{\text{и}}} = 1$ [7];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{V_T} = 1$ [7];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла, $K_{V_j} = 1,0$ [7];

K_{V_o} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні, $K_{V_o} = 1,0$ [7];

$K_{V_{\text{ж}}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{\text{ж}}} = 0,8$ [7].

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

$$V_1 = 35 \cdot 0,8 = 28 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = 35 \cdot 0,8 = 28 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою (1.27):

$$n_{\text{центр}} = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 2} = 4458 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{спір}} = \frac{1000 \cdot 28}{3,14 \cdot 6} = 1486 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{\text{центр}}=1500$ об/хв, $n_{\text{спір}}=800$ об/хв..

Дійсна швидкість різання розраховується за формулою (1.29):

$$V_{\text{д1}} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 1500}{1000} = 9,4 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{д2}} = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 800}{1000} = 15 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_{вр}+l_{пер}}{nS} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.34)$$

де l – довжина свердління, мм;

$l_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання, мм;

i – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{св}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (1.35)$$

$$l_{вр1} = \frac{2}{2tg60} = 0,6 \text{ мм};$$

$$l_{вр2} = \frac{6}{2tg60} = 1,7 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{3+0,6+0}{0,1 \cdot 1500} \cdot 1 + \frac{8+1,7+2}{0,15 \cdot 800} \cdot 1 = 0,07 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 025 – токарна з ЧПК

Чистова токарна обробка деталі «Втулка» виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням DOOSAN GT2100 (рис. 1.6), який забезпечує високу точність обробки, стабільність технологічного процесу та можливість автоматизації виконання переходів.

Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.5. У якості технологічного оснащення для закріплення заготовки використовується трикулачковий патрон, який забезпечує надійне базування деталі та достатню жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–деталь» під час обробки.

Операція включає виконання таких технологічних переходів, як підрізка торця та зовнішнє точіння, а також розточування внутрішнього отвору. Така послідовність дозволяє забезпечити необхідну точність взаємного розташування поверхонь і досягти заданих розмірів відповідно до креслення.

Як різальний інструмент застосовуються підрізний різець з геометричними параметрами $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 8^\circ$, виготовлений із твердого сплаву ВК8 за ГОСТ 18880-73 [6], а також розточний різець з аналогічними геометричними параметрами $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 8^\circ$, виготовлений із твердого сплаву ВК8 за ГОСТ 18883-73 [6]. Застосування твердосплавного інструменту забезпечує високу стійкість, стабільну якість обробленої поверхні та можливість роботи на підвищених режимах різання.

Операційний ескіз обробки наведено на рис. 1.8.

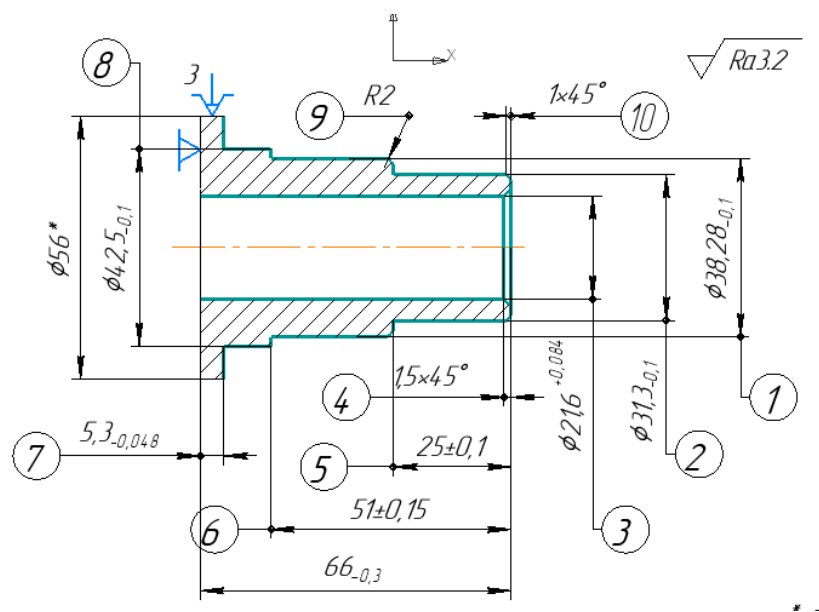


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика верстата

Параметри	Значення
Найбільший діаметр деталі, мм	390
Найбільша довжина деталі, мм	562
Діаметр патрона, мм	210
Потужність, кВт	18,5
Частота обертання шпинделя, хв^{-1}	0-4500
Швидкість руху подачі, мм/хв	
-поздовжня	1-1200
-поперечної	0,5-600
Швидкість прискореного переміщення, м/хв, супорту	
-поздовжнього	24
-поперечного	30

Припуск на обробку торця:

$$Z = L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}}, \quad (1.36)$$

$$Z = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (1.37)$$

де $D_{\text{заг}}$, $L_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$, $L_{\text{дет}}$ – розмір деталі, мм.

$$Z_1 = \frac{38,77 - 38,3}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

$$Z_2 = \frac{21,6 - 21}{2} = 0,3 \text{ мм}$$

Глибина різання розраховується за формулою:

$$t = \frac{Z}{i}, \quad (1.38)$$

де Z – припуск на обробку, мм;

i – кількість проходів.

$$t_1 = \frac{0,25}{2} = 0,125 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою (1.24, 1.25):

де $S_{0т}$ – табличне значення подачі, $S_{0т} = 0,48 \text{ мм/об}$ [7];

K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує спосіб кріплення ріжучої пластини, $K_{Sp} = 1,0$ [7];

$K_{Sд}$ – коефіцієнт, що враховує діаметр до обробки і після, $K_{Sд} = 0,62$ [7];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{Si} = 0,8$ [7];

K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі, $K_{Sp} = 1,0$ [7];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{Sm} = 0,8$ [7];

$K_{S\ell}$ – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини, $K_{S\ell} = 0,74$ [7];

$K_{S\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{S\varepsilon} = 1,0$ [7].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_1 = 0,48 \cdot 0,29 = 0,12 \text{ мм/об}$$

$$S_2 = 0,48 \cdot 0,29 = 0,12 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_1 = 0,1$ мм/об, $S_2 = 0,1$ мм/об.

Швидкість різання розраховується за формулою (1.32, 1.33):

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 245$ м/хв [7];

K_{V_M} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_M} = 0,8$ [7];

$K_{V_{\text{и}}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{V_{\text{и}}} = 0,85$ [7];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 1,0$ [7];

K_{V_o} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_o} = 0,9$ [7];

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

$K_{V_{\text{НВ}}}$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{V_{\text{НВ}}} = 1,0$ [7];

K_{V_ε} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V_\varepsilon} = 1,0$ [7];

$K_{V_{\text{ж}}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{\text{ж}}} = 1,0$ [7].

$$K_V = 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,4$$

$$V_1 = 245 \cdot 0,4 = 98 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = 245 \cdot 0,4 = 98 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою (1.27):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 98}{3,14 \cdot 56} = 557 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 98}{3,14 \cdot 21,6} = 1444 \text{ об/хв}$$

Приймаємо: $n_1=550$ об/хв, $n_2=1400$ об/хв.

Дійсна швидкість різання розраховується за формулою (1.29):

$$V_{д1} = \frac{550 \cdot 3,14 \cdot 56}{1000} = 96 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{1400 \cdot 3,14 \cdot 21,6}{1000} = 95 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.39)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання [7];

$l_{пер}$ – перебігу [7].

$$L_{px1} = 2 + 25 + 26 + 9,6 + 3,5 + 2 + 7 + 2 = 77,1 \text{ мм}$$

$$L_{px2} = 2 + 66 + 2 = 70 \text{ мм}$$

Машиний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_0 \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.40)$$

$$t_o = \frac{77,1}{0,1 \cdot 550} \cdot 2 + \frac{70}{0,1 \cdot 1400} \cdot 2 = 3,8 \text{ хв}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

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	1,5	2	0,2	105	650
	02	1	1	0,1	25	2000

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7
020 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	105	650
	02	1	1	0,1	25	2000
	03	10	1	0,2	25	1000
025 Токарна з ЧПК	01	0,125	2	0,1	96	550
	02	0,15	2	0,1	95	1400
030 Фрезерна	01	4,5	6	50 мм/хв	25	500
035 Свердлильна	01	1	1	0,1	12,5	2000
	02	3	1	0,15	26	1400
040 Свердлильна	01	1	6	0,1	25	2000
	02	1,5	6	0,1	25	1500
	03	1,5	6	0,1	25	1500
065 Внутрішньошліфувальна	01	0,5	30	0,002/3	45/42	15000/300
070 Круглошліфувальна	01	0,5	1	0,002	45/45	1272/300
075 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,002	40/45	1272/400
080 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,002	40/37	1272/400
085 Круглошліфувальна	01	0,2	1	0,002	40/37	1272/400
090 Внутрішньошліфувальна	01	0,05	20	0,002/3	39,9/47	15000/350
095 Круглошліфувальна	01	0,052	1	0,002	40/35	1272/300
100 Круглошліфувальна	01	0,05	1	0,001	40/37	1272/400

1.7 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій є важливою складовою технологічного проектування, що передбачає встановлення обґрунтованих витрат робочого часу на виконання технологічних операцій. Правильно визначені норми часу забезпечують планування виробництва, розрахунок собівартості продукції та ефективну організацію праці.

Норма часу на операцію зазвичай включає основний (технологічний) час, допоміжний час, час обслуговування робочого місця, а також підготовчо-заклучний час. У серійному виробництві особливо важливим є визначення штучного та штучно-калькуляційного часу.

У практиці машинобудування застосовуються такі основні методи технічного нормування операцій:

Аналітично-розрахунковий метод, який ґрунтується на розчленуванні

операції на окремі елементи (переходи, прийоми) з подальшим визначенням часу на кожен елемент за допомогою нормативів або розрахункових формул. Цей метод є найбільш точним і широко застосовується при проектуванні нових технологічних процесів.

Дослідно-статистичний метод, який базується на використанні фактичних даних витрат часу, отриманих у результаті спостережень за аналогічними операціями в умовах діючого виробництва. Метод є простішим, але менш точним, оскільки не враховує всі особливості конкретної операції.

Нормативний метод, який передбачає встановлення норм часу на основі типових нормативів, довідників і галузевих стандартів. Він широко застосовується в умовах серійного та масового виробництва, де є значна повторюваність операцій.

Мікроелементний метод, який полягає в розкладанні операції на найпростіші трудові рухи (мікроелементи) з подальшим визначенням часу на кожен рух за спеціальними нормативами. Даний метод забезпечує високу точність, але є найбільш трудомістким.

У межах дипломного проекту для розрахунку норм часу доцільно застосовувати аналітично-розрахунковий метод із використанням нормативних даних, що дозволяє забезпечити достатню точність розрахунків та обґрунтованість отриманих значень для умов серійного виробництва деталі «Втулка».

1.7.1 Технічне нормування шліфувальної операції 095

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}} , \quad (1.41)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,4$ хв [8];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,65$ хв [8];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, $t_{\text{контр}} = 0,05$ хв [8].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,65 + 0,05 = 1,1 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.42)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,15 + 1,1 = 1,25 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.43)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{\text{дод}} = 1,25 \cdot 0,1 = 0,125 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.44)$$

$$t_{\text{шт}} = 1,25 + 0,125 = 1,37 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час:

$$T_{\text{пз}} = T_{\text{пз1}} + T_{\text{пз2}} + T_{\text{пз3}} \quad (1.45)$$

де $T_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $T_{\text{пз1}} = 7$ хв [8];

$T_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс, $T_{\text{пз2}} = 8$ хв [8];

$T_{\text{пз3}}$ – час на отримання та здачу інструменту, $T_{\text{пз3}} = 5$ хв [8].

$$t_{пз} = 8 + 7 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (1.46)$$

де n – розмір партії деталей, що запускаються у виробництво (п. 1.2).

$$t_{шт-к} = 1,37 + \frac{20}{60} = 1,7 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування свердильної операції 035

Допоміжний час на операцію розраховується за формулами (1.41):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,4 \text{ хв}$ [8];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,4 \text{ хв}$ [8];

$t_{контр}$ – час на контроль деталі, $t_{контр} = 0,2 \text{ хв}$ [8].

$$t_{доп} = 0,4 + 0,4 + 0,2 = 1,0 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{оп} = 0,07 + 1 = 1,07 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.43):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{дод} = 1,07 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.44):

$$t_{шт} = 1,07 + 0,11 = 1,18 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.45):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 10 \text{ хв}$ [8];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, $t_{пз2} = 10 \text{ хв}$ [8];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 5 \text{ хв}$ [8].

$$t_{пз} = 10 + 10 + 5 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{шт-к} = 1,18 + \frac{25}{60} = 1,6 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування токарної операції 025

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.41):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,5 \text{ хв}$ [8];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,2 \text{ хв}$ [8];

$t_{контр}$ – час на контроль деталі, $t_{контр} = 0,5 \text{ хв}$

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

Оперативний час розраховується за формулою (1.42):

$$t_{оп} = 3,8 + 1,2 = 5 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.43):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{\text{дод}} = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{шт}} = 5 + 0,5 = 5,5 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.45):

де $t_{\text{пз1}}$ – нормативний час на налагодження верстата, інструменту, пристосування, $t_{\text{пз1}} = 7$ хв [8];

$t_{\text{пз2}}$ – нормативний час отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи, $t_{\text{пз2}} = 8$ хв [8];

$$t_{\text{пз}} = 7 + 8 = 15 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт-к}} = 5,5 + \frac{15}{60} = 5,75 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – 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	15	7,62
020 Токарна з ЧПК	6,3	1,2	0,75	8,25	15	8,50
025 Токарна з ЧПК	3,8	1,2	0,50	5,50	15	5,75

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7
030 Фрезерна	12,5	1,5	1,40	15,40	20	15,73
035 Свердлильна	0,07	1	0,11	1,18	25	1,6
040 Свердлильна	4,4	1	0,54	5,94	25	6,36
065 Внутрішньошліфувальна	1,9	1,1	0,30	3,30	20	3,63
070 Круглошліфувальна	1,2	1,1	0,23	2,53	20	2,86
075 Круглошліфувальна	1,5	1,1	0,26	2,86	20	3,19
080 Круглошліфувальна	1,8	1,1	0,29	3,19	20	3,52
085 Круглошліфувальна	1,8	1,1	0,29	3,19	20	3,52
090 Внутрішньошліфувальна	0,8	1,1	0,19	2,09	20	2,42
095 Круглошліфувальна	0,15	1,1	0,125	1,37	20	1,7
100 Круглошліфувальна	0,6	1,1	0,17	1,87	20	2,20

1.8 Розробка керуючої програми на свердлильну операцію з ЧПК

Для свердлильної операції 040 керуюча програма (КП) розробляється з використанням програмного забезпечення NX CAM, яке дозволяє здійснювати повний цикл підготовки виробництва, включаючи створення моделі, вибір інструменту, призначення режимів різання та генерацію керуючого коду для верстата з ЧПК.

На першому етапі виконується створення 3D-моделі деталі «Втулка» до та після виконання свердління, що дозволяє візуально перевірити правильність формування отвору та відповідність геометрії деталі технічному завданню (рис. 1.7). На основі побудованої моделі задаються технологічні бази (рис. 1.8) та система координат обробки.

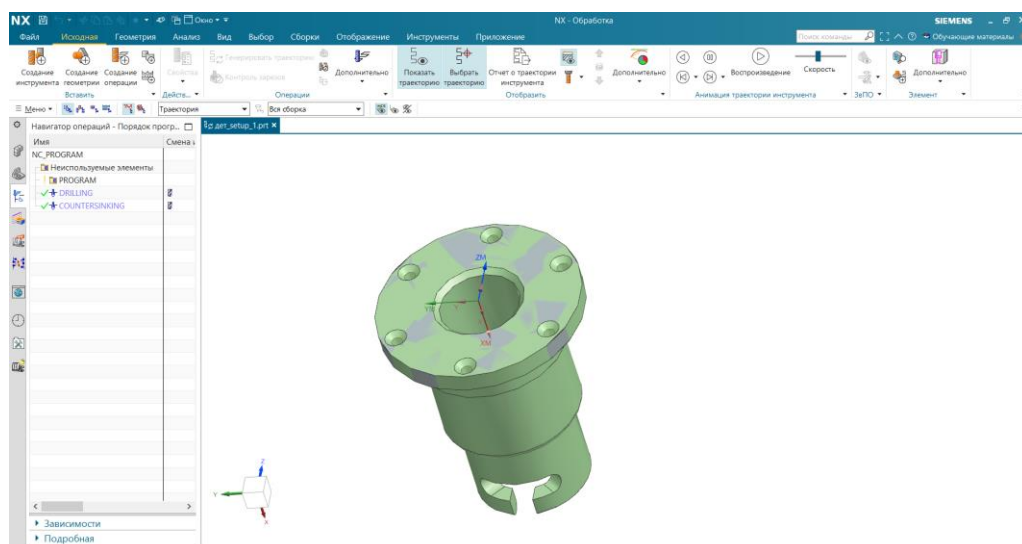


Рисунок 1.7 – 3D модель деталі

Далі у середовищі NX CAM визначається операція свердління, виконується вибір ріжучого інструменту (рис. 1.9) відповідно до діаметра отвору та матеріалу деталі, а також задаються параметри обробки, включаючи глибину свердління, подачу та частоту обертання шпинделя. Особлива увага приділяється забезпеченню оптимальних режимів різання з метою підвищення продуктивності та збереження стійкості інструменту.

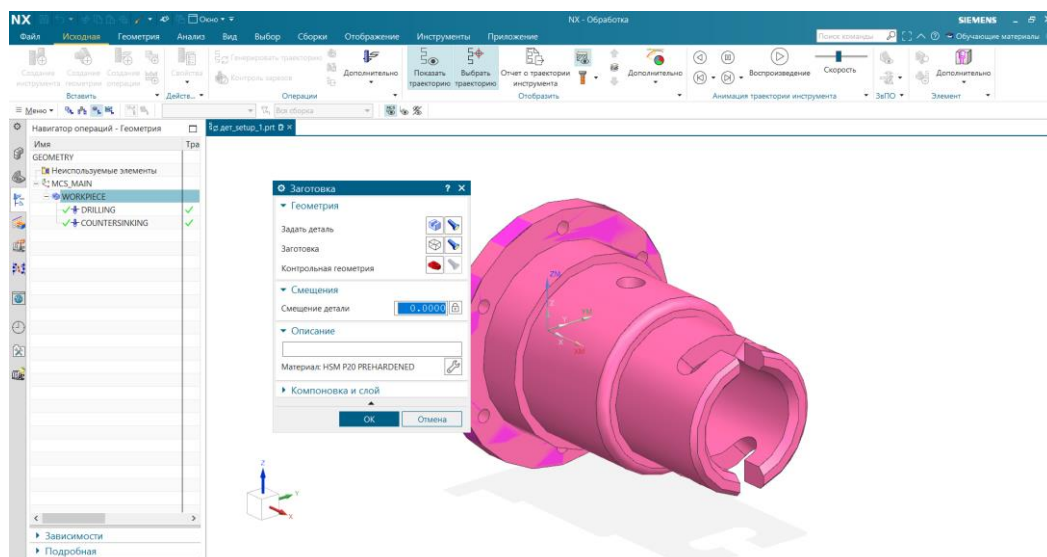


Рисунок 1.8 – Визначення деталі та заготовки

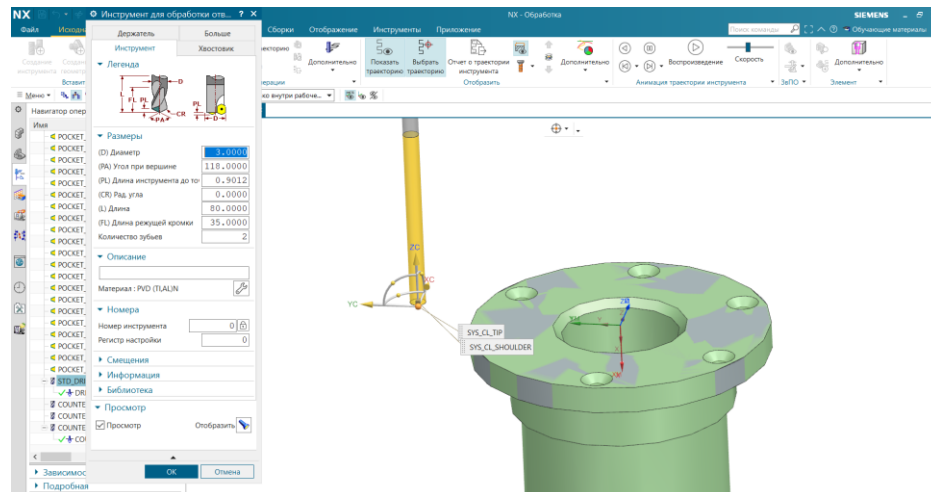


Рисунок 1.9 – Створення інструменту

Після цього здійснюється побудова траєкторії руху інструменту з урахуванням підведення, робочого ходу та відведення свердла (рис. 1.10). Виконується симуляція обробки (рис. 1.11), яка дозволяє перевірити відсутність зіткнень, коректність траєкторії та відповідність отриманого результату заданій геометрії.

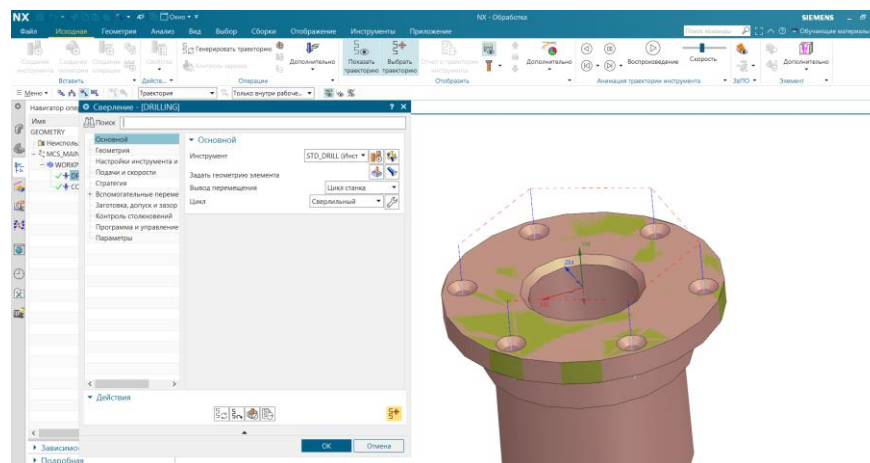


Рисунок 1.10 – Траєкторія обробки

На завершальному етапі виконується постпроцесування, в результаті якого формується керуюча програма у G-кодах, придатна для завантаження у систему ЧПК верстата (рис. 1.12). Отримана програма забезпечує автоматизоване виконання свердлильної операції з високою точністю та

повторюваністю результатів.

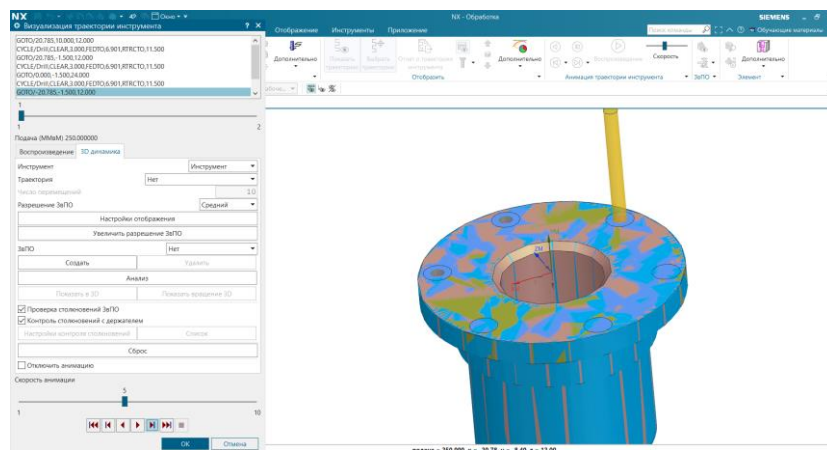


Рисунок 1.11 – Візуалізація свердління

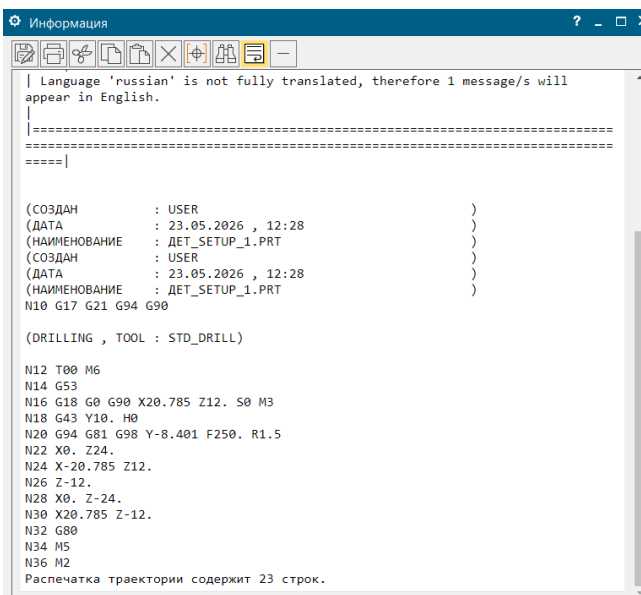


Рисунок 1.12 – Керуюча програма

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування (рис. 2.1) призначено для закріплення деталі «Втулка» при виконанні операції свердління отвору діаметром 6 мм. Використання пристосування дозволяє забезпечити точне базування деталі, стабільне положення під час обробки та підвищення продуктивності праці в умовах серійного виробництва.

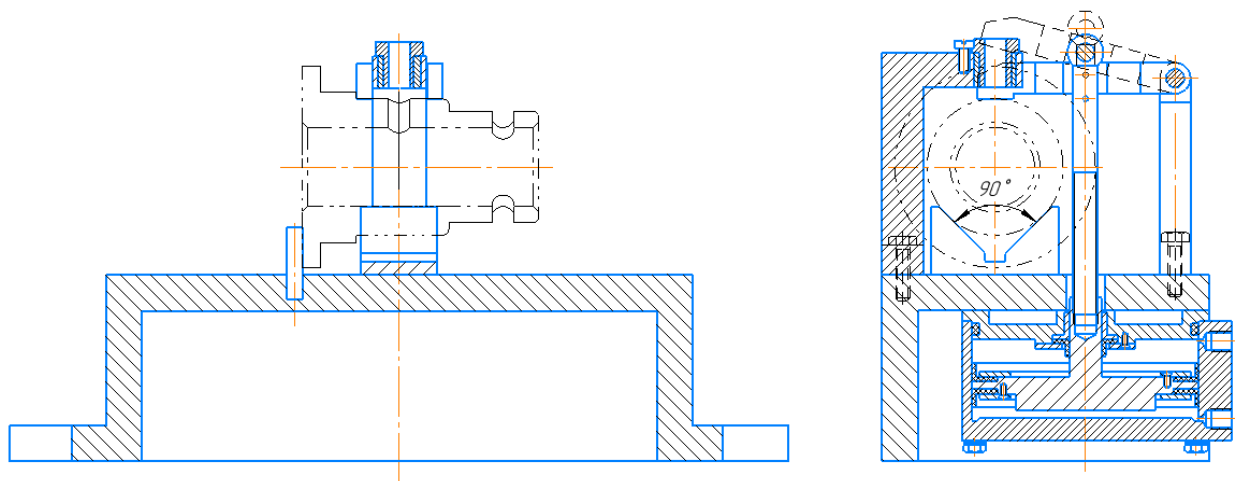


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

Основним елементом пристосування є корпус, на якому встановлені всі складові елементи пристосування. Для автоматизації процесу закріплення в конструкції передбачено пневматичний привід. Пневмоциліндр кріпиться до корпусу за допомогою гвинтів та забезпечує швидке й надійне затискання деталі.

Перед початком обробки стиснене повітря подається в порожнину пневмоциліндра, унаслідок чого шток переміщується вгору. Разом зі штоком підіймається прижим, що створює можливість встановлення деталі у

пристосування. Деталь базується на призмі та упирається в штифт, який забезпечує осьове позиціювання заготовки.

Після встановлення деталі стиснене повітря через інший канал подається у протилежну порожнину пневмоциліндра. Шток переміщується вниз та через прижим надійно затискає деталь у необхідному положенні. Така конструкція забезпечує постійну силу затиску та скорочує допоміжний час на встановлення і зняття заготовки.

Для точного напрямлення різального інструменту у пристосуванні застосовується кондукторна втулка, встановлена у кронштейні. Кондукторна втулка забезпечує точне позиціювання свердла відносно деталі та підвищує точність обробки отвору.

Запропонована конструкція пристосування забезпечує надійне базування і закріплення деталі, підвищує точність свердління, зменшує допоміжний час та покращує продуктивність обробки в умовах серійного виробництва.

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

Під час виконання технологічних операцій точність обробки деталі значною мірою залежить від похибок базування та закріплення, які виникають у процесі встановлення заготовки в пристосуванні. Дані похибки безпосередньо впливають на сумарну похибку обробки та повинні бути враховані при проектуванні технологічного оснащення.

Похибка базування виникає внаслідок неточного суміщення технологічної та вимірювальної баз, а також через наявність зазорів між базуючими поверхнями деталі та елементами пристосування. Величина цієї похибки залежить від точності виготовлення базових поверхонь, типу посадки

та схеми базування деталі.

Похибка закріплення обумовлена деформаціями деталі та елементів пристосування під дією сил затиску. При недостатній жорсткості системи «пристосування–деталь» можливі пружні відхилення, які призводять до зміщення деталі від номінального положення під час обробки.

Сумарна похибка встановлення визначається як сума похибки базування та похибки закріплення і повинна бути меншою за допустиму похибку виконуваного розміру згідно з технічними вимогами креслення.

Розрахунок пристосування на точність виконується шляхом перевірки відповідності виконавчих розмірів елементів базування допустимим відхиленням оброблюваної деталі. Основним критерієм є забезпечення того, щоб максимальне зміщення деталі в пристосуванні не перевищувало допуску на контрольований розмір або взаємне розташування поверхонь.

У межах даного проекту розглядається базування деталі за отвором та зовнішніми циліндричними поверхнями. Для зменшення похибки базування застосовується посадка з мінімальним зазором, що забезпечує стабільне центрування деталі. Похибка закріплення мінімізується за рахунок раціонального вибору схеми затиску та використання рівномірного розподілу зусиль.

Похибка встановлення розраховується за формулою:

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

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

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

Деталь встановлюється у призму (рис. 2.2) з кутом 90° , як установча база приймається циліндрична поверхня $\varnothing 38,3_{-0,1}$.

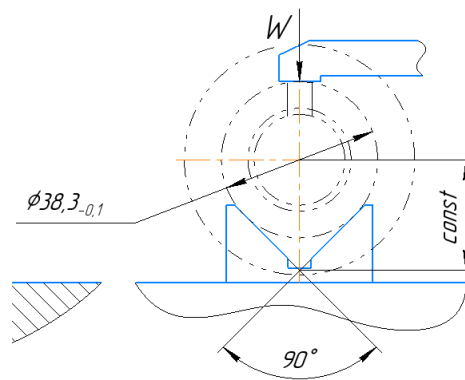


Рисунок 2.2 – Схема установки у призму

Похибка базування розраховується за формулою [9]:

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

де Td – допуск на діаметр базування;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує тип базування.

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0 \cdot 0,1 = 0 \text{ мм}$$

Так як напрям сили закріплення перпендикулярний виконавчому розміру то похибка для даного випадку становить $\varepsilon_{\text{закр}} = 0$ мм.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність (рис. 2.3) пристосування полягає у визначенні виконавчого розміру та допуску на розташування кондукторної втулки.

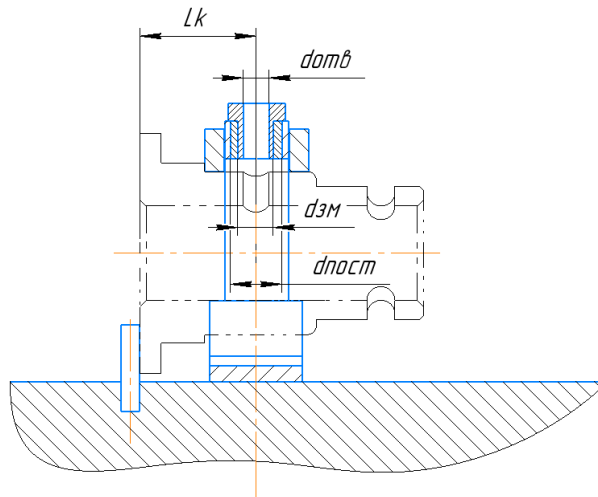


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку

Розраховуємо допуск на розмір кондукторних втулок [9]:

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

де T_d – допуск розмір обробки;

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

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

$$\Delta_2 = S_{2\text{max}} = d_{\text{max}} - d_{0\text{min}} = 0 \text{ мм} \quad (2.4)$$

Δ_3 – частка похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок;

Δ_4 – частка похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу;

Δ_5 – частка похибки обробки, що враховує перекіс інструменту в процесі обробки:

$$\Delta_5 = \frac{\Delta_1 \cdot (H + 2a)}{H} = \frac{0,06 \cdot (14 + 2 \cdot 2,5)}{14} = 0,09 \text{ мм} \quad (2.5)$$

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

a – відстань від кондукторної втулки до деталі;

$$\Delta_1 = S_{1\max} = d_{3\text{м.}\max} - d_{\text{св.}\min} = 6,028 - 5,97 = 0,058 \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$a = (0,5 - 0,8)d_{\text{св}} = 0,65 \cdot 3 = 2 \text{ мм} \quad (2.7)$$

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

$$\frac{T_k}{2} = 0,05 \leq \frac{0,2}{2} = 0,1$$

Виконавчий розмір кондукторної втулки: $27 \pm 0,05$

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Розрахунок необхідної сили затиску виконується з метою забезпечення надійного закріплення деталі в робочому пристосуванні під час виконання технологічної операції. Сила затиску повинна бути достатньою для запобігання зсуву або провертання заготовки під дією сил різання, а також для компенсації вібрацій і ударних навантажень, що виникають у процесі обробки.

Необхідна сила затиску визначається з умови рівноваги сил, що діють на деталь, і повинна перевищувати сумарні сили різання з урахуванням коефіцієнта запасу. Загальна умова надійного закріплення має вигляд, при якому сила тертя між базовими поверхнями деталі та елементами пристосування повинна бути більшою за діючі сили різання, які прагнуть змістити заготовку.

При визначенні сили затиску враховуються радіальні та тангенціальні складові сил різання, коефіцієнт тертя між контактними поверхнями, а також коефіцієнт запасу, який приймається залежно від характеру обробки та умов роботи (зазвичай 1,5–2,5 для серійного виробництва).

Розрахункова сила затиску визначається за формулою рівноваги

моментів або сил, після чого виконується перевірка на відсутність зсуву деталі в пристосуванні. Отримане значення сили затиску використовується для підбору типу та параметрів приводу затискного механізму.

У даному проекті для забезпечення стабільного та швидкодіючого затиску доцільно застосувати пневматичний привід, який характеризується простотою конструкції, високою надійністю та можливістю автоматизації процесу встановлення і зняття деталі. Пневмоциліндр підбирається за необхідним зусиллям штока з урахуванням робочого тиску пневмосистеми, діаметра поршня та втрат у механізмі передачі зусилля.

Дійсна сила закріплення згідно схеми:

$$W_d = k \cdot \frac{M_p}{L} \left(\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) - f \cdot \cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \quad (2.7)$$

де f – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

M_p – осьовий момент різання

$$M_p = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S_0^y \cdot K_{mp}; \quad (2.8)$$

де y ; q ; C_p – коефіцієнти [6].

K_{mp} – поправочний коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750} \right)^{0,3}; \quad (2.9)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750} \right)^{0,3} = 0,9$$

$$M_p = 10 \cdot 0,0345 \cdot 6^2 \cdot 0,15^{0,8} \cdot 0,9 = 1,15 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу закріплення [9]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.10)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу;

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

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту.

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання;

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

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток;

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту.

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,6$$

Сила закріплення згідно формули (2.29):

$$W = 2,6 \cdot \frac{1,15}{0,085} \left(\cos\left(\frac{90}{2}\right) \sin\left(\frac{90}{2}\right) - 0,15 \cdot \cos^2\left(\frac{90}{2}\right) \right) = 16,5 \text{ Н}$$

Визначимо силу, що діє на штоці згідно схеми [9]:

$$Q = \frac{W \cdot (L + f \cdot h)}{L_1 - f \cdot \frac{(L - L_1)}{L} \cdot R_1 - f \cdot R_2} \quad (2.11)$$

$$Q = \frac{16,5 \cdot (0,055 + 0,2 \cdot 0,01)}{0,03 - 0,15 \cdot \frac{(0,055 - 0,03)}{0,055} \cdot 0,003 - 0,15 \cdot 0,003} = 45 \text{ Н}$$

Мінімальний діаметр штока [9]:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.12)$$

де α – коефіцієнт затягування;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40Х.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 45}{3,14 \cdot 100}} = 2 \rightarrow 10 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра [9]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.13)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя;

p – тиск в пневматичній системі.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 45}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,85} + 10^2} = 43 \rightarrow 63 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 2.4) використовується для вимірювання радіального биття шийки діаметром 38 мм відносно бази А. Застосування даного пристосування забезпечує підвищення точності контрольних вимірювань та скорочення часу виконання операції контролю.

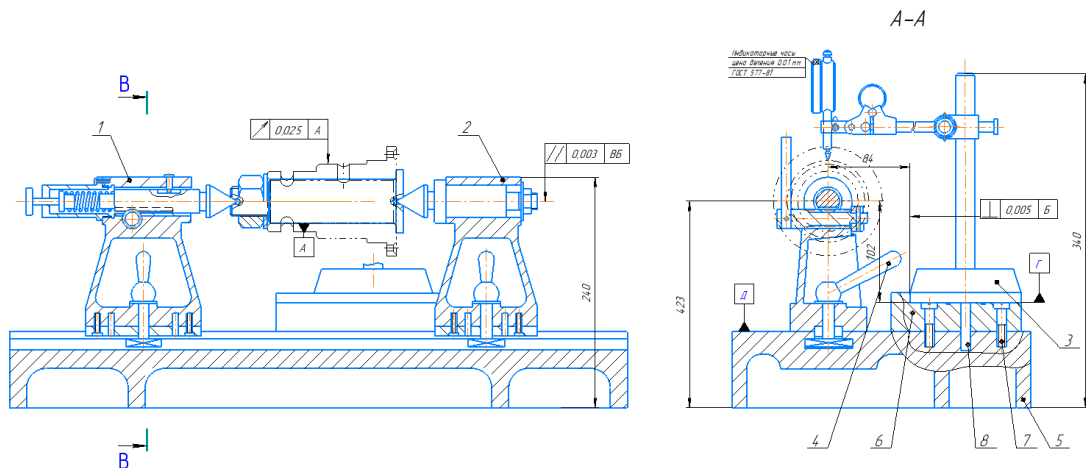


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

Конструктивно пристосування виконано у вигляді корпусу, на якому змонтовані два центрувальні елементи. Центри встановлені з можливістю переміщення вздовж напрямних корпусу, що дозволяє регулювати їх положення відповідно до розмірів контрольованої деталі. Після налаштування

необхідного положення центри фіксуються за допомогою гвинтового затиску, що забезпечує жорсткість і стабільність базування під час вимірювання.

На корпусі встановлена штанга з індикаторним годинником. Штанга має можливість переміщення у напрямку, перпендикулярному до осі деталі, що дозволяє встановлювати індикаторний годинник у необхідне положення для виконання вимірювання.

Під час контролю деталей встановлюється на оправку по отвору діаметром 22 мм (база А). Такий спосіб базування забезпечує точне встановлення деталі відносно осі обертання та мінімізує похибки вимірювання.

Індикаторний годинник встановлюється на контрольовану шийку. Перед початком вимірювання стрілку індикатора встановлюють на нуль, забезпечуючи необхідний попередній натяг 0,5...1 мм. Після цього деталь плавно обертають навколо осі, а за показами індикаторного годинника визначають величину радіального биття як різницю між максимальним та мінімальним відхиленнями стрілки.

Конструкція контрольного пристосування забезпечує надійне базування деталі, високу точність вимірювання та зручність виконання контрольної операції. Застосування даного пристосування дозволяє оперативно контролювати відповідність геометричних параметрів деталі вимогам технічної документації та забезпечувати необхідну якість виготовлення.

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Розрахунок деталі «Втулка» на міцність виконується у програмному комплексі NX CAE із використанням методу скінченних елементів. Оцінювання міцності здійснюється шляхом порівняння отриманого значення коефіцієнта запасу міцності з допустимим для заданого матеріалу.

Найбільш навантаженою зоною деталі «Втулка» є паз на діаметрі 31 мм, який служить для фіксації ручки перемикавання режимів роботи редуктора. У процесі експлуатації через елементи коробки передач на дану ділянку може передаватися зусилля приблизно 2000 Н.

Під час виконання розрахунку була побудована тривимірна модель деталі, після чого сформовано скінченно-елементну сітку для дискретизації конструкції. Закріплення моделі задавалося по поверхнях контакту втулки з суміжними елементами механізму. Прикладене навантаження моделювалося у вигляді розподіленої сили, що діє на поверхні паза.

Максимальні напруження в деталі повинні задовольняти умову міцності:

$$\sigma_{max} \leq \frac{[\sigma]}{k} \quad (2.14)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності, $[\sigma]=750$ МПа [1];

k – коефіцієнт запасу міцності, $k=1,5 \dots 3$.

Для комп'ютерного розрахунку спочатку створюємо 3D-модель деталі. Далі 3D-модель деталі було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 2.5).

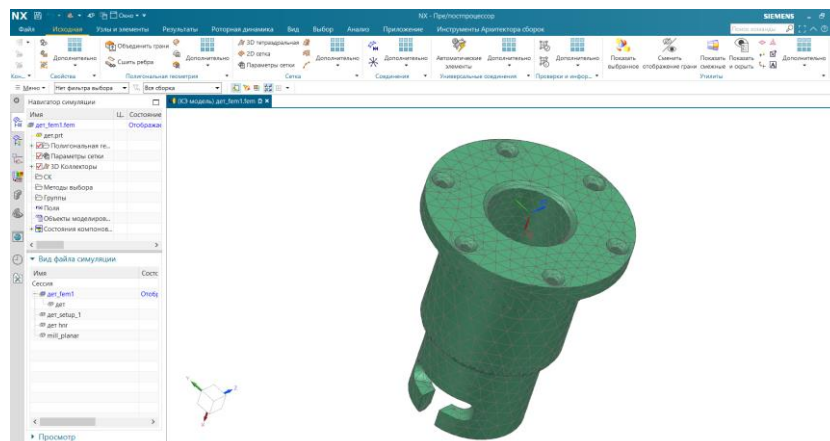


Рисунок 2.5 – 3D-модель, розбита на сітку кінцевих елементів

Наступним кроком було закріплення деталі по отворах 3 мм та в пазу було прикладено силу (рис. 2.6).

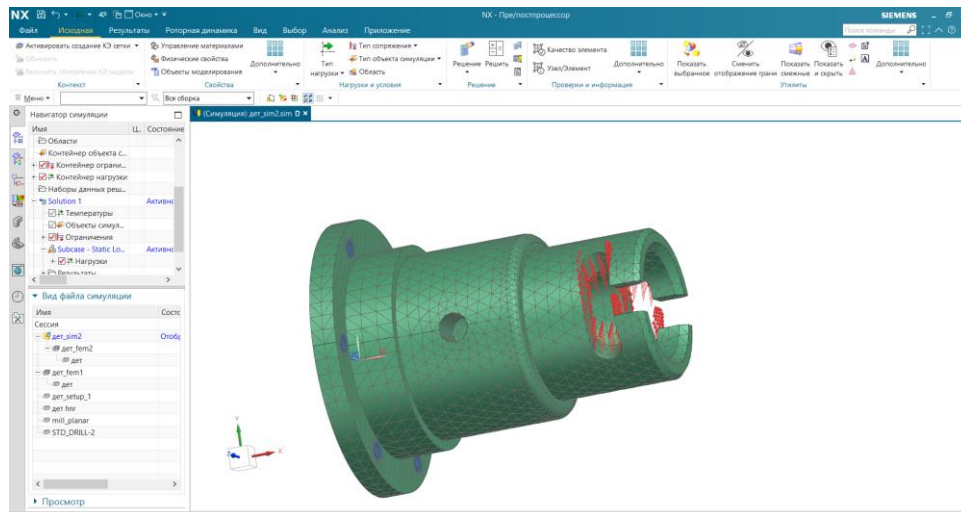


Рисунок 2.6 – 3D-модель з накладеними обмеженнями

Після розрахунку деталі на міцність отримано максимальні напруження рівні 211 МПа (рис. 2.7), які знаходяться в отворах та переході фланцю деталі в циліндричну частину.

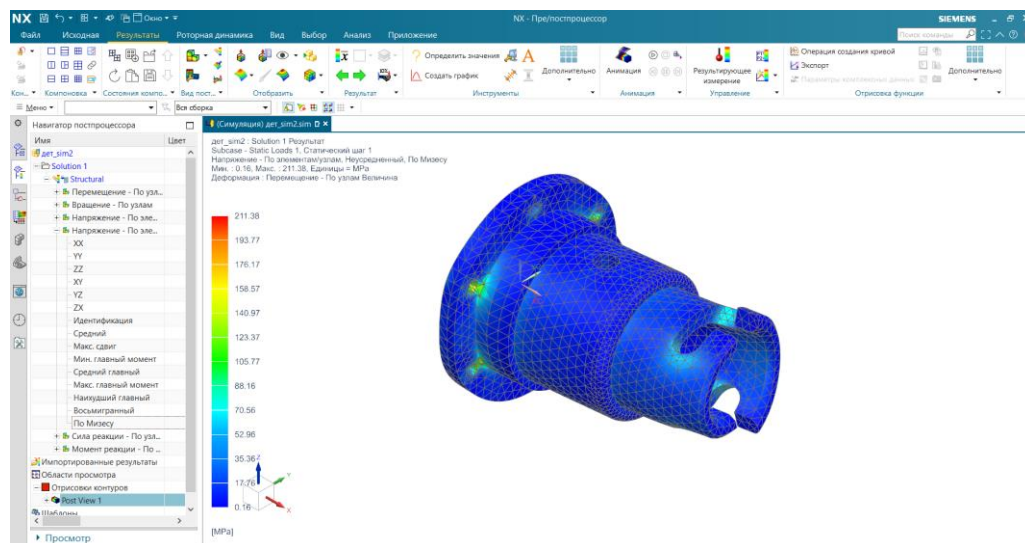


Рисунок 2.7 – Розподіл напружень

Згідно формули (2.14) виконаємо перевірку умови міцності:

$$\sigma_{max} = 211 \text{ МПа} \leq \frac{750}{1,5} = 500 \text{ МПа}$$

За результатами моделювання міцність деталі «Втулка» забезпечується.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Річна верстатоемність розрахуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-к_j} \cdot N \quad (3.1)$$

де N – річна програма випуску.

Результати розрахунку за формулою (3.1) приведено в таблиці 3.1.

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{j=1} t_{ш-к_j} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.2)$$

де $F_g \cdot m$ – фонд часу роботи верстата за рік.

Результати розрахунку за формулою (3.2) приведено в таблиці 3.1.

Значення розрахункової кількості верстатів (S_p) округлюємо до цілого значення і приймаємо його (S_n) для подальших розрахунків.

Коефіцієнт завантаження верстата визначаємо за формулою:

$$K_{3j} = \frac{S_p}{S_n} \quad (3.3)$$

Результати розрахунку за формулою (3.3) приведено в таблиці 3.1.

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

$$\overline{K_3} = \frac{\sum S_p}{\sum S_n} \quad (3.4)$$

$$\overline{K_3} = \frac{1,36}{13} = 0,1$$

Таблиця 3.1 – Вихідні дані та результати розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання та його завантаження

Номер операції	Модель верстата	$t_{ш-к}$, хв	$t_{ш-к_j} \cdot N$, хв	S_p , шт	S_n , шт	K_3
015	DOOSAN GT2100	7,62	38100,00	0,16	1	0,16
020	DOOSAN GT2100	8,50	42500,00	0,18	1	0,18
025	DOOSAN GT2100	5,75	28750,00	0,12	1	0,12
030	Cormak MILL 500 ECOLINE	15,73	78666,67	0,33	1	0,33
035	JET JMD-1	1,59	7968,33	0,03	1	0,03
040	MAST MM 640 S16	6,36	31783,33	0,13	1	0,13
065	3K228	3,63	18166,67	0,08	1	0,08
070	3A151	2,86	14316,67	0,06	1	0,06
075	3A151	3,19	15966,67	0,07	1	0,07
080	3A151	3,52	17616,67	0,07	1	0,07
085	3K228	2,42	12116,67	0,05	1	0,05
090	3A151	1,71	8541,67	0,04	1	0,04
095	3A151	2,20	11016,67	0,05	1	0,05

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей «Втулка»: $O=12$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів з ЧПК (операції 015...025). Максимальне значення основного часу буде на операції 015 – 5,5 хв.

Розрахуємо кількість верстатів, яке може обслужити один оператор, за формулою:

$$m_s = \frac{t_{o\max} + t_{доп}}{t_{доп} + t_{пер}} \quad (3.5)$$

де $t_{o\max}$ – максимальний основний час на верстатах об'єднаних в багатOVERстатну зону обслуговування, хв;

$t_{\text{пер}}=0,15$ хв – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{5,5 + 1,2}{0,67 + 0,15} = 8,2$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_j = \frac{\sum S_n}{m_{sj}} \quad (3.6)$$

$$R_1 = \frac{3}{8,2} = 0,36$$

Згідно розрахунків призначаємо для роботи на трьох верстатах одного оператора. Таким чином, для обслуговування $O=13$ верстатів необхідно $M=12$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

$$K_{30} = \frac{O}{M} \quad (3.7)$$

$$K_{30} = \frac{13}{12} = 1,08$$

Так як $1 < K_{30} < 10$, то остаточно тип виробництва приймаємо як серійний, а форму організації виробництва на лінії обробки – змінно-потокову. Але через те, що середній коефіцієнт завантаження верстатів досить малий (0,07, то дільницю виробництва деталей «Втулка» необхідно завантажити типовими деталями до рівня $\overline{K_3} > 0,7$.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Оцінку очікуваної економічної ефективності заходів від розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка» проведемо за рахунок порівняння токарної обробки на існуючих на підприємстві універсальних верстатах (перший варіант) та на сучасних верстатів з ЧПК, при їх придбанні, (другий варіант) згідно таблиці 4.1.

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників за формулою [10]:

$$З_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_{б} \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (4.1)$$

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

$t_{шти}$ – норма штучного часу виконання і-ой 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 4.2, 4.3.

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [10]:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{тар} \cdot Ч_n \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (4.2)$$

де $C_{тар.н}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2096$ год;

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

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Перший варіант					Другий варіант		
Модель верстата	1K62	1K62	1K62	1K62	1K62	DOOSAN GT2100	DOOSAN GT2100	DOOSAN GT2100
Штучний час $t_{шт}$, хв	7,5	7,6	8,3	8,8	5,3	7,37	8,25	5,5
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	172640					2184000		
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14	14	14	14	14	12,2	12,2	12,2
Потужність електродвигунів N , кВт	10	10	10	10	10	15	15	15

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
010	Токарна	7,5	76,6	1,2	1,4	16,09
015	Токарна	7,6	76,6	1,2	1,4	16,30
020	Токарна	8,3	76,6	1,2	1,4	17,80
025	Токарна	8,8	76,6	1,2	1,4	18,87
030	Токарна	5,3	76,6	1,2	1,4	11,37
					Σ	80,43

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	7,37	57,5	1,2	1,4	11,87
20	Токарна	8,25	76,6	1,2	1,4	17,69
25	Токарна	5,5	76,6	1,2	1,4	11,80
					Σ	41,36

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ _р , год	C _{тар} , грн	Ч _н	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
20	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
25	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
						Σ	30,48

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [10]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт}} - k_i}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (4.3)$$

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

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [10]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_{\text{м}}}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (4.4)$$

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

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

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$;

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

$n_{\text{ін}}$ – 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 4.7, 4.8.

Таблиця 4.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	К, грн	На, %	$F_{\text{д}}$	$A_{\text{від}}$, грн
010	Токарна	7,5	172640	14	4015	0,75
015	Токарна	7,6	172640	14	4015	0,76
020	Токарна	8,3	172640	14	4015	0,83
025	Токарна	8,8	172640	14	4015	0,88
030	Токарна	5,3	172640	14	4015	0,53
					Σ	3,76

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [10]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (4.5)$$

де N_B – 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_q – 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, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_B – коефіцієнт виконання норм часу;

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Витрати на електроенергію за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	k_q	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010	Токарна	7,5	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,35
015	Токарна	7,6	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,37
020	Токарна	8,3	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,50
025	Токарна	8,8	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,59
030	Токарна	5,3	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	0,96
										Σ	6,77

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Це грн	N _e кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _e	k _в	S _e , грн
015	Токарна	7,37	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,91
020	Токарна	8,25	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	5,50
025	Токарна	5,5	3,45	15	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	3,67
										Σ	14,08

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [10]:

$$S_p = \frac{C_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (4.6)$$

де $C_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.11, 4.12.

Таблиця 4.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	C _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	172640	0,02	0,64	1,10
015	Токарна	172640	0,02	0,64	1,10
020	Токарна	172640	0,02	0,64	1,10
025	Токарна	172640	0,02	0,64	1,10
030	Токарна	172640	0,02	0,64	1,10
				Σ	5,52

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	К _р	С _р	С _р , грн
015	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
020	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
025	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
				Σ	51,11

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою [10]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ин} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (4.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

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

$t_{ин}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{ин} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{ин} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – 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 4.13.

Таблиця 4.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ін}$, хв	K_T	T_M	m	S_n грн
015	Токарна	Різець прохід	7,37	50,9	6	4	0,9	80	2	0,18
020	Токарна	Різець прохід.	8,25	50,9	6	4	0,9	80	2	0,11
		Свердло		50,9	6	4	0,9	80	2	0,10
025	Токарна	Різець прохід.	5,5	50,9	6	4	0,9	80	2	0,06
		Різець розт.		50,9	6	4	0,9	80	2	0,07
									Σ	0,52

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [10]:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (4.8)$$

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

$$I_{n1} = 80,43 \cdot 0,2 = 16,08 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 41,36 \cdot 0,2 = 8,27 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [10]:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (4.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 4.14.

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [10]:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (4.10)$$

$$E_{ур} = (143,97 - 184,32) \cdot 5000 = -201750 \text{ грн}$$

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	80,43	41,36
Заробітна плата наладчика	Z_n		30,48
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	3,76	23,36
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	31,41	15,14
Витрати на електроенергію	S_e	6,77	14,08
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	5,52	51,11
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,52
Витрати інші	I_n	16,08	8,27
Технологічна собівартість	C_t	143,97	184,32

Згідно розрахунків при використанні верстатів з ЧПК з річною партією 5000 шт не має економії від впровадження за статтею собівартість, а є збитки рівні 201750 грн. Для отримання прибутку необхідно збільшити програму випуску даної деталі або дозавантажити дільницю іншими деталями.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання. Зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням:

$$K_o = \frac{C_{\text{об}} \cdot t_{\text{шт.к.}}}{60 \cdot F_d} \quad (4.11)$$

У таблиці 4.15-4.16 розраховані капітальні витрати за формулою (4.11).

Таблиця 4.15 - Капітальні витрати на обладнання за першим ТП

№ опер	Найменування операції	Т _{шт} , хв	Ц, грн	Е _д	К _о , грн
010	Токарна	7,5	172640	4015	5,37
015	Токарна	7,6	172640	4015	5,45
020	Токарна	8,3	172640	4015	5,95
025	Токарна	8,8	172640	4015	6,31
030	Токарна	5,3	172640	4015	3,80
		Σ	690560	Σ	26,87

Таблиця 4.16 - Капітальні витрати на обладнання за другим ТП

№ опер	Найменування операції	Т _{шт} , хв	Ц, грн	Е _д	К _о , грн
015	Токарна	7,37	1336000	4015	40,87
020	Токарна	8,25	1336000	4015	45,75
025	Токарна	5,5	1336000	4015	30,50
		Σ	4008000	Σ	117,13

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою:

$$B_{\text{нав}} = C + E_n K, \quad (4.12)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням $B_{\text{нав}}$.

У таблиці 4.17 наведено результати порівняння.

Аналіз таблиці 4.17 показує, що придбання та використання високотехнологічного дорогого обладнання в умовах багатосерійного типу виробництва дає збиток 653050 грн.

Таблиця 4.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Технологічна собівартість деталі	C_T	143,97	184,32
Капітальні витрати на деталь	K_o	26,87	117,13
Наведені витрати на деталь	W_o	170,84	301,45
Собівартість річної програми	C_p	690560	4008000
Капітальні витрати на програму	$K_{оріч}$	134350	585650
Наведені витрати на програму	$W_{річ}$	854200	1507250
Річна економія (збиток), грн	ΔW	-653050	

Розрахуємо критичний обсяг виробництва, при якому наведені витрати за варіантами рівні за формулою:

$$N_{кр} = \frac{(C_{2пост} - C_{1пост}) + 0,15 \cdot (K_2 - K_1)}{C_{1зм} - C_{2зм}}, \text{ шт} \quad (4.13)$$

де $N_{кр}$ – критичний обсяг діяльності;

$C_{1пост}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

$C_{2пост}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

K_1 – капітальні витрати за першим варіантом;

K_2 – капітальні витрати за другим варіантом;

$C_{1зм}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за першим варіантом;

$C_{2зм}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за другим варіантом.

$$N_{кр} = \frac{(4008000 - 690560) + 0,15 \cdot (117,13 - 26,878)}{184,32 - 143,97} = 82216,2 \text{ шт}$$

Таким чином, якщо програма випуску менше $N_{кр}$, то більш вигідний перший варіант ТП. Якщо більше – 82216,2шт, то більш вигідний другий варіант ТП.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час виконання операції свердління отворів у деталі «Втулка» на фрезерних верстатах з ЧПК необхідно дотримуватись вимог охорони праці та техніки безпеки, оскільки процес обробки супроводжується дією небезпечних виробничих факторів [11]. До основних небезпек належать обертання різального інструменту та шпинделя, утворення металевої стружки, можливість руйнування інструменту, підвищений рівень шуму, а також небезпека ураження електричним струмом.

До роботи на фрезерних верстатах з ЧПК допускаються лише працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, ознайомлені з правилами експлуатації обладнання та мають відповідну кваліфікацію. Перед початком роботи оператор повинен перевірити справність верстата, наявність захисних огорожень, роботу системи аварійного вимкнення та стан електрообладнання.

Особливу увагу необхідно приділяти правильності закріплення деталі «Втулка» у пристосуванні. Деталь повинна бути надійно зафіксована, а пневматичний затиск – справний та герметичний. Забороняється виконувати обробку при ненадійному закріпленні заготовки або інструменту, оскільки це може призвести до зміщення деталі та аварійної ситуації.

Під час роботи оператор повинен використовувати засоби індивідуального захисту. Спецодяг має бути щільно застібнутим і не мати звисаючих частин. Для захисту очей від стружки та частинок металу необхідно використовувати захисні окуляри або захисний екран верстата. Волосся повинно бути прибрано під головний убір. Робота в рукавицях безпосередньо біля обертового інструменту забороняється через небезпеку їх захоплення шпинделем.

Під час свердління необхідно контролювати подачу мастильно-охолоджувальної рідини, яка забезпечує охолодження інструменту та

покращує умови різання. Видалення стружки слід виконувати тільки після повної зупинки шпинделя за допомогою спеціальних щіток або гачків. Забороняється прибирати стружку руками або під час обертання інструменту.

При роботі на верстатах з ЧПК забороняється відкривати захисні дверцята під час виконання програми, торкатися рухомих частин верстата та виконувати вимірювання деталі до повної зупинки шпинделя [11].

Робоче місце повинно утримуватись у чистоті, проходи не повинні бути захащені деталями або інструментом. Освітлення робочої зони має забезпечувати достатню видимість елементів керування та зони обробки.

Дотримання вимог охорони праці при роботі на фрезерних верстатах з ЧПК забезпечує безпечні умови праці, знижує ризик виробничого травматизму та підвищує надійність виконання операції свердління отворів у деталі «Втулка».

Під час роботи на фрезерних верстатах з ЧПК оператори повинні використовувати засоби індивідуального захисту, які забезпечують безпечні умови праці та знижують ризик виробничого травматизму. Необхідність застосування засобів захисту пов'язана з наявністю небезпечних факторів, таких як обертання різального інструменту, виліт стружки, підвищений рівень шуму, використання мастильно-охолоджувальних рідин та можливість контакту з рухомими частинами обладнання.

Оператор повинен працювати у спеціальному одязі, який захищає від забруднення, механічних пошкоджень та дії мастильно-охолоджувальних рідин. Спецодяг має бути щільно застібнутим і не мати вільних або звисаючих частин, що можуть бути захоплені рухомими елементами верстата. Для захисту ніг застосовують спеціальне взуття з неслизькою підошвою та захисним підноском.

Для захисту очей від металевої стружки та частинок інструменту використовують захисні окуляри або захисні екрани верстата. У випадках підвищеного рівня шуму оператори повинні застосовувати протишумові навушники або вкладиші.

При виконанні допоміжних операцій, пов'язаних із транспортуванням заготовок або прибиранням стружки, допускається використання захисних рукавиць. Безпосередньо під час роботи верстата та контакту з обертовим інструментом працювати в рукавицях забороняється через небезпеку їх захоплення.

Для захисту органів дихання у випадку утворення пилу або аерозолів мастильно-охолоджувальних рідин можуть використовуватись респіратори. Волосся оператора повинно бути прибрано під головний убір, а використання прикрас та інших сторонніх предметів під час роботи не допускається.

Крім засобів індивідуального захисту, на верстатах з ЧПК використовуються колективні засоби захисту. До них належать захисні огороження робочої зони, блокувальні пристрої, аварійні кнопки зупинки, системи автоматичного вимкнення та місцеве освітлення робочої зони.

Застосування засобів захисту дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію фрезерних верстатів з ЧПК, зменшити ризик травматизму та створити безпечні умови праці для операторів виробничої дільниці.

Для забезпечення пожежної безпеки на виробничій дільниці, де експлуатуються фрезерні верстати з ЧПК, необхідно застосовувати комплекс організаційних та технічних засобів пожежного захисту. Це дозволяє запобігти виникненню пожежі, своєчасно виявити загоряння та забезпечити швидку ліквідацію небезпечної ситуації.

Основними засобами пожежної безпеки на дільниці є первинні засоби пожежогасіння. Для гасіння можливих загорянь електрообладнання, мастильно-охолоджувальних рідин та ізоляційних матеріалів застосовуються порошкові та вуглекислотні вогнегасники. Вони повинні розміщуватись у легкодоступних місцях поблизу обладнання та проходити регулярну перевірку технічного стану.

У виробничих приміщеннях також передбачаються пожежні крани, пожежні рукави та ящики з піском. Для локалізації невеликих осередків займання можуть використовуватись азбестові полотна або протипожежні

покривала.

Важливим засобом пожежної безпеки є автоматичні системи захисту електрообладнання. До них належать автоматичні вимикачі, запобіжники та пристрої аварійного відключення, які спрацьовують при короткому замиканні або перевантаженні електромережі.

Для своєчасного виявлення пожежі виробничі приміщення можуть оснащуватись системами пожежної сигналізації та датчиками диму. У разі виникнення небезпеки система подає звуковий або світловий сигнал для оперативного реагування персоналу.

Особливе значення має підтримання чистоти на робочих місцях. Металева стружка, залишки мастил та горючих матеріалів повинні регулярно прибиратись, оскільки їх накопичення підвищує ризик займання.

На ділянці повинні бути встановлені знаки пожежної безпеки, схеми евакуації та покажчики напрямку руху до евакуаційних виходів. Проходи та виходи не допускається захащувати обладнанням або матеріалами.

Працівники повинні проходити інструктаж з пожежної безпеки, знати правила користування вогнегасниками та порядок дій у разі виникнення пожежі. Куріння та використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях забороняється.

Застосування засобів пожежної безпеки дозволяє забезпечити безпечні умови праці, знизити ризик виникнення пожежі та мінімізувати можливі наслідки аварійних ситуацій на виробничій ділянці.

Під час експлуатації фрезерних верстатів з ЧПК особливу увагу необхідно приділяти забезпеченню електробезпеки, оскільки обладнання працює від електричної мережі високої потужності та містить електроприводи, системи керування, датчики та інше електрообладнання. Недотримання вимог електробезпеки може призвести до ураження електричним струмом, виходу обладнання з ладу або виникнення пожежі.

Для забезпечення безпечної роботи всі металеві частини верстатів, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні

бути надійно заземлені. Захисне заземлення забезпечує відведення струму у землю та знижує ризик ураження працівника електричним струмом.

Електричні шафи верстатів з ЧПК повинні бути закритими та оснащеними блокувальними пристроями, які унеможливають доступ до струмоведучих частин під час роботи обладнання. Відкривати електрошафи та виконувати ремонт електрообладнання дозволяється лише кваліфікованому електротехнічному персоналу.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити справність електрообладнання, стан кабелів, наявність захисного заземлення та цілісність ізоляції проводів. Забороняється працювати на обладнанні при пошкодженій ізоляції, несправних вимикачах або відсутності заземлення.

Важливим елементом електробезпеки є застосування автоматичних вимикачів та пристроїв захисного відключення, які автоматично вимикають живлення при короткому замиканні, перевантаженні або витоку струму.

Підлога біля верстатів повинна бути сухою та неслизькою. У вологих приміщеннях або місцях з підвищеною небезпекою рекомендується використовувати діелектричні килимки. Оператору забороняється торкатися електрообладнання мокрими руками або працювати у вологому спецодязі.

При виникненні несправностей, запаху горілої ізоляції, іскріння або самовільного вимкнення обладнання верстат необхідно негайно зупинити та повідомити відповідальний персонал. Самостійне усунення несправностей оператором не допускається.

Працівники, які обслуговують верстати з ЧПК, повинні проходити інструктаж та перевірку знань з електробезпеки відповідно до вимог нормативних документів.

Дотримання вимог електробезпеки забезпечує безпечну експлуатацію обладнання, запобігає виникненню аварійних ситуацій та створює безпечні умови праці на виробничій дільниці.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка»» було виконано комплексне проектування технологічного процесу механічної обробки деталі в умовах серійного виробництва.

На основі аналізу конструкції деталі, матеріалу та річної програми випуску обрано найбільш раціональний спосіб отримання заготовки – штампування в закритому штампі на кривошипному гаряче штампованому пресі. Обрана заготовка забезпечує високу точність, зменшення припусків на механічну обробку та зниження витрат матеріалу. Маса заготовки становить 0,86 кг, а коефіцієнт використання матеріалу дорівнює 0,43. У результаті вибору раціонального способу отримання заготовки досягнуто економічного ефекту в розмірі 68500 грн.

У роботі розроблено маршрут виготовлення деталі, визначено послідовність виконання технологічних операцій та обрано необхідне технологічне обладнання, інструмент і оснащення. Для основних поверхонь деталі виконано розрахунок припусків і технологічних розмірів. Також призначено режими різання та виконано технічне нормування операцій з визначенням основного, допоміжного, штучного та штучно-калькуляційного часу.

Для операції свердління розроблено керуючу програму для верстата з ЧПК, що дозволяє забезпечити високу точність обробки, стабільність якості та підвищення продуктивності праці.

У дипломній роботі також спроектовано спеціальне пристосування для свердління отвору, яке забезпечує надійне базування та закріплення деталі, скорочення допоміжного часу та підвищення точності обробки.

Було виконано розрахунок виробничої ділянки, визначено необхідну кількість обладнання, організацію робочих місць та раціональне розташування верстатів відповідно до технологічного маршруту.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці. У роботі розглянуто заходи з електробезпеки, пожежної безпеки, а також засоби індивідуального захисту при роботі на верстатах з ЧПК.

Таким чином, у результаті виконання дипломної роботи розроблено повний технологічний процес виготовлення деталі «Втулка», який забезпечує необхідну точність, якість, продуктивність та економічну ефективність виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Марка сталі 40Х: використання, хімічний склад та властивості. URL: <https://olteh.com.ua/articles/2664264-marka-stali-40h-vikoristannya-himichniy-sklad-ta-vlastivosti/> (дата звернення : 01.05.2026).
2. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування : навчальний посібник для студ. Машинобуд. спец. вищ. навч. закл. Запоріжжя : ВАТ «Мотор Січ», 2003. 336 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. 57 с.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Н.В. Гончар, Л.О. Тумарченко, В.М. Томілін. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2024. 74 с.
5. Юрчишин І.І. та ін. Технологія машинобудування. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. 528 с.
6. Медвідь М.В., Шабайкович В.А. Теоретичні основи технології машинобудування. Львів: Вища школа, 1976. 256 с
7. Руденко П.А. Проектування технологічних процесів в машинобудування. Київ: Вища школа, 1985. 256с.
8. Джур Є.О., Бондаренко О.В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина : навч. посіб. Д.: “Інновація”, 2011. 109 с.
9. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізацією «Комп’ютерне проектування верстатів, роботів і машин» / НТУУ «КПІ ім.

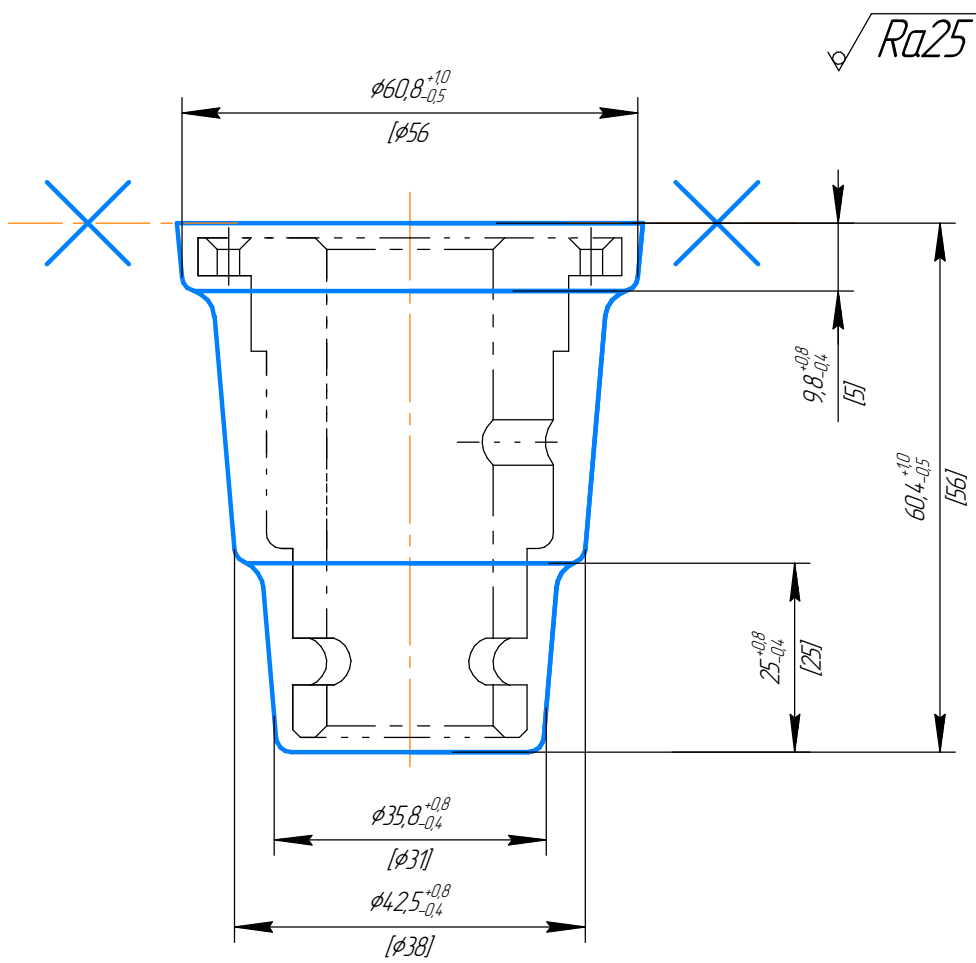
Ігоря Сікорського» ; уклад. : В. П. Приходько, О. В. Литвин. Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. 211 с

10. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Г.В. Пухальська Н.В. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2023. 41 с.

11. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В., Гаман М. В. Основи охорони праці : Підручн. для проф. -техн. навч. закладів. – 2-ге вид., допов., перероб. Київ : Вікторія, 2001. 192 с.

Додаток А
Технологічні карти

					Опер 005	НУЗП 0214.126028	1	1	
Розроб.	Пятковський			НУЗП	НУЗП 713644.028		М-113сп.2014.1.00005		
Перевір.	Пухальська								
				Втулка					
Н.контр.	Дядя								005



Технічні умови на заготовку				
Матеріал		Заготовка		
Найменування та марка	Код	Код і вид	Профіль і розмір	
Сталь 40Х		штамповка	$\phi 60,8 \times 60,4$	
ДСТУ 7806:2015				
Технічні умови		Маркування	Твердість	Маса деталі
ГОСТ 84 79-70			174...217 HB	0,4
Сортament		Допустима кривизна		КВМ
		0,6		0,43
Розмір вихідного матеріалу		Кільк. із заг.	Норма розходу	
			Розм. листа, прутка	Маса
$\phi 50 \times 80$		1		0,86

1. Зміщення по лінії роз'єму штапу - до 1,2 мм.
2. Невказані радіуси заокруглень 6 мм, формувальні ухили 5°.
3. Допустимі задирки після обдирки облою - 1,5 мм.
4. Клас точності Т2, група сталі М2, ступінь складності С4.
5. Заготовка - штамповка гр. II по ГОСТ 84 79-70.
6. Допуск на штамповочні розміри по II кл. точності по ГОСТ 7505-89.

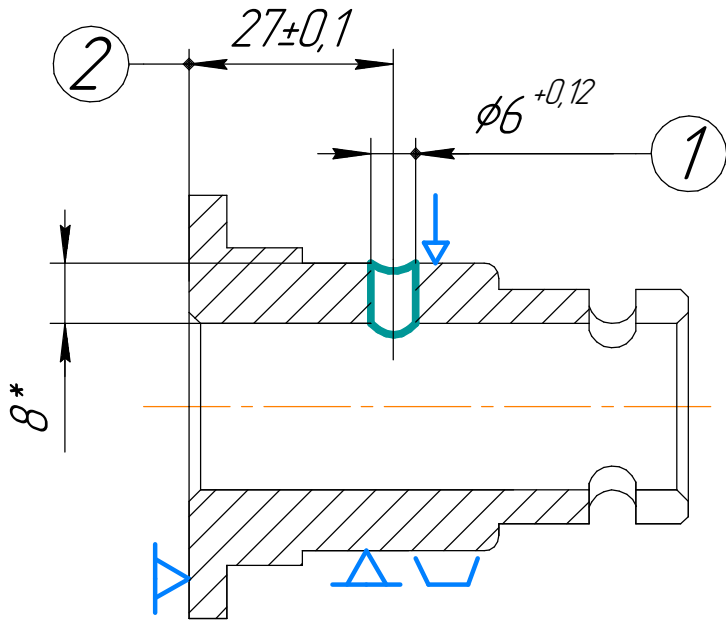
Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

ГОСТ 3.1105-84				Форма 7

						НУЗП 0214.1.26028		1	1
Розроб.	Пятковський			НУЗП	НУЗП 713644.028	М-113сп.2014.1.00035			
Перевір.	Пухальська								
Н. контр.	Дядя				Втулка				035


Ra3.2



* розміри для довідок

КЗ			
----	--	--	--

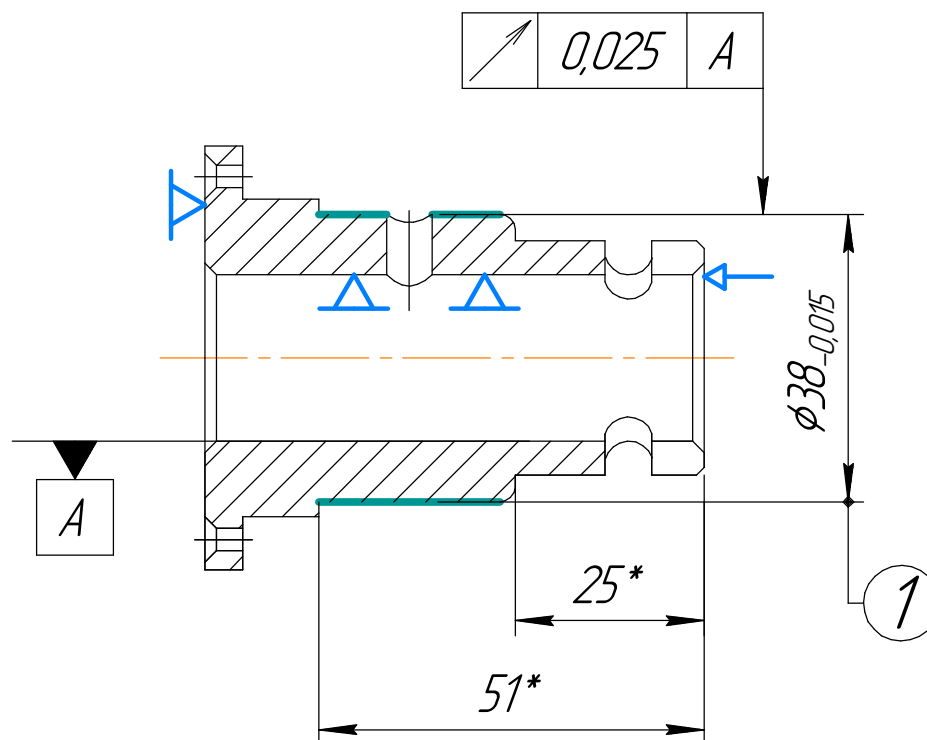
1001	2125	3	1	1

1

095

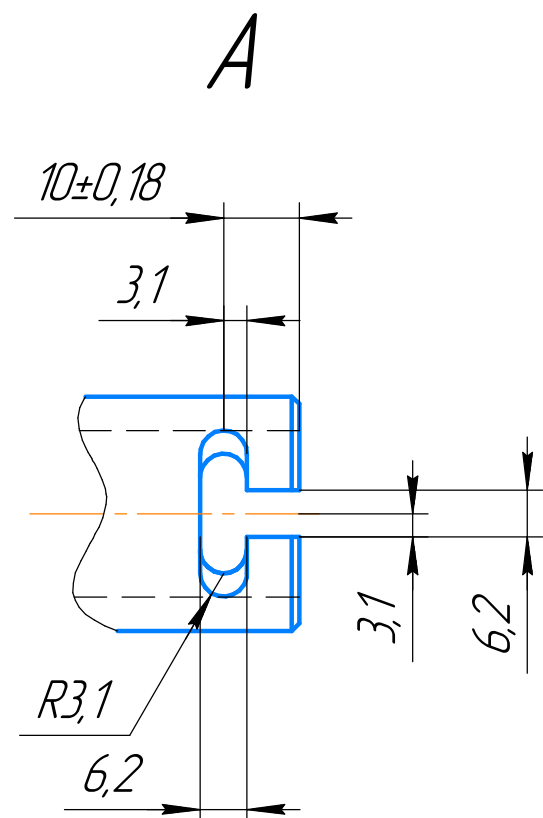
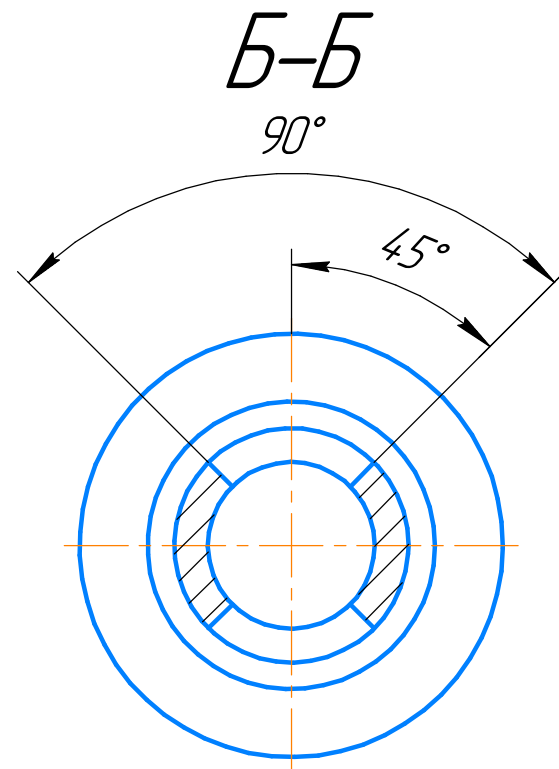
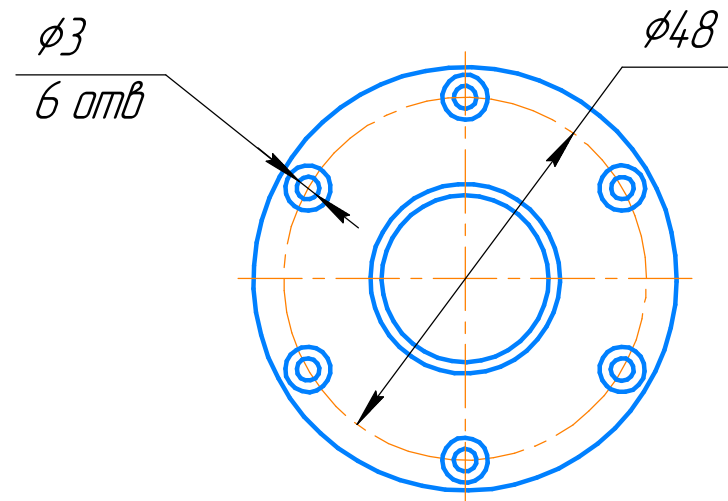
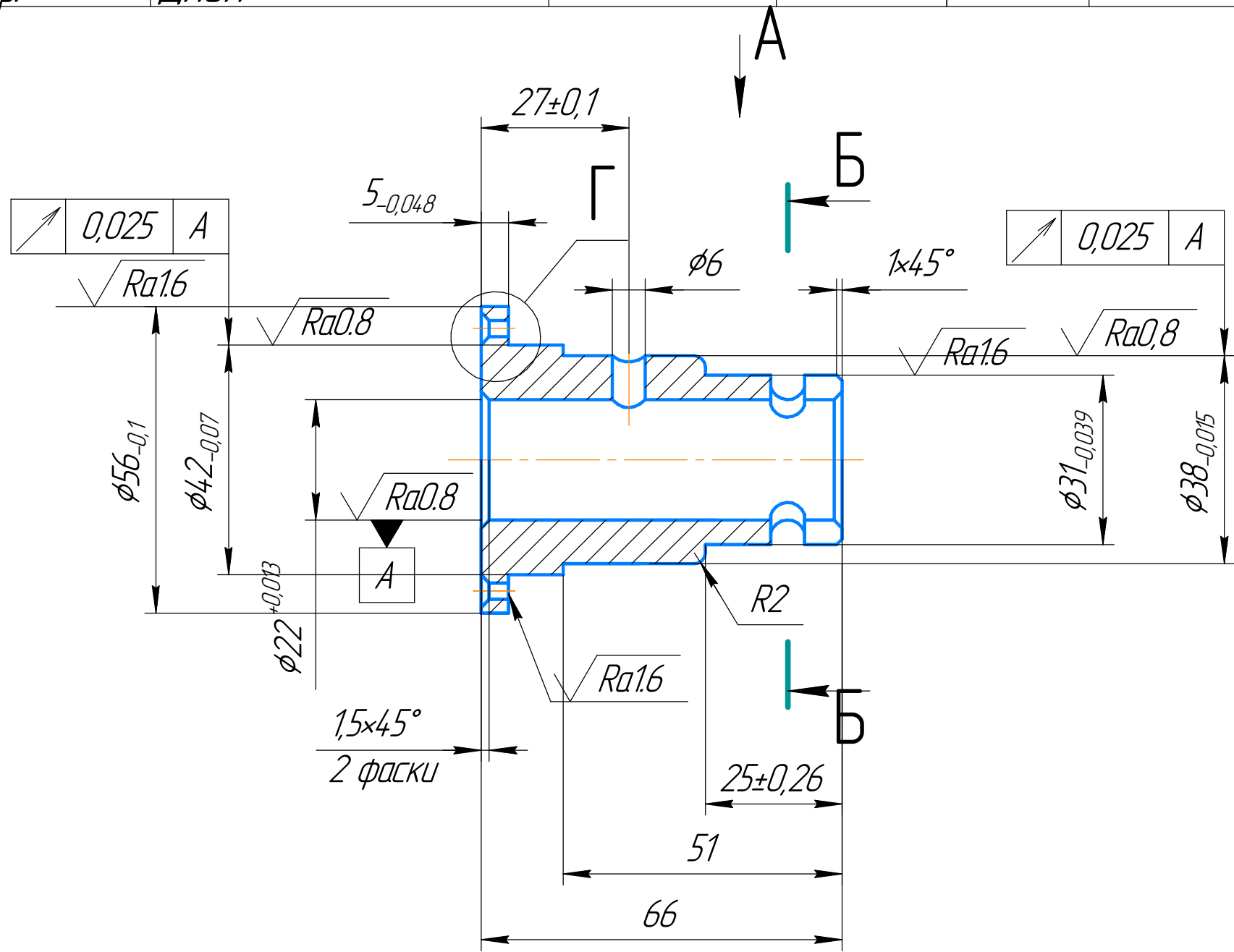


$Ra0,8$



* розміри для довідок

										ГОСТ 3105-84		Форма 7					
Дудл.																	
Взам.																	
Підп.																	
										НУЗП 02.14.1.26028			1	1			
Розроб.	Пятковський			НУЗП		НУЗП 713644.028						М-113сп.2014.1.00110					
Перевір.	Пухальська																
					Втулка										110		
Н. контр.	Дядя																



Г (2:1)

