

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення продуктивності процесу виготовлення тонкостінних
деталей авіаційних двигунів з дрібними пазами та отворами»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-122м

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОЗЛОВСЬКИЙ Н.М.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ШИРОКОБОКОВ В.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ
 «_____» _____ 2023 року

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

КОЗЛОВСЬКИЙ Назар Михайлович
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Підвищення продуктивності процесу виготовлення тонкостінних деталей авіаційних двигунів з дрібними пазами та отворами»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ГОНЧАР Наталя Вікторівна
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» 11 2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі – «Кільце опорне зовнішнє»; річна програма випуску N=500 шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина. 2. Конструкторська частина. 3. Автоматизація циклічного використання ЗОТС на виробництві. 4. Розрахунок деталі на міцність. 5. Спеціальне завдання. Електроерозійна обробка тонкостінних деталей. 6. Оцінка очікуваної економічної ефективності проєктних заходів. 7. Безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

Креслення деталі, заготовки; плакат 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів – 14.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація	09.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	23.10.2023	
5	Спецзавдання	30.10.2023	
6	Розрахунок економічної ефективності	06.11.2023	
7	Охорона праці	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	27.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	21.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

Назар КОЗЛОВСЬКИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Наталя ГОНЧАР

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 120 с., 19 табл., 47 рис., 3 дод., 25 джерел.

ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИЙ ПРОЖИГ, ЗАГОТОВКА, КАРТА ЕСКІЗІВ, КАРТА КОНТРОЛЯ, КІЛЬЦЕ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТЕХНІЧНІ УМОВИ, ЧИСЛОВЕ ПРОГРАМНЕ КЕРУВАННЯ

Об'єкт дослідження – технологічний процес механічної обробки кільця опорного зовнішнього.

Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє» з метою підвищення продуктивності процесу виготовлення, враховуючи, що деталь тонкостінна, з дрібними конструктивними елементами – дрібними пазами та отворами.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

Виконуючи дипломний проєкт було проведено вдосконалення технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє», що значно скоротило час на виготовлення деталі та зменшила фінансові витрати. А саме під час дипломного проєкту було спроектовано новий метод отримання заготовки, розроблено маршрут обробки поверхні (МОП) та змінено маршрут виготовлення деталі (МВД), зокрема запропоноване сучасне обладнання з концентрацією операцій, розраховані режими різання та норми часу, спроектовано спеціальне пристосування для однієї з механічних операцій, контрольне пристосування, запропоновано використати для отримання чисельних дрібних отворів і пазів сучасне обладнання електроерозійної обробки, за рахунок чого було в цілому скорочено тривалість виготовлення кільця опорного зовнішнього, проведене економічне обґрунтування заходів з вдосконалення ТП.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Особливості конструкції і службового призначення деталі	9
1.1.1 Опис виробу, службового призначення і конструкції деталі	9
1.1.3 Термообробка	11
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунту- ванням.....	13
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	16
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	16
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	20
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	25
1.6 Розрахунок режимів різання	40
1.7 Технічне нормування операцій.....	51
1.8 Розробка керуючої програми для операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК.....	57
1.8.1 Операція 015 – токарна з ЧПК.....	58
1.8.2 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	59
1.8.3 Операція 055 – токарна з ЧПК.....	60
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	61
2.1 Проектування токарного пристосування	61
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	61
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	62

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	63
2.2 Проектування контрольного пристосування	67
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	67
2.2.2 Розрахунок на точність	68
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЦИКЛІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗОТС НА ВИРОБНИЦТВІ	71
3.1 Види та характеристики ЗОТС	71
3.2 Циклічне використання ЗОТС	73
4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ	81
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	81
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	82
4.3 Оптимізація геометрії деталі (рекомендації)	84
5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	85
5.1 Електроерозійна обробка	85
5.2 Суть електроерозійної обробки	85
5.3 Особливості ЕЕО	89
5.4 Технологічні схеми та операції ЕЕО	90
5.5 Устаткування	92
5.6 Переваги та недоліки ЕЕО	93
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ ЗАХОДІВ	95
7 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	107
ВИСНОВКИ	111
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	112
ДОДАТОК А. Програма обробки в G-кодах	115
ДОДАТОК Б. Специфікація робочого пристосування	119
ДОДАТОК В. Специфікація контрольного пристосування	121

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ГКМ	- горизонтально-кувальна машина
ДСТУ	- державні стандарти України
ЕЕО	- електроерозійна обробка
ЗОТС	- змащувально-охолоджувальне середовище
КВМ	- коефіцієнт використання матеріалу
КГШП	- кривошипно-гарячештампувальний прес
ККД	- коефіцієнт корисної дії
МВД	- маршрут виготовлення деталі
МОП	- маршрут обробки поверхні
ОП	- охорона праці
ППТЯ	- послідовність показників точності та якості
ТКВ	- технологічність конструкції виробу
ТО	- термічна обробка
ТП	- технологічний процес
ЧПК	- числове програмне керування

ВСТУП

В останні роки машино- та авіабудування набрало значних обертів. Головним чином увесь прогрес зосереджено на підвищенні якості продукції, що виготовляється, та продуктивності її випуску та, при цьому, на зниженні її собівартості.

Підвищення якості та продуктивності залежить від технології її виробництва. Для цього необхідно використовувати сучасне обладнання та новітні допоміжні матеріали, тобто:

- сучасне обладнання;
- новітнє оснащення;
- високоякісний інструмент;
- обґрунтоване призначення припусків та допусків на розміри.

Під час виконання магістерської роботи з метою підвищення продуктивності було вдосконалено ТП виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє». Для цього:

- спроектовано, вибрано та економічно обґрунтовано спосіб виготовлення заготовки;
- розроблено МОП та МВД;
- розраховано операційні припуски та вибрані допуски;
- розраховано режими різання та норми часу по операційним переходам;
- запроектовано робочий та контрольний пристрої;
- проаналізовано сучасні досягнення в електрофізичних і електрохімічних методах отримання дрібних отворів і пазів, і запропоновано високопродуктивне обладнання для електроерозійного прожигу 144 отворів та 36 пазів;
- розраховано економічну ефективність від запропонованих змін в ТП;
- розроблено заходи з охорони праці.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості конструкції і службового призначення деталі

1.1.1 Опис виробу, службового призначення і конструкції деталі

У магістерській роботі проводиться аналіз та вдосконалення ТП виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє» (рис. 1.1) авіаційного двигуна AI-20.

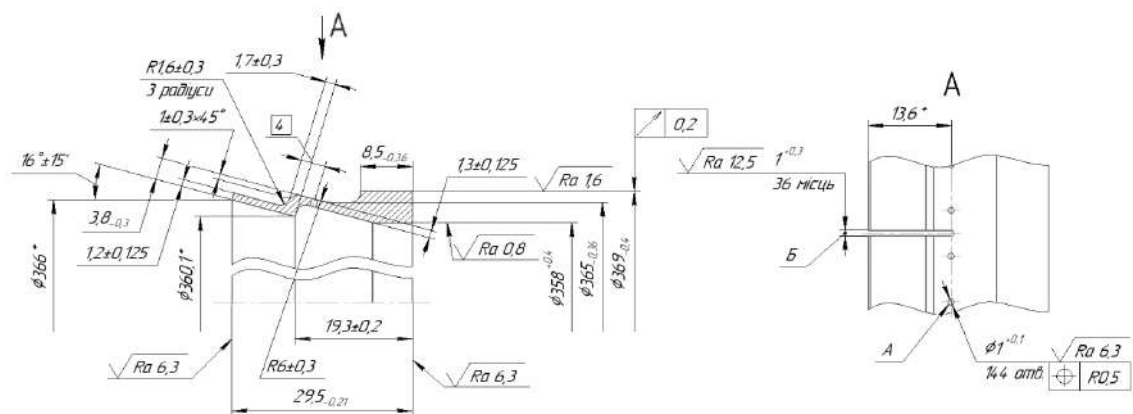


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі – «Кільце опорне зовнішнє»

Дана деталь розташована між диском і корпусом, в диск спирається більш масивною стороною. Деталь – є тілом обертання, тонкостінна (в найтонших місцях конусної стінки має товщину 1,2 мм та 1,3 мм), конструкція складної геометричної форми. В середній частині стінки 1,3 мм наявні рівнорозташовані 144 дрібнорозмірні отвори $\varnothing 1$ мм (рис. 1.2). З боку тонкостінного торцю прорізані 36 вузьких наскрізних пазів довжиною 13,6 мм і шириною 1 мм.



Рисунок 1.2 – Твердотільна модель деталі

1.1.2 Матеріал деталі та його властивості

Деталь виготовляється зі сталі ХН60ВТ ГОСТ 5632-72, яка має другу назву ЭИ868.

Сталь ХН60ВТ – це жароміцний, високолегований, корозійностійкий та жаростійкий сплав. Його використовують для виготовлення деталей двигунів, що працюють при температурах до 1000-1100 °С.

Сплав виплавляють у відкритих електропечах, та із застосуванням плазмово-дугового переплаву.

Хімічний склад та механічні властивості сталі наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хіміко-механічні властивості сплаву ХН60ВТ.

Хімічний склад матеріалу, %								
залізо, Fe		вуглець, C	кремній, Si	марганець, Mn	нікель, Ni			
≤ 4		≤ 0.1	≤ 0.8	≤ 0.5	50.874-63.2			
сірка, S	фосфор, P	хром, Cr	вольфрам, W	титан, Ti	алюміній, Al			
≤ 0.013	≤ 0.013	23.5-26.5	13-16	0.3-0.7	≤ 0.5			
Механічні властивості								
межа міцності при розтягуванні σ _B , МПа	межа пропорційності σ _T , МПа	відносне подовження після розриву δ, %	твердість НВ, МПа	коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/(м · град)	щільність матеріалу ρ, кг/м ³	Модуль пружності першого роду E · 10 ⁻⁴ Н/мм ²	питома теплоємність матеріалу C, Дж/(кг · град)	відносне звуження ψ, %
740-880	300	45-60	190-250	9.6	8350	21.8	440	52-60

1.1.3 Термообробка

Під час виготовлення деталі проводять термічну обробку (ТО) для підвищення характеристик деталі: з початку ТП заготовка піддається ТО загартування при температурі 1150...1200 °С на повітрі або у воді.

Загартуванням металу називають термічну операцію, що полягає в нагріві до температур вище на 20-30° верхньої критичної точки A_{C3} для доевтектоїдної сталі і вище нижньої критичної точки A_{C1} , для заевтектоїдної сталі з наступним швидким охолодженням [2].

Сплав зварюється усіма видами зварювання.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Вибір типу виробництва і форми організації робіт є першим пунктом на шляху розробки ТП виготовлення будь якої деталі.

Тип виробництва - це комплексна характеристика організаційно-технічного рівня виробництва, що охоплює номенклатуру продукції, обсяг виробництва, випуск однотипної продукції, характер завантаження робочих місць, кваліфікацію робітників, собівартість продукції [3]. Тип виробництва буває чотирьох видів: одиничне, серійне, масове, змішане.

З огляду на масу деталі та річну програму випуску визначаємо тип виробництва. Для цього масу деталі визначаємо за допомогою модуля комп'ютерної програми САД-системи та показуємо на рисунку 1.3.

Беручи до уваги визначену масу деталі ($m = 0,78$ кг) та річну програму випуску ($N = 500$ шт), приймаємо тип виробництва – дрібносерійне [4].

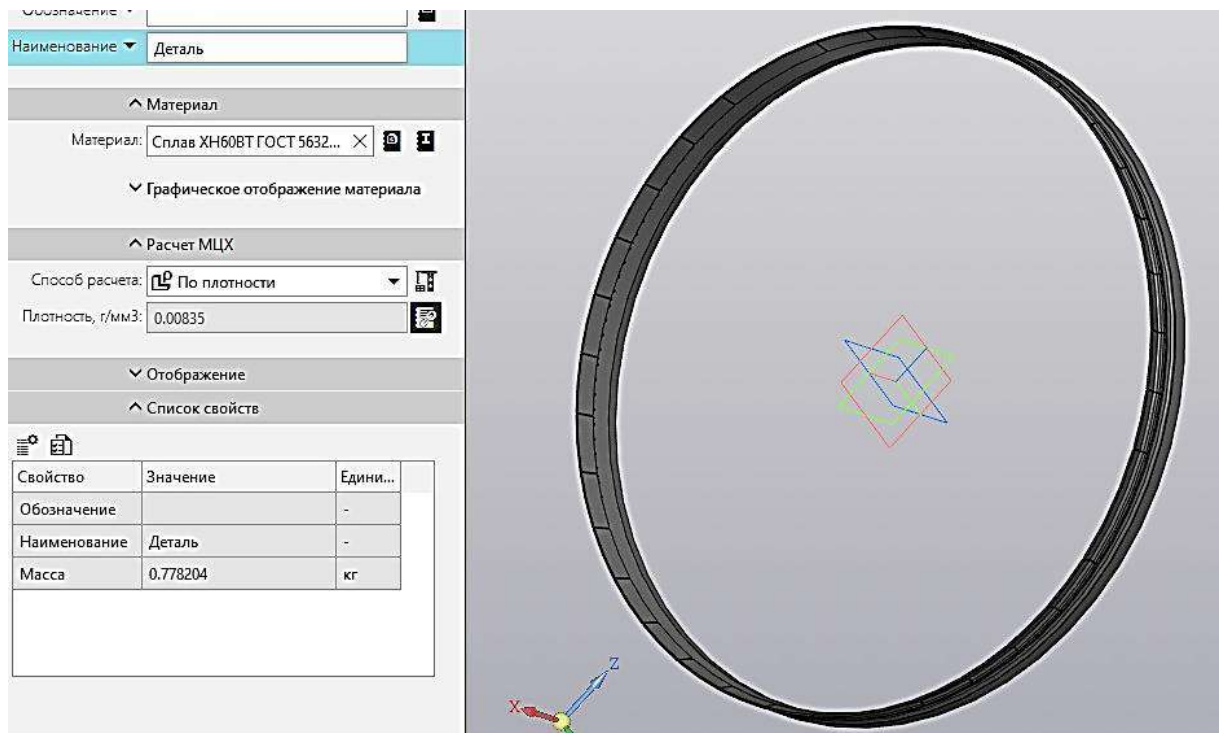


Рисунок 1.3 – 3D-модель деталі з визначеною масою

З огляду на запланований порядок виконання операцій та розташування обладнання на ділянці, форму організації виробництва приймаємо – змінно-потоківу.

Також необхідно визначити кількості деталей у партії згідно формули (1.1):

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

де a - періодичність запуску деталей у виробництво або кількість днів, на які необхідно забезпечити запас деталей для роботи складального цеху: $a = 10$ днів;

Φ_d – кількість робочих днів року, $\Phi_d = 254$ днів.

$$n = \frac{10 \cdot 500}{254} = 19,69 \text{ шт}$$

Приймаємо: $n = 20$ шт.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Від вибору способу отримання заготовки залежить скільки металу під час механічної обробки необхідно буде зняти.

Для деталі «Кільце опорне зовнішнє» необхідно провести та економічно обґрунтувати отримання заготовки за двома методами, і вибрати один - більш доцільніший з них.

Будемо порівнювати такі методи:

- заготовка, отримана штамповкою на горизонтально-кувальній машині (ГКМ) (рис. 1.4а, 1.5а);
- заготовка, отримана штамповкою на кривошипно-гарячештамповочному пресі (КГШП) (рис.1.4б, 1.5б).

Характеристики при штамповці: клас точності - Т2; група сталі – М1; група складності – С2.

Собівартість однієї заготовки розраховуємо за формулою (1.2):

$$B = \frac{B_6}{1000} \cdot M \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_{\Pi} - (M - m) \cdot \frac{B_{СТР}}{1000}, \text{ грн} \quad (1.2)$$

де B_6 – базова вартість виготовлення 1 т. заготовки згідно [5,ст.13,табл. 1.4], грн;

K – коефіцієнт, враховуючий додаткові параметри згідно [5,ст.17-18, табл.1.24-1.28];

$B_{\text{від}}$ – вартість 1т. стружки (відходів), згідно [5,ст.13,табл.1.5], грн.

$$B_{\text{ГКМ}} = \frac{3150}{1000} \cdot 4,55 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 - (4,55 - 0,78) \cdot \frac{140}{1000} = 22,96 \text{ грн}$$

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 3,76 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 - (3,76 - 0,78) \cdot \frac{140}{1000} = 20,67 \text{ грн}$$

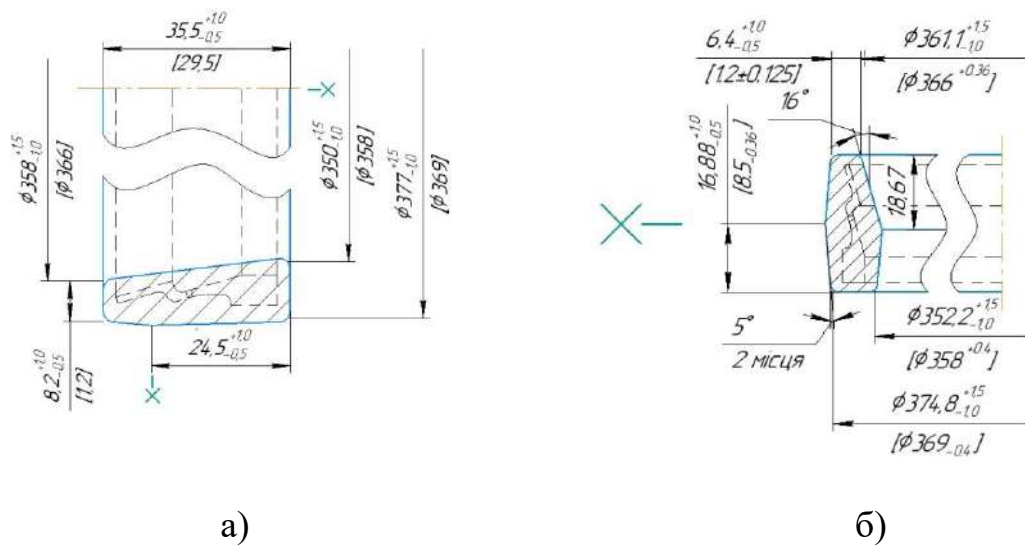


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки (а – ГKM, б – КГШП)

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) заготовок розраховуємо за формулою (1.3):

$$\eta = \frac{m}{M} \quad (1.3)$$

$$\eta = \frac{0,78}{4,55} = 0,17$$

$$\eta = \frac{0,78}{3,76} = 0,21$$

Отримані коефіцієнти доволі низькі по мірках загального машинобудування, але для авіаційних деталей, які проходять мінімізування за масою, і є гранично тонкостінними, такі значення приймаються.

Проводимо порівняння:

$$\eta_{\text{КГШП}} = 0,21 > \eta_{\text{ГKM}} = 0,17$$

$$B_{\text{КГШП}} = 20,67 \text{ грн} < B_{\text{ГKM}} = 22,96 \text{ грн}$$

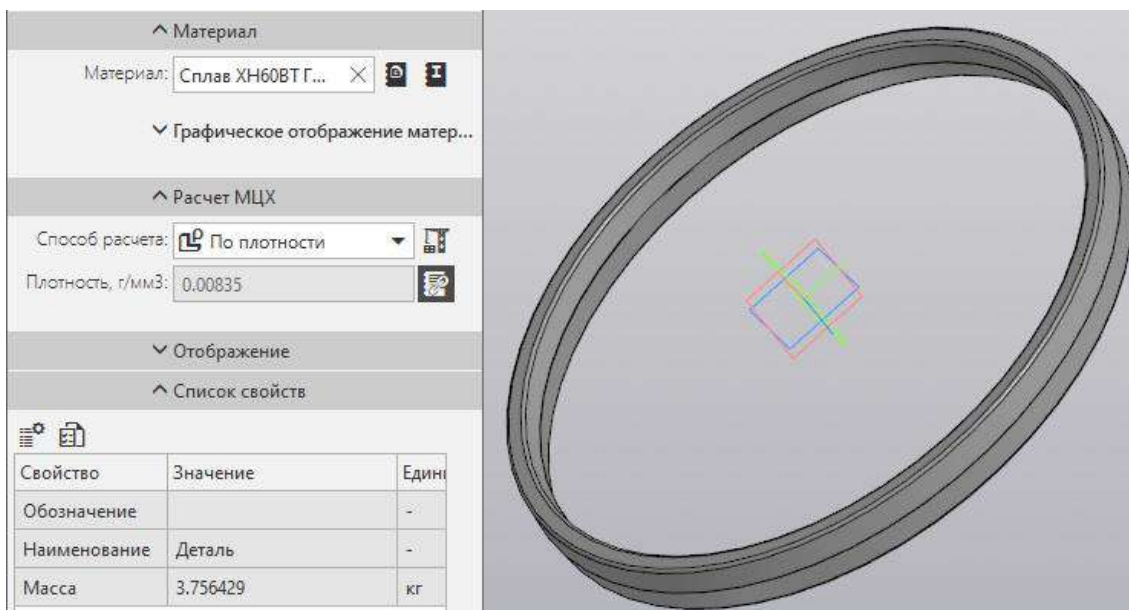
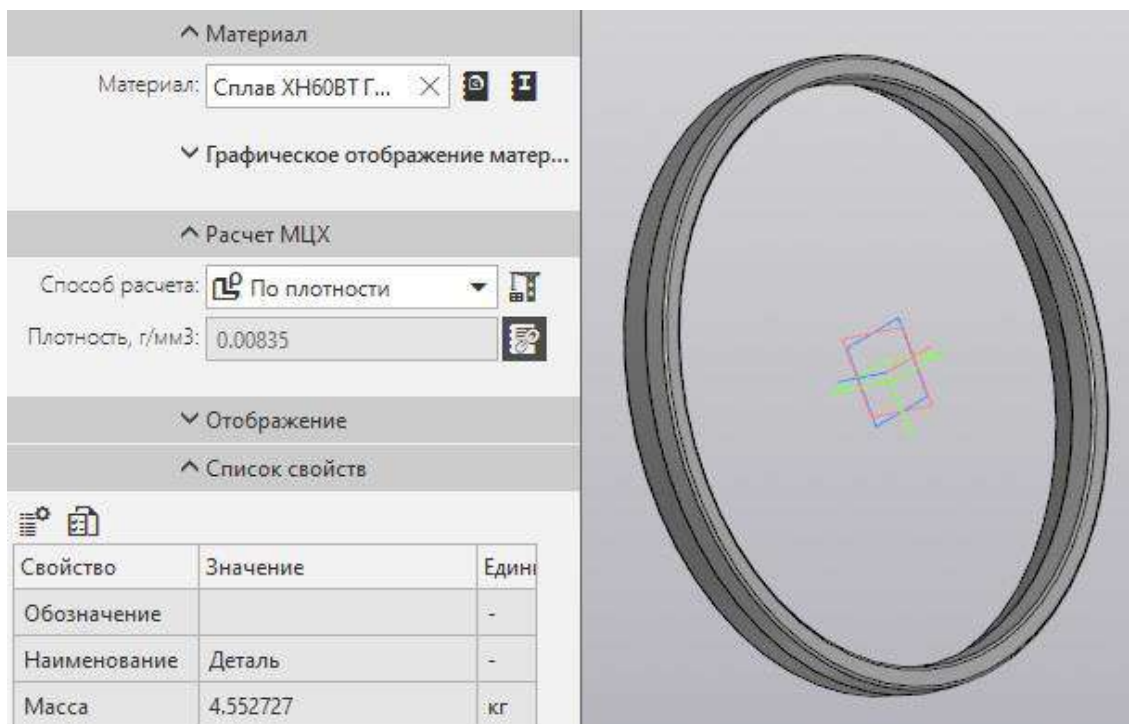


Рисунок 1.5 – МЦХ (а – ГКМ, б – КГШП)

З огляду на розрахунки з економічної точки зору вигідніше отримувати заготовлю штампуванням на КГШП. Через те, що КВМ у нього більше, а вартість отримання однієї заготовки – менше. Тобто по обом критеріям раціональний спосіб отримання заготовки для цієї деталі – штамповкою на КГШП.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники методів одержання заготівлі

Показник	Позначення	Розмірність	Метод одержання заготівлі	
			КГШП	ГКМ
Вага заготовки	М	кг	3,76	4,55
Базова вартість 1 т. заготовки	В _б	грн.	3500	3150
Коефіцієнти	К _Т	-	1	1
	К _М	-	1,8	1,8
	К _С	-	0,89	0,89
	К _В	-	1	1
	К _П	-	1	1
Вартість 1 т. стружки	В _{від}	грн.	140	
Вартість 1-ї заготовки	В	грн.	20,67	22,96
КВМ	η	-	0,21	0,17

Проводимо розрахунок річного заощадження від вибраного способу отримання заготовки КГШП згідно формули (1.4):

$$E_B = (V_{ГКМ} - V_{КГШП}) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.4)$$

$$E_B = (22,96 - 20,67) \cdot 500 = 1147,77 \text{ грн}$$

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Креслення і технічні умови на виготовлення і контроль якості виробів потрібно піддавати аналізу і з боку технологічності конструкції виробу [6].

Технологічність конструкції виробу (ТКВ) розглядається як сукупність

– деталь відноситься до тонкостінних і складнопрофільних, що дещо знижує рівень технологічності.

Вихідні данні для виконання кількісної оцінки занесені до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Дані для аналізу деталі на технологічність

№ розміру	Розмір	Квалітет	Шорсткість	Уніфікація
1	2	3	4	5
1	Ø360,1	H11	3,2/5	+
2	1,2 ± 0,125	Js14	3,2/5	+
3	3,8 _{-0,3}	h14	3,2/5	+
4	Ø366	H11	3,2/5	+
5	16° ± 15'	-	3,2/5	-
6	1,7 ± 0,3	IT15	3,2/5	+
7	4	H12	3,2/5	-
8	8,5 _{-0,36}	h14	3,2/5	+
9	1,3 ± 0,125	IT13	3,2/5	+
10	Ø369 _{-0,4}	IT11	1,6/6	+
11	Ø365 _{-0,36}	h11	3,2/5	+
12	Ø358 ^{+0,4}	IT11	0,8/7	+
13	19,3 ± 0,2	IT13	3,2/5	+
14	29,5 _{-0,21}	h12	6,3/4	+
15	1 ^{+0,3}	H14	12,5/3	-
16	13,6	H12	3,2/5	-
17	Ø1 ^{+0,1}	H11	6,3/4	-

Проводимо розрахунок кількісної оцінки за формулою (1.5):

$$K_{\text{тех}} = \frac{K_{\text{ун}} + K_{\text{точ}} + K_{\text{ш}}}{3} > 0.6 \quad (1.5)$$

де $K_{\text{точ}}$ – коефіцієнт точності деталі;

$K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості деталі;

$K_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікованих елементів деталі, розраховується за формулою (1.6):

$$K_{yH} = \frac{n_{yH}}{n_{\Sigma}} \geq 0.6 \quad (1.6)$$

де n_{yH} – кількість уніфікованих елементів, шт;

n_{Σ} – загальна кількість елементів, шт.

$$K_{yH} = \frac{12}{17} = 0,71 \geq 0,6$$

Коефіцієнт точності деталі розраховується за формулою (1.7):

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} \geq 0.6 \quad (1.7)$$

де $A_{\text{сер}}$ – середній квалітет точності, розраховую його за формулою (1.8):

$$A_{\text{сер}} = \frac{15 \cdot n_1 + 14 \cdot n_2 + \dots + n \cdot n_n}{n_{\Sigma}} > 0.6 \quad (1.8)$$

де $n_{1\dots n}$ – кількість розмірів, які мають даний квалітет;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

$$A_{\text{сер}} = \frac{15 \cdot 1 + 14 \cdot 4 + 13 \cdot 2 + 12 \cdot 3 + 11 \cdot 6}{16} = 14,43$$

За формулою (1.7) розраховуємо коефіцієнт точності деталі:

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{14,43} = 0,93 \geq 0,6$$

Коефіцієнт шорсткості деталі розраховується за формулою (1.9):

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} \geq 0.6 \quad (1.9)$$

де $B_{\text{сер}}$ – середній квалітет шорсткості деталі, розраховую його за наступною формулою (1.10):

$$B_{\text{сер}} = \frac{K_1 \cdot n_1 + K_2 \cdot n_2 + \dots + K_7 \cdot n_n}{n_{\Sigma}} > 0.6 \quad (1.10)$$

де $K_{1...7}$ – клас шорсткості і-того елемента;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

$$B_{\text{сер}} = \frac{3 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 5 \cdot 12 + 6 \cdot 1 + 7 \cdot 1}{17} = 4,94$$

За формулою (1.9) розраховуємо коефіцієнт шорсткості деталі:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{4,94} = 0,8 \geq 0,6$$

За формулою (1.5) розраховуємо кількісну оцінку:

$$K_{\text{тех}} = \frac{0,71 + 0,93 + 0,8}{3} = 0,81 > 0,6$$

Дивлячись на результати розрахунку кількісної оцінки деталей технологічна. Якісні критерії знижують технологічність деталі через її тонку стінку і складну геометрію. До того ж її конструкція включає дрібні геометричні елементи величиною не більше 1 мм – 144 отвори та 36 пазів.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

МОП – це план, згідно якого проводиться обробка кожної поверхні. Вихідні данні для розрахунку МОП беремо з ескізу (рисунок 1.7).

МОП призначається після проведення розрахунку кількості необхідних переходів, в залежності від необхідних параметрів точності і якості. Для деталі «Кільце опорне зовнішнє» МОП розраховуємо на усі поверхні, але у записку, до

магістерської роботи, розписуємо розрахунок лише на дві поверхні, а на інші - дані заносимо до загальної таблиці 1.4.

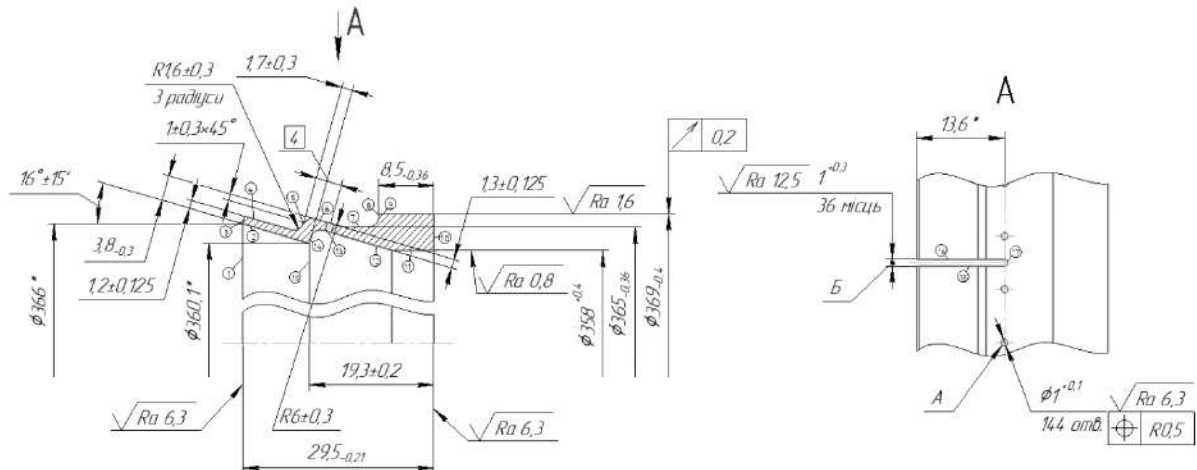


Рисунок 1.7 – Технологічна нумерація поверхонь

Поверхня циліндрична зовнішня – 8.

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\text{Ø}369_{-0,4}$ квалітет – IT11; шорсткість – $Ra1,6$; допуск – $Td=0,4$ мм;

2) заготовка: квалітет – IT16; шорсткість – $Ra50$; допуск – $Td=2,5$ мм.

Точність за показниками розраховується за формулою (1.11):

$$\varepsilon_{Ra(d),(\Delta)} = \frac{Ra_{\text{заг.}}(Td_{\text{заг.}})}{Ra_{\text{дет.}}(Td_{\text{дет.}})} \quad (1.11)$$

де $Ra_{\text{заг.}}$, $Ra_{\text{дет.}}$ – шорсткість заготовки та деталі, відповідно, мкм;

$Td_{\text{заг.}}$, $Td_{\text{дет.}}$ – точність заготовки та деталі, відповідно, мкм.

$$\varepsilon_{Td} = \frac{2,5}{0,4} = 6,25 \quad \varepsilon_{Ra} = \frac{50}{1,6} = 31,25$$

Кількості переходів розраховуємо за формулою (1.12):

$$k \approx 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.12)$$

де ε – більше (лімітоване) уточнення.

$$k = 2 \cdot \lg(31,25) = 2,99$$

Приймаємо: $k = 3$.

Розраховуємо різницю показників за формулою (1.13):

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{кв}} &= Td_{\text{заг}} - Td_{\text{дет}} \\ \Delta_{\text{кв}} &= 16 - 11 = 5 \quad (3 + 1 + 1) \end{aligned} \quad (1.13)$$

Уточнюємо послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

$$\begin{aligned} \text{ППТЯ}_{Td} &= IT16 \rightarrow h13 \rightarrow h12 \rightarrow IT11 \\ \text{ППТЯ}_{Ra} &= Ra50 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6, \end{aligned}$$

З даних, наведених вище, складаємо МОП:

- 1) заготівельна - IT16, $Td=2,5$ мм, Ra50;
- 2) Т/О;
- 3) токарна чорнова – h13, $Td=0,89$ мм, Ra6,3 мкм;
- 4) токарна чистова – h12, $Td=0,57$ мм, Ra3,2 мкм;
- 5) шліфувальна – IT11, $Td=0,4$ мм, Ra1,6 мкм,

Для проведення перевірки правильності складення МОП необхідно розрахувати уточнення за кожним переходом окремо згідно формули (1.14):

$$\varepsilon_{Ra_i(d_i),(\Delta_i)} = \frac{Ra_{i-1}(Td_{i-1})}{Ra_1(Td_1)} \quad (1.14)$$

де Ra_{i-1}, Td_{i-1} – показник майбутнього переходу, мкм;

Ra_i, Td_1 – показник поточного переходу, мкм,

$$\varepsilon_{d_3} = \frac{2,5}{0,89} = 2,8$$

$$\varepsilon_{d_4} = \frac{0,89}{0,57} = 1,6$$

$$\varepsilon_{d_5} = \frac{0,57}{0,4} = 1,4$$

$$\varepsilon_{Ra_3} = \frac{50}{6,3} = 7,9$$

$$\varepsilon_{Ra_4} = \frac{6,3}{3,2} \approx 2$$

$$\varepsilon_{Ra_5} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

Проводимо перевірку за формулою (1.15):

$$\varepsilon_{oTd(Ra),(\Delta)} = \prod_{i=1}^k \Sigma \varepsilon_i \geq \varepsilon_o \quad (1.15)$$

$$\varepsilon_{oTd} = 2,8 \cdot 1,6 \cdot 1,4 = 6,27 \geq 6,25$$

$$\varepsilon_{oRa} = 7,9 \cdot 2 \cdot 2 = 31,6 \geq 31,25$$

Поверхня циліндрична внутрішня – 10.

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\varnothing 358^{+0,4}$ квалітет – IT11; шорсткість – Ra 0,8; допуск – Td = 0,4 мм;

2) заготовка: квалітет – IT16; шорсткість – Ra50; допуск – Td=2,5 мм.

Точність за показниками розраховується за формулою (1.11):

$$\varepsilon_{Td} = \frac{2,5}{0,4} = 6,25$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0,8} = 62,5$$

Кількості переходів розраховуємо за формулою (1.12):

$$k = 2 \cdot \lg(62,5) = 3,59$$

Приймаємо: $k = 4$.

Розраховуємо різницю показників за формулою (1.13):

$$\Delta_{кв} = Td_{заг} - Td_{дет}$$

$$\Delta_{\text{кв}} = 16 - 11 = 5 \quad (3 + 1 + 1)$$

Уточнюємо послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

$$\begin{aligned} \text{ППТЯ}_{\text{Td}} &= \text{IT16} \rightarrow \text{H14} \rightarrow \text{H13} \rightarrow \text{H12} \rightarrow \text{IT11} \\ \text{ППТЯ}_{\text{Ra}} &= \text{Ra50} \rightarrow \text{Ra6,3} \rightarrow \text{Ra3,2} \rightarrow \text{Ra1,6} \rightarrow \text{Ra0,8}, \end{aligned}$$

З даних, наведених вище, складаємо МОП:

- 1) заготівельна - IT16, Td=2,5 мм, Ra50;
- 2) Т/О;
- 3) розточувальна чорнова – H14, Td=1,3 мм, Ra6,3 мкм;
- 4) розточувальна напівчистова – H13, Td=0,89 мм, Ra3,2 мкм;
- 4) розточувальна чистова – H12, Td=0,57 мм, Ra1,6 мкм;
- 5) шліфувальна – IT11, Td=0,4 мм, Ra0,8 мкм.

Для проведення перевірки правильності складення МОП необхідно розрахувати уточнення за кожним переходом окремо згідно формули (1.14):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{d_3} &= \frac{2.5}{1.3} = 1.9 & \varepsilon_{d_4} &= \frac{1.3}{0.89} = 1.6 & \varepsilon_{d_4} &= \frac{0.89}{0.57} = 1.6 & \varepsilon_{d_5} &= \frac{0.57}{0.4} = 1.4 \\ \varepsilon_{Ra_3} &= \frac{50}{6.3} = 7.9 & \varepsilon_{Ra_4} &= \frac{6.3}{3.2} \approx 2 & \varepsilon_{Ra_4} &= \frac{3.2}{1.6} \approx 2 & \varepsilon_{Ra_5} &= \frac{1.6}{0.8} = 2 \end{aligned}$$

Проводимо перевірку за формулою (1.15):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{oTd} &= 1,9 \cdot 1,6 \cdot 1,6 \cdot 1,4 = 6,8 \geq 6,25 \\ \varepsilon_{oRa} &= 7,9 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 63,2 \geq 62,5 \end{aligned}$$

Результати розрахунків та дані за іншими поверхнями заносимо до сводної таблиці 1.4.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Виготовлення деталі відбувається згідно спроектованого МВД.

У ході виконання магістерської роботи для деталі змінено з метою вдосконалення ТП, розроблено маршрут МВД, який приведено у графічній частині проєкту.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для проведення механічної обробки необхідно знати операційні розміри, які будуть отримуватись на операціях. Розрахуємо припуск металу, який необхідно зняти під час обробки.

Припуски необхідно розрахувати на усі розміри, але докладно розпишемо лише на три з них.

Поверхня циліндрична зовнішня – 1.

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\varnothing 366^{+0,36}$ квалітет – Н11; шорсткість – Ra3,2; допуск – Td=0,36 мм;

2) заготовка: квалітет – IT16; шорсткість – Ra50; допуск – Td=2,5 мм.

Мінімальні припуски визначаємо за формулою (1.16):

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

де Rz, h, ε – параметри якості поверхні та похибка на встановлення згідно з [7, с.186, т.12,24]:

Таблиця 1.4 – МОП для деталі «Кільце опорне зовнішнє»

Номер поверхні та її характеристики	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Квалітет точності	МОП		Уточнення			
			k _p	k		i	Метод обробки	Td	Ra	Td	Ra
1	2	3	4		5	6		7			
пов. 1 – торцева похила дет.Ø366H11 ^(+0,36) , Ra3,2 заг. IT16, Td=2,5, Ra50	Td	6,9	2,4	3	IT16	1	Заготівельна	2.5	50	-	-
					-	2	T/O	-	-	-	-
					H13	3	Розточування чорнове	0.89	12.5	2.8	4
	Ra	15,6			H12	4	Розточування чистове	0.57	6.3	1.6	2
					H11	5	Шліфування	0.36	3.2	1.6	2
	Перевірка:									7,2	16
пов. 2, 9 – торцева дет. 29,5-0,21, Ra6,3 заг. IT17, Td=1,5, Ra50	Td	7,1	1,8	2	IT17	1	Заготівельна	1.5	50		
					-	2	T/O	-	-	-	-
	Ra	7,9			h13	3	Точіння чорнове	0.33	12.5	4.5	4
					h12	4	Точіння чистове	0.21	6.3	1.6	2
	Перевірка:									7,2	8
пов. 3 – торцева похила 1,2±0,125 дет., IT12, Ra3,2 заг. IT18, Td=1,5, Ra50	Td	6	2,4	2	IT17	-	Заготівельна	1.5	50	-	-
					-	1	T/O	-	-	-	-
	Ra	15,6			h14	2	Точіння чорнове	0.3	6.3	5	7.9
					IT12	3	Точіння чистове	0.25	3.2	1.2	2
	Перевірка:									6	15,8
пов. 4 – торцева похила дет, 1,7±0,3, IT12, Ra3,2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
					-	1	T/O	-	-	-	-
	Ra	-			h16	2	Точіння чорнове	0,75	6,3	-	-
					IT15	3	Точіння чистове	0,6	3,2	-	-

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6		7				
пов. 5 – торцева похила дет. 3.8 _{-0,3} , Ra3.2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	
					-	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			h15	Точіння чорнове	0,48	6,3	-	-	
					h14	Точіння чистове	0,3	3,2	-	-	
пов. 6 – циліндрична зовнішня дет. Ø365 _{-0.36} , Ra3.2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	
					-	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			h13	Точіння чорнове	0,89	6,3	-	-	
					h11	Точіння чистове	0,36	3,2	-	-	
пов. 7 – торцева дет. 8.5 _{-0.36} , Ra3.2 заг. IT17, Td=1.5, Ra50	Td	4,2	2,4	2	IT17	Заготівельна	1,5	50	-	-	
					-	T/O	-	-	-	-	
	Ra	15,6			h15	Точіння чорнове	0,58	6,3	2,6	7,9	
					h14	Точіння чистове	0,36	3,2	1,6	2	
					Перевірка:						
пов. 8 – циліндрична зовнішня дет. Ø369 _{-0,4} , Ra1,6 заг. IT16, Ra50, Td=2,5	Td	6,25	2,99	3	IT16	1	Заготівельна	2,5	50	-	-
					-	2	T/O	-	-	-	-
					h13	3	Точіння чорнове	0,89	6,3	2,8	7,9
	Ra	31,25			h12	4	Точіння чистове	0,57	3,2	1,6	2
					IT11	5	Шліфувальна	0,4	1,6	1,4	2
					Перевірка:						
пов. 10 – циліндрична внутрішня дет. Ø358 ^{+0,4} , Ra0,8 заг. IT16, Ra50, Td=2,5	Td	6,25	3,59	4	IT16	1	Заготівельна	2,5	50	-	-
					-	2	T/O	-	-	-	-
					H14	3	Розточування чорнове	1,3	6,3	1,9	7,9
	Ra	62,5			H13	4	Розточування напівчистове	0,89	3,2	1,6	2
					H12	5	Розточування чистове	0,57	1,6	1,6	2
					IT11	6	Шліфувальна	0,4	0,8	1,4	2

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6			7			
	Перевірка:								6,8	63,2	
пов. 11 – торцева похила дет. 1,3±0,125, Ra3,2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
		-			1	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			H15	2	Розточування чорнове	0,48	6,3	-	-
					IT13	3	Розточування чистове	0,25	3,2	-	-
пов. 12 – циліндрична внутрішня дет.Ø1 ^{+0,1} ,Ra6,3	Td	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
		-			1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			IT11	2	Електроерозійний прожиг	0,1	6,3	-	-
пов. 13– торцева похила дет. 19,3±0,3, Ra3,2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
		-			1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			H13	2	Розточування чорнове	0,89	6,3	-	-
					H11	3	Розточування чистове	0,36	3,2	-	-
пов. 14, 15 – торцева дет. 1 ^{+0,3} , Ra12,5	Td	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
		-			1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			IT14	2	Електроерозійний прожиг	0,3	12,5	-	-
пов. 16 – ци ліндр ична внутрішня дет. Ø1 ^{+0,3} , Ra12,5	Td	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
		-			1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			IT14	2	Електроерозійний прожиг	0,3	12,5	-	-

$$Rz_1 = 160 \text{ мкм}$$

$$h_1 = 210 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_1 = 0 \text{ мкм}$$

$$Rz_3 = 125 \text{ мкм}$$

$$h_3 = 120 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_3 = 100$$

$$Rz_4 = 40 \text{ мкм}$$

$$h_4 = 40 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_4 = 80$$

$$Rz_5 = 5 \text{ мкм}$$

$$h_5 = 5 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 50$$

ρ - просторове відхилення заготовки, яке визначається за формулою (1.17):

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{3M}^2 + \rho_{кор}^2}, \text{ мм} \quad (1.17)$$

де ρ_{3M} - зміщення поверхні, визначається згідно з [7, с.187, т.18];

$\rho_{кор}$ - короблення поверхні, яке розраховується за формулою (1.18):

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot l, \text{ мм} \quad (1.18)$$

де $\Delta_{кор}$ – питоме короблення, визначається згідно з [7, с.187, т.20], мкм/мм;

l – довжина поверхні, мм.

$$\rho_{кор} = 0,5 \cdot 10,2 \cdot 10^{-3} = 0,003 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок просторового відхилення заготовки за формулою (1.17):

$$\rho_1 = \sqrt{1^2 + 0,003^2} = 1 \text{ мм} \approx 1000 \text{ мкм}$$

Просторові відхилення для інших механічних переходів визначаємо за формулою (1.19):

$$\rho_i = K_y \cdot \rho_{i-1}, \text{ мкм} \quad (1.19)$$

де K_y - коефіцієнт уточнення, визначається згідно з [7, с.190, т.29];

ρ_{i-1} - просторове відхилення попереднього переходу, мкм.

$$\rho_3 = 0.06 \cdot 1000 = 60 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = 0,05 \cdot 60 = 3 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,04 \cdot 3 = 0,12 \approx 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски визначаємо за формулою (1.16):

$$2Z_3^{min} = 2 \left[(160 + 200) + \sqrt{1000^2 + 100^2} \right] = 2750 \text{ мкм}$$

$$2Z_4^{min} = 2 \left[(125 + 120) + \sqrt{60^2 + 80^2} \right] = 690 \text{ мкм}$$

$$2Z_5^{min} = 2 \left[(40 + 40) + \sqrt{3^2 + 50^2} \right] = 260 \text{ мкм}$$

Максимальні припуски визначаємо за формулою (1.20):

$$2Z_i^{max} = Td_{i-1} + 2Z_i^{min} + Td_i, \text{ мм} \quad (1.20)$$

де Td_i, Td_{i-1} – допуск даного та попереднього переходів відповідно, мм;

$2Z_i^{min}$ – мінімальний припуск даного переходу, мм.

$$2Z_3^{max} = 2,5 + 2,75 + 0,89 = 6,14 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{max} = 0,89 + 0,69 + 0,57 = 2,15 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{max} = 0,57 + 0,26 + 0,36 = 1,19 \text{ мм}$$

Номінальні припуски розраховуємо за формулою (1.21):

$$2Z_i^H = 2Z_i^{min} + Td_{i+1}, \text{ мм} \quad (1.21)$$

$$2Z_3^H = 1,5 + 2,75 = 4,25 \text{ мм}$$

$$2Z_4^H = 0,89 + 0,69 = 1,58 \text{ мм}$$

$$2Z_5^H = 0,57 + 0,26 = 0,83 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок кожного номінального розміру за переходами за формулою (1.22):

$$d_i^H = d_{i+1} \pm 2Z_i^H, \text{ мм} \quad (1.22)$$

$$d_5^H = 366 \text{ мм}$$

$$d_4^H = 366 - 0,83 = 365,17 \text{ мм}$$

$$d_3^H = 365,17 - 1,58 = 363,59 \text{ мм}$$

$$d_1^H = 363,59 - 4,25 = 359,34 \text{ мм}$$

Для проведення перевірки необхідно провести розрахунок загального номінального припуску, як суми номінальних припусків, за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = \sum_{i=2}^k 2Z_i^H, \text{ мм} \quad (1.23)$$

$$2Z_0^H = 4,25 + 1,58 + 0,83 = 6,66 \text{ мм}$$

Тепер можливо провести перевірку за рівнянням (1.24):

$$2Z_0 = D_{\text{заг}}^H - d_{\text{дет}}^H \quad (1.24)$$

$$6,66 = 366 - 359,34$$

$$6,66 \text{ мм} = 6,66 \text{ мм}$$

Схему припусків показано на рисунку 1.8. Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.5.

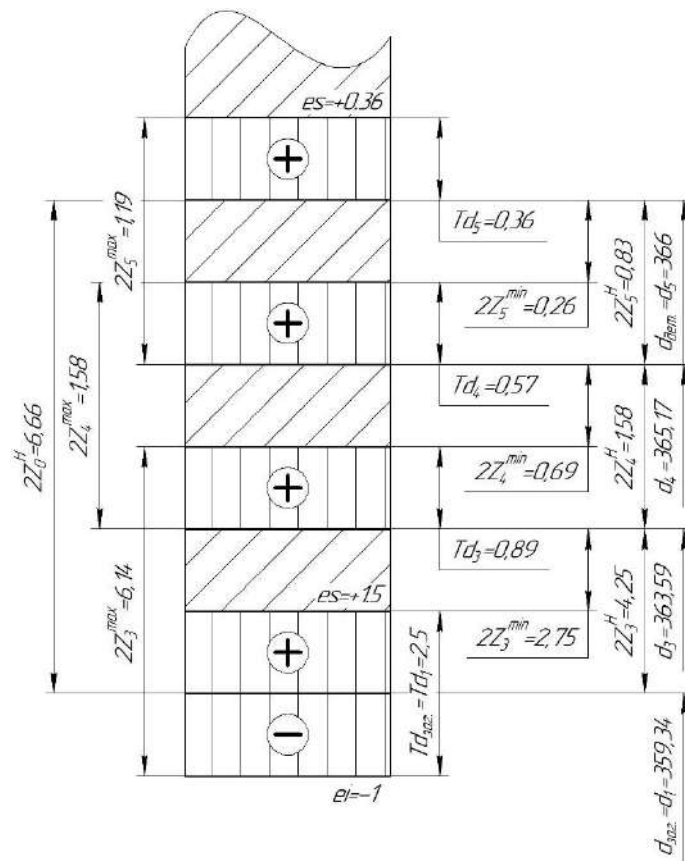


Рисунок 1.8 – Розрахункова схема для поверхні 1

Поверхня циліндрична зовнішня - 8

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\varnothing 369_{-0,4}$; квалітет – IT11; шорсткість – Ra1,6; допуск – $Td=0,4$ мм;

2) заготовка: квалітет – IT16; шорсткість – Ra50; допуск – $Td=2,5$ мм.

Мінімальний припуск розраховуємо за формулою (1.25):

$$2Z_i^{min} = \gamma_i \cdot 2Z_0^{min}, \text{ мм} \quad (1.25)$$

де γ_i – коефіцієнт співвідношення;

Z_0^{min} - загальний припуск, згідно з [5, ст.12, таб.1.3].

$$2Z_3^{min} = 0,7 \cdot 2 \cdot 2,9 = 4,06 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 2,9 = 1,16 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{min} = 0,1 \cdot 2 \cdot 2,9 = 0,58 \text{ мм}$$

Таблиця 1.5 – Припуски та технологічні розміри

№ пер	МОП	Відхилення		Елементи припуску				Граничні значення припуску мм		Номінальні значення припуску та розміри, мм		Виконавчий технологічний розмір, мм
i		Es(es)	Ei(ei)	Rz	h	ρ	ε	2Z ^{max}	2Z ^{min}	2Z ^н	2d ^н	
Поверхня 8 – циліндрична зовнішня. Параметри деталі: Ø259,6h10 _(-0,21) ; Ra3,2мкм; Td=0,21мм. Параметри заготовки: Ra 12,5 мкм; IT17; Td = 3,6 мм.												
1	Заготовка	+1,5	-1	160	210	1000	0	-	-	-	359,34	Ø359,34 ^{+1,5} ₋₁
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	—
3	Розточування чорнове	+0,89	-	125	120	60	100	6,14	2,75	4,25	363,59	Ø363,59 ^{+0,89}
4	Розточування напівчистове	+0,57	-	40	40	3	80	2,15	0,69	1,58	365,17	Ø365,17 ^{+0,57}
5	Розточування чистове	+0,36	-	5	5	0	50	1,19	0,26	0,83	366	Ø366 ^{+0,4}

Максимальний припуск розраховуємо за формулою (1.20):

$$2Z_3^{max} = 2,5 + 4,06 + 0,89 = 7,45 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{max} = 0,89 + 1,16 + 0,57 = 2,62 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{max} = 0,57 + 0,58 + 0,4 = 1,55 \text{ мм}$$

Номінальний припуск розраховуємо за формулою (1.21):

$$2Z_3^H = 4,06 + 1 = 5,06 \text{ мм}$$

$$2Z_4^H = 1,16 + 0,89 = 2,05 \text{ мм}$$

$$2Z_5^H = 0,58 + 0,57 = 1,15 \text{ мм}$$

Номінальний розмір розраховуємо за формулою (1.22):

$$d_5^H = 369 \text{ мм}$$

$$d_4^H = 369 + 1,15 = 370,15 \text{ мм}$$

$$d_3^H = 370,15 + 2,05 = 372,2 \text{ мм}$$

$$d_1^H = 372,2 + 5,06 = 377,26 \text{ мм}$$

Розрахунок загального номінального припуску за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = 5,06 + 2,05 + 1,15 = 8,26 \text{ мм}$$

Перевірка розраховується за формулою (1.24):

$$8,26 = 377,26 - 369$$

$$8,26 \text{ мм} = 8,26 \text{ мм}$$

На рисунку 1.9 показано схему проведених розрахунків. Результати

розрахунків заносимо до таблиці 1.6.

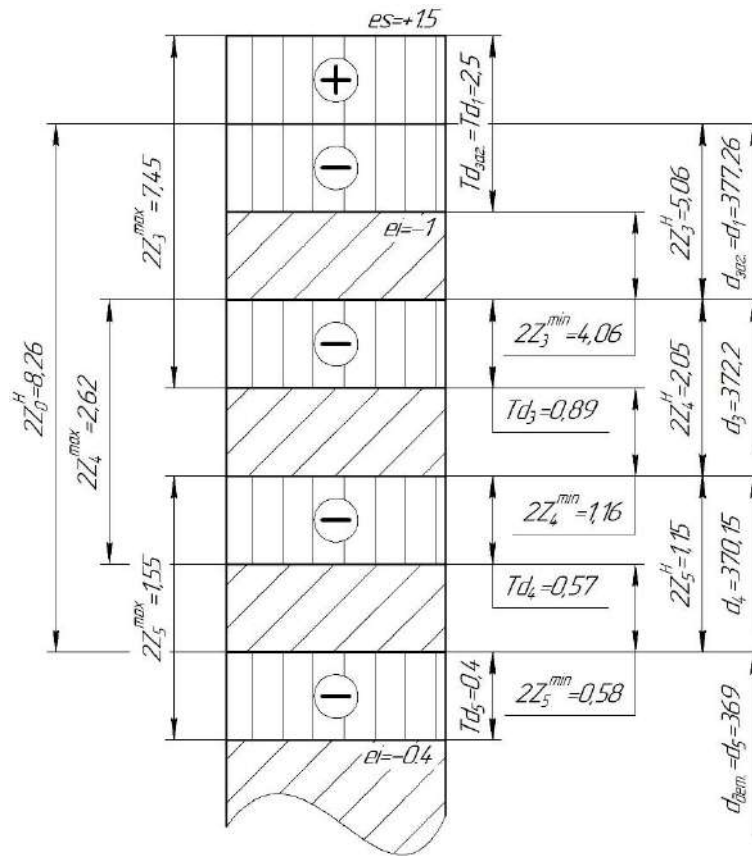


Рисунок 1.9 – Розрахункова схема припусків для поверхні 8

Поверхня циліндрична внутрішня - 10

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\emptyset 358^{+0,4}$; квалітет – IT11; шорсткість – Ra0,8; допуск – Td=0,4 мм;

2) заготовка: квалітет – IT16; шорсткість – Ra50; допуск – Td=2,5мм.

Мінімальний припуск розраховуємо за формулою (1.25):

$$2Z_3^{min} = 0,5 \cdot 2 \cdot 2,9 = 2,9 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{min} = 0,3 \cdot 2 \cdot 2,9 = 1,74 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{min} = 0,15 \cdot 2 \cdot 2,9 = 0,87 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{min} = 0,05 \cdot 2 \cdot 2,9 = 0,29 \text{ мм}$$

Максимальний припуск розраховуємо за формулою (1.20):

$$\begin{aligned} 2Z_3^{max} &= 2,5 + 2,9 + 0,89 = 6,7 \text{ мм} \\ 2Z_4^{max} &= 0,89 + 1,74 + 0,57 = 3,93 \text{ мм} \\ 2Z_5^{max} &= 0,57 + 0,87 + 0,36 = 2,33 \text{ мм} \\ 2Z_6^{max} &= 0,57 + 0,29 + 0,36 = 1,26 \text{ мм} \end{aligned}$$

Номінальний припуск розраховуємо за формулою (1.21):

$$\begin{aligned} 2Z_3^H &= 2,9 + 1,5 = 4,4 \text{ мм} \\ 2Z_4^H &= 1,74 + 1,3 = 3,04 \text{ мм} \\ 2Z_5^H &= 0,87 + 0,89 = 1,76 \text{ мм} \\ 2Z_6^H &= 0,29 + 0,57 = 0,86 \text{ мм} \end{aligned}$$

Номінальний розмір розраховуємо за формулою (1.22):

$$\begin{aligned} d_6^H &= 358 \text{ мм} \\ d_5^H &= 358 - 0,86 = 357,14 \text{ мм} \\ d_4^H &= 357,14 - 1,76 = 355,38 \text{ мм} \\ d_3^H &= 355,38 - 3,04 = 352,34 \text{ мм} \\ d_1^H &= 352,34 - 4,4 = 347,94 \text{ мм} \end{aligned}$$

Розрахунок загального номінального припуску за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = 4,4 + 3,04 + 1,76 + 0,86 = 10,06 \text{ мм}$$

Перевірка розраховується за формулою (1.24):

$$10,06 = 358 - 347,94$$

Таблиця 1.6 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам

МОП	Відхилення		Граничні значення припусків, мм		Номінальні значення припусків та розміри, мм		Виконавчий технологічний розмір, мм	
	Es(es)	Ei(ei)	2Z ^{max}	2Z ^{min}	2Z ^H	2d ^H		
1	2		3		4		5	
Поверхня 2, 9 – торцюва: - деталі: 29,5 _{-0,21} ; Ra6,3; - заготовка: IT17; Ra50; Td=1,5 мм.								
1	Заготовка	+1	-0,5	-	-	-	32,63	32,63 ⁺¹ _{-0,5}
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0,33	3,44	1,61	2,11	30,52	30,52 _{-0,33}
4	Точіння чистове	-	-0,21	1,23	0,69	1,02	29,5	29,5 _{-0,21}
Поверхня 3 – торцюва: - деталі: 1,2±0,125; Ra3,2; - заготовка: IT17; Ra50; Td=1,5 мм.								
1	Заготовка	+1	-0,5	-	-	-	6,6	6,6 ⁺¹ _{-0,2}
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0,3	4,52	3,22	3,72	2,8	2,8 _{-0,3}
4	Точіння чистове	+0.125	-0,125	1,93	1,38	1,68	1,2	1,2±0,125
Поверхня 7 – торцюва: - деталі:8,5 _{-0,36} ; Ra3,2; - заготовка: IT17; Ra50; Td=1,5 мм.								
1	Заготовка	+1	-0,5	-	-	-	14,18	14,18 ⁺¹ _{-0,5}
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0,58	5,3	3,22	3,72	10,46	10,46 _{-0,58}
4	Точіння чистове	-	-0,36	2,32	1,38	1,96	8,5	8,5 _{-0,36}

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5				
Поверхня 8 – циліндрична зовнішня: - деталі: Ø369 _{-0,4} ; IT11; Ra1,6; Td=0,4 мм; - заготовка: IT16; Ra50; Td=2,5 мм.								
1	Заготовка	+1.5	-1	-	-	-	Ø377.26	Ø377.26 ^{+1.5} ₋₁
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0.89	7.45	4.06	5.06	Ø372.2	Ø372.2 _{-0.89}
4	Точіння чистове	-	-0.57	2.62	1.16	2.05	Ø370.15	Ø370.15 _{-0.57}
5	Шліфування	-	-0.4	1.55	0.58	1.15	Ø369	Ø369 _{-0.4}
Поверхня 10 – циліндрична внутрішня: - деталі: Ø358 ^{+0.4} ; Ra0,8; - заготовка: IT16; Ra50; Td=2,5 мм.								
1	Заготовка	+1,5	-1	-	-	-	Ø347,94	Ø347,94 ^{+1,5} ₋₁
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Розточування чорнове	+1,3	-	6,7	2,9	4,4	Ø352,34	Ø352,34 ^{+1,3}
4	Розточування напівчистове	+0,89	-	3,93	1,74	3,04	Ø355,38	Ø355,38 ^{+0,89}
5	Розточування чистове	+0,57	-	2,33	0,87	1,76	Ø357,14	Ø357,14 ^{+0,57}
6	Шліфування	+0,4	-	1,26	0,29	0,86	Ø358	Ø358 ^{+0,4}

1.6 Розрахунок режимів різання

Для проведення механічної обробки необхідно призначити або розрахувати режими різання для кожної операції.

Розрахунки для токарних операцій проводимо, беручи данні з [7].

I. Операція 015 – токарна з ЧПК

Операційний ескіз показано на рисунку 1.11.

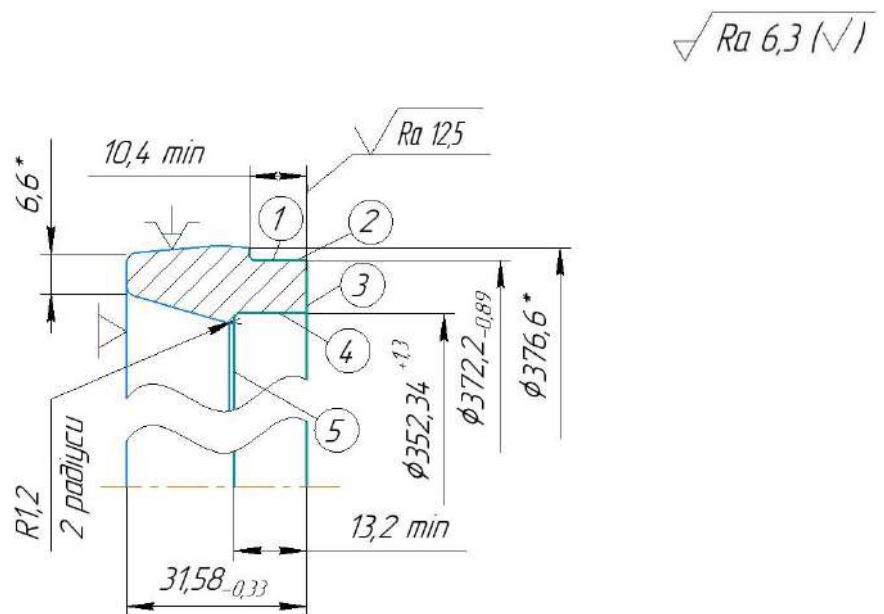


Рисунок 1.11 – Операційний ескіз ток. операції 015

Обробка на операції відбувається за переходами:

- перехід 1 – точити поверхні 1, 2, 3;
- перехід 2 – розточувати поверхні 4, 5.

1) Перехід 1, вихідні данні:

- інструмент - різець прохідний, L=200 мм, 40x25, R=1.2 мм, ГОСТ 18868-

73;

- верстат - токарний з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E.

Розраховуємо для оп. 15 глибину різання за формулами (1.26), (1.27):

$$t = H - h, \text{ мм} \quad (1.26)$$

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм} \quad (1.27)$$

де H, h - розмір торця до та після механічної обробки відповідно, мм;

D, d – діаметральний розмір до та після механічної обробки відповідно, мм.

$$t_2 = \frac{377,26 - 372,2}{2} = 2,53 \text{ мм}$$

$$t_3 = 32,63 - 31,58 = 1,05 \text{ мм}$$

Усі наступні розрахунки для оп. 15 проводяться згідно більшої розрахованої глибини різання.

Подача розраховується згідно цієї формули (1.28):

$$S_{op.} = S_T \cdot K_{S1} \cdot K_{S2}, \text{ мм/об} \quad (1.28)$$

де S_T - табличне значення подачі, мм/об;

K_{S1} - поправочний коефіцієнт на величину подачі для оп. 15, в залежності від твердості оброблюваного матеріалу;

K_{S2} - поправочний коефіцієнт на величину подачі, який визначається видом і діаметром обробки.

$$S_{op.} = 0,31 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 0,24 \text{ мм/об}$$

Приймаємо: $S_0 = 0.2 \text{ мм/об}$.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.29):

$$V_p. = V_T \cdot K_{V1} \cdot K_{V2} \cdot K_{V3} \cdot K_{V4} \cdot K_{V5} \cdot K_{V6} \cdot K_{V7} \cdot K_{V8} \cdot K_{V9} \cdot K_{V10}, \text{ м/хв} \quad (1.29)$$

де V_T - табличне значення швидкості різання;

K_{V1} - поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання в залежності від використання ЗОТС при обробці для оп. 15;

K_{V2} – поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання в залежності від головного кута в плані інструменту для оп. 15;

K_{V3} – поправочний коефіцієнт для оп. 15 на величину швидкості різання в залежності від стану оброблюваної поверхні;

K_{V4} – поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання для оп. 015 в залежності від діаметра обробки;

K_{V5} – поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання для оп. 015 в залежності від матеріалу ріжучої пластини;

K_{V6} – поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання для оп. 15 в залежності від твердості оброблюваного матеріалу;

K_{V7} – поправочний коефіцієнт для оп. 15 на величину швидкості різання в залежності від глибини різання і матеріалу різця;

K_{V8} – поправочний коефіцієнт на величину швидкості різання для оп. 15 в залежності від величини призначеної подачі;

K_{V9} – поправочний коефіцієнт для оп. 15 на величину швидкості різання в залежності від періоду стійкості інструменту;

K_{V10} – поправочний коефіцієнт для оп. 15 на величину швидкості різання в залежності від виду та діаметру обробки.

$$V_p = 98 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 0,88 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,6 = 64,42 \text{ м/хв}$$

Частота обертання розраховується за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1} \quad (1.30)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 64,42}{3,14 \cdot 377,26} = 54,36 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 55 \text{ хв}^{-1}$

Фактична швидкість різання розраховується для оп. 15 за формулою (1.31):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (1.31)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 377,26 \cdot 55}{1000} = 65,78 \text{ м/хв}$$

Основний час на обробку деталі розраховуємо за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{L_{\text{р.х.}}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.32)$$

де i – кількість переходів;

$L_{\text{р.х.}}$ – довжина робочого ходу, мм, розраховується за формулою (1.33):

$$L_{\text{р.х.}} = l_{\text{рез}} + l_{\text{вр}} + l_{\text{пр}}, \text{ мм} \quad (1.33)$$

де $l_{\text{рез}}$ – довжина різання, мм;

$l_{\text{вр}}$ – довжина врізання, $l_{\text{вр}} = 2 \dots 3$ мм;

$l_{\text{пр}}$ – довжина перебігу, $l_{\text{пр}} = 2 \dots 3$ мм.

$$L_{\text{р.х.}} = 20,33 + 2 + 2 = 24,33 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{24,33}{0,25 \cdot 55} \cdot 5 = 8,85 \text{ хв}$$

2) Перехід 2, вихідні дані:

- інструмент - різець розточний, $L=200$ мм, 40×25 , $R=1,2$ мм, ГОСТ 18873-73;

- верстат - токарний з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E.

Розраховуємо глибину різання за формулою (1.27):

$$t_4 = \frac{352,34 - 347,94}{2} = 2,2 \text{ мм}$$

Подача розраховується згідно з такою формулою (1.28):

$$S_{0p} = 0,31 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,22 \text{ мм/об}$$

Приймаємо: $S_0 = 0,2 \text{ мм/об}$.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.29):

$$V_p = 98 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1,14 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 = 95,34 \text{ м/хв}$$

Частота обертання розраховується за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 95,34}{3,14 \cdot 352,34} = 86,17 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 86 \text{ хв}^{-1}$

Фактична швидкість різання розраховується за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 352,34 \cdot 86}{1000} = 96,05 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу інструменту розраховується за формулою (1.33):

$$L_{p,x} = 13,2 + 2 + 2 = 17,2 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{17,2}{0,2 \cdot 86} \cdot 5 = 5 \text{ хв}$$

II. Операція 025 – токарна з ЧПК

Операційний ескіз показано на рисунку 1.12.

Вихідні данні:

- інструмент - різець розточний, L=200 мм, 40x25, R=0,4 мм, ГОСТ 18873-73;
- верстат - токарний з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E.

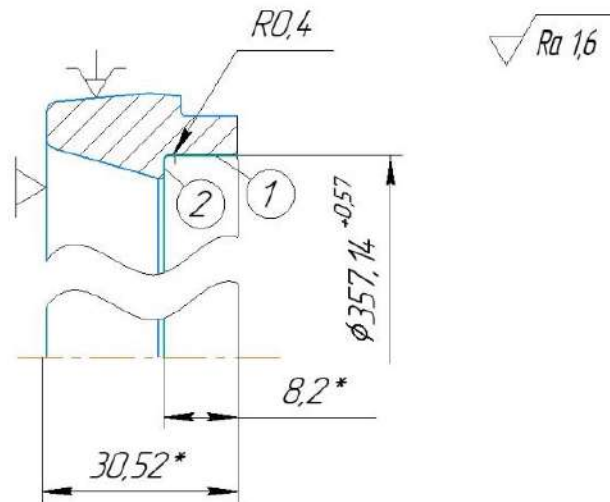


Рисунок 1.12 – Операційний ескіз до операції 025

Розраховуємо глибину різання за формулою (1.27):

$$t_4 = \frac{357,14 - 355,38}{2} = 0,88 \text{ мм}$$

Подача розраховується згідно формули (1.28):

$$S_{0p} = 0,31 \cdot 0,8 \cdot 0,77 = 0,19 \text{ мм/об}$$

Приймаємо: $S_0 = 0,19 \text{ мм/об}$.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.29):

$$V_p = 98 \cdot 1 \cdot 0,82 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,67 \cdot 1,19 \cdot 0,91 \cdot 1 \cdot 0,6 = 34,27 \text{ м/хв}$$

Частота обертання розраховується за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 34,27}{3,14 \cdot 357,14} = 30,56 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 31 \text{ хв}^{-1}$

Фактична швидкість різання розраховується за формулою (1.31):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 357,14 \cdot 31}{1000} = 35,10 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{p,x} = 8,2 + 2 + 2 = 12,2 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{12,2}{0,19 \cdot 31} \cdot 4 = 8,29 \text{ хв}$$

III. Операція 105 – шліфувальна з ЧПК

Операційний ескіз показано на рисунку 1.13.

Вихідні данні:

- інструмент - шліфувальний круг спеціальний конічний з кутом 16° , основні розміри і параметри 100×50×20 25A 10-П С2 7 K1A 20 м/с А 1 кл.;
- верстат - шліфувальний обробний центр мод. VIG-8060D.

Розраховуємо глибину різання за формулою (1.27):

$$t_4 = \frac{366 - 364.8}{2} = 0.6 \text{ мм}$$

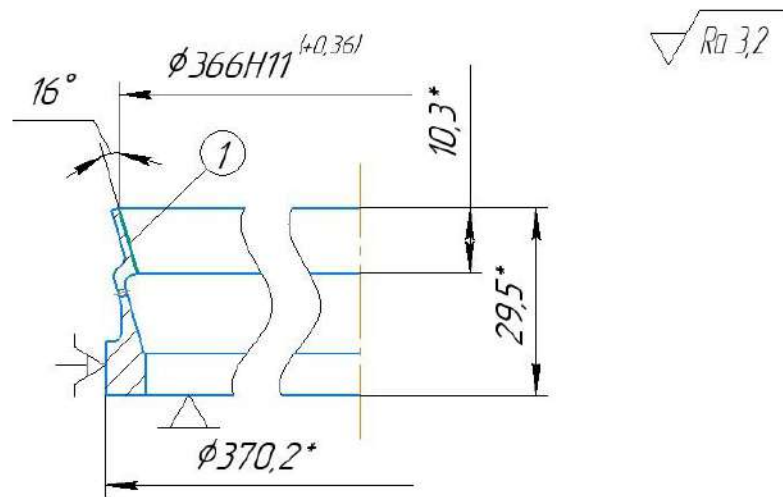


Рисунок 1.13 – Операційний ескіз шліф. операції 105

Швидкість шліфкруга визначаємо згідно [9,ст.301,табл.55]: $V_k=20$ м/с.

Частота обертання шліфувального круга розраховується за формулою (1.34):

$$n = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_k}{\pi \cdot D_k}, \text{ хв}^{-1} \quad (1.34)$$

де D_k – діаметр шліфувального круга, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 20}{3,14 \cdot 100} = 3821,66 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 3820 \text{ хв}^{-1}$. За паспортом верстата максимальна швидкість шпинделя 3000 об/хв.

Розраховуємо фактичну швидкість різання шліфкруга, формула (1.35):

$$V_{ф.к.} = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n}{1000 \cdot 60}, \text{ м/хв} \quad (1.35)$$

$$V_{ф.к.} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 3820}{1000 \cdot 60} = 19,99 \text{ м/хв}$$

Швидкість деталі визначаємо згідно [9,ст.301,табл.55]: $V_d = 40$ м/хв.

Частота обертання шліфувального круга розраховується за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 366} = 34,8 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 35 \text{ хв}^{-1}$.

Розраховуємо дійсну $V_{\text{д.к.}}$ шліфувального круга за формулою (1.31):

$$V_{\text{д.к.}} = \frac{3,14 \cdot 366 \cdot 35}{1000} = 40,2 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо повздовжню подачу за формулою (1.36):

$$S_{\text{п.}} = (0.4 \dots 0.6) \cdot B, \text{ мм/об} \quad (1.36)$$

де B – ширина шліфкруга, мм.

$$S_{\text{п.}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ мм/об}$$

Визначаємо поперечну подачу: $S_{\text{п.п}} = 0,0025 \text{ мм/об}$.

Розраховуємо довжину робочого ходу при шліфуванні за формулою (1.37):

$$L_{\text{р.х.}} = l_{\text{р.х.}} - \frac{1}{3} \cdot B, \text{ мм} \quad (1.37)$$

де $l_{\text{р.х.}}$ - довжина робочого ходу при шліфуванні розраховується за формулою (1.33):

$$l_{\text{р.х.}} = 10,3 + 2 + 2 = 14,3 \text{ мм}$$

Розраховуємо довжину робочого ходу при шліфуванні, формула (1.37):

$$L_{p,x} = 14,3 - \frac{1}{3} \cdot 10 = 10,97 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.38):

$$T_o = \frac{L_{p.x} \cdot (t + 0.01) \cdot K}{S_{п.} \cdot S_{п.п} \cdot n_d}, \text{ хв} \quad (1.38)$$

$$T_o = \frac{10,97 \cdot (0,6 + 0,01) \cdot 1,5}{5 \cdot 0,0025 \cdot 35} = 22,94 \text{ хв}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Режими різання на механічні операції

№ оп	Інструмент за переходом	Зміст переходу	t, мм	Режими різання			T _o , хв
				п, хв ⁻¹	S, мм/об	V, м/хв	
1	2	3	4	5	6	7	8
015	Токарна з ЧПК Верстат - токарний верстат з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E						
	різець прохідний, R=1,2 мм, ГОСТ 18868-73	Точить поверхні 1, 2, 3	2,53	55	0,25	65,78	8,85
	різець розточний, R=1,2 мм, ГОСТ 18873-73	Розточувати поверхні 4, 5	2,2	86	0,2	96,05	5
ΣT _o							13,85
020	Токарна з ЧПК Верстат - токарний верстат з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E						
	різець прохідний, R=1,2 мм, ГОСТ 18868-73	Точить по- верхні 1, 2, 3	1,06	65	0,24	76,69	2,68
	різець розточний, R=1,2 мм, ГОСТ 18873-73	Розточувати поверхні 4, 5	1,52	29	0,22	32,67	5,08
ΣT _o							7,76
025	Токарна з ЧПК Верстат - токарний верстат з ЧПК мод. VICTOR Vturn-20E						
	різець прохідний, R=0,4 мм, ГОСТ 18868-73	Точить поверхні 1, 2	0,88	31	0,19	35,1	8,29

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7	8
050	Токарна з ЧПК Верстат - токарний обробний центр з ЧПК мод. VICTOR Vturn-S26						
	різець прохідний, R=1,2 мм, ГОСТ 18868-73	Точить поверхні 1, 2, 3, 4, 5, 6	1,78	33	0,24	38,72	10,7
	різець розточний, R=1,2 мм, ГОСТ 18873-73	Розточувать поверхні 7, 8, 9	1,63	84	0,24	96,55	3,9
ΣT_0							14,6
055	Токарна з ЧПК Верстат - токарний обробний центр з ЧПК мод. VICTOR Vturn-S26						
	різець прохідний, R=0,4 мм, ГОСТ 18868-73	Точить поверхні 1, 2, 3, 4, 5, 6	0,8	30	0,19	34,86	19,51
	різець розточний, R=0,4 мм, ГОСТ 18873-73	Розточувати поверхні 7, 8, 9	1,1	30	0,19	34,69	23,53
ΣT_0							43,04
080	Електроерозійна з ЧПК Верстат - координатно-прошивний електроерозійний верстат мод. CNC-EB3010L						
		Прожигати отвори 1	-	-	-	-	17,3
		Прожигати пази	-	-	-	-	10,8
ΣT_0							28,1
105	Шліфувальна з ЧПК Верстат - Шліфувальний обробний центр мод. VIG-8060D						
	шліфувальний круг спец. 100x50x20 25A 10-П С2 7 К1А 20 м/с А 1 кл. по ГОСТ 2424-83	Шліфувати поверхні 1, 2	0,6	$n_k=3820$ $n_d=35$	$V_k=19,99$ $V_d=40,22$	$S_{n_i}=5$ $S_{n_i,n_i}=0,0025$	22,94

1.7 Технічне нормування операцій

I. Операція 015 – токарна з ЧПК

Проводимо розрахунок додаткового часу на операцію за формулою (1.39):

$$T_{\text{доп.}} = T_{\text{вст-зн}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{х.х.}} + T_{\text{зм.ін.}} + T_{\text{контр.}}, \text{хв} \quad (1.39)$$

де $T_{\text{вст-зн}}$ – час на встановлення та зняття заготовки з верстату, визначається згідно [10,с.199,к.5.5];

$T_{\text{упр}}$ – час на управління верстатом, хв;

$T_{\text{х.х.}}$ – час на холостий хід інструменту, хв;

$T_{\text{зм.ін.}}$ – час, потрібний для зміни інструменту, хв;

$T_{\text{контр.}}$ – час, необхідний для контролю розмірів, виконаних на цій операції, розраховується за формулою (1.40):

$$T_{\text{контр.}} = K \cdot (L \cdot i), \text{хв} \quad (1.40)$$

де L – час на контроль заданим інструментом, визначається згідно [10,с.206-208,к.5.11-5.13];

i – кількість контрольованих розмірів;

K – коефіцієнт для розрахунку часу.

$$T_{\text{контр.}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 5 = 0,833 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.41):

$$T_{\text{зм.ін.}} = K \cdot i \cdot a, \text{хв} \quad (1.41)$$

де a – час, необхідний на зміну одного інструменту, хв;

i – кількість використовуваних інструментів, шт.

$$T_{\text{зм,ін,}} = 1,85 \cdot 2 \cdot 0,035 = 0,13 \text{хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.42):

$$T_{x,x} = T_{ш.в.і.} \cdot i \cdot K + T_{ш.п.і.} \cdot k \cdot K, \text{ хв} \quad (1.42)$$

де $T_{ш.в.і.}$ – час, необхідний для швидкого відводу інструменту, визначається з [10,с.202,к.5.8], хв;

$T_{ш.п.і.}$ – час, необхідний для швидкого підводу інструменту, визначається з [10,с.202,к.5.8], хв;

i, k – кількість використовуваних інструментів, шт.

$$T_{x,x} = 0,025 \cdot 2 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 2 \cdot 1,85 = 0,204 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.43):

$$T_{упр} = T_{вкл-викл} \cdot i + T_{сmob} \cdot k, \text{ хв} \quad (1.43)$$

де $T_{вкл-викл}$ – час, необхідний для включення та виключення верстата, визначається з [10,с.202,к.5.8], хв;

$T_{сmob}$ – час, необхідний для закриття та відкриття захисного екрану, визначається з [10,с.202,к.5.8], хв;

i, k – кількість дій.

$$T_{упр} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 2 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 2 = 0,148 \text{ хв}$$

За формулою (1.39) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{доп} = 0,833 + 0,13 + 0,204 + 0,148 + 0,111 = 1,42 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.44):

$$T_{оп} = T_o + T_{доп}, \text{ хв} \quad (1.44)$$

$$T_{оп} = 13,85 + 1,42 = 15,27 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.45):

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot \alpha_{\Sigma}, \text{ хв} \quad (1.45)$$

де α_{Σ} – відсоток додаткового часу від $T_{\text{оп}}$, визначається з [10,с.214,к.6.1].

$$T_{\text{дод}} = 15,27 \cdot 0,06 = 0,92 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.46):

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \text{ хв} \quad (1.46)$$

$$T_{\text{шт}} = 15,27 + 0,92 = 16,19 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховуємо за формулою (1.47):

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{N}, \text{ хв} \quad (1.47)$$

де N – обсяг партії заготовок, шт;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час, хв, розраховується за формулою (1.48):

$$T_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}}, \text{ хв} \quad (1.48)$$

де $t_{\text{пз1}}, t_{\text{пз2}}, t_{\text{пз3}}$ – нормативи підготовчо-заключного часу, визначається з [10,с.215,к.6.3].

$$T_{\text{пз}} = 7 + 2 + 7 = 16 \text{ хв}$$

За формулою (1.47) розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 16,19 + \frac{16}{20} = 16,99 \text{ хв}$$

II. Операція 025 – токарна з ЧПК

Час, необхідний для контролю розмірів за операцією, розраховується за

формулою (1.40):

$$T_{\text{контр}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 5 = 0,833 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.41):

$$T_{\text{зм,ін}} = 1,85 \cdot 2 \cdot 0,035 = 0,13 \text{ хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.42):

$$T_{\text{х,х}} = 0,025 \cdot 2 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 2 \cdot 1,85 = 0,204 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.43):

$$T_{\text{упр}} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 2 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 2 = 0,148 \text{ хв}$$

За формулою (1.39) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{\text{доп}} = 0,833 + 0,13 + 0,204 + 0,148 + 0,111 = 1,42 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.44):

$$T_{\text{оп}} = 7,76 + 1,42 = 9,18 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.45):

$$T_{\text{дод}} = 9,18 \cdot 0,06 = 0,55 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.46):

$$T_{шт} = 9,18 + 0,55 = 9,74 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховуємо за формулою (1.47):

$$T_{шт-к} = 9,74 + \frac{16}{20} = 10,54 \text{ хв}$$

III. Операція 105 – шліфувальна з ЧПК

Час, необхідний для контролю розмірів за операцією, розраховується за формулою (1.40):

$$T_{контр,} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 2 = 0,333 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.41):

$$T_{зм,ін,} = 1,85 \cdot 1 \cdot 0,035 = 0,065 \text{ хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.42):

$$T_{х,х,} = 0,025 \cdot 1 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 1 \cdot 1,85 = 0,102 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.43):

$$T_{упр} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 1 = 0,074 \text{ хв}$$

За формулою (1.39) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{доп} = 0,333 + 0,065 + 0,102 + 0,074 + 0,111 = 0,68 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.44):

$$T_{\text{оп}} = 22,94 + 0,68 = 23,62 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.45):

$$T_{\text{дод}} = 23,62 \cdot 0,12 = 2,83 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.46):

$$T_{\text{шт}} = 23,62 + 2,83 = 26,46 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховуємо за формулою (1.47):

$$T_{\text{шт-к}} = 26,46 + \frac{12}{20} = 27,06 \text{ хв}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технологічне нормування операцій

№ оп.	Операції	T_o , хв	$T_{\text{всп}}$, хв	$T_{\text{оп}}$, хв	$T_{\text{дод}}$, хв	$T_{\text{шт}}$, хв	$T_{\text{пз}}$, хв	$T_{\text{шт-к}}$, хв
015	Токарна з ЧПК	13,85	1,42	18,27	0,92	16,19	16	16,99
020	Токарна з ЧПК	7,76	1,42	9,18	0,55	9,74	16	10,54
025	Токарна з ЧПК	8,13	0,68	8,97	0,54	9,51	16	10,31
050	Токарна з ЧПК	14,6	2,76	17,36	1,04	18,4	16	19,2
055	Токарна з ЧПК	43,04	2,92	45,96	2,76	48,72	16	49,52
080	Електроерозійна з ЧПК	28,1	9,25	37,35	1,12	38,47	3	38,62
105	Шліфувальна з ЧПК	22,94	0,68	23,62	2,83	26,46	12	27,06
120	Шліфувальна з ЧПК	27,77	1,26	29,03	3,48	32,51	12	33,11

1.8 Розробка керуючої програми для операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

Для виконання обробки на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) необхідно виконати написання керуючої програми.

Керуюча програма може бути написана і введена як на верстаті (частіше усього це виконує оператор на стойці верстата або програміст), так і за допомогою різноманітних програм. А за допомогою деяких з таких програм програмісту необхідно лише задати тривимірну модель деталі та заготовки, а також необхідні параметри та програма буде розрахована автоматично.

У дипломному проєкті для деталі «Кільце опорне зовнішнє» при розробці програм на верстаті з ЧПК використовується програма NX 12.0. Для розробки програми необхідно створити 3D-модель деталі (рис.1.15) та 3D-модель заготовки (рис.1.16), і їх поєднати (рис.1.17).



Рисунок 1.15 - 3D-модель деталі
«Кільце опорне зовнішнє»



Рисунок 1.16 - 3D-модель заготовки
«Кільце опорне зовнішнє»

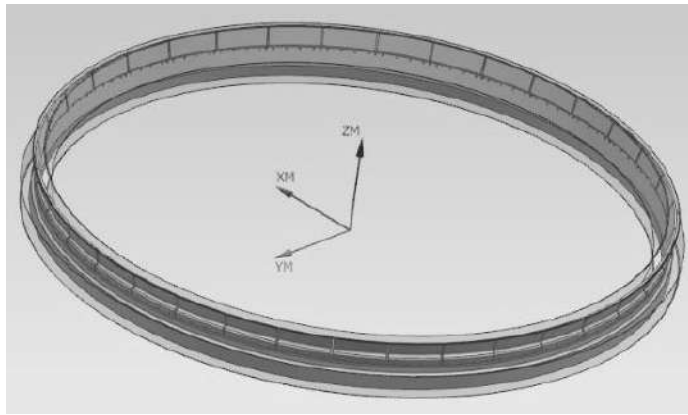


Рисунок 1.17 – Ескіз деталі з накладенням заготовки-фантом

1.8.1 Операція 015 – токарна з ЧПК

На даній операції обробка деталі виконується за два переходи (див.п.1.6).

Інструмент та його характеристики задані на рисунку 1.18. Генерація траєкторії руху інструменту задані на рисунку 1.19.

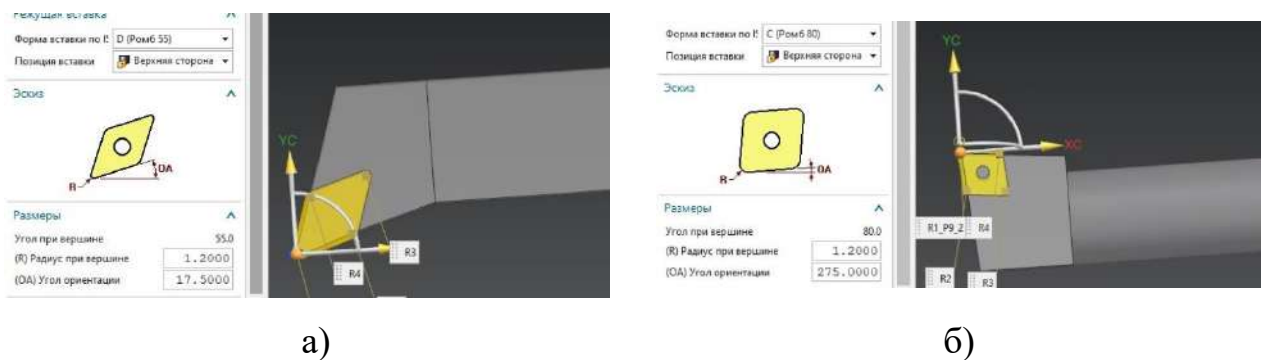
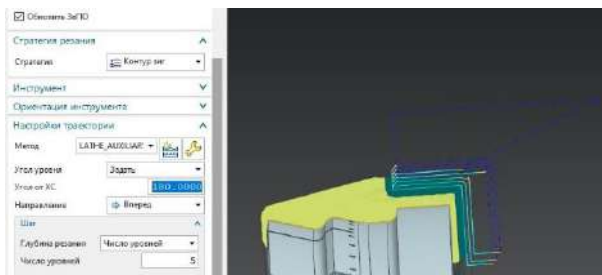
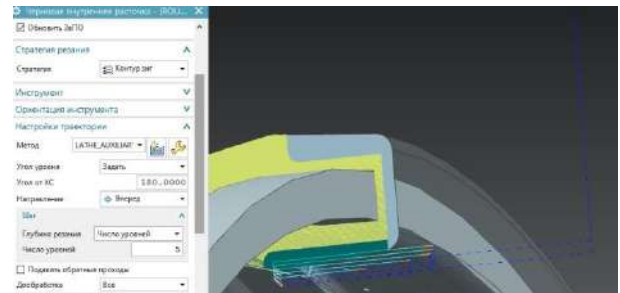


Рисунок 1.18 – Інструмент та його параметри (а – перший перехід;
б – другий перехід)



а)



б)

Рисунок 1.19 – Траектория ruchu різця (а – перший перехід; б – другий перехід)

Керуючу програму приведено в Додатку А.

1.8.2 Операція 025 – токарна з ЧПК

Інструмент та його характеристики задані на рисунку 1.20. Генерація траєкторії руху інструменту задані на рисунку 1.21. Керуючу програму приведено в Додатку А.

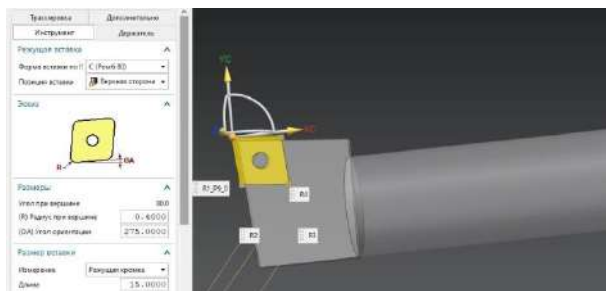


Рисунок 1.20 – Інструмент та його параметри

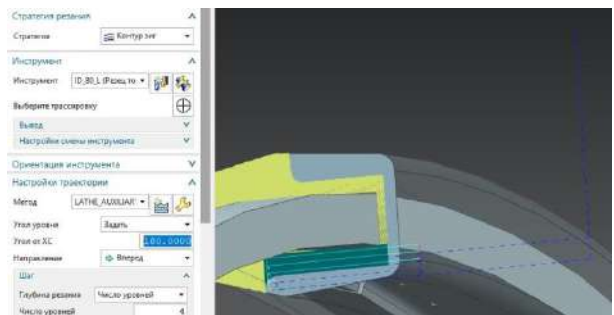


Рисунок 1.21 – Траектория ruchu різця

1.8.3 Операція 055 – токарна з ЧПК

На даній операції обробка деталі виконується за два переходи (див.п.1.6).

Інструмент та його характеристики задані на рисунку 1.22.

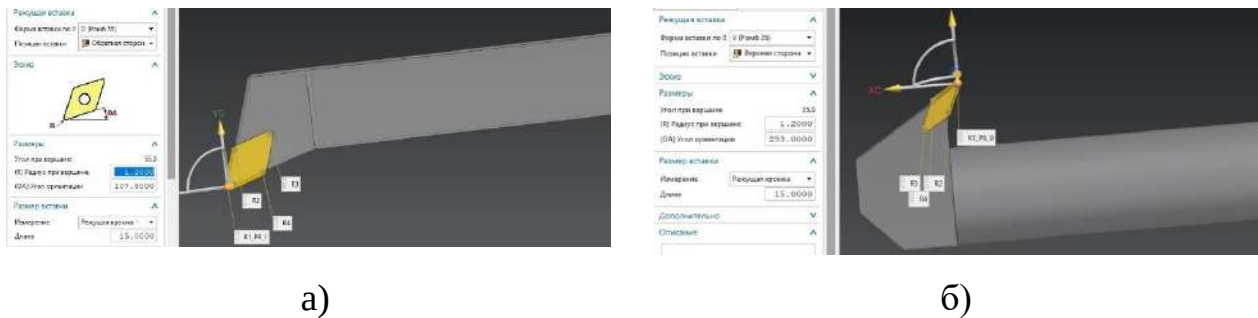


Рисунок 1.22 – Інструмент та його параметри (а – перший перехід; б – другий перехід)

Генерація траєкторії руху інструменту задані на рисунку 1.23.

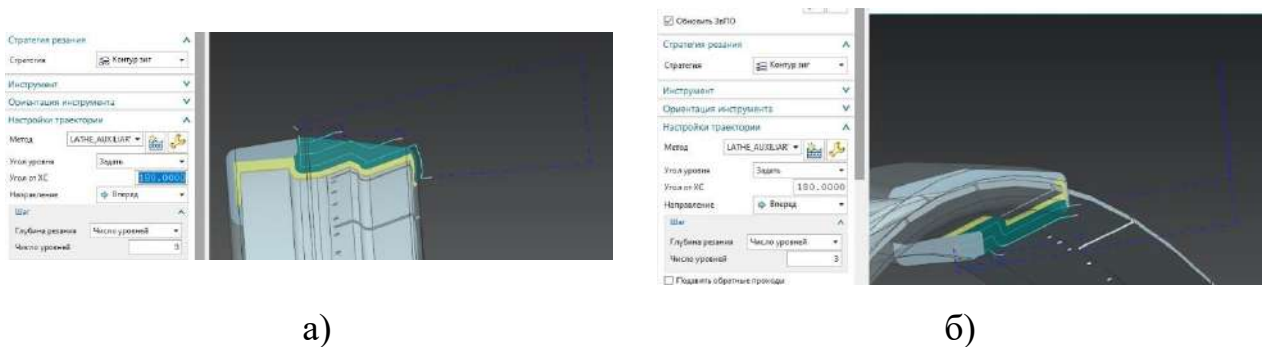


Рисунок 1.23 – Траєкторія руху різця (а – перший перехід; б – другий перехід)

Керуючу програму приведено в Додатку А.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування токарного пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Для забезпечення високої якості та продуктивності процесу обробки в технологічному процесі виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє» спроектовано та розраховано робоче пристосування.

Для операції 015 токарної з ЧПК спроектовано спеціальне робоче пристосування (рис.2.1).

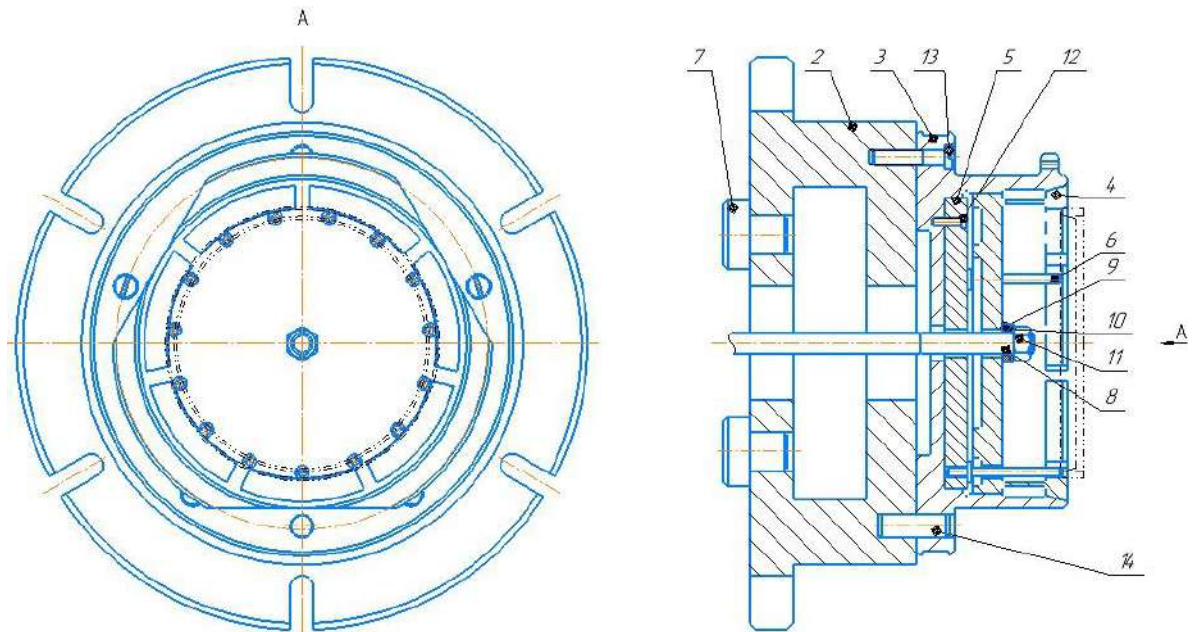


Рисунок 2.1 – Ескіз токарного робочого пристосування

Дане пристосування складається з таких елементів, як: верстатний гідравлічний циліндр, два корпуси, цанга. Закріплення деталі проводиться так: деталь встановлюється на три опори 6, мастило подається у умовну праву порожнину гідроциліндру 1 (встроений гідроциліндр в ескізі не показано), шток з тягою 8 та гайкою 11 переміщується ліворуч, за рахунок чого тиск на цангу 4 росте, пелюстки цанги стискаються – деталь закріплена.

Розкріплення деталі відбувається так само як і закріплення. В зворотному порядку.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

1) Похибка базування та закріплення

Для точного встановлення заготовки у пристосування необхідно розрахувати похибку встановлення за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{\text{в.}} = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де ε_6 - похибка базування, мм;

ε_3 - похибка закріплення, мм.

$$\varepsilon_{\text{в.}} = \sqrt{0^2 + 0,05^2} = 0,05 \text{ мм}$$

2) Розрахунок пристосування на точність проводиться за формулою (2.2):

$$T_{\text{н}} \leq T_{\text{обр.}} - k_p \cdot \sqrt{(k_1 \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + (k_2 \cdot w)^2}, \text{ мм} \quad (2.2)$$

де $T_{\text{обр.}}$ - допуск на розмір обробки [10,ст.63,табл.5.2], мм;

k_p - коефіцієнт, який враховує відхилення складових величин від закону нормального розпаду [10,ст.63,табл.5.2], $k_p = 1 \dots 1.2$;

k_1 - коефіцієнт, який враховує зменшення похибки базування [10,ст.63,табл.5.2], $k_1 = 0.8 \dots 0.85$;

k_2 - коефіцієнт, який враховує частоту похибки обробки [10,ст.63,табл.5.2], $k_2 = 0.6 \dots 0.65$;

w - середня економічна точність обробки [10,ст.63,табл.5.2], $w = 0.1$.

$$T_H \leq 0,12 - 1,2 \cdot \sqrt{(0,8 \cdot 0,05)^2 + 0 + (0,6 \cdot 0,1)^2} = 0,05 \text{ мм}$$

Провівши аналіз проведених розрахунків можливо зробити висновок, що отримання необхідної точності під час обробки на даному пристосуванні забезпечується

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Необхідна сумарна сила затиску розраховується по формулі (2.3):

$$W = \frac{k}{f} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot M_{кр}^2}{D^2} + P_x^2}, H \quad (2.3)$$

де k - коефіцієнт запасу, $k \approx 2.5$;

f - коефіцієнт зачеплення між робочими поверхнями і заготівкою, $f = 0.16$;

D - діаметр цанги в місці контакту з заготівкою, мм;

P_x - осьова сила різання, Н;

$M_{кр}$ - крутильний момент, розраховується за формулою (2.4):

$$M_{кр} = P_z \cdot \frac{D}{2}, H \cdot м \quad (2.4)$$

де P_z - тангенціальна сила різання, розраховується за формулою (2.5):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, H \quad (2.5)$$

де C_p – постійна, згідно [8,ст.272,табл.21];

x, y, n – показники ступенів, згідно [8,ст.272,табл.21];

S – подача (див.п.1.6), мм/об;

t – глибина різання (див.п.1.6), мм;

V – швидкість різання (див.п.1.6), м/хв;

K_p – поправний коефіцієнт, розраховується за формулою (2.6):

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (2.6)$$

де K_{Mp} – поправний коефіцієнт, враховуючий якість обробного матеріалу, постійна, згідно [8,ст.264,табл.9];

$K_{\varphi p}$ – поправний коефіцієнт, враховуючий головний кут у плані, показники ступенів, згідно [8,ст.275,табл.23];

$K_{\gamma p}$ – поправний коефіцієнт, враховуючий передній кут, згідно [8,ст.275,табл.23];

$K_{\lambda p}$ – поправний коефіцієнт, враховуючий кут нахилу головного леза, згідно [8,ст.275,табл.23];

K_{rp} – поправний коефіцієнт, враховуючий радіус при вершині, згідно [8,ст.275,табл.23].

$$K_p = 1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,93 = 1,16$$

Розраховуємо тангенціальну силу різання за формулою (2.5):

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 2,9^1 \cdot 0,25^{0,75} \cdot 66,3^0 \cdot 1,16 = 2431,5 \text{ Н}$$

Крутильний момент розраховується за формулою (2.4):

$$M_{кр} = 2431,5 \cdot \frac{371,2}{2} = 451288,33 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 451,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Розраховуємо осьову силу різання за формулою (2.7):

$$P_x = 0,7 \cdot P_z, \text{ Н} \quad (2.7)$$

$$P_x = 0,7 \cdot 2431,5 = 1702,1 \text{ Н}$$

Необхідна сумарна сила затиску розраховується по формулі (2.3):

$$W = \frac{2,5}{0,16} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 451,3^2}{371,2^2} + 1702,1^2} = 26594,7 \text{ Н}$$

Визначаємо силу стиску пелюстків цанги до моменту торкання їх із заготовкою (2.8):

$$W_i = 2 \cdot 10^3 \cdot s \cdot h \cdot \frac{D^3}{l^3}, \text{ Н} \quad (2.8)$$

де s - зазор між заготовкою і цангою [10,ст.289], $s = 0.08$ мм;

h - товщина пелюстка цанги, мм;

l - виліт пелюстка цанги від місця закладення до середини конуса, мм.

$$W_i = 2 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 5,3 \cdot \frac{371,2^3}{185,6^3} = 6784 \text{ Н}$$

Отже сумарна сила затиску заготовки у пристосуванні під час обробки розраховується за формулою (2.9):

$$Q = i \cdot (W + W_i), \text{ Н} \quad (2.9)$$

де i - передаточне відношення цангового механізму, $i = 1.03$.

$$Q = 1,03 \cdot (26594,7 + 6784) = 34380,03 \text{ Н}$$

За визначеною силою затиску необхідно провести підбір оптимального розміру гідравлічного циліндру.

Діаметр гідравлічного циліндру визначається за формулою (2.10):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\rho \cdot \pi \cdot \eta}}, \text{ мм} \quad (2.10)$$

де ρ - тиск рідини, $\rho = 2 \dots 5$ МПа;

η - коефіцієнт корисної дії (ККД), $\eta = 0.8 \dots 0.95$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 34380,03}{3 \cdot 3,14 \cdot 0,95}} = 123,96 \text{ мм}$$

Відповідно до ГОСТ 6540-68 приймаємо такі параметри для гідравлічного циліндра: $D=125$ мм, $d=32$ мм.

Згідно підібраних параметрів циліндра проводимо розрахунок дійсної сили затиску за формулою (2.11):

$$Q = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \eta, \text{ мм} \quad (2.11)$$

$$Q = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 125^2}{4} \cdot 0,95 = 34957,03 \text{ мм}$$

Провівши порівняння необхідної та дійсної сил затиску можливо зробити висновок, що дане пристосування спроектовано добре та гідравлічний циліндр підібрано вірно.

2.2 Проєктування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Для проведення контролю у дипломному проєкті підібрано контрольне пристосування (рис.2.2).

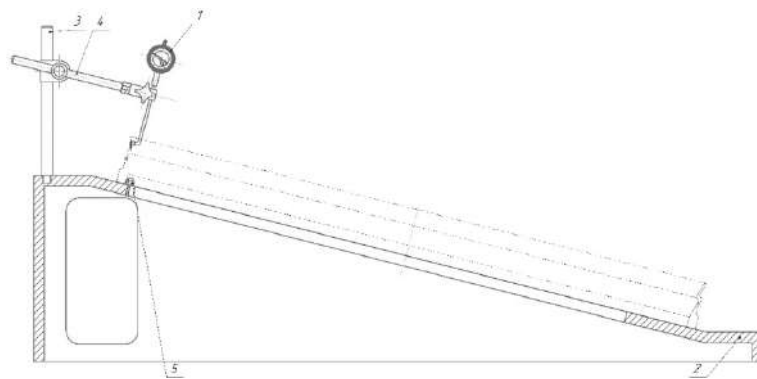


Рисунок 2.2 – Ескіз контрольного пристосування

Даний контрольний пристрій складається з: електронного датчика з блоком датчиків, плити, стойки, планки та роликів.

Принцип роботи: деталь кладеться на плиту 2 та фіксується за два ролики 5, до поверхні, яку необхідно контролювати, підводиться ніжка датчика 1 і на електронному датчику показується, яку точність має деталь.

На блоці датчиків знаходяться три датчики, за допомогою яких можливо побачити характеристику деталі: «придатне», «брак -», «брак +». Данні датчики налаштовуються перед початком вимірювань за допомогою еталонної деталі.

2.2.2 Розрахунок на точність

Контрольне пристосування має бути високоточним для забезпечення правильності вимірів. Для цього необхідно провести розрахунок сумарної похибки контрольно-вимірювального приладу за формулою (2.12):

$$E_{\text{кп}} = \varepsilon + \Delta_e + \Delta_{\text{зас}} + \Delta_t + \Delta_p + \Delta_{\text{вз}}, \text{ мкм} \quad (2.12)$$

де Δ_p – похибка передаючого пристрою, мкм;

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі, мкм;

$\Delta_{\text{зас}}$ – похибка вибраного засобу виміру, мкм;

Δ_t – похибка, викликана зміною температури довкілля, мкм;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка, що викликається вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації, мкм;

ε – похибка положення контрольованої деталі в пристосуванні, мкм, розраховується за формулою (2.13):

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \text{ мкм} \quad (2.13)$$

де ε_6 – похибка базування, мкм;

ε_3 – похибка закріплення, мкм;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – неточність виготовлення елементів пристосування, мкм, розраховується за формулою (2.14):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}, \text{ мкм} \quad (2.14)$$

де Δ_1 – відхилення положення вісі наконечника від заданої точки виміру, мкм;

Δ_2 – похибка положення наконечника у горизонтальному напрямі, мкм;

Δ_3 – похибка осьового переміщення, мкм;

Δ_4 – похибка виміру величини відхилення від перпендикулярності переміщення вимірювального наконечника відносно вісі отвору в деталі, мкм;

Δ_5 – похибка від неспівпадіння напрямку виміру і розміру, мкм.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{0 + 10^2 + 4^2 + 0 + 0} = 10,77 \text{ мкм}$$

Проводимо розрахунок похибки положення контрольованої деталі за формулою (2.13):

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 0 + 10,11^2} = 10,77 \text{ мкм}$$

Погрішність, що викликається вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації, розраховуємо за формулою (2.15):

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{зус}}^2}{r}} \quad (2.15)$$

де $P_{\text{зус}}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус вимірювального наконечника, мкм;

K – коефіцієнт, залежний від матеріалу наконечника.

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{2,5}} = 0,71 \text{ мкм}$$

Проводимо розрахунок сумарної похибки контрольно-вимірювального приладу за формулою (2.12):

$$E_{\text{кп}} = 10,77 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0,71 = 13,48 \text{ мкм}$$

Порівнявши розраховану фактичну сумарну похибку з допустимою (згідно ДСТУ 8.051-81 [10]):

$$E_{\text{кп}} = 13,48 \text{ мкм} < |E_{\text{кп}}| = 20 \text{ мкм}$$

Робимо висновок, що необхідна умова точності при вимірюванні буде витримана.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ ЦИКЛІЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗОТС НА ВИРОБНИЦТВІ

Більшість обробки матеріалів на верстатах проходить з використанням змащувально-охолоджувального технологічного середовища (ЗОТС), що у свою чергу призводить до зниження пружних віджимань в технологічній системі при її фіксованій жорсткості.

Приклад використання ЗОТС показано на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Приклад використання ЗОТС на верстатах

3.1 Види та характеристики ЗОТС

Основними технічними характеристиками ЗОТС є щільність і в'язкість, які залежать від складу та визначають їх змащувальні та охолоджувальні якості. Також важливою властивістю охолоджуючої рідини є температура замерзання, що визначає умови, в яких можливе застосування мастила. Залежно від складу, ЗОТС поділяються на [11]: газоподібні; пластичні; тверді; рідкі (водні; розплави;

швидко випаровані; масляні: мінеральні масла; рослинні та тваринні масла; синтетичні масла).

Масляні ЗОТС - це чисті мінеральні масла (в'язкість 2...40 мм²/с при 50°C) або з добавками різноманітних функціональних присадок (протизадирні, антифрикційні, антитуманні, антикорозійні тощо). Виробляються з нафтопродуктів, у зв'язку з чим належать до горючих рідин.

Мають відмінні змащувальні властивості, але при цьому відзначається ряд недоліків: низька здатність до охолодження, наявне випаровування та високий рівень пожежної небезпеки. Масляні ЗОТС не вимагають спеціального приготування, вони випускаються готовими до застосування.

Чисті мінеральні олії без присадок мають обмежене застосування і найчастіше застосовуються при простих роботах із кольоровими металами (бронза, латунь, мідь), а також із вуглецевими сталями та чавуном. Для важкооброблюваних матеріалів підходять масляні ЗОТС складнішого складу з присадками.

Роблячи вибір між декількома марками ЗОТС з аналогічними характеристиками, фахівці рекомендують віддати перевагу тим продуктам, які:

- мають більш високу прозорість для кращого огляду робочої зони;
- не утворюють масляний туман та безпечні для персоналу;
- не містять хлору і, при цьому, мають високі змащувальні властивості та забезпечують необхідну якість обробки.

Водозмішувані (синтетичні та напівсинтетичні) ЗОТС у своєму складі містять різні органічні та неорганічні речовини, серед яких: спирти, вода, емульгатори, електроліти, біоциди, інгібітори корозії, протизадирні присадки тощо.

Переваги цього виду емульсолів – невисока вартість, простота приготування робочих емульсій, низька пожежна небезпека, хороші властивості, що охолоджують. Недоліки – піноутворення, високий ступінь біопоразки мікроорганізмами та витрати на утилізацію.

Ця група включає три основні різновиди ЗОТС з різною дисперсністю

основного компонента:

1. Емульсійні: грубодисперсні продукти, які отримують шляхом розведення водою емульсолів, що містять до 85% мінеральних масел. Внаслідок змішування емульсолу і води в концентрації 5-30% утворюється емульсія білого кольору, яка має високі змащувальні характеристики.

2. Напівсинтетичні: концентровані продукти з колоїдним ступенем дисперсії містять до 50% мінеральних масел. Робочий напівпрозорий розчин концентрацією 1...10% одержують при змішуванні з водою. Він рівною мірою характеризується хорошими змащувальними та охолоджувальними властивостями.

3. Синтетичні: концентрати, які не містять олій, мають молекулярний ступінь дисперсності. Основні компоненти: поверхнево-активні речовини (ПАР), вода, водорозчинні полімери та присадки. Робочий розчин у концентрації 1-10% має високі охолоджувальні властивості.

Основними сферами застосування змащувально-охолоджуючих рідин є токарна та фрезерна обробка металів. Також ЗОТС застосовують на свердлильних, протяжних, довбальних та шліфувальних операціях. Емульсол для металообробки вибирається, виходячи з конкретних умов виробництва: типу обладнання, застосовуваного інструменту, виконуваних технологічних операцій, матеріалу заготівлі, способу подачі робочої емульсії тощо [11].

3.2 Циклічне використання ЗОТС

Автоматизоване циклічне використання ЗОТС дозволяє його постійне використання з постійним відновленням складу та властивостей, що підвищує загальну продуктивність технологічного процесу, через відсутність необхідності постійно слідкувати, моніторити стан ЗОТС та його постійно замінити.

Під час циклічного використання ЗОТС підлягає очищенню, яке включає

у себе [12]: механічне очищення від твердих включень; нейтралізацію окиснювачів; знезараження; біологічне очищення.

Способи очищення ЗОТС наведено на схемі рисунку 3.2.

Осадження частинок відбувається під дією сили тяжіння стружка та використовується для грубого очищення рідини. Час осадження частинок залежить від розміру та маси стружки, в'язкості та щільності середовища [13].

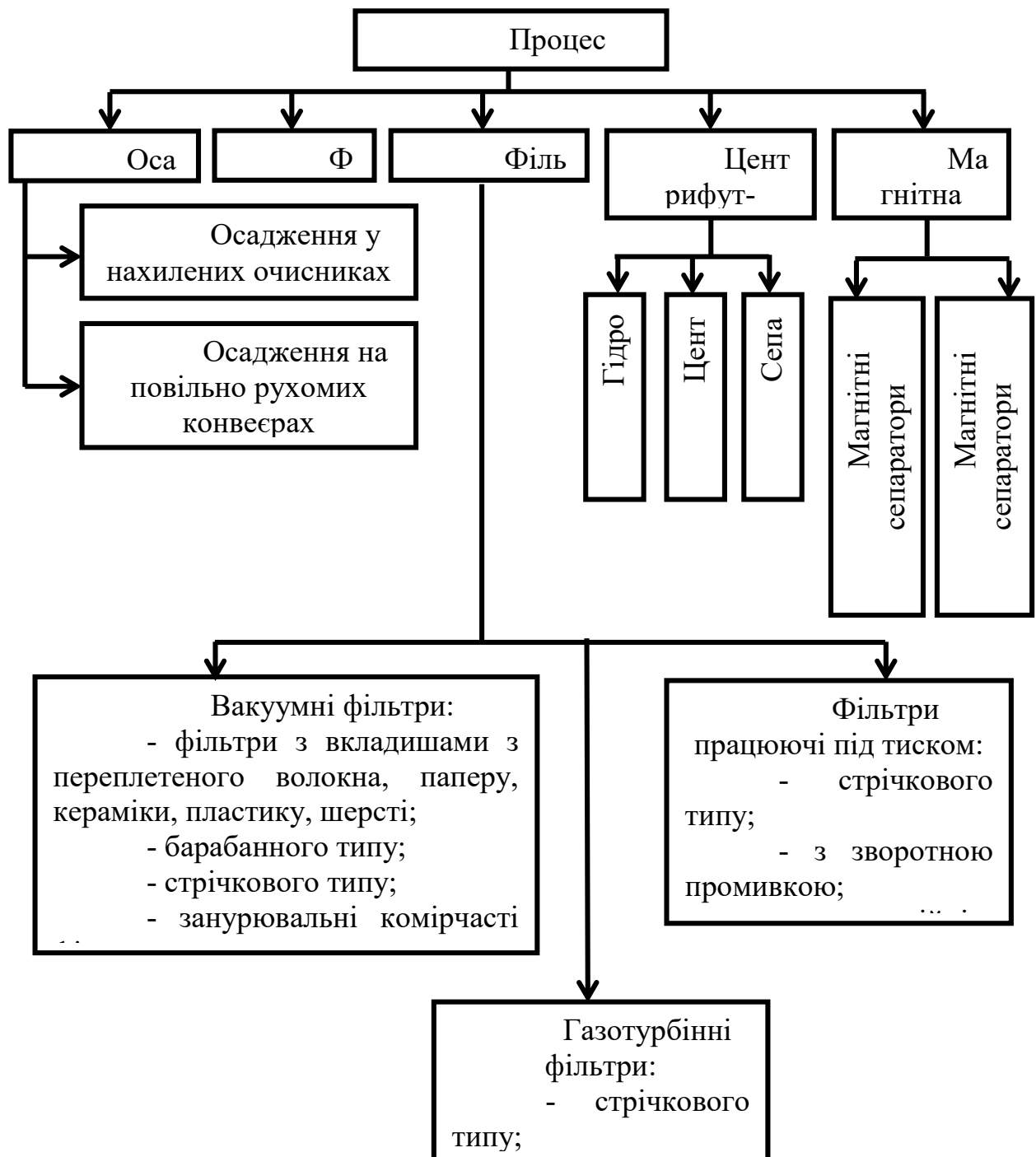


Рисунок 3.2 - Способи очищення ЗОТС

При очищенні ЗОТС методом флотації використовується властивість з'єднання забруднюючих частинок з бульбашками повітря або легкими частинками (наприклад з невеликими включеннями олії в емульсії), в результаті чого вони піднімаються до поверхні ємності, де можна зробити їх механічне видалення з ЗОТС з використанням спеціального пристрою. Даний метод, особливо із застосуванням пропускання повітря через розчин ЗОТС, ефективний для видалення неметалічних домішок, щільність яких порівняно або менше щільності ЗОТС, що очищається. Очищення методом фільтрації дозволяє видаляти з рідин будь-які механічні домішки незалежно від їхнього походження чи фізико-хімічних властивостей. Метод характеризується також відсутністю (у більшості випадків) необхідності переривання постійного потоку ЗОТС, використовуваного у технологічному процесі механічної обробки. Ступінь очищення регулюється розмірами пропускних осередків фільтруючих елементів і кількістю рівнів очищення [14].

Фільтрація має декілька видів [13].

1. Фільтрування на кеку - кек утворюється на фільтруючому матеріалі, що утримує тверді частинки, приймаючи на себе функції фільтра. В результаті, остаточна тонкість фільтрації менше, ніж розмір отворів сітки, що фільтрує (рис.3.3,а).

2. Глибока фільтрація із допоміжним шаром відбувається через шар фільтруючого матеріалу, що наноситься на фільтр попередньо. Допоміжний шар, створений з діатомової землі (діатоміт) або іншого фільтруючого матеріалу, забезпечує як механічну фільтрацію, так і абсорбцію (рис.3.3,б).

3. Фільтрування на сітчастих фільтрах застосовується при розмірах стружки, що перевищують розмір отворів фільтруючої сітки (тонкість фільтрування) (рис.3.3,в).

4. Стрічкові фільтри використовуються в централізованих циркуляційних системах ЗОТС (рис.3.4).

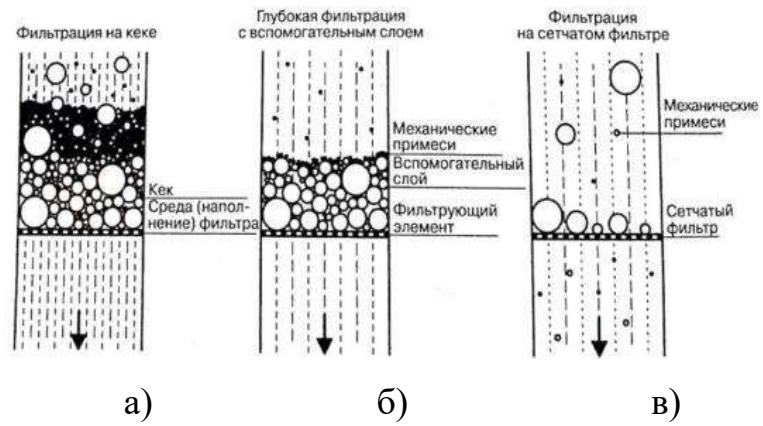


Рисунок 3.3 – Фільтрація (а - на кеку; б - глибока фільтрація з допоміжним шаром; в - фільтрація на сітчастому фільтрі)

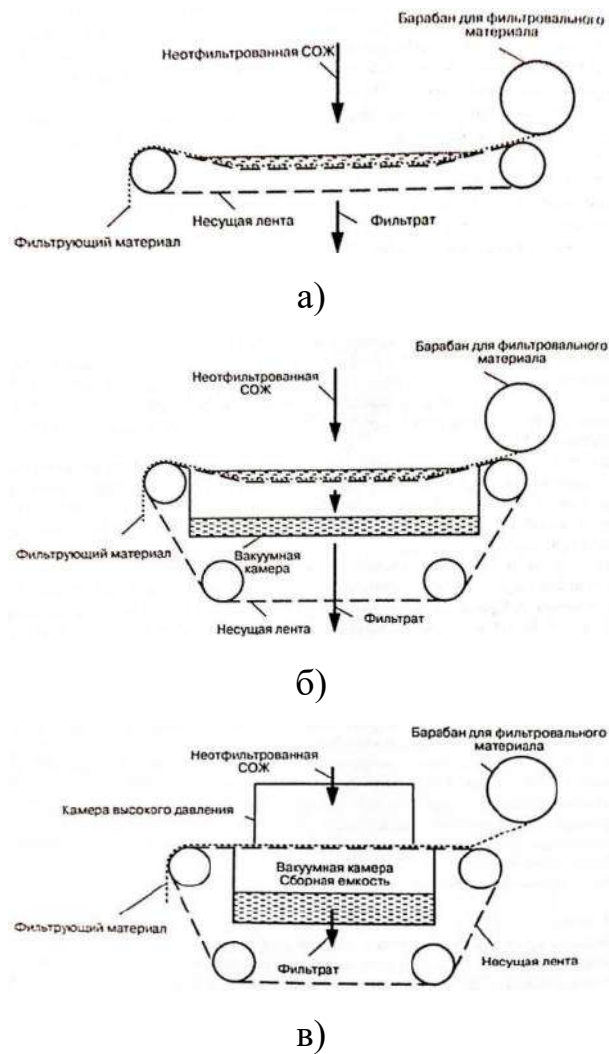
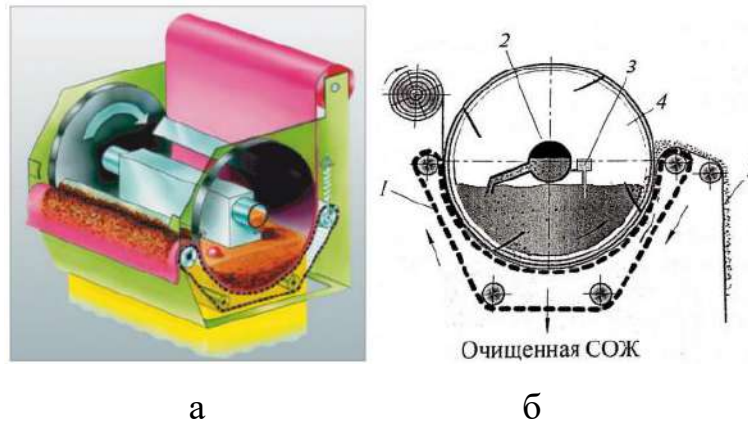


Рисунок 3.4 - Стрічкові фільтри (а - нормальні умови; б - вакуум; в - фільтрація під тиском)

5. Гравітаційні барабанні фільтри видалення дрібної стружки (рис.3.5).

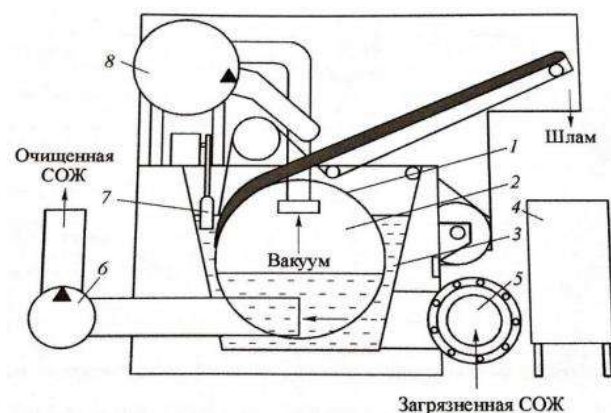
Забруднена рідина з бака-відстійника системи охолодження верстата через вхідну трубу поз.2 надходить у фільтраційний бак поз.4 і проходить через фільтрувальне полотно поз.5, що переміщається з гусеничною стрічкою поз.1 до верстата, а потім через стебло рушничного свердла до зони різання.



1 - гусенична стрічка; 2 - вхідна труба; 3 - поплавковий рівнемір; 4 - фільтраційний бак; 5 - фільтрувальне полотно

Рисунок 3.5 - Гравітаційні барабанні (а - загальний вигляд; б - схема гравітаційного барабанного фільтра)

6. Вакуумний стрічковий фільтр (рис.3.6).

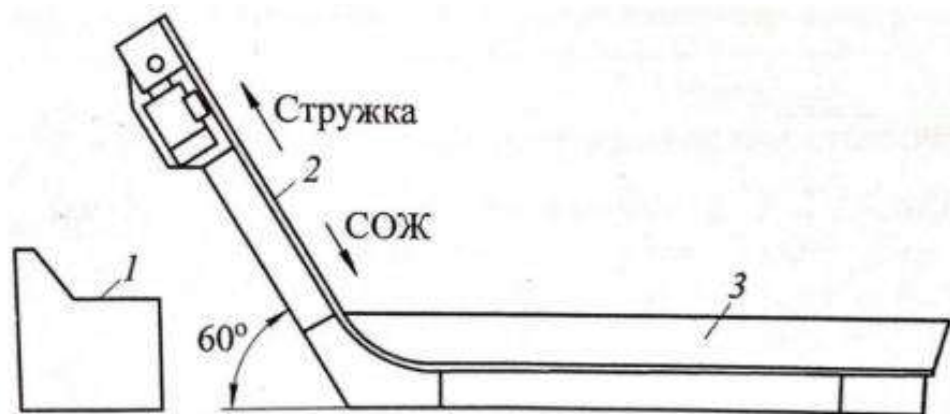


1-барабан; 2-вакуумна камера; 3-приймальна камера; 4-брудозбірник;
5-патрубок; 6-насос; 7-поплавковий перемикач; 8-вакуумний насос

Рисунок 3.6 - Схема вакуумного стрічкового фільтра

У процесі очищення, обертовий барабан поз.1 огинає ланцюг, на який спирається фільтрувальний тканий матеріал. Вакуумний насос поз.8 створюють розрядження у вакуумній камері поз.2, що значно збільшує продуктивність очищення ЗОТС. Забруднена рідина з бака-відстійника системи охолодження верстата через патрубок поз.5 надходить у приймальну камеру фільтра поз.3 і проходить через фільтрувальний матеріал у вакуумну камеру поз.2. Далі очищена ЗОТС надходить у верстаті.

Магнітне очищення ЗОТС використовується при обробці металів, які мають магнітні властивості (Fe, Co, Ni тощо) і здійснюється за допомогою магнітних конвеєрів (рис.3.7).



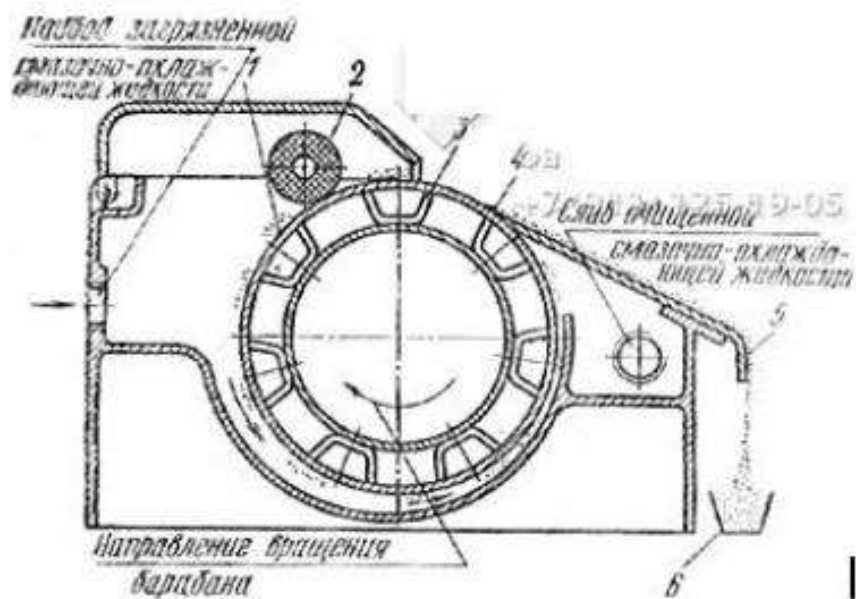
1 - стружкоприймач; 2 – транспортний лист; 3 – завантажувальна воронка

Рисунок 3.7 - Схема магнітного конвеєра

Найбільш перспективний спосіб очищення ЗОТС – сепарування (рис.3.8). Його недолік полягає в низькій якості очищення від малих металомагнітних частинок через конструкційне виконання пристроїв, що не дозволяють очищати ЗОТС в межах всього робочого каналу (жолоба) установки [14].

Очищення ЗОТС методом центрифугування з погляду фізики процесу є, залежно від конструкції устаткування, що застосовується, осадження або фільтрування дисперсної системи забрудненої ЗОТС під дією відцентрових сил.

У тому й іншому випадку процес центрифугування має відповідні переваги і недоліки, властиві осадження або фільтрування, при цьому обладнання може мати циклічний або безперервний тип дії. Центрифугування характеризується низкою ключових технологічних параметрів, що визначають кінетику процесу, - це чинник поділу, тобто. величина, що характеризує інтенсивність відцентрового поля, швидкість центрифугування, а також ступінь (чи продуктивність) очищення [14].



1 – барабан, 2 – віджимний валик, 3 – магніт, 4 – скребок, 5 – лоток, 6 – бачок збору шлака

Рисунок 3.8 – Схема роботи магнітного сепаратора

Гравітаційне очищення базується на осаджуванні твердих частинок під дією сил тяжіння. Осаджування відбувається в пристроях періодичної чи постійної дії, які мають назву відстійники.

Також одним з методів повторного використання ЗОТС є регенерація емульсій (рис.3.9). Регенерація відбувається у замкнених системах, коли певна кількість рідини циркулює по системі забезпечення верстата і поступово відбувається відновлення її властивостей [13].

Економічна ефективність запропонованої технології очищення ЗОТС

досягається завдяки зниженню технологічної собівартості, підвищенню продуктивності технологічного процесу та ефективності (якості) очищення ЗОТС за рахунок її автоматизації.

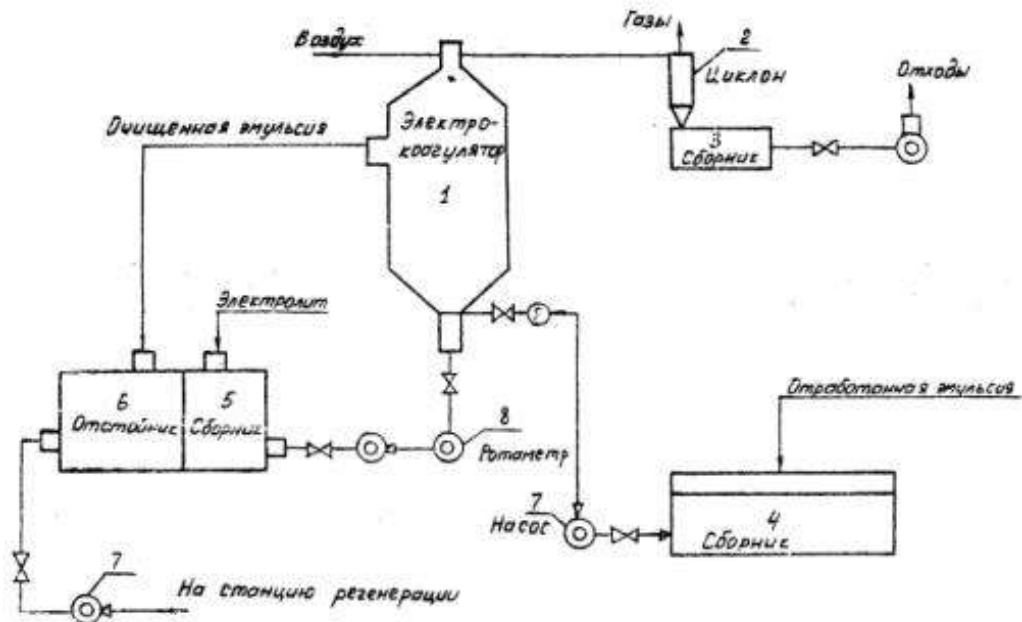


Рисунок 3.9 - Схема регенерации ЗОТС

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Розрахунок деталі на міцність дозволяє оцінити міцність найуразливіших частин деталей та конструкцій у цілому.

Для розрахунку деталі «Кільце опорне зовнішнє» на міцність використовується спеціальний модуль програми NX 12.0 та твердотільна 3D - модель даної деталі.

Наступний етап - 3D-модель деталі розбиваємо на сітку кінцевих елементів (рис.4.1), задаємо параметри спеціальних кінцевих елементів - 3D-тетроедральні, з розміром 1 мм. Далі для проведення розрахунку необхідно закріпити деталь та прикласти навантаження, як показано на рисунку 4.2.

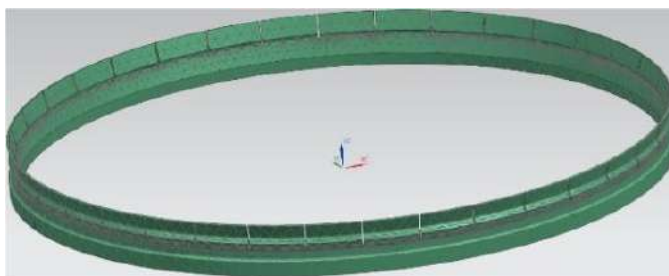


Рисунок 4.1 – Модель деталі «Кільце опорне зовнішнє», розбита на сітку кінцевих елементів

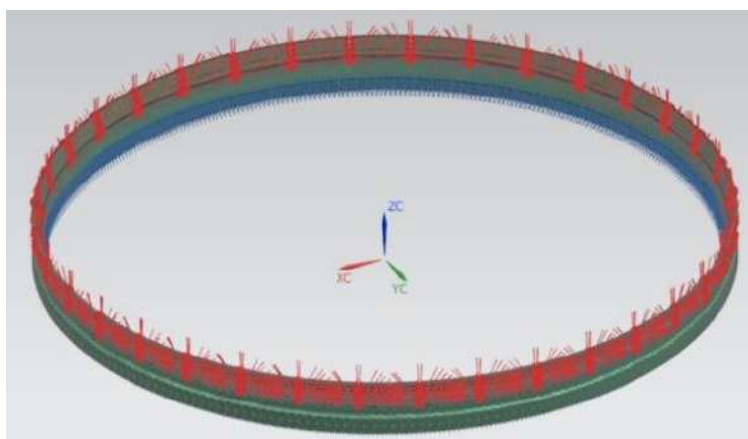


Рисунок 4.2 – Схема закріплення та прикладання сили до деталі

За діаметром $\varnothing 358$ проводимо фіксоване обмеження, а до пазу прикладаємо рівнорозподілене навантаження у 100 МПа.

Далі проводимо розрахунок, а його результати розподілення напружено-деформованого стану (НДС) показуємо на рисунку 4.3.

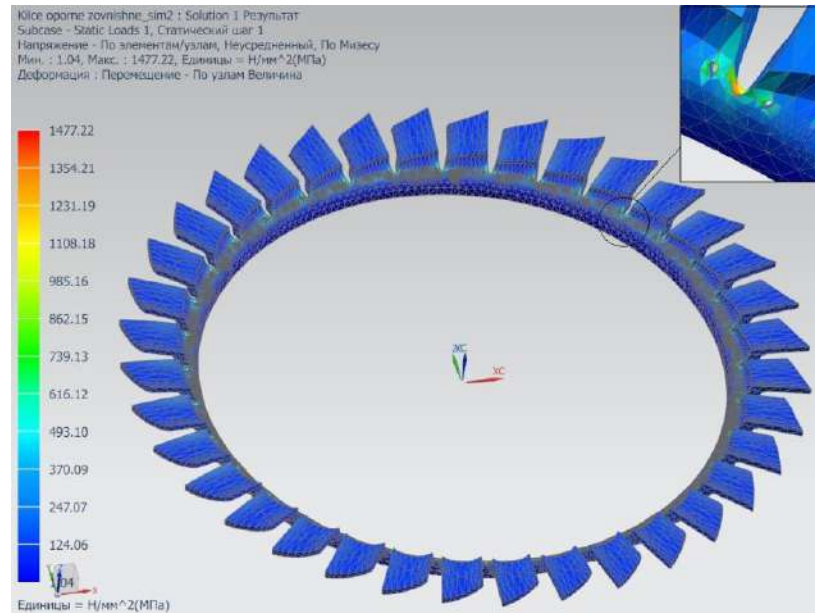


Рисунок 4.3 – Результати розрахунку НДС

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Для виявлення випадків, при яких внесені корективи в геометрію деталі можуть зменшити або збільшити вплив навантаження на деталь, слід провести ще декілька розрахунків.

Так проводимо зміну ширини пазу (рис.4.4) з 1 мм на 2 мм та 0,5 мм.

Результати проведених додаткових розрахунків показуємо на рисунку 4.5.

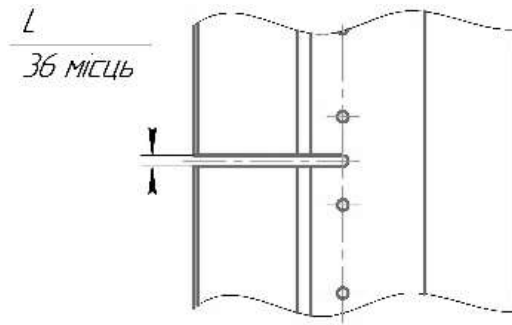
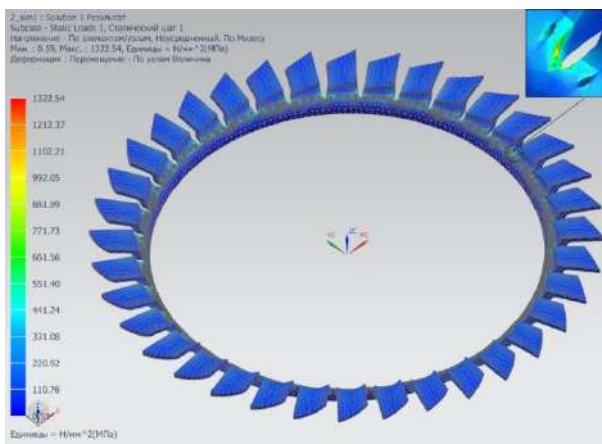
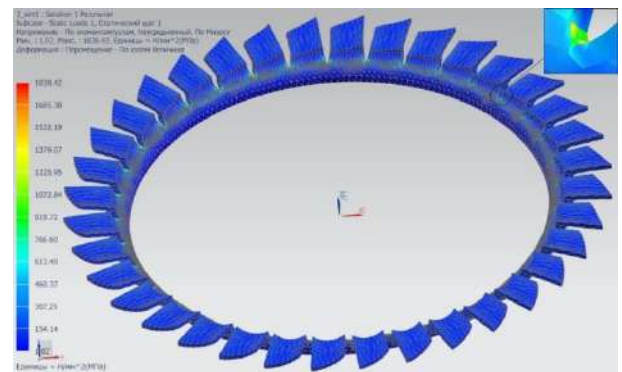


Рисунок 4.4 – Ескіз деталі з вказаним місцем зміни



а)



б)

Рисунок 4.5 – Результати проведених розрахунків НДС моделей із зміненою шириною пазу (а - 2 мм; б – 0.5 мм)

За результатами проведених розрахунків будемо графік залежності (рисунок 4.6).

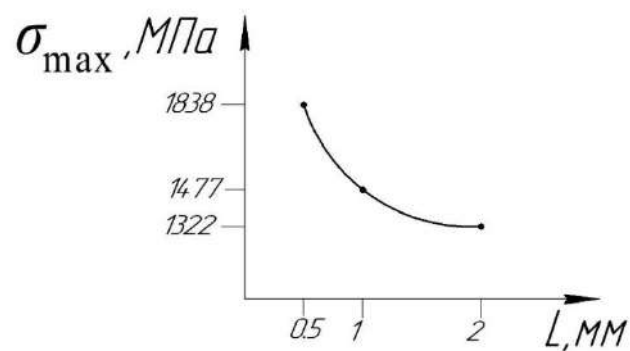


Рисунок 4.6 – Графік залежності максимального напруження в небезпечному перерізі від ширини пазу

З проведених розрахунків можливо сказати, що для зменшення навантаження у небезпечному перерізі необхідно змінити розмір пазу у більшу сторону для зменшення впливу концентратора напружень.

4.3 Оптимізація геометрії деталі (рекомендації)

У якості оптимізації геометрії деталі для зменшення навантаження, виходячи з проведених розрахунків, можливо дати рекомендацію збільшити ширину пазу, наприклад, з 1 мм на 2 мм, що у свою чергу призведе до зниження напруження з 14.77 МПа до 13.22 МПа. Але різниця отриманих значень входить в похибку розрахунку, тому можна вважати, що зміни напружень в цьому випадку є, але вони несуттєві. Тому ширину пазу 1 мм можна вважати раціональною. Ширина пазу 0,5 мм наближає паз до форми тріщини, тому напруження росте. І зменшення розміру ширини пазу не рекомендується.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Електроерозійна обробка

На виробництві часто доводиться мати справу з виготовленням тонкостінних деталей та пазів або отворів у них. Виконання даного виду обробки можливо лише при виконанні спеціальних операцій. У даній магістерській роботі пропонується застосовувати електроерозійний прожиг.

Електроерозійна обробка (ЕЕО) – вплив на метали електричними розрядами (імпульсами), що виникають між електродом та поверхнею заготовки, внаслідок чого матеріал змінює форму, розмір, шорсткість та інші властивості [15].

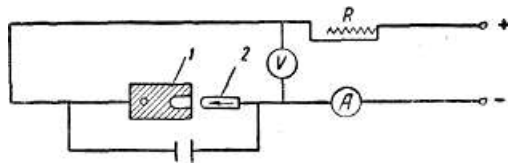
ЕЕО можливо застосовувати до деталей, які виготовляються з електропровідних матеріалів.

Найчастіше на підприємствах використовують електроіскрову та електроімпульсну методики. Також іноді застосовують анодно-механічну та електроконтактну дію. Якщо метал спочатку піддається чорновій обробці, то вигідніше використовувати електроімпульсну методику. У процесі роботи температура імпульсів піднімається до 5 тисяч градусів, що значно підвищує продуктивність. Електроіскрове оброблення металу стає оптимальним вибором для заготовок невеликого розміру. А для сплавів у рідкому середовищі підійде електроконтактна обробка [16].

5.2 Суть електроерозійної обробки

На рисунку 5.1 показано схематично ЕЕО. Заготовка поз.1 підключається до позитивного полюса і є анодом, а електрод поз.2 – до негативного і є катодом. Паралельно електродам поз.1 і поз.2 в ланцюг включається конденсатор поз.3,

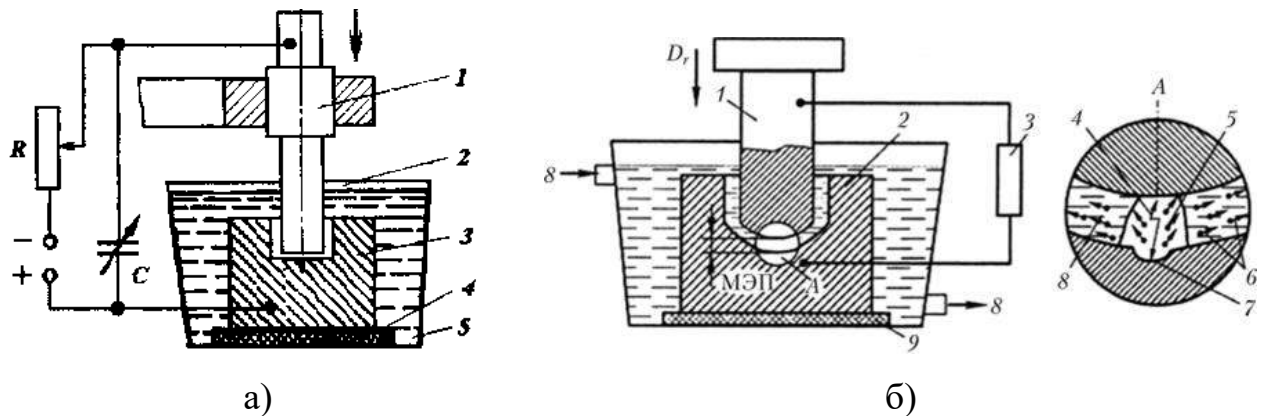
зарядка якого здійснюється через реостат R , служить для регулювання зарядного електричного струму.



1 – заготовка (деталь); 2 – інструмент (електрод); 3 – конденсатор

Рисунок 5.1 – Схема ЕЕО

На рисунку 5.2 показано принципову схему електроерозійної обробки.



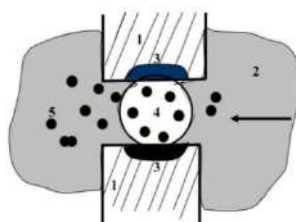
а: 1 – електрод-інструмент; 2 – ванна; 3 – заготовка-деталь; 4 – ізолятор;
5 – діелектрична рідина;

б: 1 - електрод-інструмент; 2 - оброблювана деталь; 3 - генератор електричних імпульсів; 4 - електричний розряд; 5 - газовий міхур; 6 - продукти ерозії (шлам); 7 - ерозійна лунка; 8 - робоча рідина; 9 – ізолятор

Рисунок 5.2 - Принципова схема ЕЕО

Під час виконання операції ЕЕО на деталь подається негативний струм, а на електрод позитивний, час дії складає лише 3...10 с при напрузі до 250В. Обробка виконується у ваннах, заповнених діелектричною рідиною (гас, дизельне паливо, індустріальне мастило), яка призначена для охолодження і видалення продуктів зношування електродів.

На рисунку 5.3 показано режим ЕЕО. До електродів поз.1 підведена напруга, яка створює електричне поле в міжелектродному проміжку. При зближенні електродів на критичну відстань, виникає електричний розряд у вигляді провідного каналу. Для підвищення інтенсивності розряду електроди занурюють в діелектричну рідину поз.2. На поверхні електродів є мікронерівності різної величини. Напруженість електричного поля буде найбільшою між двома найбільш близькими один до одного виступами на поверхні електродів, тому саме тут виникають містки з домішкових частинок рідини. Струм по містках нагріває рідину до випаровування і утворюється газовий міхур поз.4, всередині якого і розвивається потужний іскровий або дуговий розряд, що супроводжується ударною хвилею. Виникають потоки електронів та іонів, які бомбардують електроди. Утворюється плазмовий канал розряду. Завдяки високій концентрації енергії в зоні розряду температура досягає тисячі і десятки тисяч градусів. Метал на поверхні електродів плавиться і випаровується. Краплі розплавленого металу в результаті руху потоку рідини в робочій зоні викидаються за межі електродів і застигають в навколишній рідині у вигляді дрібних частинок сферичної форми поз.5 [17].

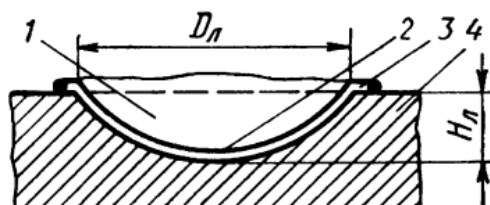


1 – електроди; 2 – рідина; 3 – лунки; 4 – газовий міхур; 5 – продукти ерозії

Рисунок 5.3 - Режим електроерозійної обробки

Від взаємодії рідини з ділянками електродів, нагрітих до температури 100...400°C, на кордонах плазмового каналу розряду відбувається піроліз діелектричної рідини. В результаті в рідині утворюються гази, а також асфальтосмолисті речовини. З газового середовища виділяється вуглець, що

відкладається на нагрітих поверхнях електродів у вигляді тонкої плівки кристалічного графіту. У місці дії імпульсу струму на поверхнях електродів залишаються невеликі поглиблення – лунки (рис.5.4), що утворилися внаслідок видалення розрядом деякої кількості металу [17].



1 – простір, що залишився після виплавлення металу; 2 – білий шар; 3 – валик навколо лунки; 4 – оброблювана заготовка; D_l , H_l – діаметр і глибина лунки

Рисунок 5.4 – Лунки отриманні під час ЕЕО

Під час застигання металу на поверхні лунки утворюється плівка, що за своїми властивостями відрізняється від основного металу. Поверхневий шар у розплавленому стані активно вступає в хімічну взаємодію з парами й продуктами розпаду робочої рідини, що утворюються в зоні високих температур. Результатом цієї взаємодії є інтенсивне насичення металу компонентами, що містяться в рідкому середовищі, а також речовинами, які входять до складу електрода-інструмента. Таким чином, до поверхневого шару можуть бути віднесені титан, хром, вольфрам тощо. При електроерозійній обробці сталевих заготовок у середовищі, що складається з рідких вуглеводнів (гас, масло), поверхневий шар насичується вуглецем, тобто утворюються карбіди заліза [18].

Структура поверхневого шару істотно відрізняється від структури основного металу й подібна за структурою до вибіленого шару, що виникає на поверхні деяких чавунів. Тому цей шар одержав назву «білий шар». Глибина білого шару залежить від енергії імпульсів, їх тривалості й теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу. При тривалих імпульсах струму великої

енергії глибина білого шару дорівнює десятим часткам міліметра, а при коротких імпульсах – сотим часткам міліметра і мікрометрам. Зносостійкість деталей, одержаних електроерозійною обробкою, завдяки наявності білого шару підвищується і значно перевищує (до 1,5 раз) зносостійкість деталей, одержаних механічною обробкою різанням [18].

5.3 Особливості ЕЕО

В залежності від умов, при яких буде відбуватись обробка, режимів, обладнання та характеристик поверхонь, які треба отримати можливо застосовувати електроіскрову та електроімпульсну обробку, яка у свою чергу поділяється на низькочастотну, середньочастотну і високочастотну.

Електроіскрова обробка базується на використанні електричних імпульсних розрядів малої тривалості та малої енергії (до 4...5 Дж), що відбувається з великою шпаруватістю і високою частотою (до 1.5...106 кГц). Обробку здійснюють при порівняно невисоких напруженнях, що зазвичай не перевищують 250 В. За цих напружень відстань між електродами дуже невелика і становить кілька сотих часток міліметра. Цей вид обробки застосовують переважно для прецизійної обробки невеликих деталей радіоелектронної промисловості, паливної апаратури (дрібні отвори, шліфувальні операції), вирізування фасонних контурів твердосплавних, вирубних штампів не профільованим (дротяним) електродом [18].

Електроімпульсна обробка – це різновид електроерозійної обробки. Вона характеризується більшою швидкістю знімання металу за відносно високої шорсткості обробленої поверхні. Відповідно й режими обробки, форма використовуваних при обробці імпульсів мають істотні відмінності. Внаслідок збільшення уведеної в зону імпульсної обробки електричної потужності швидкість знімання металу порівняно зі швидкістю знімання при

електроіскровій обробці підвищується у 8...10 разів. Збільшення тривалості імпульсів за низької шпаруватості й усунення зворотної пів-хвилі напруги призводить до різкого зниження зношення електрода-інструмента. На відміну від електроіскрової обробки застосовують протилежну полярність: анод – інструмент, катод – заготовка. Завдяки високим швидкостям знімання металу при зниженні відносного зношення інструмента стає можливою обробка фасонних поверхонь великої площі, що вимагають значного знімання металу. Високий ККД генератора імпульсів застосовують при імпульсній обробці, що забезпечує проведення обробки при зниженій питомій витраті електричної енергії. Режими електроімпульсної обробки відрізняються від режимів електроіскрової обробки застосуванням знижених напруг і відносно великими значеннями середніх струмів. Так, для генераторів імпульсів типу МГІ верхня межа регулювання напруги становить 24...26 В, а нижня 11...12 В. За напруги менше 11 В продуктивність і стабільність процесу різко знижуються. Швидкість знімання металу при електроімпульсній обробці залежить головним чином від сили струму [18].

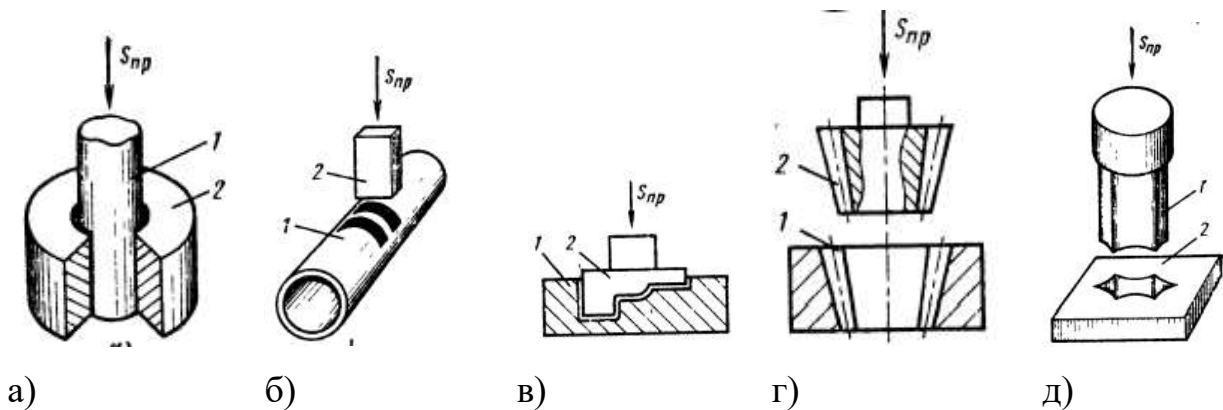
5.4 Технологічні схеми та операції ЕЕО

ЕЕО можливо виконувати за декількома схемами [18].

1. Перша схема - копіювання форми профільованого електрода інструмента або його перерізу.

При цьому оброблюваний елемент заготовки за формою є зворотним відображенням робочої поверхні інструмента. Цю операцію називають прошиванням. Існують методи прямого і зворотного копіювання. При прямому копіюванні інструмент знаходиться над заготовкою, а при зворотному – під нею. Метод прошивання, і зокрема прямого копіювання, простий, і його широко використовують у промисловості.

На рисунку 5.5 показано приклади ЕЕО для першої схеми.



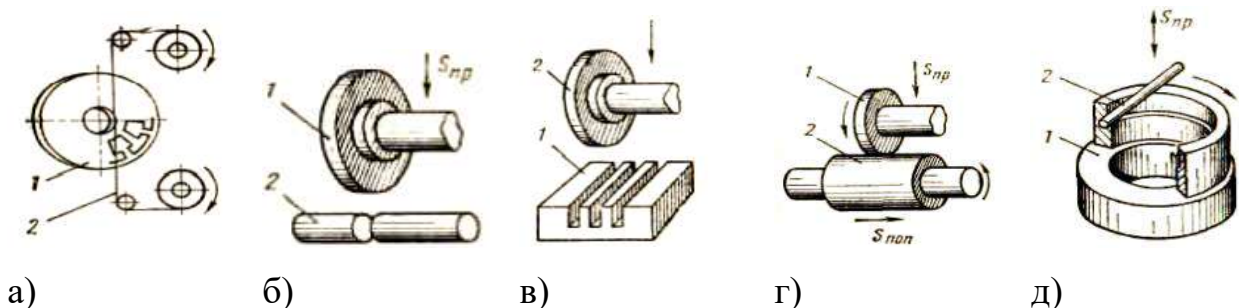
1 - електрод; 2 – заготовка

а...г – метод прямого копіювання; д – метод зворотного копіювання

Рисунок 5.5 - Приклади ЕЕО для першої схеми, $S_{пр}$ – напрям подачі

2. Друга схема - Взаємне переміщення оброблюваної заготовки профільованого електрода-інструмента.

На рисунку 5.6 показано приклади ЕЕО для другої схеми.



1 - електрод; 2 – заготовка

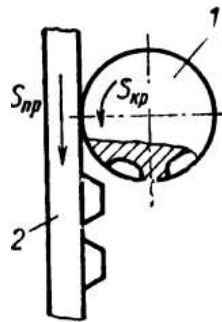
а – вирізання складнопрофільних деталей; б, в – без профілювання електродами; г – електроерозійне шліфування; д – розточування

Рисунок 5.6 - Приклади ЕЕО для другої схеми

3. Третя схема - поєднання переміщень заготовки і профільованого електрода (обгинання або обкатування).

Цей метод рідко застосовують, але він дозволяє отримати деталь складної

форми за простої форми електрода-інструмента (рис.5.7).



1 – заготовка; 2 – електрод-інструмент

Рисунок 5.7 - Схема формування обкатуванням: $S_{пр}$, $S_{кр}$ – напрям подачі

За цією схемою можливо проводити такі операції: обробка порожнин штампів та прес-форм; обробка елементів робочих коліс турбін і насосів; прошивання вікон, щілин та отворів; обробка деталей типу сіток і сит; нарізування різі; електроерозійне шліфування; обробка непрофільним електродом-дротом; електроконтактний метод обробки; зміцнення поверхневого шару металів.

5.5 Устаткування

Для операції ЕЕО у якості інструменту зазвичай використовують дроти з міді, вольфраму, сплаву вольфраму з міддю або сріблом.

Для обробки малих отворів рекомендують використовувати вольфрамові електроди, а от для обробки заготовок з титану – латуні дроти.

При виробництві на підприємствах для ЕЕО використовують спеціальне обладнання. У більшості випадків для масового та серійного виробництва застосовують копіювально-прошивні агрегати. Такі верстати дозволяють отримати досить точні наскрізні контури, а також дрібні отвори, що успішно

використовується при виробництві сіток, а також штампів в інструментальній промисловості [19].

5.6 Переваги та недоліки ЕЕО

Серед переваг ЕЕО можна виділити такі [20]:

1. Обробці піддаються будь-які струмопровідні матеріали, у тому числі тверді, міцні, або навпаки, в'язкі та крихкі.
2. Як розхідники використовуються електроди-інструменти.
3. Можливість використання електродів потрібної форми.
4. Можна розрізати дорогі сплави та матеріали за двома координатами, з мінімальною шириною зрізу.
5. Стає можливою обробка глибоких отворів, щілин, розташованих, у тому числі, у важкодоступних місцях.
6. Вилучення зламаних інструментів чи кріплень відбувається без порушення різьблення, найчастіше не потрібен демонтаж вузла, деталі, встановлення їх на станину тощо.
7. Автоматична та напіваавтоматична робота електроерозійного обладнання дозволяє заощадити робочі ресурси.
8. Оскільки немає силового впливу на матеріал, можна без побоювань обробляти тонкостінні та нежорсткі конструкції.
9. Як правило, електроерозійні верстати та прилади мають широкий діапазон роботи, що забезпечує необхідну потужність, продуктивність, точність тощо.

Недоліки [20]:

1. При чистовій обробці низька продуктивність, при цьому витрата електроенергії є стандартною.
2. У процесі роботи потрібна вода-діелектрик.

3. На точність ЕЕО і шорсткість обробленої поверхні впливають кілька чинників, які можна контролювати.

4. Досі не можна з високою точністю спрогнозувати ступінь зносу та загальну витрату електродів.

5. Електроерозійні верстати, у тому числі портативні настільні – недешеві. Їх застосування доцільно, якщо завдання, які вирішуються за їх допомогою, потребують частого розв'язання.

Для отримання 144 дрібних отворів $\varnothing 1$ мм та 36 пазів шириною 1 мм в стінці деталі товщиною 1,2 мм будемо застосовувати ЕЕО на операції 080 на електроерозійному верстаті CNC EB310L.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ ЗАХОДІВ

У ході розробки магістерської роботи було проведено об'єднання двох операцій, впроваджених на виробництві, в одну (табл. 6.1):

- на виробництві – операції 070 та 080 токарні з ЧПК, верстат моделі MDW-20S;
- у спроектованому ТП – операція 050 токарна з ЧПК, верстат моделі VICTOR Vturn-S26.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу		
	Базовий ТП		Проектований ТП
	Оп. 070	Оп. 080	Оп. 050
Річна програма випуску деталей N_p	500		
Модель верстата	MDW-20S		VICTOR Vturn-S26
Штучний час $T_{шт}$, хв.	14,54	10,86	18,4
Розряд верстатника	5		
Розряд наладчика	4		
Основний час t_{oi} , хв	11,53	8,61	10,4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1		
Число змін m	2		
Оптова ціна верстата F , грн	196900	196900	135000
Число верстатів, шт	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	10	10	15
Норма амортизаційних відрахувань N_a %	12	12	12
Встановлена потужність електродвигунів, N	14	14	27

Розрахуємо умовну економічну ефективність за формулою (6.1):

$$E_{ye} = (C_1 - C_2) \cdot N, \text{ грн} \quad (6.1)$$

де C_1, C_2 – собівартість одиниці продукції обох ТП, які розраховуємо за формулою (6.2):

$$C_i = Z_{oi} + Z_{ni} + A_{\text{від},i} + S_{pi} + S_{in,i} + S_{ni} + S_{ei} + I_{ni}, \text{ грн} \quad (6.2)$$

де Z_{oi} - заробітна плата верстатника, грн.;

Z_{ni} - заробітна плата наладчика, грн.;

$A_{\text{від},i}$ - відрахування на амортизацію обладнання, грн.;

S_{pi} - витрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн.;

$S_{in,i}$ - витрати на різальний інструмент, грн.;

S_{ni} - витрати на налаштування інструментів поза верстатом, грн.;

S_{ei} - витрати на електроенергію, грн.;

I_{ni} - витрати інші, розраховуємо за формулою (6.3):

$$I_n = Z_o \cdot k_{\text{заг}}, \text{ грн} \quad (6.3)$$

де $k_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [21,ст.17];

Z_{oi} - заробітна плата верстатника, розраховуємо за формулою (6.4):

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} t_{\text{шт},i} \cdot C_{\text{тар}} \cdot K_d \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}} \quad (6.4)$$

де $m_{\text{оп}}$ – кількість операцій у ТП;

$t_{\text{шт},i}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

$C_{\text{тар}}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [21,ст.33,табл.А.1];

K_d – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERстатному обслуговуванні [21,ст.13,табл.2.1];

$k_{\text{доп}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, [21, ст.13];

$k_{\text{соц}}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [21, ст.13].

$$З_{o,070} = 14,54 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 10,33 \text{ грн}$$

$$З_{o,080} = 10,86 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 7,72 \text{ грн}$$

$$З_{o,050} = 18,4 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 13,08 \text{ грн}$$

Інші загальновиробничі витрати розраховуємо за формулою (6.3):

$$I_{н,070} = 10,33 \cdot 0,2 = 2,07 \text{ грн}$$

$$I_{н,080} = 7,72 \cdot 0,2 = 1,54 \text{ грн}$$

$$I_{н,050} = 13,08 \cdot 0,2 = 2,62 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Заробітна плата верстатника згідно ТП

Технологічний процес			Показники					
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт, хв.}}$	$C_{\text{тар, грн}}$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$I_{н, грн}$	$З_{o, грн}$
Базовий	070	Токарна з ЧПК	10,73	65,1	1,2	1,4	2,07	10,33
	080	Токарна з ЧПК	12,13	65,1	1,2	1,4	1,54	7,72
	Σ :						3,61	18,05
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	8,5	65,1	1,2	1,4	2,62	13,05

Амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби розраховуємо за формулою (6.6):

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{oi}}{1000 \cdot F_d \cdot 60}, \text{ грн} \quad (6.6)$$

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

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції;

t_{oi} – основний час на i -ої операції, хв;

F_d – дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

$$A_{\text{від},070} = \frac{196900 \cdot 12 \cdot 11,53}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,11$$

$$A_{\text{від},080} = \frac{196900 \cdot 12 \cdot 8,61}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,08$$

$$A_{\text{від},050} = \frac{135000 \cdot 12 \cdot 14,6}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,1$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 - Амортизаційні відрахування на обладнання згідно ТП

Технологічний процес			Показники				
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт}}$, хв.	K , грн	H_a , %	F_d	$A_{\text{від}}$, грн
Базовий	070	Токарна з ЧПК	11,53	196900	12	4015	0,11
	080	Токарна з ЧПК	8,61	196900	12	4015	0,08
	Σ :						0,2
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	14,6	135000	12	4015	0,1

Витрати на інструмент розраховуємо за формулою (6.7):

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \cdot \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін},ij} \cdot t_{\text{шт},ij} \cdot \eta_{\text{т}}}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)}, \text{ грн} \quad (6.7)$$

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;

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на i -ої операції [21,ст.22,табл.3.8];

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв
[21,ст.22,табл.3.8];

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [21,ст.22,табл.3.8];

$\eta_{\text{т}}$ – коефіцієнт машинного часу.

$$S_{\text{ін},070} = \frac{150 \cdot 14,54 \cdot 0,7}{60 \cdot (10 + 1)} = 2,31 \text{ грн}$$

$$S_{\text{ін},080} = \frac{150 \cdot 10,86 \cdot 0,7}{60 \cdot (10 + 1)} = 1,73 \text{ грн}$$

$$S_{\text{ін},050} = \frac{150 \cdot 18,4 \cdot 0,7}{60 \cdot (10 + 1)} = 2,93 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 - Витрати на інструмент згідно ТП

Технологічний процес			Показники							
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт}}$, хв.	Ц_i , грн	Типорозміри інструменту	n_i	T , хв	n_j	$\eta_{\text{мі}}$	$S_{\text{ін}}$, грн
Базовий	070	Токарна з ЧПК	14,54	150	різець	1	60	10	0,7	2,31
	080	Токарна з ЧПК	10,86	150	різець	1	60	10	0,7	1,73
	Σ :									4,04
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	18,4	150	різець	2	60	10	0,7	2,93

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо за формулою (6.8):

$$S_e = \frac{N_{\text{в}} \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_{\text{в}}} \cdot \text{Ц}_e, \text{ грн} \quad (6.8)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [21,ст.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [21,ст.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [21,ст.16];

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [21,ст.16];

Ц_e – вартість 1 кВт · год електроенергії, грн/кВт.

$$S_{e,070} = \frac{14 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 14,54}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 8,52 \text{ грн.}$$

$$S_{e,080} = \frac{14 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 10,86}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 6,36 \text{ грн.}$$

$$S_{e,050} = \frac{27 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 18,4}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 20,79 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 - Витрати на технологічну електроенергію згідно ТП

Технологічний процес			Показники									
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт, хв.}}$	$\text{Ц}_e, \text{грн./кВт}\cdot\text{год}$	$N_e \text{ кВт}$	k_N	$k_{\text{ч}}$		k_w	η_e	k_B	$S_e, \text{грн}$
Базовий	070	Токарна з ЧПК	14.54	3.45	14	0.9	0.7	1	1.08	0.85	1.1	8.52
	080	Токарна з ЧПК	10.86	3.45	14	0.9	0.7	1	1.08	0.85	1.1	6.36
	Σ :											14.87
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	18.4	3.45	22	0.9	0.7	1	1.08	0.85	1.1	20.79

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.9):

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N}, \text{ грн} \quad (6.9)$$

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн;

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [21,ст.16];

C_p - кількість верстатів на кожну операцію розраховуємо за формулою (6.10):

$$C_p = \frac{t_{шт-кл} \cdot N}{F_d \cdot k_b \cdot k_z \cdot 60} \quad (6.10)$$

де k_b – коефіцієнт виконання норм часу;

k_z – коефіцієнт завантаження обладнання.

$$C_{p,080} = \frac{14,54 \cdot 500}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,03 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,080}=1$$

$$C_{p,090} = \frac{10,86 \cdot 500}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,03 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,090}=1$$

$$C_{p,050} = \frac{18,4 \cdot 5000}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,04 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,050}=1$$

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.9):

$$S_{p,080} = \frac{196900 \cdot 0,02 \cdot 0,03}{5000} = 0,27 \text{ грн.}$$

$$S_{p,090} = \frac{196900 \cdot 0,02 \cdot 0,03}{5000} = 0,2 \text{ грн.}$$

$$S_{p,050} = \frac{135000 \cdot 0,02 \cdot 0,04}{5000} = 0,23 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.6.

Таблиця 6.6 - Витрати на ремонт та обслуговування обладнання згідно ТП

Технологічний процес			Показники		
	Оп.	Найменування операції	K_p	C_p	S_p , грн
Базовий	070	Токарна з ЧПК	0,02	0,03	0,27
	080	Токарна з ЧПК	0,02	0,03	0,2
	Σ :				0.47
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	0,02	0,04	0,23

За формулою 6.11 розраховуємо заробітну плату допоміжних робітників:

$$Z_n = \frac{C_{\text{тар.н}} \cdot \Phi_p \cdot \chi_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N}, \text{ грн} \quad (6.11)$$

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

χ_n – чисельність робітників відповідної категорії, чол.

$$Z_n = \frac{50,9 \cdot 65,1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,4}{500} = 346,84 \text{ грн..}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.7.

Таблиця 6.7 – Заробітна плата допоміжних робітників згідно ТП

Технологічний процес			Показники					
	Оп.	Найменування операції	$C_{\text{тар.н}}$, грн.	Φ_p , год	χ_n	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	Z_n , грн.
Базовий	070	Токарна з ЧПК	50,9	65,1	1	1,2	1,4	11,13
	080	Токарна з ЧПК	50,9	65,1	1	1,2	1,4	11,13
	Σ :							22.27
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	50,9	65,1	1	1,2	1,4	11,13

За формулою 6.12 розраховуємо налаштування інструментів поза верстатом:

$$S_{\text{н}} = \frac{\varphi \cdot C_{\text{гн}} \cdot t_{\text{ін}} \cdot t_0 \cdot K_{\text{т}}}{T_{\text{м}} \cdot m \cdot 60}, \text{ грн.} \quad (6.11)$$

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

$C_{\text{гн}}$ – середньогодинна заробітня плата наладчиків, грн../год.;

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом, хв.;

t_0 – основний час роботи інструменту на операції, хв.;

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

$T_{\text{м}}$ – середня стійкість інструменту, хв.;

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

$$S_{\text{н070}} = \frac{1,3 \cdot 50,9 \cdot 4 \cdot 11,53 \cdot 0,9}{60 \cdot 2 \cdot 60} = 0,38 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{н070}} = \frac{1,3 \cdot 50,9 \cdot 4 \cdot 8,61 \cdot 0,9}{60 \cdot 2 \cdot 60} = 0,28 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{н070}} = \frac{1,3 \cdot 50,9 \cdot 4 \cdot 14,6 \cdot 0,9}{60 \cdot 2 \cdot 60} = 0,48 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.8.

Собівартість одиниці продукції обох ТП, які розраховуємо за формулою (6.2):

$$C_{\text{г}} = 18,05 + 22,27 + 0,2 + 4,04 + 14,87 + 0,47 + 0,67 + \\ + 3,61 = 64,18 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{п}} = 13,08 + 11,13 + 0,1 + 2,93 + 20,79 + 0,23 + 0,48 + \\ + 2,62 = 51,36 \text{ грн.}$$

Таблиця 6.8 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно ТП

Технологічний процес			Показники								
	Оп.	Найменування операції	T_o , хв	$C_{гн}$, грн./год	Типи інструменту	φ	$t_{ін}$, хв.	K_T	T_m , хв.	m	S_n , грн.
Базовий	070	Токарна з ЧПК	11,53	50,9	різець	1,3	4	0,9	60	2	0,38
	080	Токарна з ЧПК	8,61	50,9	різець	1,3	4	0,9	60	2	0,28
	Σ :					0.67					
Проектуючий	050	Токарна з ЧПК	14,6	50,9	різець	1,3	4	0,9	60	2	0,48

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за варіантами наведено у табл. 6.9.

Також необхідно розрахувати:

1) фактичний коефіцієнт завантаження верстата розраховуємо за формулою (6.12):

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{C_{п}}, \% \quad (6.12)$$

$$\eta_{зф} = \frac{0,03}{1} = 0,03 \quad \eta_{зф} = \frac{0,03}{1} = 0,03 \quad \eta_{зф} = \frac{0,04}{1} = 0,04$$

Таблиця 6.9 - Розрахунок елементів технологічної собівартості

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Заводський	Проектуємий
Заробітна плата верстатника, грн.	Z_o	18,05	13,08
Заробітна плата наладчика, грн.	Z_n	22,27	11,13
Відрахування на амортизацію обладнання, грн.	$A_{від}$	0,2	0,1
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн.	S_p	0,47	0,23
Витрати на різальний інструмент, грн.	$S_{ін}$	4,04	2,93
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом, грн.	S_n	0,67	0,48
Витрати на електроенергію, грн.	S_e	14,87	20,79
Витрати інші, грн.	I_n	3,61	2,62
Технологічна собівартість, грн.	C_T	64,18	51,36

2) кількість операцій, що виконуються на робочому місці розраховуємо за формулою (6.13):

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} \quad (6.13)$$

$$O_{090} = \frac{0,8}{0,03} = 26,7 \quad O_{105} = \frac{0,8}{0,03} = 26,7 \quad O_{080} = \frac{0,8}{0,04} = 20$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.10.

Таблиця 6.10 - Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій згідно ТП

Технологічний процес			Показники					
	Оп.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	C_p	$C_{п}$	$\eta_{зф}$	O	$K_{зoi}$
Базовий	070	Токарна з ЧПК	14,54	0,03	1	0,03	26,7	26,7
	080	Токарна з ЧПК	10,86	0,03	1	0,03	26,7	26,7
	Σ :						53,4	26,7
Проектуємий	050	Токарна з ЧПК	18,4	0,04	1	0,04	20	20

Розрахуємо умовну економічну ефективність за формулою (6.1):

$$E_{ye} = (64,18 - 51,36) \cdot 500 = 6409,07 \text{ грн.}$$

Провівши аналіз розрахунків можливо сказати, що впровадження цього розробленого етапа ТП приведе до зниження витрат на 6409,07 грн. на рік, це не дуже значний ефект, але трудомісткість отримання пазів і отворів знизилась в 2 рази.

7 БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Процес горіння та його наслідки на людину, що може опинитися в зоні дії пожежі [22], наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Аналіз потенційних небезпек при пожежі [22]

Потенційна небезпека	Наслідки
токсичні продукти згоряння (утворюються синильна кислота, хлористий водень, сірководень)	отруєння різного ступеню сповільнення евакуації летальний наслідок
вогонь (температура =1200...1400°C)	опіки 1...4 ступеню, біль летальний наслідок
задимленість (значна кількість часток незгорівших речовин) запах гару, їдкий запах	подразнення слизових оболонок, кашель погіршення видимості складність пошуку виходу назовні
збільшення оксиду вуглецю (у приміщеннях - 0,1...0,6%, тунелях, шахтах, складах - 0,15...1,5%)	смертельна концентрація оксиду вуглецю - 0,4%
підвищена температура навколишнього середовища (понад 60°C)	опіки дихальних шляхів
зменшення концентрації кисню	від 21 до 15% призводить до запаморочення менше 14% - втрата свідомості летальний наслідок
вибух	збільшення площі горіння механічне травмування людей смертельний наслідок
прогин стіни, стелі, підлоги руйнування будівельних конструкцій розтріскування скла, розбите скло	обмеження рухової активності механічне травмування людей смертельний наслідок
паніка	швидка зміна психологічного стану, неадекватні дії, сповільнення евакуації погіршення загального самопочуття

Аналізуючи речовини та матеріали, що можуть мати місце в умовах зазначеного виробництва визначають клас можливої пожежі та категорію приміщення, в залежності від яких розробляють та впроваджують заходи з пожежної безпеки (НАПБА.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні») [22,23].

Особливу небезпеку, з погляду на ступінь негативних наслідків (ймовірну кількість постраждалих, матеріальних збитків, руйнувань) становлять вибухи. Причина таких руйнувань обумовлена звільненням значної енергії в обмеженому об'ємі в дуже короткий термін [24].

При транспортуванні ємності з пропаном масою $Q = 33,5$ т на відстані $r = r_3 = 245$ м від об'єкта відбувся вибух. Визначити максимальний надлишковий тиск ΔP (кПа), що утворився в результаті вибуху, на карту-схему заводу нанести зони руйнування [25].

Визначаємо зону детонаційної хвилі з радіусом r_1 і постійним значенням надлишкового тиску $\Delta P_1 = 1700$ кПа за формулою:

$$r_1 = 17,5 \cdot 3\sqrt{Q},$$

де Q - маса газу, що вибухнув (m);

$$r_1 = 17,5 \cdot 3\sqrt{33} = 56,13 \text{ м.}$$

$$r_1 = 17,5 \cdot 3\sqrt{33,5} = 56,23 \text{ м.}$$

Визначаємо зону дії продуктів вибуху радіусом r_2 :

$$r_2 = 1,7 \cdot 56,23 = 95,591 \text{ м}$$

3. Визначаємо надлишковий тиск в межах зони r_2 за формулою:

$$\Delta P = 1300 \cdot (r_1 / r)^3 + 50, \text{ кПа};$$

де r - відстань від епіцентру вибуху до даного об'єкту, що розташований

у зоні:

$$\Delta P = 1300 \cdot (56,23/245)^3 + 50 = 63,68 \text{ кПа}$$

Визначаємо допоміжний коефіцієнт за формулою:

$$\begin{aligned}\psi &= 0,24 \cdot r / r_1, \\ \psi &= 0,24 \cdot 245 / 56,23 = 1,045\end{aligned}$$

5. Визначаємо значення надлишкового тиску у зоні повітряної ударної хвилі r_3 ($r_3 = r$) за формулою:

$$\begin{aligned}\Delta P_3 &= 700/3 \cdot (\sqrt{1+29,8 \cdot \psi^3} - 1) \\ \Delta P_3 &= 225,3 \text{ кПа}\end{aligned}$$

Як свідчить значення надлишкового тиску у зоні повітряної ударної хвилі ($\Delta P_3 = 225,3 \text{ кПа}$) та інформації з додатку методичних вказівок, ступінь негативного впливу на людину можливо вважати дуже небезпечним, таким, що може призвести до летальних наслідків, а ступінь руйнування промислових об'єктів - повним [25].

Таким чином, проаналізувавши потенційні небезпеки, що супроводжують виникнення пожежі, зазначаємо пожежі дійсно відносяться до надзвичайно небезпечних факторів, що можуть не тільки призвести до швидкої втрати здоров'я, але і до летального наслідку. Порушення правил експлуатації електроприладів, недотримання нормативних вимог при будівництві, безвідповідальне ставлення до правил пожежної безпеки можуть мати миттєві наслідки, а також пролонговані у часі. Організація виробничого простору з урахуванням вимог нормативів, наявність схем евакуації, періодичне навчання працівників та розуміння необхідності дотримання заходів пожежної безпеки дасть можливість запобігти надзвичайним ситуаціям та зберегти здоров'я

працюючих.

ВИСНОВКИ

Згідно теми роботи «Підвищення продуктивності процесу виготовлення тонкостінних деталей авіаційних двигунів з дрібними пазами та отворами» було вдосконалено ТП виготовлення деталі «Кільце опорне зовнішнє», з метою підвищення продуктивності технологічного процесу.

Для цього вибрано та економічно обґрунтовано метод отримання заготовки. Призначено припуски на розміри заготовки.

Розраховано режими різання і технічні норми часу. Запроєктовано технологічний альбом виготовлення деталі. Технологічний процес розроблено з урахуванням усіх вимог ОП.

Спроєктовано верстатне та контрольне пристосування. Які дозволяють економити час у процесі виготовлення деталі, тобто підвищують продуктивність процесу виготовлення деталі в цілому.

Використано автоматизацію циклічного використання ЗОТС на виробництві та виконано спеціальне завдання щодо використання для отримання чисельних дрібних отворів і пазів сучасне високопродуктивне обладнання електроерозійної обробки, за рахунок чого було в цілому скорочено тривалість виготовлення кільця опорного зовнішнього.

Було проведене економічне обґрунтування заходів з вдосконалення ТП: впровадження цього розробленого етапу ТП приведе до зниження витрат на 6409,07 грн. на рік, це не дуже значний ефект, але трудомісткість отримання пазів і отворів знизилась в 2 рази.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Турбовинтовой двигатель Аи-20. Аи 20 двигатель. Электронный ресурс:
<https://carscomfort.ru/dvigatel/ai-20-dvigatel.html>.
2. Загартування металу. Электронный ресурс:
https://ferrum.at.ua/publ/tekhnologija_metaliv/zagartuvannja_metalu/1-1-0-754.
3. ОСВІТА.UA. Экономическая теория. Электронный ресурс:
https://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom_theory/21669.
4. Выбор типа производства. Электронный ресурс:
<https://studfile.net/preview/6154805/page:8/>.
5. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технології машинобудування» (розділ – проектування технологічних процесів), для студентів напрямку 6.050502. Спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання, / Укр.: О.В. Алексеєнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011 – 86 с.
6. Технологічність конструкції виробів. Электронный ресурс:
<https://buklib.net/books/36258/>.
7. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.1./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с
8. Нормативные таблицы режимов резания на токарные, сверлильные и фрезерные работы, справочник: Запорожье; изд-во АТ «Мотор Сич», Т1 – 136с., Т2 – 133с
9. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.2./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.
10. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов] – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983 – 256

с.

11. СОЖ - что это? Состав, виды и преимущества использования. Электронный ресурс: https://oilcool.ru/article/sozh_kharakteristiki_sostav_primenenie/

12. Утилизация СОЖ. Электронный ресурс: <https://utilizatsiya-othodov.ru/utilizatsiya-othodov-proizvodstva/sozh/>

13. Электроэрозия в металлообработке – принцип работы, плюсы и минусы метода. Электронный ресурс: <https://cncmagazine.ru/polezno-znat/elektroeroziya-v-metalloobrabotke-princip-raboty-plyusy-i-minusy-metoda.-obzor-elektroerozionnyh-priborov-ekstraktorov-i-superdrelj/>

14. Ресурсосберегающая технология и технические средства восстановления эксплуатационных свойств смазочно-охлаждающих жидкостей. Электронный ресурс: https://journals.eco-vector.com/0321-4443/article/view/66146/ru_RU

15. Каменская А.А. Воздействие производств обработки металлов резанием машиностроительных предприятий на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба [Текст]: // А.А. Каменская, Р.И.Ковалова, В.М.Лабецкий. – ГПНТБ СО РАН, 1995. – 102с.

16. Электроэрозионная обработка металла. Электронный ресурс: <https://techlube.ru/articles/elektroerozionnaya-obrabotka-metalla.html>

17. Суслов А. Г. Основы технологии машиностроения. Учебник для бакалавриата / А. Г. Суслов. - М.: КноРус, 2013. 333 с.

18. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів : конспект лекцій / укладачі: Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 149 с.

19. Электроерозійна обробка металів: опис, технологія, відео. Электронный ресурс: <http://poradum.com/remont/elektroerozijna-obrobka-metaliv-opis-texnologiya-video.html>

20. Электроэрозия в металлообработке – принцип работы, плюсы и минусы метода. Электронный ресурс: <https://cncmagazine.ru/polezno-znat/elektroeroziya-v-metalloobrabotke-princip-raboty-plyusy-i-minusy-metoda.->

[obzor-elektroerozionnyh-priborov-ekstraktorov-i-superdrelj/](#)

21. Методичні рекомендації для дипломного проєктування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спец. 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.

22. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с.

23. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою [Текст] : ДСТУ Б В.1.1- 36:2016. – На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01. – К. : Мінрегіон України, 2016. – 66 с.

24. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. URL : https://drive.google.com/file/d/0B6R-P_LwCRN-TElPU1huNGRaZEE/view.

25. Журавель М. О., Курков О. Б., Журавель С. М. Розрахунок зон ураження від вибухів і пожеж, що виникли у наслідок надзвичайної ситуації техногенного характеру або терористичного акту : методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та форми навчання : Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. 18 с. URI : <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/4851>.

ДОДАТОК А. Програма обробки в G-кодах

Оп 015. Програма обробки першого переходу (ISO 7 bit).

%

N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0260 G1 Z-.3504
N0020 G91 G28 Z0.0	N0270 X7.4621
N0030 T01 M06	N0280 X7.4955 Z-.317
N0040 G0 G90 X7.874 Y0.0 Z.9843	N0290 G0 X7.499 Z-.3064
A0.0 B0.0 S216 M03	N0300 Z.2732N0310 X6.9017
N0050 X7.4988 Z.11	N0320 G1 Z.2259 F.6
N0060 X7.4873 Z.1021	N0330 Z.1078
N0070 G1 Z.0549 F.5 M08	N0340 X7.3868
N0080 Z-.3504	N0350 G3 X7.4119 Z.0827 I0.0 K-.0251 F.5
N0090 X7.5124	N0360 G1 Z-.3504
N0100 X7.5458 Z-.317	N0370 X7.437
N0110 G0 Z.2422	N0380 X7.4704 Z-.317
N0120 X7.4621	N0390 G0 X7.4707 Z-.3016
N0130 G1 Z.1949	N0400 Z.248
N0140 Z-.3504	N0410 X6.8792
N0150 X7.4873	N0420 G1 Z.2008 F.6
N0160 X7.5207 Z-.317	N0430 Z.0827
N0170 G0 Z.2983	N0440 X7.3868
N0180 X6.9486	N0450 Z-.3504 F.5
N0190 G1 Z.251 F.6	N0460 X7.4119
N0200 Z.1329	N0470 X7.4453 Z-.317
N0210 X7.3868	N0480 G0 X7.874
N0220 X7.3891 F.5	N0490 Z.9843
N0230 X7.4364	N0500 M02
N0240 X7.4233 Z.1172	%
N0250 G3 X7.437 Z.0827 I-.0365 K-	

.0345

Оп 015. Програма обробки другого переходу (ISO 7 bit).

%	N0180 G0 Z.2301
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0190 X6.8712
N0020 G91 G28 Z0.0	N0200 G1 Z.1829
:0030 T02 M06	N0210 Z-.5039
N0040 G0 G90 X7.874 Y0.0 Z.9843 A0.0	N0220 X6.853
B0.0 S315 M03	N0230 X6.8196 Z-.4705
N0050 X6.8006	N0240 G0 Z.2441
N0060 Z-.0707	N0250 X6.8893
N0070 X6.8349 Z-.0737	N0260 G1 Z.1969
N0080 G1 Z-.121 F.7 M08	N0270 Z-.5039
N0090 Z-.5039	N0280 X6.8712
N0100 X6.8266	N0290 X6.8378 Z-.4705
N0110 X6.7932 Z-.4705	N0300 G0 Z.248
N0120 G0 Z.1337	N0310 X6.9075
N0130 X6.853	N0320 G1 Z.2008
N0140 G1 Z.0864	N0330 Z-.5039
N0150 Z-.5039	N0340 X6.8893
N0160 X6.8349	N0350 X6.8559 Z-.4705
N0170 X6.8015 Z-.4705	N0360 G0 Z.9843
N0370 X7.874	N0380 M02
	%

Оп 020. Програма обробки (ISO 7 bit).

%	N0060 Z-.4929
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0070 X6.9274 Z-.4983
N0020 G91 G28 Z0.0	N0080 G1 X6.9385 Z-.5095 F.2 M08
:0030 T03 M06	N0090 Z-.5354
N0040 G0 G90 X7.874 Y0.0 Z.9843 A0.0 B0.0 S115 M03	N0100 X6.9075
N0050 X6.8965	N0110 X6.8964 Z-.5243
N0130 X6.9695	N0120 G0 Z.185
N0140 G1 Z.1693	N0240 X6.9584 Z-.5243
N0150 Z-.5354	N0250 G0 X6.958 Z-.4929
N0160 X6.9385	N0260 Z.185
N0170 X6.9274 Z-.5243	N0270 X7.0315
N0180 G0 X6.927 Z-.4917	N0280 G1 Z.1693
N0190 Z.185	N0290 Z-.5354
N0200 X7.0005	N0300 X7.0005
N0210 G1 Z.1693	N0310 X6.9894 Z-.5243
N0220 Z-.5354	N0320 G0 Z.9843
N0230 X6.9695	N0330 X7.874
	N0340 M02
	%

Оп. 055. Програма обробки першого переходу (ISO 7 bit).

%	N0160 X7.3557
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0170 Z.5011
N0020 G91 G28 Z0.0	N0180 G3 X7.3561 Z.511 I.1059 K0.0
:0030 T01 M06	N0190 G1 X7.4166 Z.7292
N0040 G0 G90 X7.874 Y0.0 Z2.3622 A0.0 B0.0	N0200 G2 X7.4097 Z.7909 I-.08 K.0222
S127 M04	N0210 G1 X7.3578 Z.8868
N0050 X7.5639 Z.3819	N0220 X7.407 Z1.0641
N0060 X7.5516 Z.3839	N0230 Z1.1114
N0070 G1 X7.5182 Z.4173 F.3 M08	N0240 G0 X7.446 Z1.119
N0080 X7.4387	N0250 X7.4591
N0090 Z.498	N0260 Z.4308
N0100 X7.4849 Z.6646	N0270 X7.42
N0110 Z.7119	N0280 X7.4029 Z.4173
N0120 G0 X7.524 Z.7195	N0290 G1 X7.3557
N0130 Z.4173	N0300 X7.2726
N0140 X7.486	N0310 Z.5011
N0150 G1 X7.4387	N0320 G3 X7.2744 Z.5272 I.189 K0.0
N0330 G1 X7.3366 Z.7514	N0400 X7.126 Z1.2132
N0340 X7.2844 Z.848	N0410 Z1.2411
N0350 X7.2628 Z.8524	N0420 Z1.2884
N0360 G3 X7.2621 Z.8525 I.0017 K.0082	N0430 G0 Z2.3622
N0370 G1 X7.3568 Z1.1943	N0440 X7.874
N0380 X7.2517 Z1.2244	N0450 M02
N0390 X7.1664	%

Оп. 055. Програма обробки другого переходу (ISO 7 bit).

%	N0180 Z.5039
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0190 X7.0024 Z.6287
N0020 G91 G28 Z0.0	N0200 X6.9721 Z.6372
:0030 T00 M06	N0210 G3 X6.9256 Z.7206
N0040 G0 G90 X7.874 Y0.0 Z2.3622	I.0182 K.0648
A0.0 B0.0 S317 M03	N0220 G1 X7.039 Z1.115
N0050 X6.8026	N0230 Z1.1993
N0060 Z.3386	N0240 Z1.2465
N0070 X6.8966	N0250 G0 X7.0312 Z1.2575
N0080 G1 Z.3858 F.8 M08	N0260 X6.8836
N0090 Z.5039	N0270 Z.3427
N0100 X6.9204 Z.5869	N0280 X6.9666
N0110 G3 X6.8675 Z.6468 I.0699	N0290 G1 X7. Z.3762
K.1151	N0300 X7.0858 Z.6752
N0120 G1 Z.694	N0310 X6.9903 Z.702
N0130 G0 X6.8331 Z.7039	N0320 X7.1063 Z1.1055
N0140 X6.8317	N0330 Z1.2264
N0150 Z.3386	N0340 Z1.2736
N0160 X6.9666	N0350 G0 Z2.3622
N0170 G1 Z.3858	N0360 X7.874
	%

ДОДАТОК Б. Специфікація робочого пристосування

Перф. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
		A1			НУЗП 293154.032	Складальне креслення		
						Сборочные единицы		
			1			Верстатний гідравлічний обертальний циліндр	1	
						Детали		
			2			Корпус планшайби	1	
			3			Корпус цанги	1	
			4			Цанга	1	
			5			Плита	1	
			6			Опора	3	
			7			Палець $\phi 96d6$	2	
			8			Тяга	1	
			9			П'ята	1	
			10			Втулка сферична	1	
						Стандартные изделия		
			11			Гайка М30х2-6Н ГОСТ 15521-70	1	
			12			Гвинт А.М12х12-6gx40 ГОСТ 1491-80	5	
		НУЗП 293154.032						
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
		Разраб.	Козловський Н.					
		Проб.	Гончар Н.В.					
		Н.контр.	Дядя С.І.					
		Утв.	Дядя С.І.					
		Пристосування цангове для токарної обробки					Лит.	Лист
								1
							Листов	
							2	
							НУЗП	
							гр.М-122м	
		Копіював					Формат А4	

[illegible]

ДОДАТОК В. Специфікація контрольного пристосування

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A2			НУЗП 401386.032 СК	Складальные кресления		
					Сборочные единицы		
			1		Электронный индикаторный годинник	1	
			2		Блок датчиков	1	
					Детали		
			3		Плита	1	
			4		Стойка	1	
			5		Планка	1	
			6		Ролик	1	
					Стандартные изделия		
Подп. и дата							
Инв. № дудл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 401386.032 СК	
	Разраб.	Козловский Н.					
	Пров.	Гончар Н.В.					
	Нконтр.	Дядя С.Г.					
	Утв.	Дядя С.Г.					
						Приспособления для контроля радиального бита	
						Лит. Лист Листов	
						1	
						НУЗП	
						гр.М-122м	

Копировал
Формат А4