

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»  
Завідувач кафедри ММіР  
к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**«Розробка технологічного процесу  
механічної обробки деталі шків  
СУПА00098»**

Виконав здобувач вищої освіти 3ек  
курсу групи ПМ(ТМ)-21-3СК  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D-друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Олександр ШАПОВАЛОВ

Керівник роботи к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

Рецензент: д.т.н., професор  
\_\_\_\_\_ Ігор ШЕПЕЛЕНКО



<b>Центральноукраїнський національний технічний університет</b>	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D-друк

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ММР  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ  
Олександра ШАПОВАЛОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків СУПА00098

2. Керівник роботи: \_\_\_\_\_ к.т.н., доц., Андрій Гречка

3. Строк подання роботи до захисту « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

*Метою роботи є:* розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків на основі базового технологічного процесу шляхом його раціоналізації.

*Завдання:*

- виконати аналіз точності та технологічності деталі шків;
- виконати аналіз матеріалу деталі та способу виготовлення заготовки;
- проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення деталі, виявити його переваги та недоліки, розробити раціоналізований технологічний процес, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- спроектувати заготовку та схему механічної обробки на одну із операцій.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Андрій ГРЕЧКА		
РОЗДІЛ 2	Андрій ГРЕЧКА		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	Квітень 2024	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Квітень 2024	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Квітень-травень 2024	вик.
4	Висновки	Травень 2024	вик.
5	Графічна частина та оформлення	Червень 2024	вик.

Дата видачі завдання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА  
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Олександр ШАПОВАЛОВ  
(підпис)

## Анотація

Олександр ШАПОВАЛОВ. Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків СУПА00098. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «бакалавр»: ЦНТУ, 2024. – 37 с. Графічна частина 4 арк. ф. А1.

Метою роботи є: розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків на основі базового технологічного процесу шляхом його раціоналізації.

В роботі виконано: опис деталі шків та її службового призначення, аналіз точності та технологічності деталі; аналіз матеріалу деталі та способу виготовлення заготовки; аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі, визначено його переваги та недоліки, розроблено раціоналізований технологічний процес, вибрано металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розраховано припуски, режими різання та норми часу; спроектовано заготовку та схему механічної обробку на одну із операцій.

Актуальність роботи: автоматизація виробництва шляхом застосування сучасних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Практичне значення: розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення деталі шків, який включає застосування сучасних обробних центрів з ЧПУ, об'єднання декількох операцій механічної обробки в одну, застосування прогресивних різальних інструментів.

Ключові слова: технологічний процес, шків, верстат з ЧПУ, раціоналізація.

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		5

## Annotation

Oleksandr SHAPOVALOV. Development of the technological process of mechanical processing of the part of the pulley SUPA00098. Bachelors Thesis: CNTU, 2024. - 37 p. Graphic part 4 drawings.

The purpose of the work is the development of the technological process of mechanical processing of the pulley part on the basis of the basic technological process by means of its rationalization.

The work includes a description of the pulley part and its service purpose, analysis of the accuracy and manufacturability of the part; analysis of the material of the part and the method of manufacturing the workpiece; analysis of the basic technological process of manufacturing the part, its advantages and disadvantages are determined, a rationalized technological process is developed, metal cutting machines, clamping, auxiliary and control devices are selected, allowances, cutting modes and time standards are calculated; a blank and a scheme of mechanical processing for one of the operations are designed.

*Relevance:* automation of production through the use of modern machines with computer numerical control (CNC).

*Practical value:* an improved technological process for the manufacture of pulley parts has been developed, which includes the use of modern CNC machining centers, combining several machining operations into one, and the use of advanced cutting tools..

*Key words:* technological process, pulley, CNC machine, rationalization.

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм</i>	<i>Арк</i>	<i>№ докум</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		6

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи на тему:**

**«Розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків  
СУПА00098»**

**КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ**

Виконав здобувач вищої освіти 3ск  
курсу групи ПМ(ТМ)-21-3СК  
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D-друк»  
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Олександр ШАПОВАЛОВ

Керівник роботи к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	9
<b>РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА</b> .....	10
1.1 Службове призначення деталі.....	10
1.2 Аналіз технологічності деталі та технічних вимог на її виготовлення.	10
1.3 Аналіз матеріалу деталі.....	13
1.4 Визначення типу виробництва.....	13
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	16
2.1 Аналіз точності деталі.....	16
2.2 Аналіз базового технологічного процесу.....	17
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки.....	19
2.4 Побудова плану технологічного процесу механічної обробки деталі...	20
2.5 Вибір технологічних баз.....	21
2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій.....	22
2.7 Вибір верстатів, ріжучих та вимірювальних інструментів.....	27
2.8 Розрахунок припусків та операційних розмірів.....	29
2.9 Розрахунок режимів різання.....	31
2.10 Технічне нормування операцій.....	34
2.11 Висновки.....	35
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	36

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>									
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Пояснювальна записка</i>									
<i>Розроб.</i>	<i>Шаповалов</i>									<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>		
<i>Перевір.</i>	<i>Гречка</i>										8	37		
<i>Н.контр.</i>										<i>ЦНТУ, гр. ПМ(ТМ)-21-3СК</i>				
<i>Затв.</i>	<i>Гречка</i>													

## ВСТУП

Прогрес у машинобудівній галузі в останні десятиліття відбувався стрімкими темпами, впливаючи на продуктивність, якість виробів, ефективність виробничих процесів і економічність. Основні напрями розвитку включають технологічні інновації, автоматизацію, використання нових матеріалів і методів обробки.

Прогрес у машинобудуванні сприяє створенню більш складних і високотехнологічних виробів, підвищенню ефективності виробництва та зменшенню впливу на навколишнє середовище. Інтеграція сучасних технологій та матеріалів дозволяє вирішувати складні інженерні завдання і відповідати вимогам ринку та суспільства.

Актуальність роботи: автоматизація виробництва шляхом застосування сучасних верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ).

Метою роботи є: розробка технологічного процесу механічної обробки деталі шків на основі базового технологічного процесу шляхом його раціоналізації.

Завдання: виконати аналіз точності та технологічності деталі шків; виконати аналіз матеріалу деталі та способу виготовлення заготовки; проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення деталі, визначити його переваги та недоліки, розробити раціоналізований технологічний процес, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу; спроектувати заготовку деталі та схему механічної обробку на одну із операцій.

Практичне значення: розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення деталі шків, який включає застосування сучасних обробних центрів з ЧПУ, об'єднання декількох операцій механічної обробки в одну, застосування прогресивних конструкцій різальних інструментів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

9

## РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Службове призначення деталі

Деталь шків СУПА 00098 призначена для передачі крутного моменту і обертового руху від вала на який посаджено шків на клиновий пас клина пасової передачі, який забезпечує обертання вентилятора.

Шків відноситься до класу тіл обертання. Шків має внутрішні та зовнішні циліндричні та конічні поверхні. На торцевих поверхнях деталі розміщені різьбові отвори.

Головною конструкторською базою в деталі є центральний отвір, по якому деталь базується на валу. Допоміжними конструкторськими базами є канавки на зовнішній циліндричній поверхні по яким базується клинопасовий ремінь на шківу, а також різьбові отвори, які використовуються для закріплення деталі.

### 1.2 Аналіз технологічності деталі та технічних вимог на її виготовлення

Технологічність конструкції – це сукупність властивостей конструкції виробу, які визначають її пристосування до оптимальних витрат при виготовленні, експлуатації та ремонті.

Для проведення аналізу технологічності деталі, потрібно враховувати кілька аспектів:

- матеріал з якого виготовлена деталь. Деякі матеріали можуть бути складнішими для обробки або вимагати спеціалізованого обладнання;
- геометрія. Складність геометрії деталі може впливати на процес виготовлення. Наприклад, деталі зі складними формами можуть потребувати складних процесів обробки;
- точність поверхонь деталі може вплинути на вибір методу виготовлення та обробки;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

10

- обсяг виробництва. Якщо деталь виготовляється масово, ефективність та швидкість виготовлення можуть бути ключовими факторами;

- вимоги по шорсткості.

Загалом, аналіз технологічності деталі полягає у врахуванні цих факторів та виборі оптимального методу виготовлення, який забезпечить необхідну якість і ефективність при мінімальних витратах.

Для виконання аналізу деталі виконуємо ескіз даної деталі з нумерацією її основних поверхонь (рис. 1.1).

Шків має форму тіла обертання і відноситься до класу дисків. До нього можливо застосувати всі способи обробки тіл обертання.

Деталь – шків виготовляється з алюмінієвого сплаву АК7 литвом, завдяки цьому конфігурація зовнішнього контуру та внутрішніх поверхонь не викликає значних ускладнень при отриманні заготовок. Але навіть при цьому формовка повинна проводитись із застосуванням стержнів, формуючих внутрішні площини.

Те ж саме відноситься і до внутрішніх оброблюємих поверхонь. Отвір 5 повинен бути виконаний в межах вказаних відхилень і концентричним з точністю до 0,02мм. Способом отримання вказаної точності є розточка отворів на алмазно-розточних верстатах.

Деталь достатньо технологічна, допускається застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкових операцій. Розміщення кріпильних отворів, як різьбових так і гладких допускає багатоінструментальну обробку. Всі оброблювані поверхні – легко доступні для обробки.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

11

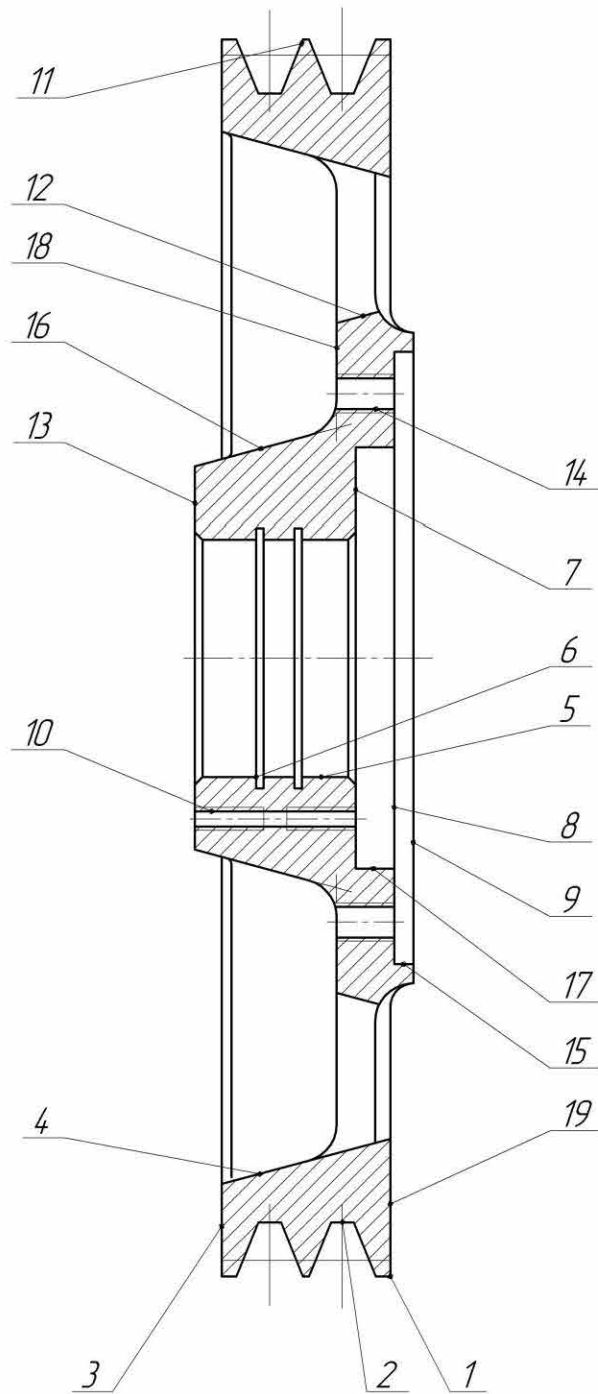


Рисунок 1.1 – Шків СУПА 00098

Для даної форми заготовки базові поверхні мають вдалу форму та розташування, що полегшує технологічний процес виготовлення деталі. Деталь шків є технологічною.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ

Арк.

12

### 1.3 Аналіз матеріалу деталі

Матеріалом деталі є АК7. Алюмінієвий сплав АК7 – це сплав, який широко використовується в промисловості та виробництві. Він має хороші показники міцності та стійкості до корозії, тому застосовується в різних галузях, включаючи машинобудування, автомобілебудування, суднобудування, авіаційну техніку та будівництво. Сплав АК7 зазвичай містить в своєму складі алюміній, магній та кремній, і може мати різні характеристики залежно від конкретного складу.

Механічні властивості та хімічний склад сплаву наведено в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Таблиця механічних властивостей матеріалу деталі

Марка матеріалу	$\sigma_{пч}$ (кг/мм <sup>2</sup> )	$\sigma_{пц}$ (кг/мм <sup>2</sup> )	Твердість по Бринелю НВ
АК 7	38	22	120

Таблиця 1.2 – Таблиця хімічного складу матеріалу деталі

Марка матеріалу	Mn	Si	Ni	Al	Cu	Mg	Zn
АК 7	0.2-0.4%	6-8%	до 0,3%	87,6-93,6%	до 1,5%	0,2-0,5%	до 0,5%

### 1.4 Визначення типу виробництва

Орієнтовно тип машинобудівного виробництва визначається в залежності від річної програми випуску деталі та її маси за допомогою довідникової таблиці 1.3.

Програма випуску деталей N=4000шт. Дійсний фонд роботи обладнання Fд=3890 год. Кількість операцій технологічного процесу O=14. Маса деталі m=3,6кг.

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.3 – Довідникова таблиця для визначення типу виробництва

Тип виробництва	Кількість деталей за річною програмою випуску (вагою до 10кг) в шт.
Одиничний	до 100
Дрібносерійний	100 – 500
Середньoserійний	500 – 5000
Багатoserійний	5000 – 50000
Масовий	понад 50000

Згідно з наведеною таблицею приймаю тип виробництва – середньoserійний.

Середньoserійне виробництво - це форма виробництва, яка лежить між масовим і одномірним виробництвом. Воно характеризується виробництвом товарів у середніх кількостях, які можуть бути значно вищими, ніж в одномірному виробництві, але нижчими, ніж у масовому виробництві. Основні характеристики середньoserійного виробництва включають:

- стандартизацію процесів та виробничих операцій, що дозволяє забезпечити стабільність якості продукції;
- ефективне використання обладнання та ресурсів;
- автоматизацію виробничих процесів: Для забезпечення ефективності та конкурентоспроможності середньoserійного виробництва необхідно застосовувати автоматизовані системи та технології;
- високу якість. Середньoserійне виробництво дозволяє забезпечити високу якість виготовлених товарів завдяки оптимізованим процесам та контролю якості;
- зменшення витрат. Витрати на виробництво можуть бути вищими, ніж у масовому виробництві, вони зазвичай нижчі, ніж у одиничному виробництві через економію в масштабах.
- гнучкість виробничих потужностей. Підприємства, що займаються середньoserійним виробництвом, зазвичай можуть легко змінювати обсяги виробництва відповідно до попиту на ринку;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

14

- оптимізацію ланцюга постачання: Для забезпечення швидкості та ефективності виробництва підприємства, що займаються середньосерійним виробництвом, часто оптимізують ланцюг постачання.

Ці характеристики роблять середньосерійне виробництво ефективним та конкурентоспроможним в контексті виробничої діяльності підприємства.

При середньосерійному виробництві вироби виготовляються партіями або серіями, які складаються з одноіменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами виробів, які запускаються у виробництво одночасно. Технологічний процес має окремі операції, які закріплені за визначеними верстатами. За робочим місцем закріплена більш вузька номенклатура операцій. Застосовується обладнання різних видів: універсальне, спеціалізоване, спеціальне, автоматизоване, агрегатне. Верстати мають бути спеціалізованим в такій мірі, щоб був можливий перехід від виробництва однієї серії машин до виробництва іншої, яка дещо відрізняється від першої у конструктивному відношенні.

При використанні універсальних верстатів повинні широко застосовуватись спеціалізовані (пристосовані для даної операції) і спеціальні пристрої, спеціалізований і спеціальний ріжучий інструмент та вимірювальний інструмент у вигляді граничних (стандартних і спеціальних) калібрів і шаблонів. Все це обладнання і оснащення в середньосерійному виробництві можна застосовувати достатньо широко, так як при повторюваності процесів виготовлення одних і тих же деталей вказані засоби виробництва дають техніко-економічний ефект, який з більшою вигодою окупає витрати на них. Вид руху предметів праці – паралельно-послідовний.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

15

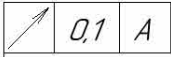


## РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз точності деталі

Для виконання аналізу точності деталі по кресленню, спочатку, необхідно визначити критерії точності, що включають в себе розміри, форму, розташування та інші параметри.

На основі ескізу деталі (рис. 1.1) виконуємо аналіз точності із занесенням в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри точності поверхонь шківів СУПА 00098

Номер поверхні на деталі	Найменування поверхні	Розміри	Квалітет точності	Точність відносного розміщення	Точність форми	Шорсткість
1	2	3	4	5	6	7
1	Циліндрична зовнішня	Ø323.4	-	-		Ra3,2
2	Циліндрична зовнішня	Ø315 <sup>(-1.3)</sup>	h14	-	-	Ra2,5
3	Торцева	44	-	-	-	Ra6,3
4	Внутрішня конічна	Ø275	-	-	-	Ra12,5
5	Внутрішня циліндрична	Ø62 <sup>(+0.03)</sup>	H7	-	-	Ra2,5
6	Торцева	1.9 <sup>(+0.14)</sup>	-	-	-	Ra2,5
7	Торцева	42	-	-	-	Ra6,3
8	Торцева	52	-	-	-	Ra2,5
9	Торцева	57	-	-	-	Ra12,5
10	Різьбова	M6	-		-	Ra2,5
11	Конічна	17,4	-	-	-	Ra2,5
12	Конічна	Ø175	-	-	-	Ra12,5
13	Торцева	16	-	-	-	Ra12,5
14	Різьбова	M10	-		-	Ra2,5
15	Внутрішня циліндрична	Ø160 <sup>(+0.4)</sup>	H7	-	-	Ra2,5
16	Конічна	Ø96	-	-	-	Ra12,5
17	Внутрішня циліндрична	Ø110	-	-	-	Ra6,3
18	Торцева	-	-	-	-	Ra12,5
19	Торцева	44	-	-	-	Ra6,3

Аналіз точності показав, що найбільш точними поверхнями деталі шків є: внутрішня циліндрична 5  $\varnothing 62^{(+0.03)}$  Ra2,5, та внутрішня циліндрична 15  $\varnothing 160^{(+0.4)}$  Ra2,5. Також, до зовнішньої циліндричної поверхні 1 висуваються вимоги по точності, а саме биття  $\sqrt{0.1 A}$ , а для різьбових поверхонь 10 та 14 вимоги позиційного допуску  $\oplus \varnothing 0.05 \text{ M}$ . Всі інші поверхні деталі шків мають невисокі вимоги по точності та шорсткості.

## 2.2 Аналіз базового технологічного процесу

Для аналізу базового технологічного процесу наведено таблицю (табл. 2.2), в якій вказано моделі верстатів, що застосовуються для механічної обробки деталі шків, операційний час та час зайнятості оператора, а також коефіцієнт завантаженості оператора.

Таблиця 2.2 – Базовий технологічний процес

№ оп.	Верстат	Операційний час хв. Топ.=То.+Тд.	Час зайнятості оператора хв. Тз.	Коефіцієнт завантаженості оператора Кз.=Тз/Топ.
005	16К20Ф3С32	15.2	0.5	0.032
010	16К20Ф3С32	10.2	0.5	0.049
015	2Н135	1.08	1.08	1
020	2Н135	1.59	1.59	1
025	2Н135	0.97	0.97	1
030	2056	0.99	0.99	1
035	2Н135	2.51	2.51	1
040	2Н135	0.93	0.93	1
045	2Н135	0.95	0.95	1
050	2056	0.9	0.9	1
055	2Н135	2.91	2.91	1
060	2Н135	0.66	0.66	1
065	2Н135	2.91	2.91	1
070	16К20Ф3С32	2.1	0.5	0,23

Як видно з таблиці, в базовому технологічному процесі застосовано обладнання з ЧПУ та універсальні верстати. При цьому на універсальних

верстатах 2Н135 виконуються прості операції, які можливо швидко переналагоджувати.

При такій схемі обробки за критеріями оцінки необхідно прийняти коефіцієнт завантаження на операціях значенням до 0,23, в той же час на операціях, які виконуються на універсальному обладнанні цей коефіцієнт дорівнює 1,0.

З метою зменшення коефіцієнтів завантаження більш доцільно замінити універсальні верстати на верстати з ЧПУ. Пристосування, які використовуються на верстатах з ЧПУ мають високий рівень уніфікації і тому значно дешевші.

Впровадження верстатів з числовим програмним управлінням (ЧПУ) порівняно з універсальними верстатами має кілька значних переваг:

- автоматизація та точність: Верстати з ЧПУ дозволяють автоматизувати виробничі процеси, що дає змогу підвищити продуктивність і знизити витрати робочої сили. Вони також забезпечують високу точність обробки завдяки можливості програмувати рухи з великою точністю;

- гнучкість: Верстати з ЧПУ можуть виконувати широкий спектр операцій без необхідності зміни інструментів або переналаштування верстату. Це дозволяє швидко переключатися між виробничими завданнями і виготовляти різноманітні деталі без значних затримок;

- можливість обробки складних деталей: Завдяки високій точності та гнучкості програмування, верстати з ЧПУ здатні обробляти складні деталі, які складно або неможливо виготовити за допомогою універсальних верстатів;

- зменшення часу на налаштування: Універсальні верстати часто вимагають значного часу на налаштування для кожного нового виробничого завдання. Верстати з ЧПУ можуть бути програмовані для виконання нових операцій швидко та ефективно, зменшуючи час, необхідний для переключення між завданнями;

- моніторинг та контроль якості: Сучасні верстати з ЧПУ зазвичай обладнані системами моніторингу та контролю якості, які дозволяють

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

18

операторам в реальному часі відстежувати процеси обробки та виявляти будь-які відхилення від заданих параметрів;

- ефективність виробництва: За рахунок швидкості та автоматизації процесів верстати з ЧПУ дозволяють підвищити загальну ефективність виробництва, зменшуючи час циклу виробництва та кількість відбракованих деталей.

Отже, впровадження верстатів з ЧПУ дозволяє підвищити продуктивність, покращити якість та знизити витрати у виробничому процесі.

Крім того використання верстатів з ЧПУ підвищує точність обробки за рахунок зменшення кількості переустановок деталі, і забезпечення принципу єдності баз.

### 2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Матеріал деталі – АК7 визначений конструктором. Вибір способу виготовлення дозволяє отримати відливку високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

Спосіб виготовлення заготовки приймаємо лиття в кокіль. Цей спосіб рекомендовано застосовувати для лиття деталей типу дисків складної конфігурації із алюмінію. Для лиття деталі виготовляється спеціальна механічна форма (кокіль), яка повторює форми деталі.

На підставі аналізу деталі по кресленню обираємо два способи отримання заготовки: лиття в піщано-глиняні форми і лиття в кокіль.

Щоб остаточно переконатись в правильності вибраного методу отримання заготовки, проведемо економічний аналіз двох видів заготовки. Численним критерієм даного аналізу є використання матеріалу який розраховується за формулою:

$$K_{i.m.} = m_d / m_z.$$

де:  $m_d$  – маса деталі, кг.;

$m_z$  - маса заготовки, кг.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

19

Маса деталі 3,6 кг, маса заготовки 4,2кг, маса другої заготовки – 3,8кг.

З розрахунку видно, що коефіцієнт використання матеріалу при отриманні заготовки литтям в кокіль вище.

$$\text{Кі.м. 1} = 3.6 / 4.2 = 0,857$$

$$\text{Кі.м. 2} = 3.6 / 3.8 = 0,947$$

Видно, що використання матеріалу при отриманні заготовки литтям в кокіль значно вище. На основі отриманих даних приймаємо метод отримання заготовок лиття в піщано-глиняні форми.

## 2.4 Побудова плану технологічного процесу механічної обробки деталі

Базовий технологічний процес складається з 14 операцій механічної обробки, на яких застосовуються такі верстати: токарні з ЧПУ 16К20Ф3С32, різьбонарізні напівавтомати 2056, свердлильні 2Н135. З метою зменшення кількості операцій, а відповідно і задіяного металорізального обладнання та зменшення часу на обробку деталі, в розробленому технологічному процесі токарні з ЧПУ верстати замінені на сучасні обробні центри з ЧПУ, а свердлильні та різьбонарізні операції об'єднані в одну 015 операцію, яка виконується на свердлильному з ЧПУ верстаті.

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі шків складається з трьох операцій механічної обробки.

З урахуванням класу деталі необхідно побудувати маршрут обробки. Токарна обробка зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, а також торців, проводиться на верстатах з програмним управлінням.

Послідовність обробки приймається така, щоб на перших переходах знімався максимальний припуск. Базування деталі виконується таким чином, щоб забезпечити мінімальні припуски на обробку.

З урахуванням вимог до чорнової бази приймаємо за неї поверхню 19. При базуванні по цій поверхні є можливість найбільш точно зорієнтувати деталь в

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

20

осьовому напрямі поверхні 5. Крім того ця поверхня дає можливість надійно закріпити деталь на першій операції.

На 010 токарній операції необхідно обробити також циліндричні та торцеві поверхні з протилежного боку деталі, при цьому за базу приймаємо оброблені поверхні.

На 015 свердлильній з ЧПУ операції затиск деталі виконується по торцевій поверхні 9 та внутрішній циліндричній 5.

## 2.5 Вибір технологічних баз

Базування деталі при обробці на верстаті є критичним етапом у виробничому процесі, особливо для досягнення точності та якості обробки. Базування відбувається за допомогою спеціальних пристосувань та технологій і може включати такі етапи: вибір базової поверхні, визначення точок базування, закріплення на верстаті.

Вибір базової поверхні – вибір поверхні деталі, яка буде використовуватися для встановлення та орієнтації на верстаті.

Визначення точок базування, тобто, точок на деталі, які будуть використовуватися для фіксації на верстаті.

Закріплення на верстаті. Деталь розміщується на верстаті так, щоб базова поверхня знаходилася в правильному положенні. Для цього застосовуються стандартні або спеціальні затискні пристрої.

Перевірка точності базування. Після закріплення деталі, перевіряється точність орієнтації та положення. У разі необхідності виконуються корекції положення деталі на верстаті, щоб досягти необхідної точності.

Цей процес забезпечує правильне розташування деталі на верстаті для забезпечення високої якості обробки та виконання вимог щодо точності.

Як вже згадувалось вище, чорною технологічною базою вибрано торцеву поверхню 19 з упором на поверхню 12.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

21

При подальшій обробці використовуються чистові поверхні. Так на другій операції в якості бази використовується торцева поверхня 3 з упором на поверхню 4. На третій, останній операції, використовуємо як базову поверхню 5 з упором на поверхню 8.

## 2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій

З урахуванням прийнятого типу інтеграції і орієнтації деталі вибираємо верстати з програмним управлінням, при цьому токарні операції здійснюються на обробних центрах типу DEED HMC50S, а свердлильні та різьбонарізні на верстатах 2P135Ф3.

Структура та зміст технологічних операцій наведені в таблиці 2.3.

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22



Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
<p>9. Розточити отвір тонко, витримуючи розмір 13.          10. Точити фаску, витримуючи розмір 14.          11. Точити дві канавки послідовно, витримуючи розміри 15, 16.          12. Відкріпити та зняти деталь.</p>			

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4
<p>010 Комплексна з ЧПУ</p>	<p>DEED HMC50S Обробний центр з ЧПУ</p>		<p>1. Встановити та закріпити деталь. 2. Підрізати торець, витримуючи розмір 1. 3. Підрізати торець, витримуючи розмір 2. 4. Розточити отвір, витримуючи розміри 3, 4. 5. Розточити отвір, витримуючи розміри 5, 6. 6. Точити поверхню кінцево, витримуючи розмір 7, допуск 8. 7. Точити дві канавки послідовно кінцево, витримуючи розміри 9, 10. 11, допуск 8. 8. Відкріпити та зняти деталь.</p>

Продовження таблиці 2.3

1	2		4
015 Свердильна з ЧПУ	2P135ФЗ Свердильни й з ЧПУ		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Встановити та закріпити деталь.</li> <li>2. Засвердлити послідовно 9 лунок під отвори, витримуючи розміри 1, 2.</li> <li>3. Свердлиги послідовно 6 отворів, витримуючи розміри 2, 3, допуск 4.</li> <li>4. Свердлиги послідовно 3 отвори наскрізь, витримуючи розміри 1, 5, допуск 4.</li> <li>5. Зенкувати фаску послідовно в 9 отворах 1,5x45°.</li> <li>6. Нарізати різьбу в 6 отворах, витримуючи розміри 2, 6.</li> <li>7. Нарізати різьбу в 3 отворах, витримуючи розміри 1, 7.</li> <li>8. Відкріпити та зняти деталь.</li> </ol>

## 2.7 Вибір верстатів, ріжучих та вимірювальних інструментів

Моделі верстатів та їх технічні характеристики вибрано з каталогів та довідників та наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Металорізальні верстати для обробки деталі шків

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. Діаметр обробки (мм)	Ряд частот обертання (хв <sup>-1</sup> )	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
005, 010	Обробний центр з ЧПУ DEED НМС 50S	800	63-3150	28-790	18,5	2260x3000x1520
015	Свердлильний з ЧПУ 2P135Ф3	406	45-2000	0,1-1,6	2,8	1500 x1500 x1903

На токарному верстаті з програмним управлінням використовуються різці різних типів з швидкозмінними переточуваними пластинами із твердого сплаву.

Для підвищення стійкості використовуються покриття різальних пластин карбідом титану.

При виборі допоміжного інструменту, необхідно віддати перевагу стандартним конструкціям.

Враховуючи необхідність оброблювати на автоматизованій ділянці деталі серіями, економічно виправдано саме застосування граничних калібрів для вимірювання.

Різальні інструменти, які застосовуються при механічній обробці деталі шків наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Різальні інструменти

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)
Опер.	Перех.		
005	2, 3, 4	Різець	113737
	5	Різець спеціальний	509.2126-4021
	6, 7,	Розточувальна головка	ВНС МВ63-63Х80
	8, 9, 10	Розточувальна головка	ВНС МВ63-63Х80
	11	Різець спеціальний	509.2128-4007
010	2, 3, 4 5, 6	Різець	113737
	7	Різець спеціальний	509.2126-4021
015	3	Свердло 8,4	
	4	Свердло 4,95	
	6	Мітчик М10	
	7	Мітчик М6	

Вимірювальні інструменти для контролю розмірів деталі отриманих в результаті механічної обробки наведено в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для деталі шків

Номер		Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Операції	Переходу		
1	2	3	4
005	2	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0.1	ДСТУ 166:2009
	3	Шаблон	509.8150-4003
	4	Калібр-скоба	СТП 509.8.566-75
	5	Шаблон	509.8160-4025
	6, 7, 8, 9, 10	Калібр-пробка	СТП 509.8.92-71
	11	Шаблон	509.8160-4382
010	2	Шаблон	СТП 509.8.395-14
	3	Шаблон	509.100-4021
	4	Калібр-пробка	509.8141-4001
	5	Шаблон	509.8141-4001
	6	Калібр-скоба	СТП 509.8.566-75
	7	Шаблон	509.8160-4382
015	3	Калібр-пробка	509.8.70-71
	4	Калібр-пробка	509.8.70-71
	6	Калібр-пробка	509.8.418-74
	7	Калібр-пробка	509.8.418-74

## 2.8 Розрахунок припусків та операційних розмірів

Після вибору плану обробки поверхонь, розробки маршрутної технології, розраховуємо припуски на механічну обробку. Для розрахунку використовуємо методику В.М. Кована. Аналітичне визначення припусків здійснюємо для отвору внутрішньої циліндричної поверхні  $5 \text{ } \varnothing 62^{+0.03}$ .

Всі розраховані значення припусків та допусків для даної поверхні заносимо в карту розрахунків (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм					Допуск на виготовлення $\delta$ , мкм	Граничні розміри, мм	
	Rz	T	$\Delta K$ мкм/мм	Ky	$\varepsilon y$ мм.		$d_{\min}$	$d_{\max}$
Заготовка	0,6		0,9	-	-	3000	52,5	55,5
Розточування чорнове попереднє	0.24	0.24	-	0.06	0.03	740	59,5	60,24
Розточування чорнове	0.1	0.1	-	0.05	-	300	61,5	61,8
Розточування чистове	0.02	0.02	-	0.04	-	120	61,9	61,96
Розточування тонке	-	-	-	-	-	30	62,0	62,03

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні  $\varnothing 62^{+0.03}$  наведено на рисунку 2.1.

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подано в таблиці 2.7.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ

Арк.

29

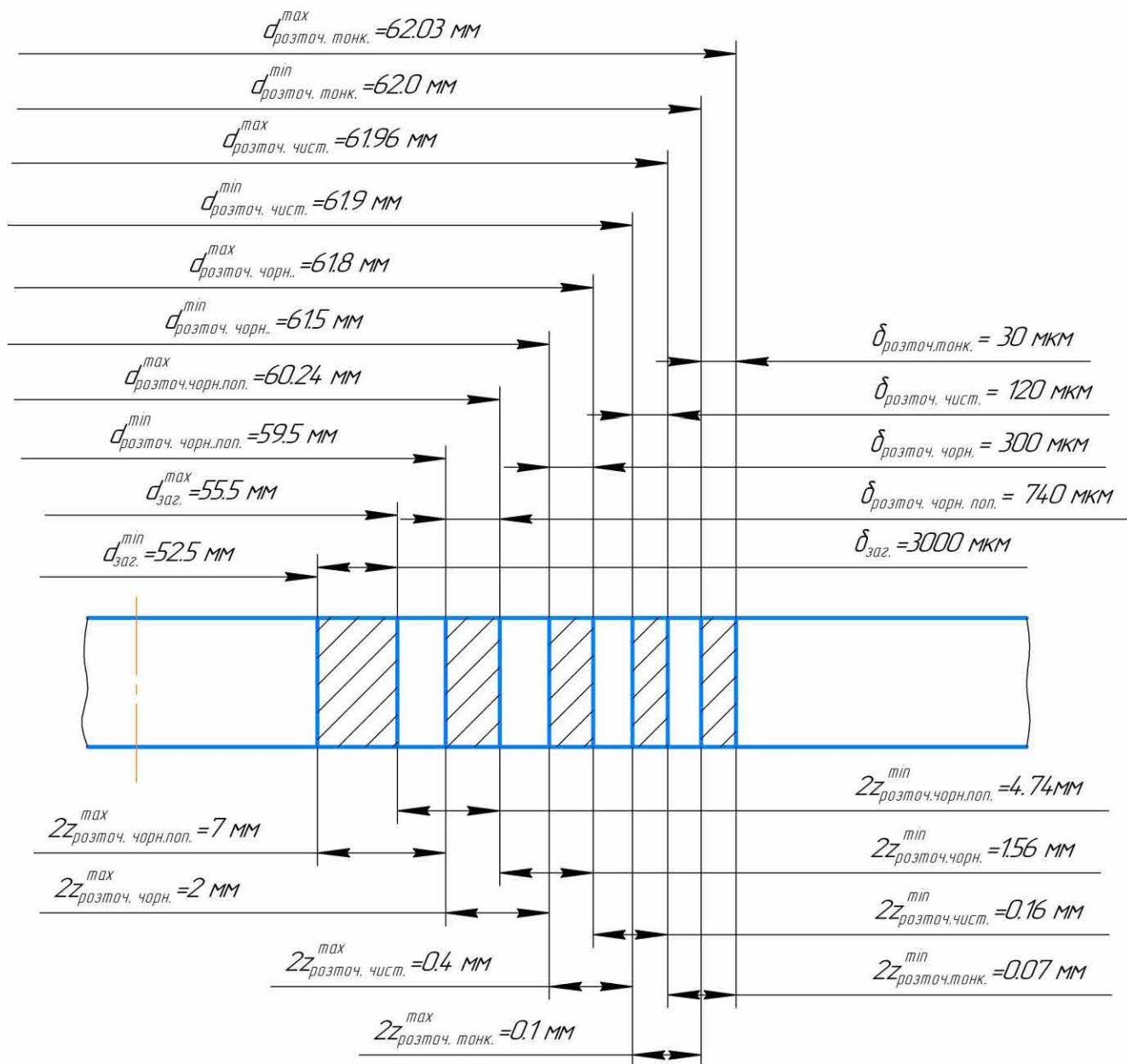


Рисунок 2.1 – Схема графічного розташування припусків і допусків для поверхні  $\text{Ø}62^{+0.03}$

Таблиця 2.7 – Зведена таблиця припусків на обробку деталі шків

№ пов-ні	Найменування поверхні	Припуск $Z_{\text{min}}$ , мм	Технологічний допуск, мм
1	2	3	4
1	Циліндрична зовнішня	5	0,57
2	Циліндрична зовнішня	7,2	1,3
3	Торцева	3	0,25
5	Внутрішня циліндрична	4	0,03
6	Торцева	3	0,14

Продовження таблиці 2.7

1	2	3	4
7	Торцева	10	0,1
8	Торцева	5	0,1
9	Торцева	5	0,25
10	Різьбова	M6	
11	Конічна	4,3	0,15
13	Торцева	3	0,28
14	Різьбова	M10	
19	Торцева	4	0,25

## 2.9 Розрахунок режимів різання

Режими різання – це сукупність параметрів, які визначають металообробку. Основні режими різання включають: швидкість різання, подачу, частоту, глибину різання. Всі ці параметри впливають на продуктивність, якість обробки, знос інструменту та енергоспоживання процесу.

Швидкість різання – це швидкість переміщення ріжучої кромки інструменту відносно заготовки. Вибір швидкості залежить від матеріалу заготовки, матеріалу інструменту, типу обробки та інших умов.

Збільшення швидкості різання може зменшити час обробки, але призводить до підвищення температури в зоні різання і зносу інструменту.

Подача – це відстань, яку інструмент проходить за один оберт заготовки або за один хід. Впливає на продуктивність і якість обробки. Занадто висока подача може призвести до зниження якості обробленої поверхні.

Висока подача збільшує об'єм видаляемого за одиницю часу матеріалу, але може погіршити якість обробленої поверхні.

Частота обертання інструменту – кількість обертів, яку ріжучий інструмент здійснює за одиницю часу.

Висока частота обертання може призвести до швидшого зносу інструменту через підвищене тертя і температуру.

Надто висока або низька частота обертання може вплинути на якість обробленої поверхні деталі. Оптимальна частота забезпечує гладку поверхню і точність розмірів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

*КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ*

Арк.

31

Підвищення частоти обертання може збільшити продуктивність обробки, але слід враховувати можливості верстата та інструменту.

Глибина різання – величина припуску, який знімається під час механічної обробки. Збільшення глибини різання дозволяє зменшити кількість проходів, але також підвищує навантаження на інструмент і верстат.

Для розрахунку режимів різання із довідникової літератури вибираємо необхідні параметри та їх значення і зводимо їх до таблиці 2.8.

Розрахунок режимів різання виконуємо для 3 переходу 015 свердлильної з ЧПУ операції на якому виконується послідовне свердління 6 отворів  $\varnothing 8,4$  мм. Операція здійснюється на свердлильному з ЧПУ верстаті мод. 2P135Ф3.

На вказаному переході операції виконується послідовне свердління 6 отворів на прохід  $\varnothing 8,4$  на глибину 15 мм, забезпечуючи при цьому шорсткість отвору Ra 6,3.

- Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 8,4 = 4,2 \text{ мм}$$

- Подача:

$$S = 0,45 \text{ мм/об}$$

- Швидкість різання:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V,$$

де:  $C_V = 40,7$ ,  $q = 0,25$ ,  $y = 0,4$ ,  $m = 0,125$ ;

$T = 35$  хв.

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{gV} \cdot K_{LV},$$

де:  $K_{LV}$  - коефіцієнт, який враховує довжину оброблюемого отвору.  $K_{LV} = 1$

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

$$V = \frac{40,7 \cdot 0,0084^{0,25}}{35^{0,125} \cdot 0,45^{0,4}} \cdot 0,8 = 50 \text{ м/хв.}$$

- Крутний момент:

Зм	Арх	Модифікація	Підпис	Дата

КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ

Арх.

32

$$M_{KP} = 0,005 \cdot 8,4^2 \cdot 0,45^{0,8} \cdot 1 = 0,186 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot 9,8 \cdot 0,0084^1 \cdot 0,45^{0,7} \cdot 1 = 0,47 \text{ Н}$$

- Частота:

$$n = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 8,4} = 1870 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата  $n_\delta = 1800 \text{ об/хв.}$

- Дійсна швидкість різання:

$$V_\delta = \frac{3,14 \cdot 8,4 \cdot 1800}{1000} = 47,48 \text{ м/хв.}$$

- Потужність різання:

$$N_e = \frac{0,186 \cdot 1800}{9750} = 0,034 \text{ кВт}$$

- Основний час:

$$l_{p.x.} = (15 + 2 + 2) \cdot 6 = 114 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{114}{1800 \cdot 0,45} \cdot 1 = 0,14 \text{ хв.}$$

Розрахунок режимів різання на всі операції механічної обробки деталі шків представлено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Режими різання на операціях механічної обробки деталі шків

Номер		t, мм	S <sub>мм/об</sub> S <sub>мм/хв</sub>	V м/хв	n, хв. <sup>-1</sup>	t <sub>о</sub> , хв
опе- рації	пере- ходу					
1	2	3	4	5	6	7
005	2	3	0,25	114	300	15,2
	3	3	0,25	90,4	300	
	4	3	0,25	104	300	
	5	3,3	0,08	73	80	
	6	2,75	0,25	87	450	
	7	0,8	0,2	105	500	
	8	0,22	0,05	125	630	
	9	0,03	0,01	144	710	
	10	2,5	0,15	56,5	300	
	11	3	0,04	64,1	300	

Зм.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ

Арх.

33

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7
010	2	6	0,25	104,6	300	10,2
	3	5	0,25	160,1	300	
	4	5	0,25	150,7	300	
	5	5	0,25	103,6	300	
	6	0,3	0,15	115	450	
	7	1	0,04	112	450	
015	2	2	0,45	50	1800	8,2
	3	4,2	0,45	50	1800	
	4	2,47	0,45	50	1800	
	5	1,5	0,1	15,7	500	
	6	0,8	1,5	8,7	280	
	7	0,5	1	8,5	450	

### 2.10 Технічне нормування операцій

Нормування дозволяє встановлювати оптимальні параметри обробки для конкретних умов, що дозволяє знижувати витрати на виробництво, підвищувати продуктивність і якість виготовлення деталей. Також нормування сприяє безпеці виробництва, оскільки правильно підібрані параметри дозволяють уникнути аварійних ситуацій та знизити ризик виникнення травм серед працівників.

Норми часу на виконання операцій в масовому та серійному виробництві визначають розрахунково-аналітичним методом

$$t_{шт.к} = t_o + t_{доп} + t_{ТО} + t_{орг.об} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де:  $T_{пз}$  – підготовчо-заклучний час, хв.

$t_o, t_{доп}, t_{ТО}, t_{орг.об}$  – час основної, допоміжної роботи, техобслуговування та організаційного обслуговування, хв.

$n$  - розмір партії, шт.  $n=625$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Норми часу на обробку деталі шків

№ опер.	$t_o$ , хв.	$t_{доп}$ , хв.	$t_{ТО}$ , хв.	$t_{орг.об.}$ , хв.	$t_{від}$ , хв.	$T_{шт}$ , хв.	$T_{пз}$ , хв.	$T_{шт.к}$ , хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	15,2	2,47	0,04	0,04	0,04	17,9	12	18,14
010	10,2	1,46	0,02	0,02	0,02	11,8	9	12,05
015	8,2	1,1	0,06	0,09	0,09	9,5	8	9,75

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ

Арк.

34

## 2.11 Висновки

На основі базового технологічного процесу шляхом його раціоналізації розроблено вдосконалений технологічного процесу механічної обробки деталі шків.

Виконано аналіз точності та технологічності деталі шків. Вибрано матеріал заготовки та тип виробництва деталі шків.

Розглянуто та проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення деталі, визначено його переваги та недоліки. З урахуванням результатів аналізу розроблено раціоналізований технологічний процес.

З метою зменшення кількості операцій, а відповідно і задіяного металорізального обладнання та зменшення часу на обробку деталі, в розробленому технологічному процесі токарні з ЧПУ верстати замінені на сучасні обробні центри з ЧПУ, а свердлильні та різьбонарізні операції об'єднані в одну операцію, яка виконується на свердлильному з ЧПУ верстаті. Розроблений технологічний процес виготовлення деталі шків складається з трьох операцій механічної обробки.

Вибрано металорізальні верстати, затискні, допоміжні та контрольні пристрої, розраховано припуски, режими різання та норми часу. Спроектовано заготовку та схему механічної обробку на одну із операцій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Металорізальні верстати: навчальний посібник / За ред. Р. І. Сіліна. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 268 с.
2. Буряк Я. Верстатне обладнання. – Львів: Львівська політехніка, 2014. – 168 с.
3. Глоба О. В. Теорія різання: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.
4. Горбатюк Є.О., мазур МП, Зенкін А.С., Каразей В.д. Технологія машинобудування: навчальний посібник. – Львів: «Новий Світ – 2000», 2009. – 358 с.
5. Добрянський С.С., Малафеев Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок: підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
6. Добрянський С.С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
7. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спец. 131 «Прикладна механіка» / [уклад. : К. Щербина, В. Шмельов, О. Скрипник, А. Гречка, О. Кузик] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки, каф. матеріалознавства і ливарного виробництва. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 16 с.
8. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

					<i>КРБ.ПМ.24.88.000.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

9. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: початковий посібник / [Дусанюк Ж.П., Шиліна О.П., Репінський С.В. та ін.] – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 199 с.

10. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / Біланенко В.Г., Приходько В.П., Мельник О.О.; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с.

11. Равська Н.С., Мельничук П.П., Касьянов А.Г., Родін Р.П. Технологія інструментального виробництва: підручник для спеціальностей: «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи», «Інструментальне виробництво». – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 555 с.