

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи
для освітнього ступеня «МАГІСТР»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
на тему:

Розробка технології обробки корпусу насоса НМШ25-00-01 з дослідженням зносу абразивних зерен

Development of the technology for machining the pump casing NMSH25-00-01 with the study of abrasive grain wear

Виконавець: ст. гр. ПМ-22М-3

_____ Олександр ЙОРЖ

Керівник: к.т.н., доцент

_____ Віталій МАЖАРА

Рецензент: к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Завідувач кафедри ММР

_____ Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький – 2024

СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАТРОНИКИ І РОБОТОТЕХНІКИ»

Освітній ступінь МАГІСТР

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Андрій ГРЕЧКА

“ ” 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ
ОСВІТИ

Йоржу Олександр Володимировичу

(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема роботи: «Розробка технології обробки корпусу насоса НМШ25-00-01 з дослідженням зносу абразивних зерен»

«Development of the technology for machining the pump casing NMSH25-00-01 with the study of abrasive grain wear»

керівник роботи: к.т.н., доц. Мажара Віталій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 20__ року №__

2. Строк подання роботи 05.01.2024

3. Вихідні дані до роботи

3.1. Креслення деталі корпус насоса НМШ25-00-01

3.2. Технічні вимоги на виготовлення деталі

3.3. Річна програма випуску насосів НМШ25

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загальна частина

2 Технологічна частина

3 Конструкторська частина

4 Дослідна частина

5 Економічна частина

5. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

6. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Загальна частина	20.09.2023р.	
2	Технологічна частина	16.10.2023р.	
3	Конструкторська частина	08.11.2023р.	
4	Дослідна частина	29.11.2023р.	
5	Економічна частина	19.12.2023р.	
6	Розробка графічного матеріалу	03.01.2024р.	

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ЙОРЖ

Керівник роботи _____ Віталій МАЖАРА

Анотація
на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти гр. ПМ-22М-3
Йоржа Олександра Володимировича

Кваліфікаційна робота на тему: “ Розробка технології обробки корпусу насоса НМШ25-00-01 з дослідженням зносу абразивних зерен” містить 84 сторінки, 9 листів графічних креслень та комплект технологічної документації.

У роботі виконаний аналіз базового технологічного процесу, на основі чого запропоновані зміни. У відповідності до існуючого типу виробництва було запропоновано заміну універсальних верстатів на сучасні обробні центри з ЧПК. Для запропонованого технологічного процесу були розроблені структура та зміст операцій, вибране обладнання, визначені режими різання і технічно обґрунтована норма часу. Також були розроблені конструкції затискного пневматичного пристрою та контрольного пристрою індикаторного типу.

В дослідній частині були розглянуті питання механізму зносу ріжучих кромek абразивних зерен. Встановлено, що залежно від оброблюваного й абразивного матеріалів та умов оброблення матеріал абразивних зерен у процесі різання зазнає адгезійного, абразивного, дифузійного зношення, а також комбінованих видів зношення, коли зношування абразивного матеріалу спричинено одночасним перебігом кількох видів зношення.

Досліджено питання крихкої міцності абразивних зерен, зокрема, що зношування зерен під час шліфування зрештою визначається умовною напругою різання і стійкістю ріжучих крайок у динамічних умовах. Проведено дослідження працездатності різних марок алмазних зерен під час мікрорізання з глибиною 10 мкм і швидкістю $V = 30$ м/с, $a_z = 0,4$ мкм. Визначено динамічне середнє руйнівне навантаження P_d . Встановлено взаємозв'язок між напруженістю процесу, міцністю зерен і їхнім зносом.

Abstract
for the qualification work of a student of higher education PM-22M-3
Yorzh Oleksandr Volodymyrovych

The qualification work on the topic : "Development of the technology for machining the pump casing NMSH25-00-01 with the study of abrasive grain wear" contains 84 pages, 9 sheets of graphic drawings and a set of technological documentation.

The paper analyzes the basic technological process, based on which changes are proposed. In accordance with the existing type of production, it was proposed to replace universal machines with modern processing centers with CNC. For the proposed technological process, the structure and content of operations, selected equipment, defined cutting modes and a technically justified time norm were developed. Designs of a clamping pneumatic device and an indicator-type control device were also developed.

In the experimental part, the issues of the wear mechanism of the cutting edges of abrasive grains were considered. It was established that, depending on the processed and abrasive materials and the processing conditions, the material of the abrasive grains in the cutting process undergoes adhesive, abrasive, diffusion wear, as well as combined types of wear, when the wear of the abrasive material is caused by the simultaneous course of several types of wear.

The issue of the brittle strength of abrasive grains has been studied, in particular, that grain wear during grinding is ultimately determined by the conventional cutting stress and the stability of the cutting edges in dynamic conditions. The performance of different brands of diamond grains during microcutting with a depth of 10 microns and a speed of $V = 30 \text{ m/s}$, $a_z = 0.4 \text{ microns}$ was studied. The dynamic average destructive load R_d was determined. The relationship between the intensity of the process, the strength of the grains and their wear has been established.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Загальна частина	
1.1 Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів	9
1.2 Характеристика виробничої програми	11
1.3 Визначення типу виробництва	11
2 Технологічна частина	
2.1 Аналіз точності та технологічності деталі	13
2.2 Аналіз діючих технологічних процесів	15
2.3 Вибір заготовок та методів їх отримання	16
2.4 Вибір вірогідних методів та маршрутів обробки поверхонь деталей	17
2.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі	19
2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій	20
2.7 Вибір затискних пристроїв	27
2.8 Вибір ріжучих інструментів	27
2.9 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	28
2.10 Визначення припусків та операційних розмірів деталей	30
2.11 Розрахунок режимів різання	31
2.12 Технічне нормування операцій	34
3 Конструкторська частина	
3.1 Розробка конструкції затискного пристрою	35
3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою	40
4 Дослідна частина	
4.1 Вступ	42
4.2 Аналіз попередніх досліджень	43
4.3 Знос абразивних зерен руйнуванням	47
4.4 Знос абразивних зерен під час обробки чавуну	61
4.5 Висновки	67

5 Економічна частина

5.1 Розрахунок календарно-планових нормативів 69

5.2 Розрахунок планової цехової собівартості 72

5.3 Аналіз варіантів технологічного процесу 74

Висновки 82

Література 83

Вступ

Прискорення науково-технічного прогресу, в великій мірі, залежить від розвитку сучасного машинобудування, основним напрямком якого є комплексна механізація і автоматизація виробничих процесів і кінцевою метою є підвищення продуктивності праці, постійне зростання якості виробів, зменшення витрат на виробництво при скороченні термінів проектування та технічної підготовки виробництва.

Важливою властивістю сучасного машинобудування є його багатомоноклатурність та серійність. Більше 80% всієї машинобудівної продукції виготовляється в умовах серійного виробництва, що обумовлює часте переналаджування технологічного обладнання, за обмежений термін, на випуск іншої продукції.

Для забезпечення ефективного функціонування швидко переналаджуваного виробництва необхідно впроваджувати нові сучасні технології, нове технологічне обладнання, побудоване на базі верстатів з ЧПК.

Необхідно також вирішити проблему раціонального поєднання продуктивності праці та гнучкого виробництва.

Слід відмітити, що в умовах серійного виробництва, в сучасних умовах, першорядне значення повинно бути як за технологією виробництва, так і за побудовою технологічного обладнання для реалізації запропонованого технологічного процесу.

Таким чином, повинен здійснюватись принцип – не вибір існуючого обладнання для реалізації розробленого технологічного процесу, а проектування гнучкого обладнання для реалізації нової сучасної технології виробництва.

1. Загальна частина

1.1 Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів

1.1.1 Характеристика насосу шестеренного НМШ25

Насос шестеренний низького тиску НМШ25 призначений для нагнітання робочої рідини в допоміжних і мастильних гідросистемах для керування трансмісією та її змазки в тракторах і автогрейдерх. Він має правий напрямок обертання ведучого валу.

Насос шестеренний (рис. 1.1) складається з корпусу 1, передньої 2 та задньої 3 кришок, в яких розміщені манжети 7 та ущільнюючі кільця 8 для створення герметизації порожнини насоса, а також двох шестерень ведучої 4 та веденої 5, які змонтовані на чотирьох підшипниках 6. В корпусі виконані розточки під шестерні та підшипники. Ведучий вал ущільнюється манжетною 9, яка фіксується в кришці стопорним кільцем 10. Кришки передня та задня фіксуються на корпусі штифтами 11 та закріплюються шпильками 12.

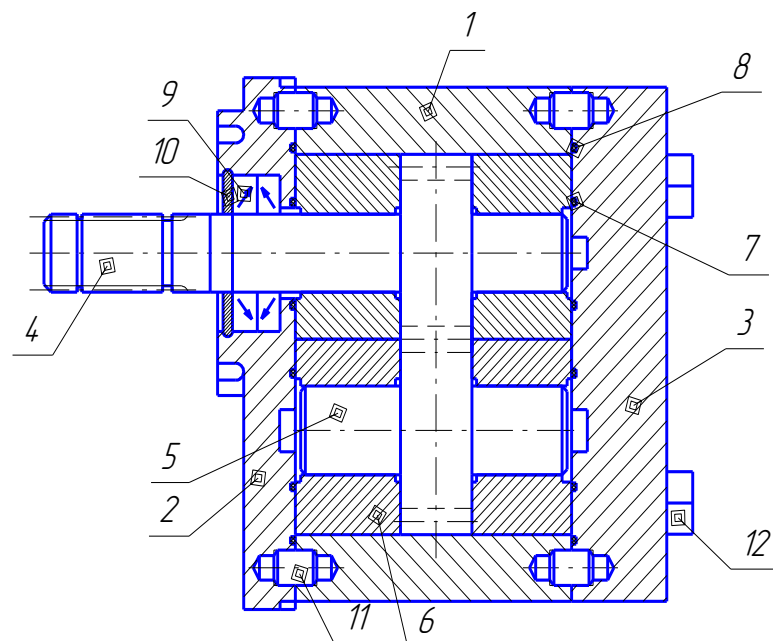


Рисунок 1.1 – Насос шестеренний низького тиску НМШ25

Технічна характеристика насосу НМШ25:

1. Номінальний робочий об'єм, см ³	- 25
2. Тиск на виході, Мпа	
номінальний	- 16
максимальний	- 21
3. Частота обертання, с ⁻¹	
номінальна	- 1500
мінімальна	- 1200
максимальна	- 1650
4. Коефіцієнт подачі, не менше	- 0,93
5. Загальний ККД, не менше	- 0,8
6. Маса, кг, не більше	- 1,98

1.1.2. Службове призначення корпусу НМШ25-00-01 та шестерні веденої НМШ25-00-03А

Деталь – корпус НМШ25–00–01 (поз. 1) разом з кришками (поз. 2, 3) служить для герметизації качаючого вузла насосу, що складається з ведучої (поз. 4) та веденої (поз. 5) шестерні та втулок (поз. 6), які є підшипниками ковзання для цапф шестерень насосу.

Корпус має виточки $\varnothing 58,6^{+0,042}$ під шестерні, та отвори на торцевій поверхні під штіфти та для шпильок. Торці корпусу обробляються з високою точністю, щоб забезпечити добре прилягання кришок, що має забезпечити герметизацію насосу.

Чавунний корпус забезпечує високу зносостійкість, стійкість до деформацій, стійкість до різних масляних присадок та має здатність поглинати частину енергії різних механічних коливань, що виникають при роботі машини і сприяють зниженню ресурсу роботи насосу.

Шестерня ведена НМШ25-00-03А разом із шестернею веденою утворюють качаючий вузол насоса шестеренного. Шийки шестерні призначені для базування деталі у втулках, які виконують роль підшипників ковзання і тому мають високі параметри точності та шорсткості.

1.2 Характеристика виробничої програми

В кваліфікаційній роботі ведеться розробка технологічного процесу виготовлення корпусу насосу шестеренного НМШ25. Річна програма випуску насосів $N_b=15700$ штук тож програма випуску деталей корпус та шестерня $N_k = 15700$ шт, $N_{ш.} = 15700$ шт.

Таблиця 1.1 – Річна програма роботи цеху

Назва виробу	Маса одного виробу, кг	Річна програма випуску	
		штук	тон
Насос НМШ25	1,98	15700	31,09
Корпус НМШ25–00–01	1,1	15700	17,27

1.3 Визначення типу виробництва

Тип виробництва проектного цеха у відповідності з ГОСТ3.110-74 визначається по коефіцієнту закріплення операції K_{30} .

Тип виробництва розраховуємо за допомогою ПК. Результати визначення типу виробництва приведені нижче.

Розрахунок типу виробництва

Корпус НМШ25-00-01

Вихідні дані

Програма випуску 15700

Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	3977	3.3860
10	3977	1.1020
15	3977	5.2380
20	3977	0.8250
25	3977	0.7880

Результати розрахунку

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.2785	1	2.87
10	0.0906	1	8.83
15	0.4308	1	1.86
20	0.0679	1	11.79
25	0.0648	1	12.34

коефіцієнт закріплення операцій 10.538264

Тип виробництва - середньосерійний

2. Технологічна частина

2.1 Аналіз точності та технологічності деталі

З метою виконання аналізу точності деталі виконаємо ескіз деталі (рис. 2.1) з нумерацією усіх поверхонь, які обробляються, а висновки по точності параметрів занести в таблиці 2.1.

Точність виготовлення поверхонь корпусу НМШ25-00-01 визначаються його функціональним та службовим призначенням. Аналіз параметрів точності поверхонь, які обробляються, показує, що всі розміри задані коректно та в достатній кількості для обробки поверхонь. Характеристики параметрів точності поверхонь корпусу НМШ25-00-01 наведені в таблиці 2.1.

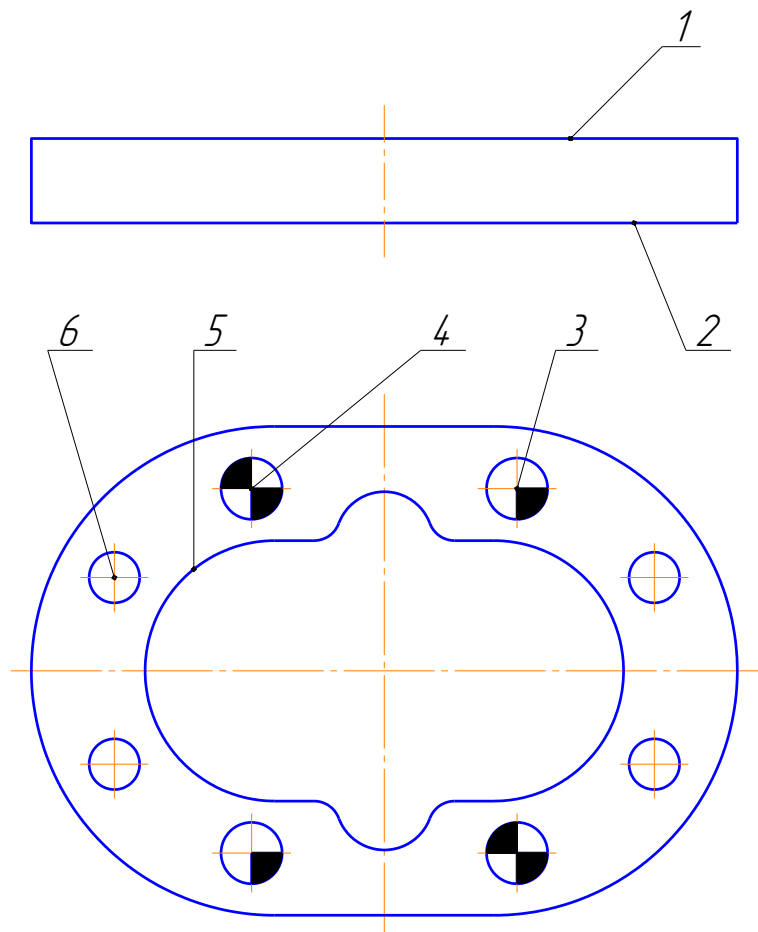


Рисунок 2.1 – Поверхні що обробляються в деталі корпус НМШ25-00-01

Таблиця 2.1 – Параметри точності деталі корпус

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносного розміщення	Точність форми	R _a
1	2	3	4	5	6	7
1, 2	Торці	19 ^{+0,08} _{+0,05}	-		 0,03	1,25
3	Отвір	Ø13,5 ^{+0,035}	H8			3,2
4	Отвір	Ø13,8 ^{+0,43}	H10	 R 0,2 		12,5
5	Напівотвір	Ø58,6 ^{+0,046}	H8	 0,03 A		1,25
6	Отвір	Ø13 ^{+0,43}	H10	 R 0,2 		12,5

Аналіз параметрів точності (табл. 2.1) показує, що корпус має поверхні відносно не високої точності (8-12 квалітет) та величину шорсткості в основному R_a 1,25-6,3 мкм. Основні вимоги що до точності форми висунуті до торців корпусу, зокрема вимога по площинності  0,03. До отворів висувуються вимоги позиційного допуску  R 0,2 .

Постановка розмірів не відповідає вимогам обробки деталі на верстатах з ЧПК, тому необхідна технологічна підготовка робочого креслення деталі для можливості її обробки згідно програми керування.

Деталь за конструктивною формою відноситься до технологічного класу “корпусні деталі”. Корпус має поверхні, які обробляються з двох сторін, що ускладнює структуру технологічного процесу з точки зору її перевстановлення.

Крім того, слід забезпечити досить високі вимоги, що до паралельності та площинності торців під час механічної обробки, що обумовлено службовим призначенням деталі. Для встановлення деталі на верстатах є достатні за розмірами базові поверхні (торці). Усі отвори обробляються на прохід.

В цілому конструкція деталі дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання та високі режими обробки. Деталь в цілому технологічна і не викликає труднощів технологічного характеру.

2.2 Аналіз діючих технологічних процесів

Аналіз діючого на базовому підприємстві (ВАТ “Гідросила”) технологічного процесу технологічної обробки корпусу НМШ25-00-01 виконується з метою виявлення їх відповідності вимогам сучасної технології машинобудування, визначення відхилень та недоліків, а також розробки рекомендацій по їх модернізації.

Для обробки корпусу використовується сучасне технологічне обладнання, обробні центри та напівавтомати. Для базування та закріплення деталі застосовуються сучасні конструкції затискних пристроїв з гідро - та пневмоприводом. Використовується спеціальний та стандартний різальний та вимірювальний інструмент, який відповідає сучасним вимогам.

Механічна обробка поверхонь корпусу згідно з базовим технологічним процесом виконується на п'яти технологічних операціях з використанням як універсального технологічного обладнання (шліфувальні) так і спеціального (алмазно-розточного, агрегатного). Таким чином, базовий технологічний процес обробки корпусу має різну гнучкість на різних стадіях обробки.

Базовий технологічний процес обробки корпусу наведемо нижче:

005 Карусельно-фрезерна (ГМ-3096)	$T_{шт} = 3,386хв;$
010 Плоскошліфувальна (ЗД722)	$T_{шт} = 1,102хв;$
015 Агрегатна (АМ7599)	$T_{шт} = 3,256хв;$
020 Плоскошліфувальна (ЗД722)	$T_{шт} = 0,825хв;$
025 Алмазно-розточна (ОС4567)	$T_{шт} = 0,778хв;$

Для підвищення гнучкості виробництва пропонуємо на 015 операції замінити агрегатно-свердлильний верстат АМ7599 на вертикальний обробний центр з ЧПК VF-3 фірми HAAS.

2.3 Вибір заготовок та методів їх отримання

Згідно з вимогами базового підприємства та практичного досвіду проектування і експлуатації шестеренних насосів аналогічного типу для виготовлення корпусу використовується сірий чавун СЧ15 по ГОСТ 1412-85.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу корпусу наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Хімічний склад та механічні властивості матеріалу корпусу

Марка матеріалу	Хімічний склад речовини , %					Механічні властивості		
	C	Si	Mn	P	S	σ_B , кг/мм ²	Лінійна усадка, %	HB
СЧ15	3,5- 3,7	2.0- 2.4	0,50- 0,80	до 0,2	до 0,15	150	1,1	143- 200

Деталь корпус має не складну форму а матеріал деталі забезпечує ливарні властивості тому приймаємо вид заготовки – відливка.

Виливки виготовляються при відливанні в піщані (земляні) форми з машинною формовкою. Машинна формовка дозволяє збільшити продуктивність ливарного процесу та якість відливок. Застосування стержнів при виготовленні відливки дозволяє формувати внутрішні порожнини виливка.

Відливання в земляні форми при машинному формуванні має високий коефіцієнт використання металу, оскільки заготовки, по формі, максимально наближені до деталі.

В якості заготовки для корпусу використаємо відливку класу точності 10-0-0-10-9 за ГОСТ 26645-85. Креслення заготовки корпусу винесено в графічну кваліфікаційної роботи.

2.4 Вибір вірогідних методів та маршрутів обробки поверхонь деталей

В якості прикладу наведемо вибір маршруту обробки найбільш точної поверхні деталі корпус – площини $19^{+0,08}_{+0,05}$, шорсткість поверхні 0,63 мкм.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \frac{\delta_z}{\delta_o} = \frac{1.2}{0,03} = 40,$$

де δ_z – допуск на розмір заготовки по поверхні, що аналізується; δ_o – допуск на розмір по даній поверхні, по кресленню.

В даному випадку можливі два варіанти маршрутів обробки:

- обробка за 4 переходи:

1. Фрезерування попереднє.
2. Фрезерування чистове.
3. Шліфування чорнове.
4. Шліфування чистове.

- обробка за 5 переходів:

1. Фрезерування обдирочне.
2. Фрезерування напівчистове.
3. Фрезерування чистове.
4. Шліфування чорнове.
5. Шліфування чистове.

Проведемо порівняння по кожному проміжному методу обробки із таблиць економічної точності вибираючи допуски на обробку і розраховуючи частинні уточнення.

- Фрезерування попереднє: $\varepsilon_1 = \frac{1.2}{0,33} = 3.64;$

- Фрезерування чистове: $\varepsilon_2 = \frac{0,33}{0,21} = 1.57;$

- Шліфування чорнове: $\varepsilon_3 = \frac{0,21}{0,084} = 2.5;$

- Шліфування чистове: $\varepsilon_4 = \frac{0,084}{0,03} = 2.8;$

Значення δ вибираємо з [2, ст. 8].

Частинне уточнення для другого маршруту обробки:

- Фрезерування обдирочне: $\varepsilon_1 = \frac{1,2}{0,33} = 3.64;$
- Фрезерування напівчистове: $\varepsilon_2 = \frac{0,33}{0,21} = 1.57;$
- Фрезерування чистове: $\varepsilon_3 = \frac{0,21}{0,13} = 1.62;$
- Шліфування чорнове: $\varepsilon_4 = \frac{0,13}{0,052} = 2.5;$
- Шліфування чистове: $\varepsilon_5 = \frac{0,052}{0,03} = 1.74.$

Достатність і економічну доцільність вибору маршруту обробки перевіряємо за умовою фактичного уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3;$$

$$\varepsilon_{\phi 1} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 3.64 \cdot 1.57 \cdot 2.5 \cdot 2.8 = 40.004 > \varepsilon_{\text{заг}} = 40 - \text{умова виконується.}$$

$$\varepsilon_{\phi 2} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 = 3.64 \cdot 1.57 \cdot 1.62 \cdot 2.5 \cdot 1.74 = 40.27 > \varepsilon_{\text{заг}} = 40 - \text{умова виконується.}$$

Таким чином більш прийнятним є маршрут по першому варіанту, оскільки він містить меншу кількість переходів і $E_{\phi 1}$ більш наближено до $E_{\text{заг}}$.

Вибір маршрутів обробки інших поверхонь наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Маршрути обробки поверхонь деталі корпус

№ пов	Допуск на поверхню δ_d , мм	Допуск на заготовку δ_3 , мм	Загальне уточнення, E_3	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
				№	Зміст маршруту		
1	2	3	4	5	6	7	8

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8
1, 2	0,03	1,2	40	1	Фрезерування попереднє.	0,33	3,64
					Фрезерування чистове.	0,21	1,57
					Шліфування чорнове.	0,084	2,5
					Шліфування чистове.	0,03	2,8
				2	Фрезерування обдирочне.	0,33	3,64
					Фрезерування напівчистове.	0,21	1,57
					Фрезерування чистове.	0,13	1,62
					Шліфування чорнове.	0,052	2,5
					Шліфування чистове.	0,03	1,74
3	0,035	-	-	1	Свердління	0,27	-
					Зенкерування	0,11	2,45
					Розверчування	0,035	3,14
4	0,43	-	-	1	Свердління	0,43	-
5	0,046	0,8	17,39	1	Зенкерування чорнове	0,3	2,67
					Зенкерування чистове	0,12	2,5
					Розточування чорнове	0,074	1,62
					Розточування чистове	0,046	1,61
6	0,43	-	-	1	Свердління	0,43	-

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Враховуючи зауваження, що були відмічені під час проведення аналізу базового технологічного процесу, складемо техпроцес механічної обробки корпусу.

Маршрут обробки корпусу НМШ25-03-01:

005 Карусельно – фрезерна

Верстат карусельно – фрезерний ГМ-3096

Фрезерувати торці начорно і начисто з перевстановленням деталі.

010 Шліфувальна

Верстат плоскошліфувальний 3Д722

Шліфувати торці деталі з первстановленням.

015 Комплексна з ЧПК

Верстат вертикальний обробний центр з ЧПК VF-3 фірми HAAS

Свердли, зенкерувати та розгорнути отвори на торці, фрезерувати напівотвори начорно і начисто.

020 Шліфувальна

Верстат плоскошліфувальний 3Д722

Шліфувати торці начисто з перевстановленням деталі.

025 Алмазнорозточна

Верстат алмазнорозточний ОС4567

Розточити напівотвори начорно і начисто.

030 Слюсарна

Верстак

Спиляти заусенці.

035 Контрольна.

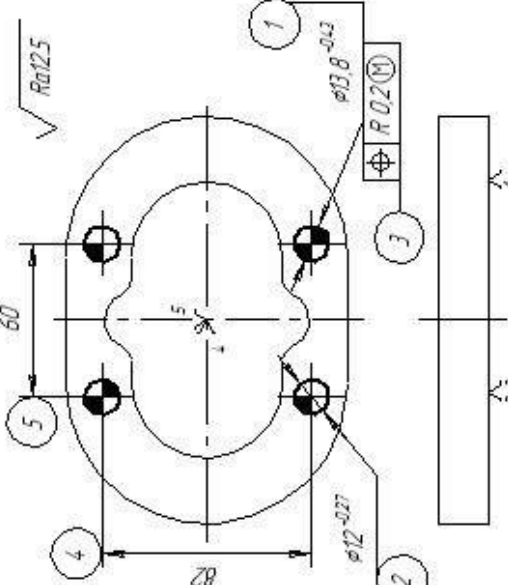
Контролювати розміри деталі.

2.6 Розробка структури та змісту технологічних операцій

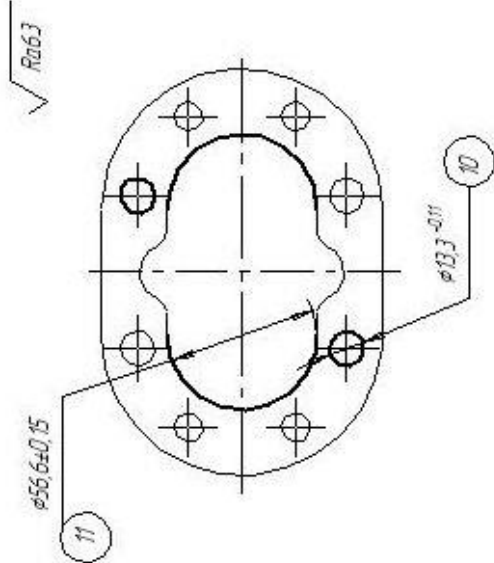
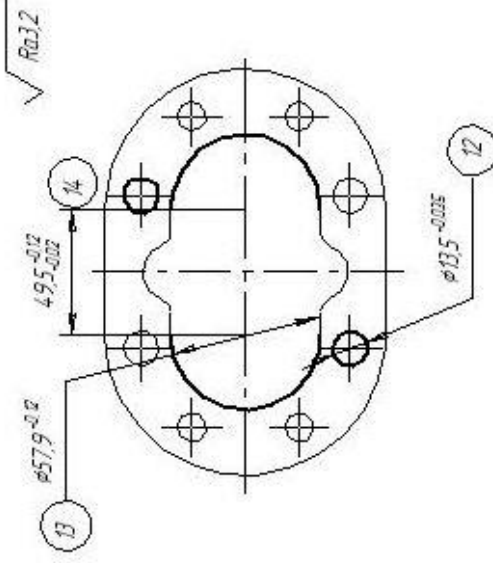
Встановивши кількість переходів по обробці поверхонь установлюємо остаточну структуру та зміст технологічних переходів. Тип виробництва, методи та точність обробки дозволяють визначати необхідні тип та модель верстату.

Таблиця 2.4 - Розробка маршруту обробки корпусу НМШ25-00-01

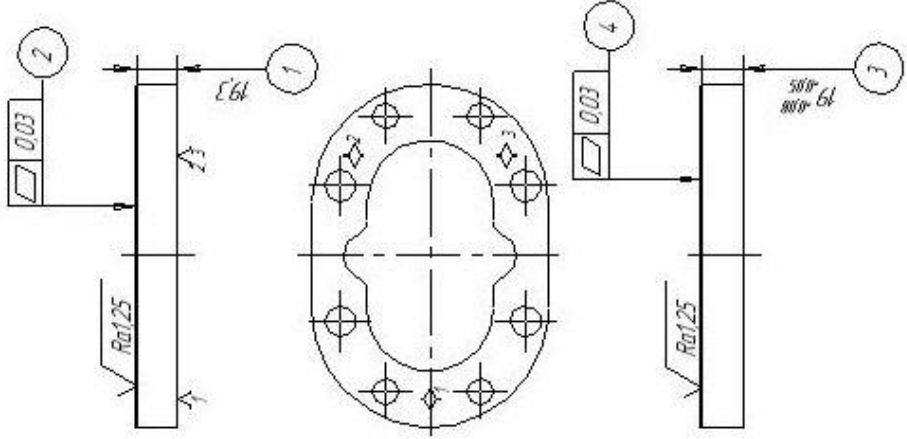
№ та найменування операції	Модель вартату	Операційний ескіз	Зміст операції
1	2	3	4
005 Фрезерна	Карусельно- фрезерний ГМ-3096		1. Встановити деталь 2. Фрезерувати торець начорно витримавши розмір 1. 3. Фрезерувати торець начисто витримавши розмір 2. 4. Перевстановити деталь 5. Фрезерувати торець начорно витримавши розмір 3. 6. Фрезерувати торець начорно витримавши розмір 4. 7. Зняти деталь

1	2	3	4
015 Комплексна з ЧПК	Вертикальний обробний центр з ЧПК VF-3 фірми HAAS		1. Встановити деталь 2. Свердлити два отвори витримавши розміри 1, 3, 4, 5. 3. Свердлити два отвори витримавши розміри 2, 4, 5. 4. Свердлити чотири отвори витримавши розміри 6, 7, 8, 9.

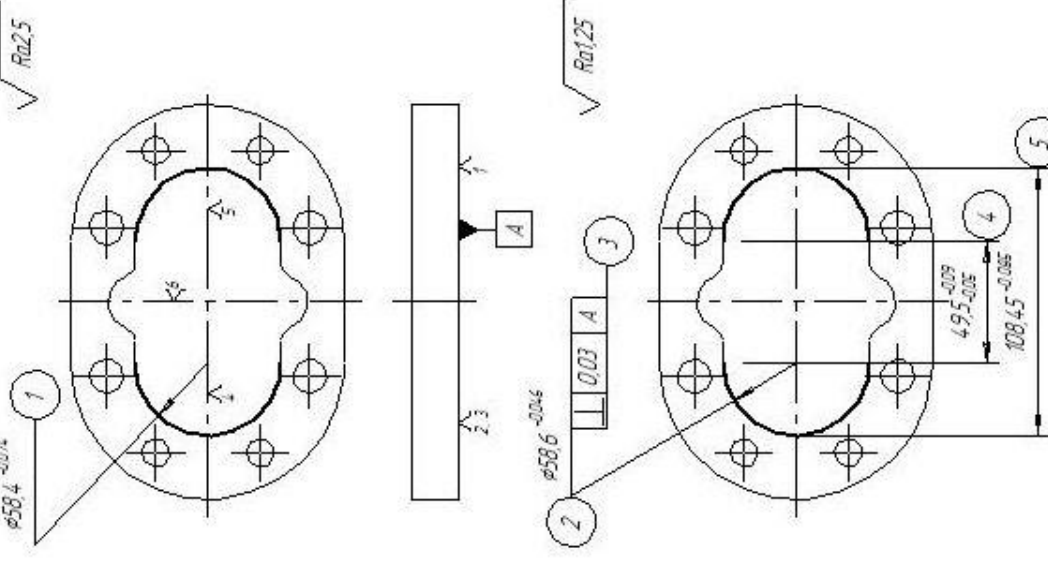
продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
			5. Зенкерувати два отвори витримавши розмір 10. 6. Фрезерувати два напівотвори витримавши розмір 11.
			7. Фрезерувати два напівотвори начисто витримавши розміри 13, 14. 8. Розгорнути два отвори витримавши розмір 12. 9. Зняти деталь

продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
020 Шліфувальна	Плоскошліфуваль- ний 3Д722		1. Встановити деталь 2. Шліфувати торець втримавши розміри 1, 2. 3. Перевстановити, деталь. 4. Шліфувати другий торець втримавши розміри 3, 4. 5. Зняти деталь

продовження таблиці 2.4

1	2	3	4
025 Алмазнорозточна	Алмазнорозточний ОС4567		1. Встановити деталь 2. Розточити послідовно отвір попередньо і остаточно витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5. 3. Розточити другий отвір послідовно попередньо і остаточно витримавши розміри 1, 2, 3, 4, 5. 4. Зняти деталь

2.7 Вибір затискних пристроїв

Після вибору обладнання, послыдуючим кроком є встановити, затискні пристрої відповідно до ескізів потрібні для виконання обробки, згідно узгодженого технологічного процесу деталі корпус. Характеристики обраних пристроїв наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Затискні пристрої для обробки корпусу

№ перації	Найменування пристосування	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	3	4
Корпус НМШ25-00-01			
005	Пристрій фрезерний	7222-4016	Пневматичний
010	Стіл магнітний	-	Електромагнітний
015	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
020	Стіл магнітний	-	Електромагнітний
025	Пристрій розточний	7424-4004	Гідравлічний

2.8 Вибір ріжучого інструменту

Інструмент для обробки на операціях обираємо згідно обраного обладнання, поверхні що обробляється, ріжучих властивостей та стійкості. Там де обробка ведеться на обробних центрах фірми HAAS та Monforts використовуємо інструмент фірми Iscar.

Дані про обраний інструмент заносимо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Ріжучий інструмент для обробки корпусу

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
Корпус НМШ25-00-01					
005	2, 5	Фреза торцева Ø160	9473-80	ВК8	3882-74
	3, 6	Фреза торцева Ø160	9473-80	ВК8	3882-74
010	2, 4	Круг шліфувальний	2424-83	25А40	3647-81
		ПП100х55х150		12PCM1	
015	2	Свердло Ø13,8	DCN135-020-16А	IC908	DIN/ISO513
	3	Свердло Ø12	DCN120-020-16А	IC908	DIN/ISO513
	4	Свердло Ø13	DCN130-020-16А	IC908	DIN/ISO513
	5	Зенкер Ø13,3	12489-71	ВК6	3882-74
	6	Фреза Ø20	EFS-B44-20-42C20	IC900	DIN/ISO513
	7	Фреза Ø20	EFS-B44-20-42C20	IC900	DIN/ISO513
	8	Розвертка Ø13,5	RM-SHR-135-H7N	IC07	DIN/ISO513
020	2, 4	Круг шліфувальний	2424-83	25А40	3647-81
		ПП100х55х150		12PCM1	
025	2, 3	Борштанга	6330-4128	-	-
		Різець	2142-4066	ВК6	3882-74

2.9 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

З урахуванням точності вимірювання оберемо засоби контролю розмірів поверхонь. Відомості про них приводимо в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Вимірювальний інструмент для контролю корпусу

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
1	2	3	4	5
Корпус НМШ25-00-01				
005	6	Лінійний розмір 20,4 _{-0,21}	Калібр-скоба 20,4h12	8551-75
010	4	Лінійний розмір 19,45 _{-0,084} Відхилення від площинності 0,08 мм	Калібр-скоба 19,45h10 Пристрій для контролю площинності	8551-75 7455-5620
015	2	Діаметр отвору $\varnothing 13,8^{+0,43}$	Калібр-пробка 13,8H14	14810-69
	4	Діаметр отвору $\varnothing 13^{+0,43}$	Калібр-пробка 13H14	14810-69
	7	Діаметр напівотвору $\varnothing 57,25^{+0,12}$	Пробка спеціальна 57,25 ^{+0,12}	7115-6588
	8	Діаметр отвору $\varnothing 13,5^{+0,035}$	Калібр-пробка 13,5H8	14810-69
020	4	Лінійний розмір 19 ^{+0,08} _{+0,05} Відхилення від площинності 0,03 мм	Калібр-скоба 19 ^{+0,08} _{+0,05} Пристрій для контролю площинності	8551-75 7455-5620
020	3	Діаметр напівотвору $\varnothing 58,6^{+0,046}$ Відхилення від перпендикулярності 0,03 мм	Пробка спеціальна 58,6 ^{+0,046} Пристрій для контролю площинності	7115-6589 7455-5223

2.10 Визначення припусків та операційних розмірів деталі

Таблиця 2.8 – Таблиця припусків на обробку корпусу

№ поверхні	Технологічний перехід	Припуск	Допуск
Корпус НМШ25-00-01			
1, 2	Фрезерування попереднє	1,5	0,33
	Фрезерування чистове	1,0	0,21
	Шліфування чорнове	0,7	0,084
	Шліфування чистове	0,3	0,03
3	Свердління	6,0	0,27
	Зенкерування	0,65	0,11
	Розверчування	0,1	0,035
4	Свердління	6,9	0,43
5	Фрезерування чорнове	2,0	0,3
	Фрезерування чистове	0,6	0,12
	Розточування чорнове	0,25	0,074
	Розточування чистове	0,1	0,046
6	Свердління	6,5	0,43

2.11 Розрахунок режимів різання

Аналітичним методом визначаємо режими різання для деталі корпус НМШ25-00-01 на 005 операцію карусельно-фрезерну. На даній операції проводиться чорнове та чистове фрезерування торців корпусу. Для обробки використовуються торцеві фрези Ø160 мм, що оснащені пластинами з твердого сплаву ВК8.

Шорсткість поверхні після обробки – $R_a=6,3$ мкм.

Глибина різання для чорнового проходу – 1,5мм;

Глибина різання для чистового проходу – 1,0мм;

Вибираємо подачу на зуб в залежності від параметрів оброблюваної поверхні [5, т.2, ст. 283]

$$S_z = 0,2 \text{ мм/об};$$

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v,$$

де C_v - стала у формулі швидкості різання [5, т.2, ст. 288];

q, x, y, m, u, p - показники ступеню [5, т.2, ст. 288];

K_v - поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv},$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує якість матеріалу [5, т.2, ст. 261];

K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні [5, т.2, ст. 263];

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує якість інструменту [5, т.2, ст. 263];

$$K_v = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,83 = 0,66.$$

Період стійкості інструменту $T=180$ хв. [5, т.2, ст. 290];

Таким чином швидкість різання становить:

$$V = \frac{445 \cdot 160^{0.2}}{180^{0.32} \cdot 1.5^{0.15} \cdot 0.2^{0.35} \cdot 110^{0.2} \cdot 10^0} \cdot 0.66 = 99.4 \text{ м/хв.};$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D},$$

де D - діаметр фрези.

$$n_p = \frac{1000 \cdot 99.4}{3.14 \cdot 160} = 198 \text{ об/хв.}$$

Корегуємо за паспортом верстата і приймаємо $n_{\text{пр}} = 200$ об/хв.

Фактичну швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 160 \cdot 200}{1000} = 100.5 \text{ м/хв.}$$

Визначимо головну складову силу різання.

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot s_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_p;$$

Обираємо сталу C_p та показники ступеню x, y, n, q, w для конкретних умов обробки: $C_p = 54.5$; $x = 0.9$, $y = 0.74$, $n = 1$, $q = 1$, $w = 0$, [5, т.2, ст. 291].

Визначаємо поправочний коефіцієнт [5, т.2, ст. 264]:

$$K_p = \left(\frac{HB}{190} \right)^n = \left(\frac{190}{190} \right)^{0.4} = 1.$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 54.5 \cdot 1.5^{0.9} \cdot 0.2^{0.74} \cdot 110^1 \cdot 10}{160^1 \cdot 200^0} \cdot 1 = 2640 \text{ Н.}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_{\text{різ}} = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60} = \frac{2640 \cdot 100.5}{1020 \cdot 60} = 4.3 \text{ кВт.}$$

Виконуємо перевірку по потужності приводу верстату

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta;$$

$$N_{\text{дв}} = 13 \text{ кВт}; \quad \eta = 0.8;$$

$$N_{\text{різ}} \leq 13 \cdot 0.8 = 10.4 \text{ кВт};$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$s_{\text{хв}} = s_z \cdot z \cdot n = 0.2 \cdot 10 \cdot 200 = 400 \text{ мм/хв};$$

Основний час визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{L}{s_{xв}} \cdot i,$$

де i - кількість проходів; L - довжина робочого ходу:

$$L = l + l_1 + l_2,$$

де l - довжина оброблюваної поверхні;

l_1 – довжина на врізання; l_2 - довжина перебігу (при обробці в упор $l_3=0$).

Основний час на обробку:

$$T_o = \frac{250}{400} \cdot 2 = 1.25 \text{ хв.}$$

На інші операції режими різання визначаємо за нормативними даними.

Таблиця 2.9 - Таблиця режимів різання для обробки корпусу

Номер		$L_{p.x.}, \text{ мм}$	$t, \text{ мм}$	$S, \text{ мм/об}$ (мм/хв)	$V, \text{ м/хв}$	$n,$ об/хв	$t_o, \text{ хв}$
операції	переходу						
1	2	3	4	5	6	7	8
Корпус НМШ25-00-01							
005	2, 3	250	1,5	400	100,5	200	1,25
	5, 6	250	1,5	400	100,5	200	1,25
010	2	320($i=10$)	0,7	10(м/хв)	$V_{кр}=35$	1500	0,32
	4	320($i=10$)	0,7	10(м/хв)	$V_{кр}=35$	1500	0,32
015	2	28 ($i=2$)	6,9	0,3	34,7	800	0,233
	3	28 ($i=2$)	6,0	0,3	30,14	800	0,233
	4	28 ($i=4$)	6,5	0,3	32,66	800	0,467
	5	26 ($i=2$)	0,65	0,5	41,76	1000	0,104
	6	100 ($i=2$)	2,0	160	50,24	800	1,25
	7	100 ($i=2$)	0,6	200	62,8	1000	1,0
	8	26 ($i=2$)	0,1	0,2	14,84	350	0,743

Продовження таблиці 2.9

020	2	320(i=6)	0,3	10(м/хв)	$V_{кр}=35$	1500	0,192
	4	320(i=6)	0,3	10(м/хв)	$V_{кр}=35$	1500	0,192
025	2	25	0,25	0,2	183,3	1000	0,125
	3	25	0,25	0,2	183,3	1000	0,125

2.12 Технічне нормування операцій

Таблиця 2.10 – Технічне нормування операцій механічної обробки

№ операції	t_o , хв	t_d , хв	$t_{т.о.}$, хв	$t_{о.о.}$, хв	$t_{відп.}$, хв	$t_{шт.}$, хв	$T_{п.з.}$, хв	$t_{шт.к.}$, хв
Корпус НМШ25-00-01								
005	2,5	0,65	0,236			3,386	22	3,474
010	0,64	0,38	0,026	0,015	0,041	1,102	16	1,166
015	4,03	0,82	0,121	0,073	0,194	5,238	26	5,342
020	0,384	0,38	0,019	0,011	0,031	0,825	16	0,889
025	0,25	0,48	0,018	0,011	0,029	0,778	18	0,86

3. Конструкторська частина

3.1. Розробка конструкції пристрою для встановлення і закріплення деталі

3.1.1. Опис будови та роботи пристрою

За для установки деталі корпус НМШ25-00-01 на карусельно-фрезерному верстаті ГМ3096 використано пристрій затискний. На столі встановлено десять однакових пристроїв, для безперервної обробки деталей. Пристрої встановлюється на відстані 250 мм від центру столу.

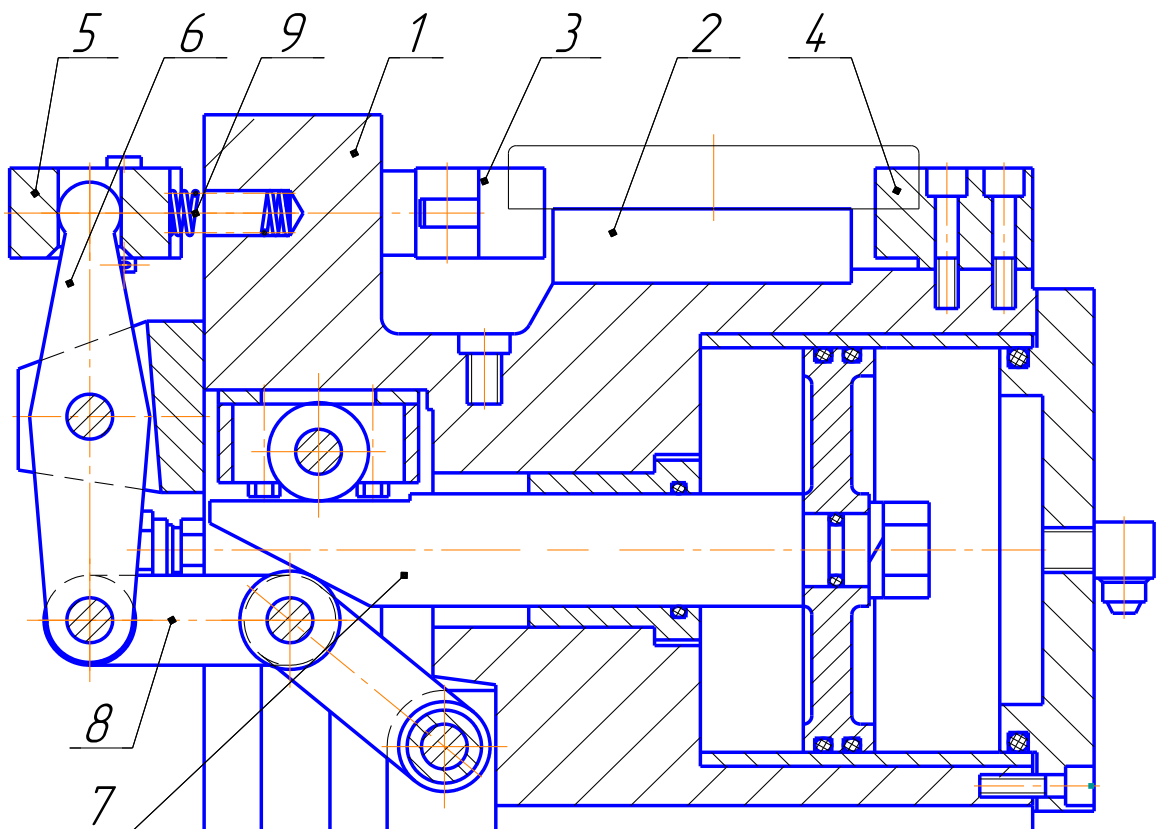


Рисунок 3.1 – Зображення затискного пристрою.

Пристрій складається корпусу поз. 1 до якого кріпляться установи поз. 2 та нерухомі призми поз. 4. В корпусі розміщено пневмоциліндр шток якого виконаний у вигляді клина поз. 7. Рухома пизма поз. 3 зв'язана з призватом поз. 5, важілем поз. 6 та шарнірноважільним механізмом поз. 8.

Деталі по дві штуки на попередню і остаточну обробку встановлюються на плоскі установи 2 які прикріплюються до корпусу 1 пристрою і за потребою можуть бути замінені.

Затиск деталей здійснюється за допомогою шток-призм 3 які з'єднані з прихватом 5. Прихват 5 приводиться до руху через важіль 6, який має шарнірне з'єднання з прихватом. В свою чергу важіль повертається навколо вісі під дією шарнірно-важільного механізму 8, який приводиться до руху штоком 7 пневмоциліндра. Затиск деталі відбувається при подачі стиснутого повітря в безштокову порожнину циліндра. При подачі повітря в штокову порожнину пневмоциліндру, клин перестає діяти на ролік, а повернення важіля та призми у вихідне положення відбувається за рахунок дії пружини 9.

3.1.2. Розрахунок сили затиску деталі.

Деталь, що обробляється, є нерухомою внаслідок дії сили затиску W . Для розрахунку сили затиску виконаємо розрахункову схему (рис. 3.2).

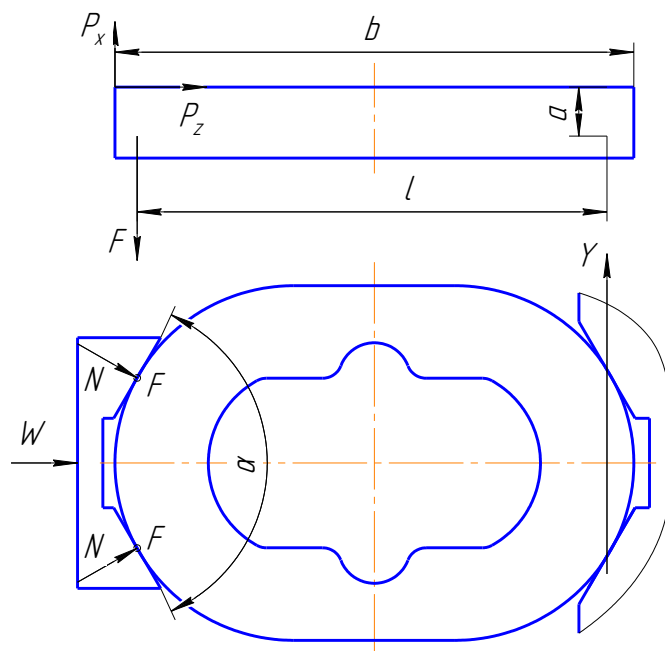


Рисунок 3.2 – Дії сил в затискному пристрої.

Під дією сил різання деталей буде намагатися повернутися навколо вісі Y, і тим самим вирватися. Протистоять цьому сили тертя F, які виникають між рухомою призмою і деталлю.

Умова рівноваги деталі:

$$\Sigma M_Y = 0$$

$$P_z \cdot a + P_x \cdot b - 2 \cdot F \cdot l = 0$$

$P_z = 2640$ Н – сила різання (визначалася в п. 2.12);

P_x – осьова сила ($P_x = 0,55 \cdot P_z = 1452$ Н) [5, т.2, ст. 292].

F – сила тертя, що виникає між поверхнями деталі та поверхнями притискних елементів:

$$F = N \cdot f,$$

де N – нормальна сила; f – коефіцієнт тертя ($f = 0,25$).

$$N = \frac{W}{2 \cdot \sin(\alpha / 2)},$$

де α – кут призми.

Звідки знаходимо значення сили затиску W :

$$W = \frac{(P_z \cdot a + P_x \cdot b) \cdot \sin \alpha / 2}{l \cdot f}.$$

Враховуючи, що сила затиску діє на дві деталі тож значення сили затиску необхідно подвоїти:

$$W = \frac{(2640 \cdot 15 + 1452 \cdot 135) \cdot \sin 120 / 2}{127 \cdot 0.25} \cdot 2 = 12848 \text{ Н.}$$

Величину W збільшуємо на коефіцієнт запасу, що визначається відповідно до умов обробки:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6;$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 2$,

K_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через зношування ріжучого інструмента: $K_1 = 1,2$.

K_2 – коефіцієнт, що враховує вид обробки (чорнова чи чистова). При чистовій $K_2 = 1,2$;

K_3 – динамічний коефіцієнт, що враховує виникаючі при деяких видах обробки удари. $K_3 = 1,2$;

K_4 – коефіцієнт, що враховує сталість затискного зусилля. При механізованому приводі $K_4 = 1,0$;

K_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розміщення рукояток у ручних затискних пристроях. $K_5 = 1$;

K_6 – коефіцієнт, що враховує невизначеність положення заготовки через нерівності місця її контакту з опорними елементами (враховується лише за наявності крутного моменту, що намагається повернути заготовку). $K_6 = 1,0$.

$$K = 2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3,4.$$

$$\text{Отже } W = 12848 \cdot 3,4 = 43683 \text{ Н.}$$

3.1.3. Розрахунок параметрів силового приводу

З метою підсилення зусилля пневмоциліндру з одного боку, і зменшення габаритів пристрою використовується два механізми клиновий з однозкошеним клином та шарнірно-важільний.

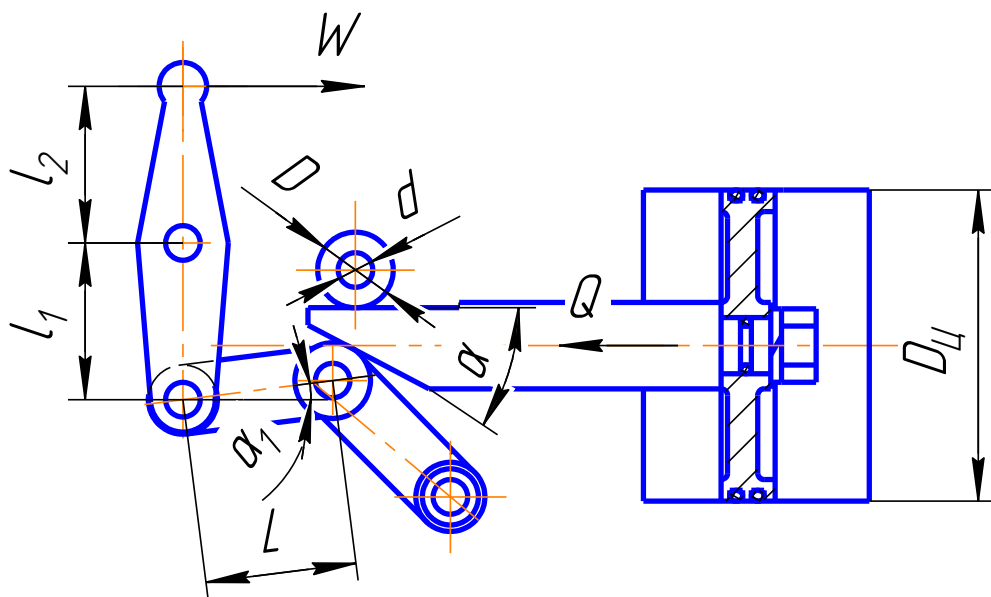


Рисунок 3.3 – Схема до визначення діаметру циліндру.

Вихідне зусилля, яке створюється силовим приводом, знаходимо за формулою:

$$Q = \frac{W}{i};$$

де i - загальне передаточне відношення переміщення:

$$i = i_{\text{к\textsubscript{ЛМ}}} \cdot i_{\text{ш\textsubscript{ВМ}}}$$

де $i_{\text{к\textsubscript{ЛМ}}}$ - передаточне відношення клинового механізму;

$i_{\text{ш\textsubscript{ВМ}}}$ - передаточне відношення шарнірно-важільного механізму.

Передаточне відношення клинового механізму:

$$i_{\text{к\textsubscript{ЛМ}}} = \frac{1}{\text{tg}(\alpha + \varphi_{\text{np}}) + \text{tg}\varphi_{\text{1np}}},$$

де α - кут клина;

φ_{np} , φ_{1np} - приведені кути тертя по основі і скосу клина.

$$\text{tg}\varphi_{\text{np}} = \text{tg}\varphi \cdot \frac{d}{D} = 0.15 \cdot \frac{16}{35} = 0.069$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{1np}} = \text{tg}\varphi_1 \cdot \frac{d}{D} = 0.15 \cdot \frac{16}{35} = 0.069$$

Тож значення приведених коефіцієнтів тертя $\text{tg}\varphi_{\text{1np}} = \text{tg}\varphi_{\text{np}} = 4^\circ$

Передаточне відношення шарнірно-важільного механізму:

$$i_{\text{ш\textsubscript{ВМ}}} = \frac{1}{\text{tg}(\alpha_1 + \beta)} \cdot \frac{l_1}{l_2},$$

де α_1 - вихідний кут шарнірно-важільного механізму;

β - додатковий кут до кута нахилу α_1 , що врахавує тертя в шарнірах ($1,5^\circ$).

Таким чином зусилля на поршні пневмоциліндру дорівнює:

$$Q = \frac{W \cdot l_2 \cdot [\text{tg}(\alpha + \varphi_{\text{np}}) + \text{tg}\varphi_{\text{1np}}] \cdot \text{tg}(\alpha_1 + \beta)}{l_1};$$

$$Q = \frac{43683 \cdot 72.5 \cdot [\text{tg}(25 + 4) + \text{tg}4] \cdot \text{tg}(7 + 1.5)}{72.5} = 4062.5H$$

Затискання деталі відбувається при подачі стиснутого повітря в безштокову порожнину пневмоциліндру, тож його діаметр визначається залежністю:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 406.25}{3.14 \cdot 4 \cdot 0.8}} = 12.72 \text{ см}$$

де P – тиск стиснутого повітря в системі 3-5 кгс/см²;

$\eta = 0.8$ – ккд приводу.

Приймаємо пневмоциліндр з $\varnothing 140$ мм.

3.2 Розробка конструкції контрольного пристрою

Для контролю допуску перпендикулярності 0,03 мм в деталі корпус НМШ25-00-01 був розроблений спеціальний контрольний пристрій який винесено в графічну частину проекту. Пристрій складається з корпусу поз. 1, до якого за допомогою гвинтів поз. 13 кріпиться палець поз. 2 до якого в свою чергу кріпиться важіль поз. 6, що має змогу здійснювати коливальний рух навколо вісі поз. 15.

Індикатор годинникового типу ІЧ10 з ціною поділки 0,01 мм кріпиться за допомогою втулки поз. 11 до опори поз. 4. Накінецьник індикатора поз. 5 дотикається до накінецьника важіля поз. 8. Пружина поз. 17 забезпечує постійний контакт деталі і важіля.

З низу до плити кріпляться три опори поз. 4 і 9 для установки пристрою на столі.

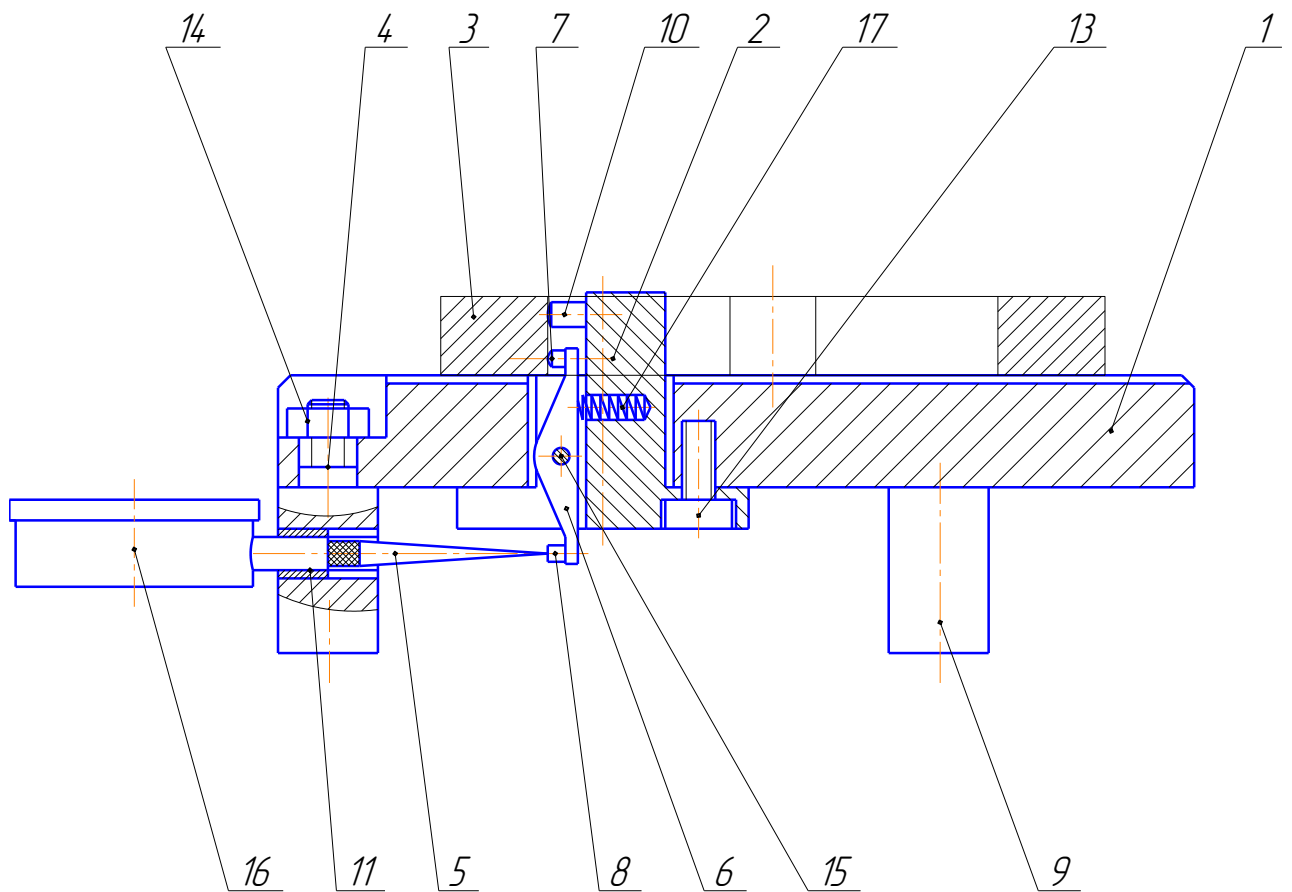


Рисунок 3.4 – Конструкція контрольного пристрою.

Перед вимірюванням допуску перпендикулярності на пристрій встановлюється контрольний зразок і індикатор встановлюються на нуль. Потім встановлюється контролюєма деталь і дотикається до накінецьника важіля поз. 7 який через важіль діє на накінецьник індикатора поз. 5, котрий в свою чергу діє на індикатор, який показує відхилення. Деталь вважається годною якщо стрілка індикатору не буде перевищувати трьох поділок.

4 Дослідна частина

Дослідженням зносу абразивних зерен в шліфувальних кругах

4.1 Вступ

Актуальність теми.

При абразивному шліфуванні з підвищенням продуктивності обробки істотно зменшується стійкість кругів між правками (Т) і зростає витрата абразивів. Особливо це помітно під час обробки важкооброблюваних матеріалів, коли період стійкості круга зменшується в 15-20 разів, а витрати часу і витрата абразиву, пов'язані з правкою круга, доходять до 60-70% усіх обробку. Тож дослідження зносу абразивних зерен в шліфувальних кругах є актуальною задачею.

Наукова новизна.

- досліджено питання крихкої міцності абразивних зерен, зокрема, що зношування зерен під час шліфування зрештою визначається умовною напругою різання і стійкістю ріжучих крайок у динамічних умовах. Встановлено взаємозв'язок між напруженістю процесу, міцністю зерен і їхнім зносом;

- розглянуті питання руйнування зерен із різною формою майданчиків зносу. Проведено аналітичне дослідження руйнування зерен шліфувальних кругів з урахуванням затуплення їхніх ріжучих вершин. Розроблені залежності для знаходження мінімальної сили $P_{кр}$, що призводить до руйнування зерна, і виявлення відстані від вершини зерна до місця дії найбільших напружень, яка характеризує величину частини зерна, що відкололася. Для врахування впливу форми майданчиків затуплення ріжучих крайок було проаналізовано руйнування зерен з різною формою частини, що виступає зі зв'язки.

Практична цінність.

- встановлено, що з метою підвищення ефективності шліфування і зниження зносу зерен під час шліфування металів, бажано сповільнити процес зростання

тріщин, тоді як під час обробки надтвердих матеріалів, навпаки, необхідно всіляко полегшити процес руйнування зерен, щоб підтримати стабільну різальну здатність кругів;

- встановлено, що підвищення температури в зоні обробки до 600° С не змінює характеру руйнування. При нагріванні вище 600° С число циклів руйнування зменшується. Розроблено залежність для визначення руйнівного навантаження;

- побудовані графіки залежностей $h = h(t)$, $s = s(t)$, які показали, що зменшенню величини майданчика зносу відповідає більш інтенсивне лінійне зношування. Проте за абсолютною величиною площа s має тенденцію до зростання, що відбувається внаслідок збільшення площі перерізу зерна в міру наближення до центру ваги.

4.2 Аналіз попередніх досліджень

Зазвичай знос кругів під час правки перевищує знос під час роботи круга, а під час плоского шліфування швидкорізальної сталі Р6М5 витрата кругів на правку досягає 90-95% загальної витрати. Вплив правки кругів на продуктивність і собівартість шліфувальної операції наведено в таблиці 1 на прикладі плоского шліфування різних металів (зокрема і сірого чавуна 15 з якого виготовляється корпус НМШ25-00-01). Крім того, під час абразивного шліфування внаслідок затуплення круга та зростання пружних відтиснень у технологічній системі не вдається забезпечити стабільні показники якості обробленої поверхні.

З огляду на те, що останніми роками збільшується обсяг застосування нових важкооброблюваних звичайними абразивами високопродуктивних швидкорізальних сталей і жароміцних матеріалів, вельми актуальними є питання шліфування кругами із синтетичних надтвердих матеріалів.

Висока і стабільна різальна здатність кругів із синтетичних алмазів і

кубічного нітриду бору (КНБ) під час шліфування різних металів та мале зношування кругів дають змогу автоматизувати процеси шліфування деталей, а також значно підвищити надійність і довговічність машин і механізмів унаслідок підвищення якості поверхневого шару.

Таблиця 4.1 – Витрати на правку шліфувальних кругів при обробці різних матеріалів

Шліфування	Оброблюваний матеріал	Час правки круга % машинного часу	Витрати на правку % собівартості операції
Чорнове	Сталь 45 (загартована)	50	30-40
Чистове		10	3-8
	СЧ15	60	40-50
	P6M5	80	60-70

Дослідження показали, що алмазні круги можна ефективно застосовувати під час шліфування чорних металів тільки для забезпечення високої якості обробленої поверхні, тобто на фінішних операціях, де вартість витраченого інструменту займає незначну частку в загальній технологічній вартості. Під час високопродуктивної обробка важкообробних матеріалів алмазні круги хоча й забезпечували високі експлуатаційні показники, однак витрати на інструмент під час їхнього застосування були значно вищими, ніж під час використання абразивних кругів.

Аналіз особливостей роботи кругів із синтетичних надтвердих матеріалів під час взаємодії з металами та розробка нових марок абразивних зерен і нових спеціальних зв'язок дали змогу створити шліфувальні круги, що можуть шліфувати будь-які метали - від найтвердіших до в'язких. Однак широке застосування цих кругів стримується, головним чином, підвищеними витратами на інструмент, які визначаються інтенсивністю зносу останнього. Тому вивчення механізму зносу кругів і виявлення чинників, що його визначають, є актуальним завданням.

Зазвичай у процесі вивчення зносу кругів визначається питома витрата абразиву (q_v) або коефіцієнт шліфування (G), що виражається відношенням об'єму шліфувального металу до загального об'єму частини круга, яка зносилася під час шліфування в конкретних умовах шліфування. Хоча такі показники потрібні для оптимізації процесу шліфування, вони не дають повних відомостей про сутність механізму зносу шліфувальних кругів. Знання основних закономірностей зносу дає змогу виявити провідні чинники, що визначають інтенсивність зносу кругів залежно від умов їх застосування, і розробити нові ефективні інструменти для шліфування деталей основного виробництва.

Провідні вчені в галузі абразивної обробки доводять, що для роботи абразивний матеріал повинен мати достатню міцність у процесі різання, бути зносостійким і задовольняти економічним умовам обробки. За недостатньої міцності ріжучої частини абразивних зерен руйнування відбувається в результаті сколювання і викришування або пластичної деформації поверхневих шарів матеріалу абразиву.

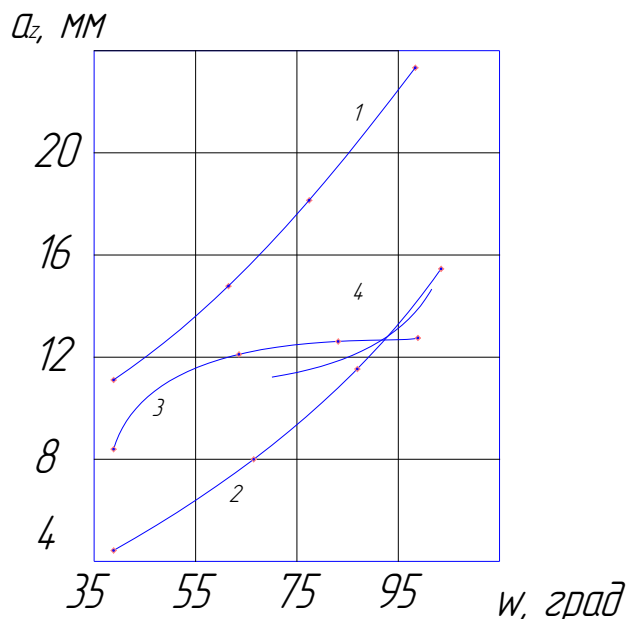


Рисунок 4.1 - Залежність граничних товщин зрізу від кута загострення:

1 – мінералокераміка – сталь 45; 2 – мінералокераміка – ВЧ450; 3 – електрокорунд – сталь 45; 4 – алмаз – ВЧ450

Для визначення абсолютних значень граничних товщин зрізу запропоновано методику, суть якої полягає в такому, що проводиться переривчасте різання з поступово зростаючою подачею окремим абразивним зерном, що має заданий кут загострення w . Залежність граничних товщин зрізу a_z від w для електрокорунду, алмазу і спеченого корунду під час різання сталі 45 і високоміцного чавуну ВЧ450 наведено на рисунку 4.1. З аналізу кривих видно, що в міру зменшення кута загострення значення граничних товщин зрізу знижуються. Спостерігається значний вплив оброблюваного матеріалу на граничні товщини зрізу.

Для того, щоб матеріал ріжучого інструменту знімав стружку, він повинен мати більшу здатність опору пластичній деформації, ніж оброблюваний матеріал. Якщо ця умова не витримується, ріжуча частина інструменту може піддатися пластичній текучості. Коефіцієнт запасу пластичної міцності наближено визначається відношенням:

$$\Pi = H_i / H_m,$$

де H_i – твердість абразивного матеріалу в контактних шарах;

H_m – твердість оброблюваного матеріалу.

Встановлено, що при алмазному шліфуванні металів пластична течія алмазу виключається. Досить високу пластичну міцність під час обробки конструкційних сталей мають корунд і карбід кремнію, але під час обробки тугоплавких металів з'являється ймовірність пластичної деформації ріжучих крайок цих абразивів.

Особливу увагу фахівці приділяють механізму зносу ріжучих крайок абразивних зерен. Залежно від оброблюваного й абразивного матеріалів та умов оброблення матеріал абразивних зерен у процесі різання зазнає адгезійного, абразивного, дифузійного зношення, а також комбінованих видів зношення, коли зношування абразивного матеріалу спричинено одночасним перебігом кількох видів зношення. Аналіз фізико-хімічних явищ, що виникають у контакті за заданих умов різання, а також опрацювання мікрофотографій поверхні зносу дали змогу класифікувати характерні ознаки будови рельєфу зношеної поверхні, тобто зовнішні прояви кожного окремого виду зносу. Для адгезійного виду зносу

характерна горбиста будова поверхні; для абразивного - наявність рисок, паралельних вектору швидкості різання; для дифузійного - утворення гладкої полірованої поверхні зносу. У разі комбінованого зносу має місце поєднання цих характерних ознак.

Численні дослідження зносу шліфувальних кругів показали, що є ще значні можливості їхнього вдосконалення. Практично відсутні роботи, присвячені вивченню механізму руйнації зерен і їх випадання зі зв'язки.

4.3 Знос абразивних зерен руйнуванням

4.3.1 Крихка міцність абразивних зерен

Під час шліфування абразивні зерна зазвичай зношуються стиранням і руйнуванням. Для умов роботи абразивного інструменту ці види зносу є природними, що забезпечують підтримання ріжучої здатності зерен і круга загалом. При цьому, дослідження механізму зносу алмазних і ельборових кругів під час шліфування твердих сплавів і швидкорізальних сталей дали змогу зробити такий висновок: переважними над усіма відомими механізмами зносу ріжучої поверхні ельборових та алмазних кругів є механічне руйнування і виривання зерен зі зв'язки. Так, під час ельборового шліфування твердого сплаву T15K6 у шламі виявлено 36% зерен розміром менш як 5 мкм, тобто в 30-40 разів менших за розмір зерен основної фракції, а під час оброблення цього сплаву алмазними колами зерна в шламі мають тільки в 2 рази менші розміри, ніж зерна основної фракції алмазного порошку.

У разі обробки швидкорізальних сталей кругами з ельбору найбільше число регенованих зі шламу зерен має розміри в 4-5 разів менші, ніж розміри основної фракції вихідного порошку, а під час шліфування цих сталей алмазними колами

(сталь Р9Ф5) максимальна кількість регенерованих зі шламу зерен під час аналізу за їхньою масою мають розміри, близькі до розмірів основної фракції вихідного порошку. Кількісний аналіз регенерованих ельборових і алмазних зерен показав збіг з невеликими відхиленнями питомої витрати абразивів, визначеної методом лінійних вимірів, з вмістом зерен у шламі.

Це свідчить про те, що переважаючі види зносу ельборових зерен - руйнування і випадання зерен зі зв'язки. Таким чином, зерна, що випали в процесі шліфування зі зв'язки, можуть використовуватися повторно, оскільки мають великі розміри.

Зношування зерен під час шліфування зрештою визначається умовною напругою різання і стійкістю ріжучих крайок у динамічних умовах. Проведено вивчення працездатності різних марок алмазних зерен під час мікрорізання з глибиною 10 мкм і швидкістю 30 м/с, $a_z = 0,4$ мкм. Визначалося динамічне середнє руйнівне навантаження P_d . Результати наведено в таблиці 4.2, звідки видно, що є взаємозв'язок між напруженістю процесу, міцністю зерен і їхнім зносом. При цьому помічається кореляція міцності зерен за статичних і динамічних навантажень.

Таблиця 4.2 – Знос зерен різної міцності

Марка абразива	P_d	G
АСР	10,0	1600
АСВ	12,0	2100
АСБ	17,1	2500
САМ	25,0	4000

Існуючі методи випробувань абразивів можна розділити на статичні та динамічні. Статичні методи полягають у навантаженні одного або багатьох зерен між опорними пластинами, виготовленими з різних матеріалів. Найбільшого поширення набув метод визначення статичної міцності алмазних зерен, розроблений в Інституті надтвердих матеріалів України. Алмазне зерно

поміщається між корундовими пластинами. Прозорі пластини дають змогу спостерігати за зерном через мікроскоп. Зерна навантажуються за допомогою електродвигуна або через систему важелів і посудин із дробом. Основною перевагою цього методу є простота його реалізації.

Робота зі створення умов випробувань зерен, близьких до реальних умов роботи зерна в інструменті, призвела до розроблення динамічних методів випробувань. Фірмою De Beers Marine розроблено метод визначення міцності з урахуванням ударних навантажень, яким зерна піддаються під час шліфування. Зерна поміщають у капсулу спільно зі сталеву кулькою і надають капсулі вібрацію. За зміною кількості незруйнованих зерен до і після випробувань судять про їхню крихку міцність. Визначають маси зерен і кульки, час випробувань, швидкість осциляції та розміри частинок.

Аналогічний метод використовується для визначення ударної в'язкості абразивів. Він полягає в тому, що абразивні зерна піддаються навантаженню внаслідок розгону струменем повітря і подальшого удару об залізну перешкоду. Ударна в'язкість, тобто кількість роботи, яку потрібно докласти до зерна під час удару, щоб викликати утворення одиниці нової поверхні визначається залежністю:

$$a_n = A/AS.$$

Для абразивного матеріалу М7 ударна в'язкість дорівнює 2,3, для Е9 - 1,7; для Е5 - 1,5 , для К39 - 0,9 кДж/м² . Отримані результати свідчать, що карбід кремнію має значно меншу здатність до опору руйнуванню, ніж електрокорунд і дає менше сумарне знімання металу. Найбільше сумарне знімання металу виробляється монокорундом. Встановлено, що зі зменшенням a_n абразиву його питомий знос зростає. Ударна в'язкість залежить також від форми зерна. Чим вища ізометричність і рівніша поверхня зерна, тим більша його в'язкість.

З динамічних методів на особливу увагу заслуговують методи випробування на міцність окремих зерен, що імітують їхню роботу в шліфувальному крузі. У цьому випадку окремими закріпленими зернами проводиться мікрорізання металу зі зростаючою глибиною різання. У момент руйнування зерен фіксуються глибина

мікрорізання і складові сили різання. Ці методи дають змогу порівнювати граничні товщини зрізу a_z і руйнівні навантаження P_p .

Так, з метою підвищення ефективності шліфування, наприклад для зниження зносу зерен під час шліфування металів, бажано сповільнити процес зростання тріщин, тоді як під час обробки надтвердих матеріалів, навпаки, необхідно всіляко полегшити процес руйнування зерен, щоб підтримати стабільну різальну здатність кругів.

Зазвичай крихка міцність ґрунтується на граничному стані пружно-напруженого тіла і зводиться до задачі теорії пружності. Найпоширенішим методом є метод розрахунку за допустимими напруженнями, суть якого полягає в тому, що за діючими навантаженнями визначаються головні напруження $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) у різних точках тіла. Далі за теорією граничних напружених станів у всіх точках визначають еквівалентні напруження $\sigma_{\text{екв}}$, одновісні розтягувальні, рівнонебезпечні заданому складному напруженому стану. Точка, в якій еквівалентні напруження максимальні, називається небезпечною точкою. Максимальне еквівалентне напруження зіставляється з допустимим $[\sigma]$:

$$\sigma_{\text{екв max}} < [\sigma] = \sigma_L / nL,$$

де σ_L – деяке граничне для даного матеріалу напруження для одновісного стиснення;

nL – коефіцієнт запасу міцності.

Для крихких і малопластичних матеріалів як коефіцієнт σ_L можна прийняти межу міцності за одновісного розтягування σ_b або стиснення $\sigma_{сж}$. Оскільки під час абразивної обробки ріжучий клин зерна зазнає об'ємного напруженого стану, теоретичне визначення крихкої міцності, є складнішою задачею. Крім того, під час переривчастого різання з високими швидкостями в момент врізання ріжуча частина зазнає ударного впливу, отже, необхідно знати характеристики міцності під час ударного навантаження. Передбачається, що в якості такої можна прийняти величину ударної в'язкості.

Таким чином, роботи, присвячені процесу руйнування зерен у шліфувальному крузі, є актуальними оскільки визначають види зносу абразивних зерен.

4.3.2 Крихка міцність твердих тіл і передумови розрахунку зерен шліфувальних кругів

Новий напрям у механізмі руйнування, заснований на вивченні самого процесу руйнування, бере початок від роботи А. А. Гріффітса, де розглянуто таку задачу. Тонка крихка пластинка рівномірно розтягується в одному напрямку напруженнями σ у своїй площині. У пластинці є наскрізна тріщина завдовжки $2l$, розташована перпендикулярно напрямку розтягування. При цьому встановлено, що, починаючи з деякого значення навантаження P , відбувається розвиток тріщини, що супроводжується збільшенням вільної поверхні. Тому Гріффітс ввів поняття поверхневої енергії крихкого тіла та сформулював принцип, згідно з яким наявна тріщина почне лавиноподібно поширюватися, якщо тільки швидкість звільнення енергії пружної деформації перевершить приріст поверхневої енергії тріщини, тобто за умови, коли

$$dA_u/dl > 4\gamma,$$

де A_u – зміна пружного потенціалу пластини внаслідок наявності тріщини, що дорівнює добутку середньої площі області концентрації напружень (пропорційної P) на середнє значення щільного пружного потенціалу (пропорційної P^2/E),

$$A_u = \lambda l_0^2 P^2 / E^2$$

λ – множник, що залежить від коефіцієнта Пуассона;

E – модуль пружності;

γ – поверхнева енергія одиниці вільної поверхні.

Оскільки величина пружного потенціалу пластини без тріщини не залежить від l , то зі співвідношень маємо:

$$2E\gamma = \pi P_0^2 l.$$

Формула, що описує залежність руйнівного навантаження від довжини початкової тріщини, є основною залежністю Гріффітса. Згідно з цією формулою процес руйнування відбувається так: спочатку зі збільшенням навантаження P довжина початкової тріщини l_0 залишається незмінною, поки навантаження не досягне критичного значення $P_{кр}$, після чого починається динамічний процес розвитку тріщини. Аналіз цього процесу в рамках енергетичного підходу Гріффітса важкий з погляду застосування математичного опису.

Нового розвитку концепція Гріффітса набула в 60-х роках після праць Дж. Ірвіна, який запропонував на основі аналізу поля напружень біля вершини тріщини використати для встановлення умов переходу до крихкого руйнування параметр інтенсивності напружень біля вершини тріщини K_{Ic} . Критерій в'язкості руйнування є енергетичним критерієм, а відтак, ураховує міцнісні та пластичні властивості матеріалу. На відміну від загальноприйнятих критеріїв міцності та пластичності, що враховують усереднені властивості зразка під час навантажування, критерії лінійної механіки оцінюють локальні властивості матеріалу біля вершини тріщини та "прив'язані" до певного виду напруженого стану. Загалом усі процеси руйнування матеріалу визначаються інтенсивністю поля напружень у ділянці, що оточує кінець тріщини, і характеризуються коефіцієнтом інтенсивності.

Є багато моделей детального механізму руйнування наприкінці тріщини, однак у випадку крихкого руйнування всі вони збігаються з умовами Дж. Ірвіна. При цьому головним є те, що під час розв'язання багатьох важливих задач можна не цікавитися детальними процесами, що протікають в околицях кінця тріщини. Це вдається зробити завдяки тому, що для розв'язання задачі достатньо знати тільки характер та інтенсивність напруженого стану в ділянці, що оточує кінець тріщини, разом із малим об'ємом, де протікає процес руйнування. Точну картину вдається замінити деяким наближенням (вельми близьким до точного) поданням

напруженого стану біля кінця тріщини, тобто потоковий опис напруженого стану замінюється його інтегральною характеристикою, що є середньою для деякої малої ділянки, в якій відбувається руйнування.

Питання міцності твердих тіл становлять один із найважливіших додатків механіки руйнування. Розрахунок на міцність, пропонований механікою крихкого руйнування, містить у собі такі основні моменти: вибір розміру та місцезнаходження найнебезпечнішого тріщиноподібного дефекту; визначення коефіцієнта інтенсивності напружень; вибір критерію локального руйнування та віднайдення критичного стану, який відповідає руйнуванню. Цей підхід не закреслює колишні досягнення науки, а лише поповнює її новим напрямом. Якщо під час розв'язання питання про міцність будь-якого тіла неможливо врахувати можливий характер розвитку тріщини, слід звернутися до класичної теорії пружності.

Будь-яке тверде тіло в принципі можна охарактеризувати деякою теоретичною руйнівною напругою, яка залежить від сил хімічного зв'язку між атомами, що його утворюють, і від температури. Ця теоретична міцність відноситься до деякого уявного зразка речовини, абсолютно досконалого в сенсі однорідності по всьому об'єму і відсутності яких би то не було тріщин, включень, домішок, дислокацій та інших помітних дефектів.

Простий спосіб орієнтовної міцності бездефектного твердого тіла вказаний Орованом.

Таким чином, міцність ідеального твердого тіла за абсолютного нуля має зростати зі збільшенням модуля Юнга E і поверхневої енергії γ і падати зі збільшенням відстані між сусідніми атомними площинами a_0 . Отже, високоміцні тверді матеріали слід шукати серед речовин з більшими значеннями E і з якомога більшим числом атомів в одиниці об'єму.

Оскільки експериментальне визначення зв'язку затуплення зерен і їхнього руйнування пов'язане з великими труднощами для аналізу цього явища, було використано аналітичний підхід з використанням положень механіки суцільного

середовища. Застосовано механічну модель процесу руйнування тендітних абразивних зерен із різною формою частини, що виступає зі зв'язки, яка відображає різні стадії зносу зерен і залежить від характеру взаємодії абразивного й оброблюваного матеріалів. Це дало змогу уточнити механізм зносу зерен шліфувальних кругів і на цій основі виявити шляхи зниження зносу кругів і підвищення їхньої працездатності. На підставі аналізу літературних джерел та експериментальних досліджень встановлено, що основними факторами, які визначають процес руйнування зерен шліфувальних кругів, є характер затуплення вершин ріжучих зерен, сили різання та виступання зерен над рівнем зв'язки.

Під час математичного моделювання особливостей руйнування прийнято такі припущення.

1. Дефекти на поверхні абразивних зерен розподіляються рівномірно і розвивається та тріщина, яка знаходиться в місці дії найбільших розтягувальних напружень.
2. Руйнування зерен відбувається під дією сили P_z . Це викликано особливостями шліфування металів кругами з надтвердих абразивних матеріалів, які полягають у відмінностях процесу стружкоутворення під час шліфування та пов'язаним із цим більшим виступанням зерен над рівнем зв'язки.
3. Сили, що діють на зерно, додаються в його вершині, тобто прийняті зосередженими. Це пояснюється тим, що зазвичай глибина впровадження зерен у метал не перевищує 10% величини виступання зерен над рівнем зв'язки, і оскільки дія сил зазвичай знаходиться на значній відстані від місця руйнування зерна, сили можна прийняти зосередженими.
4. Зерно утримується абсолютно жорсткою зв'язкою (не враховуються пружні властивості зв'язки).
5. Не враховується температура. Це викликано тим, що під час руйнування зерен зазвичай місце знаходження руйнування перебуває на значній відстані від робочої поверхні зерен (температура не перевищує 200-300° С). Крім того, експериментально встановлено, що, незважаючи на вищу температуру в зоні

різання порівняно з обробкою сталі, під час шліфування титанових сплавів сумарне зношування зерен на порядок нижче. Ці дані дають змогу зробити висновок про те, що температура не має суттєвий вплив на величину руйнівного навантаження і механізм руйнування зерен.

Якщо в абразивному матеріалі є тріщина, розміри якої менші за критичну величину, то за певних статичних навантажень руйнування не відбудеться. Оскільки абразив зазнає циклічних навантажень, слід ураховувати, що в разі поширення тріщини до критичної величини інтенсивність напруження може сягнути критичного значення K_{Ic} з подальшим руйнуванням зерен. Тому для оцінки міцності абразивних зерен важливо знати величину, що визначає поширення тріщини, тобто циклічний коефіцієнт інтенсивності напружень K^s_{Ic} , який можна визначити через статичний коефіцієнт і константу подібності M_L за методикою В. С. Іванової:

$$K^s_{Ic} = M_L K_{Ic} .$$

Циклічність навантаження призводить до зниження критичної сили. Хонкінс, вивчаючи вплив повторних ударів кульки з карбіду вольфраму, встановив, що кругові тріщини можуть утворюватися після кількох тисяч ударів кульки, а це відповідає напрузі розтягування 400 МПа, що значно нижча за статичну напругу, що дорівнює 4000 МПа, під час упровадження сферичного індентора і безпосередніх випробувань алмазної пластинки.

За даними Купера, для утворення кільцевих тріщин потрібна напруга розтягування близько 2000 МПа, тоді як після 2000 ударів для утворення таких тріщин потрібна напруга розтягування, яка менша в 4 рази. При цьому дослідження показали, що тріщини утворюються не сукупним зростанням мікротріщин, утворених наступними один за одним ударами, а з'являються раптово.

Порівняння динамічної міцності алмазних зерен різних марок проведено в ІСМі. Отримано залежність між числом циклів навантаження зерен N_3 до руйнування і величиною навантаження на них P_n :

$$N_3 = (P_0 / P_n)^t .$$

де P_0 – статичне руйнівне навантаження;

t – показник кривої втоми.

Для різних марок синтетичних алмазів $t = 4$.

Експериментально підтверджено, що підвищення температури до 600°C не змінює характеру руйнування. При нагріванні вище 600°C число циклів до руйнування зменшується і величина показника знижується до 1,3. Користуючись залежністю, можна визначити руйнівне навантаження при циклічному навантаженні

$$P_n = P N_0 3^{-t}.$$

Роботи показали, що руйнування алмазів відбувається під впливом втомних явищ і надалі для обчислення міцності зерен в інструменті необхідно визначити відповідний коефіцієнт інтенсивності напружень.

4.3.3 Руйнування зерен із різною формою майданчиків зносу

Для виявлення механізму зносу проведено аналітичне дослідження руйнування зерен шліфувальних кругів з урахуванням затуплення їхніх ріжучих вершин. Головне завдання дослідження – знаходження мінімальної сили $P_{кр}$, що призводить до руйнування зерна, і виявлення відстані від вершини зерна до місця дії найбільших напружень, яка характеризує величину частини зерна, що відкололася. Для врахування впливу форми майданчиків затуплення ріжучих крайок було проаналізовано руйнування зерен з різною формою частини, що виступає зі зв'язки. Перед шліфуванням або під час роботи частина зерна, що виступає, зазвичай має форму вершини октаедра або клина (рисунок 4.2). Залежно від затуплення ріжучих крайок і розташування зерна у зв'язці форма його виступаючої частини змінюється, набуваючи вигляду усіченого клина або прямокутного паралелепіпеда. Проаналізувавши особливості руйнування зерен з різною формою частини, що виступає, можливо зробити висновок, що до механізму їхнього зносу та взаємозв'язок їхнього затуплення і руйнування.

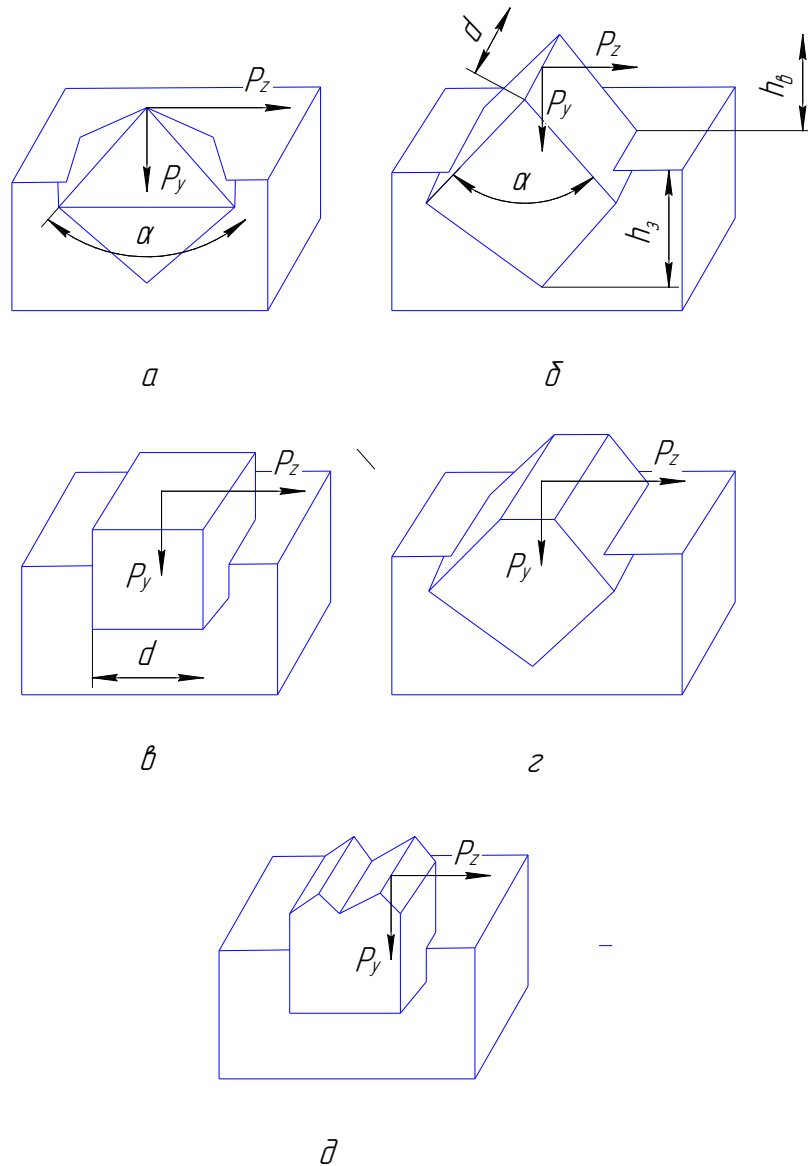


Рисунок 4.2 – Схеми зерен, що виступають із зв'язки:

а – октаедр; б – клин; в – паралелепіпед;

г – усічений клин; д – паралелепіпед з клиновидними виступами.

За наявності на розтягнутій грані клина тріщини, що має дугоподібну форму, частина навантаження, що раніше сприймалася цілим матеріалом на місці тріщини, перерозподіляється на сусідні ділянки. Рівняння рівноваги клина з тріщиною (рис. 4.3) отримуємо за методом перерізів. Користуючись асимптотичним виразом для напружень біля кінця тріщини, можна записати формулу для визначення напруження, спрямованого перпендикулярно до поверхні продовження тріщини.

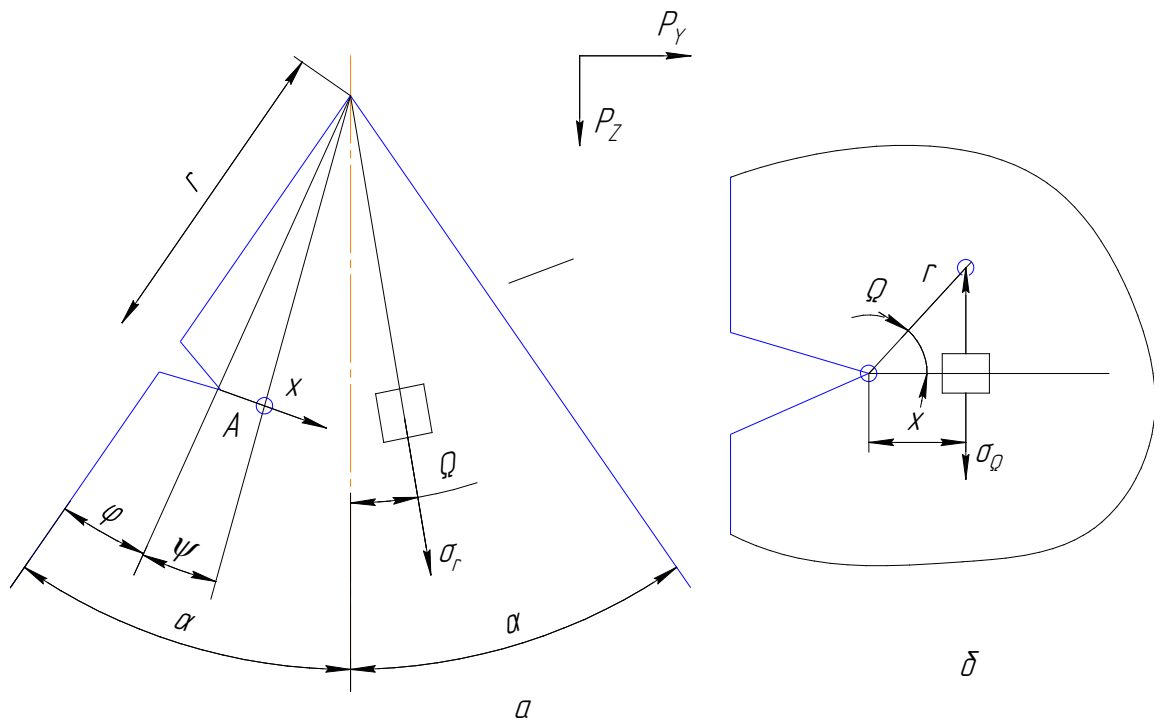


Рисунок 4.3 – Схема клина з тріщиною (а) і позначення напруження у вершини тріщини (б).

Порівнюючи рисунок 4.3, а і б, доходимо висновку про збіг напружень σ_0 і σ , в околиці вершини тріщини.

Клин перебуватиме в граничній рівновазі за наявності нескінченно малої тріщини у вершині. Аналогічний висновок справедливий і для октаедра. Отже, коли частина зерна, що виступає, має форму октаедра або клина, тобто за гострих зерен, місце дії найбільших розтягувальних напружень розташоване поблизу їхніх вершин. При цьому від зерен відколюються осколки малої величини, оскільки будь-яка, навіть дуже маленька, тріщина поблизу вершини зерна під час прикладання навантаження буде розвиватися, що призведе до руйнування вершини.

Визначимо вираз для P_{z_k} у випадку виступаючої частини зерна у формі клина, на бічній поверхні якого на відстані r від вершини знаходиться тріщина.

Розглянемо процес руйнування при виступаючій частині зерна у формі прямокутного паралелепіпеда або за наявності на розтягнутій грані зерна поверхневої тріщини відбувається збільшення сили біля вершини тріщини на деякій ділянці.

Розглянемо зерно з вершиною, що має вигляд усіченого клина (рис. 4.4) з поперечним розміром, що дорівнює одиниці. Від цього зерна відколюється великий або малий шматок залежно від місця розташування тріщини. Якщо тріщина віддалена від вершини, то напружений стан поблизу вершини визначається наближено відповідно до принципу Сен-Венана. Згідно з цим принципом, задану на вершині систему сил P_y і P_z можна замінити статично еквівалентною системою сил, яка далеко від вершини створює такий самий напружений стан, як і вихідна.

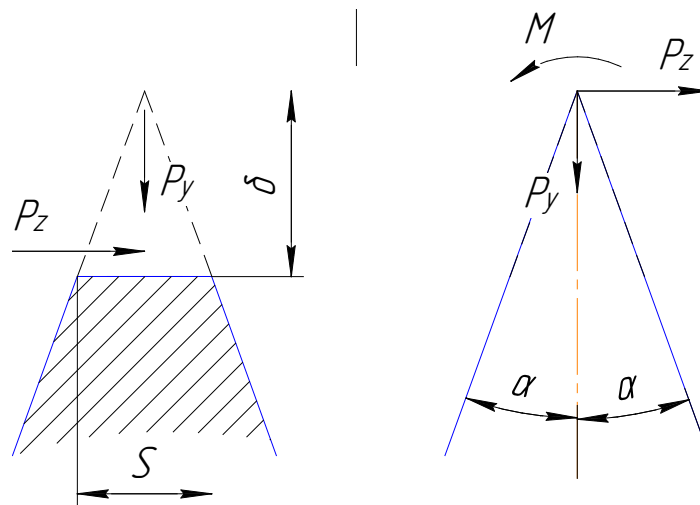


Рисунок 4.4 – Схема до розрахунку напруженого стану в зерні з площадкою зносу.

Отже, від реального зерна перейдемо до моделі (рис. 4.4), що має вигляд гострого клина, у вершині якого прикладено сили P_y та P_z і момент $M = P_z \delta$.

Тріщина на межі $\theta = -\alpha$ поширюється лише в останньому випадку, тобто за $\sigma_t > 0$. За $A_p < 0$ на грані тупого зерна є тільки стискальні напруження і розвиток тріщини неможливий. Крихке руйнування може відбуватися лише поблизу вершини, там де прикладено зовнішні сили. При $K_p = 0$ знаходимо критичне співвідношення сил $L_{кр} = P / P_{yt}$. За якого відбувається зазначений перехід від мікро- до макроруйнування.

За $l > L_{кр}$ руйнується вершина, за $l < L_{кр}$ - усе зерно.

Представляє інтерес порівняння міцності зерен різної форми за величиною навантаження, що їх руйнує. Але спершу визначимо місце дії найбільших розтягувальних напружень, для чого необхідно знати умову рівноваги зерна у зв'язці.

Якщо частина зерен, що виступає, має форму паралелепіпеда, то максимальні розтягувальні напруження розташовані поблизу місця закладення зерна у зв'язку. За форми клина або октаедра найбільш навантаженою є вершина. Навіть мала тріщина поблизу вершини при застосуванні навантаження розвивається і вершина руйнується.

Зазвичай у процесі шліфування утворюються не тільки гладкі майданчики зносу, а й майданчики з мікронерівностями (абразивний і адгезійний види зносу). Порівняємо міцність зерна у формі прямокутного паралелепіпеда і зерна з клиноподібними виступами на ньому.

Механізм зносу абразивних зерен шліфувальних кругів у загальному вигляді можна представити так. Відповідно до умов шліфування зерна зношуються з превалюванням того чи іншого виду зносу. За адгезійного або абразивного зносу площі затуплення мають мікронерівності, що забезпечують самозаточування зерен відколюванням від них частин малої величини. Тому сумарний знос таких зерен відносно невеликий. Під час взаємодії абразивного і оброблюваних матеріалів з утворенням гладких майданчиків зносу (графітизація, дифузія) збільшується відстань від вершини зерна до місця дії найбільших розтягувальних напружень, зростають граничні навантаження, що призводить до руйнування зерен на значній відстані від вершини та підвищеного сумарного зносу.

Тож, розглядаючи механізм зносу зерен шліфувальних кругів, можна дійти висновку, що за аналогією з молекулярно-механічною теорією тертя для забезпечення мінімального зносу зерен за умови утворення на них гладких площадок зносу необхідно прагнути до дотримання правила позитивного градієнта механічної міцності, згідно з яким міцність контактних шарів повинна бути

меншою за міцність нижчих шарів, тобто місце дії найбільших напружень на розтяжку рекомендується ближче до ріжучої кромки зерен.

4.4 Знос абразивних зерен під час обробки чавуну

Аналізуючи стан наукових досліджень про контактну взаємодію дійшли важливого узагальнення, що за всієї складності та різноманіття явищ, що протікають у зоні контакту під час різання, тертя та шліфування, необхідно виокремити домінантні чинники, вивчити їхню природу та відшукати шляхи керування зношуванням тіл, що контактують, і якістю обробленої поверхні. Щоб керувати зносом з метою забезпечення заданих технологічних параметрів шліфування, необхідні достовірні знання про інтенсивність різних видів зносу і баланс зносу абразивних зерен в умовах експлуатації.

Для виявлення механізму зносу шліфувальних кругів під час обробки різних металів розроблено спеціальну методику вивчення зносу окремих зерен безпосередньо в крузі. Знос вивчали на спеціальній установці, що дає змогу вести візуальні спостереження за одними й тими самими зернами шліфувальних кругів через дискретні проміжки часу. У дослідях вимірювалися такі параметри: лінійне зношування зерен за висотою h , максимальний виступ їх над зв'язкою h_m і величина майданчиків зношування на вершинах зерен s .

Знос шліфувальних кругів оцінювався питомою витратою абразивів, механізм зносу - аналізом шламу після шліфування. Відмінною особливістю цих досліджень від відомих є те, що вивчалися більш досконалі характеристики кругів, що знайшли застосування в промисловості (інтенсивність зносу яких майже на порядок нижча), роботу проводили з мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР) і обробляли різні матеріали. Визначали розміри зерен у вибірці, що складається з 700 – 1000 зерен залежно від ступеня їх подрібнення.

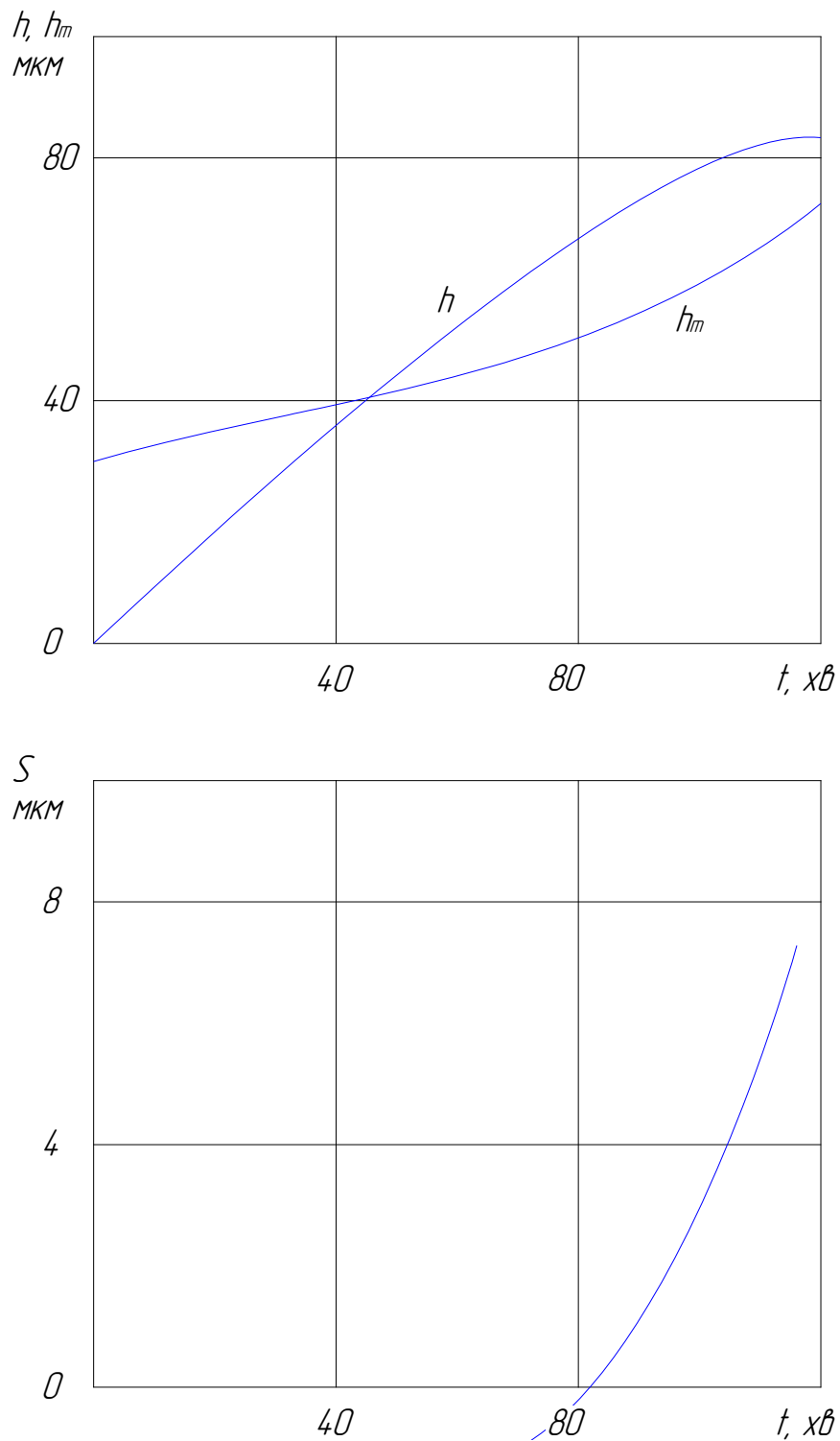


Рисунок 4.5 – Залежності показників зносу зерен від часу роботи круга

На графіках рис. 4.5 показано зміну в часі кількісних показників зносу одного зерна h , h_m і s . З аналізу малюнка випливає, що в одному проміжку часу переважає стирання вершин зерен унаслідок фізико-хімічних явищ у зоні контакту зерна з металом, у наступних - руйнування зерен розколюванням. Інтенсивність лінійного

зносу за висотою, що характеризується крутизною кривої залежності $h = h(t)$, вельми непостійна в часі.

Зіставляючи графіки залежностей $h = h(t)$, $s = s(t)$, бачимо, що зменшенню величини майданчика зносу відповідає більш інтенсивне лінійне зношування. Проте за абсолютною величиною площа s має тенденцію до зростання, що відбувається внаслідок збільшення площі перерізу зерна в міру наближення до центру ваги. Зазначимо, що в разі поломки зерна нижче рівня зв'язки воно легко випадає з кола, опинившись на його поверхні внаслідок зносу зв'язки.

Середні значення інтенсивності зміни в часі величин h_m , s і h , отримані лінійною апроксимацією залежностей $s = s(t)$ і $h = h(t)$ для окремих зерен, наведені в таблиці 4.3. Значення усереднювали лише для тієї частини зерна, яку зношували стиранням і руйнуванням зі збереженням працездатності, іншими словами, до того моменту, коли відбувалося ламання зерна нижче за рівень зв'язки або випадання його з круга. Інтенсивність, що дорівнює кутовому коефіцієнту апроксимуючої прямої, визначалася за методом найменших квадратів.

Таблиця 4.3 – Дані інтенсивності зміни h , h_m і s при зношуванні окремих зерен

Показник	$\Delta h / \Delta t$, мкм/см ³	$\Delta s / \Delta t$, мкм ² /см ³	$\Delta h_m / \Delta t$, мкм/см ³
X	11.00	1900	4,20
S ₁	1,43	817	3,99
V ₁ , %	13,00	43	95,00

Розглядаючи знайдені значення інтенсивностей для різних зерен як елементи деякої вибірки, можна відшукати вибірккову середню $\bar{X}$, середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації v_1 .

Найщільніше групуються біля вибіркового середнього значення інтенсивності лінійного зносу, і слід очікувати, що визначена описаним способом величина $(A_h/A_T)_{cp}$ характеризує лінійний знос шліфувального круга, а разом із ним витрату алмазів q .

Розрахунок за формулою:

$$q = mA_h/pA_v,$$

де m - маса зерен у шарі одиничної товщини;

p - густина шліфувального матеріалу, що становить 2,31 мг/г.

Розсіювання величин $(A_s/A_t)_{cp}$ і $(A_{hm}/A_t)_{cp}$ істотно більше, що пояснюється неоднорідністю зерен за розміром, формою, орієнтацією у зв'язці, взаємним розташуванням на робочій поверхні, мінливістю умов стружкоутворення. Той факт, що значення інтенсивностей, усереднені за всіма зернами, позитивні, означає наявність у всіх трьох величин h , s і h_m тенденції до зростання, найсильніше вираженої в площі площадки зносу та найменш - у максимального виступання над зв'язкою.

У середньому лінійний знос зерен до моменту випадання зі зв'язки або поломки нижче її рівня дорівнює 63 мкм, що становить 34% їхнього середнього розміру. Таким чином, під час шліфування чавуну СЧ15 більша частина зерен не виконує практично ніякої корисної роботи.

Зупинимося докладніше на характері регулярного зносу зерен до моменту втрати ними працездатності. Як зазначалося, лінійне зношування відбувається нерівномірно, що наочно видно з рис. 4.6. На останньому представлено гістограму відносних частот розподілу лінійного зносу зерен за період безперервного шліфування тривалістю 10 хв. Як варіант розглядається лінійний знос будь-якого зерна за один дослід. По осі абсцис відкладено значення варіанта, розбитих на 5 груп, і по осі ординат - відношення суми частот варіанта, що потрапили до i -го інтервалу p_i , до обсягу вибірки n і довжини часткового інтервалу $A_h = 5$ мкм, у якому укладено зазначені p_i -варіант.

Аналіз рис. 4.6 дає змогу не тільки оцінити ймовірність зношування зерна з тією чи іншою інтенсивністю, а й частку загального зношування (регулярного), що припадає на зношування з даною інтенсивністю.

У загальному балансі часу роботи зерна 59% припадає на зношування з інтенсивністю менше ніж 5 мкм за дослід, причому розмірне зношування за цей час

становить лише 18,6% загального зношування. Зі зростанням інтенсивності частка часу зменшується, а частка зносу збільшується, але відмінності не дуже значні.

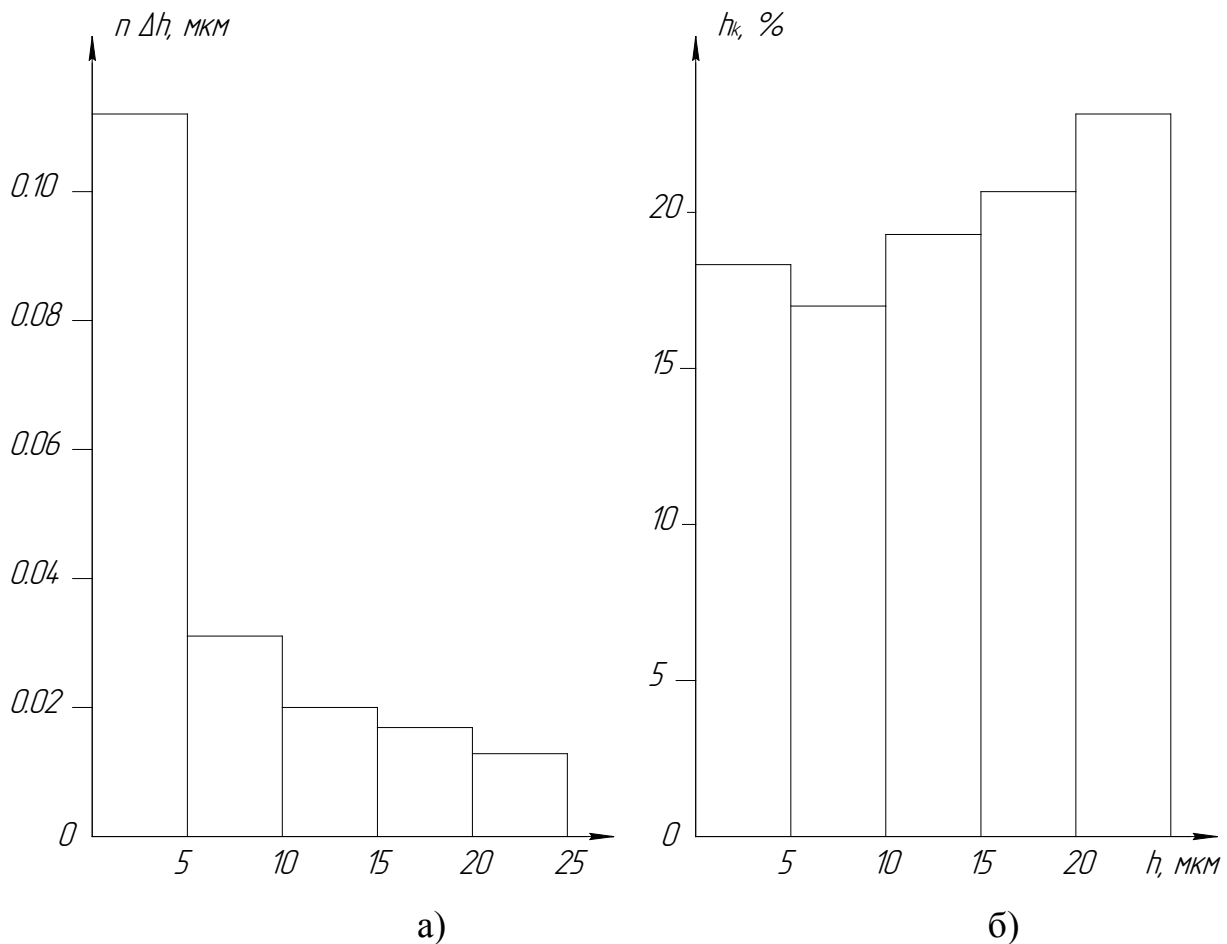


Рисунок 4.6 – Гистограма розподілу зерен по інтенсивності лінійного зносу роботи круга (а) і частка загального зносу, що приходить на знос з відповідною інтенсивністю (б)

Дані рис. 4.6 дають підставу зробити висновок, що знос зерна відбувається в основному внаслідок його механічного руйнування, а не стирання. Оскільки частка розмірного зносу з інтенсивністю менше ніж 10 μm за дослід становить 36%, отже, щонайменше 64% зносу зумовлено розколюванням.

Домінування механічного руйнування аж ніяк не означає, що роль процесу стирання є малоістотною. Навпаки, саме виникнення на вершинах зерен гладких майданчиків зносу внаслідок дифузії і графітизації зумовлюють характер зносу круга загалом і сили різання.

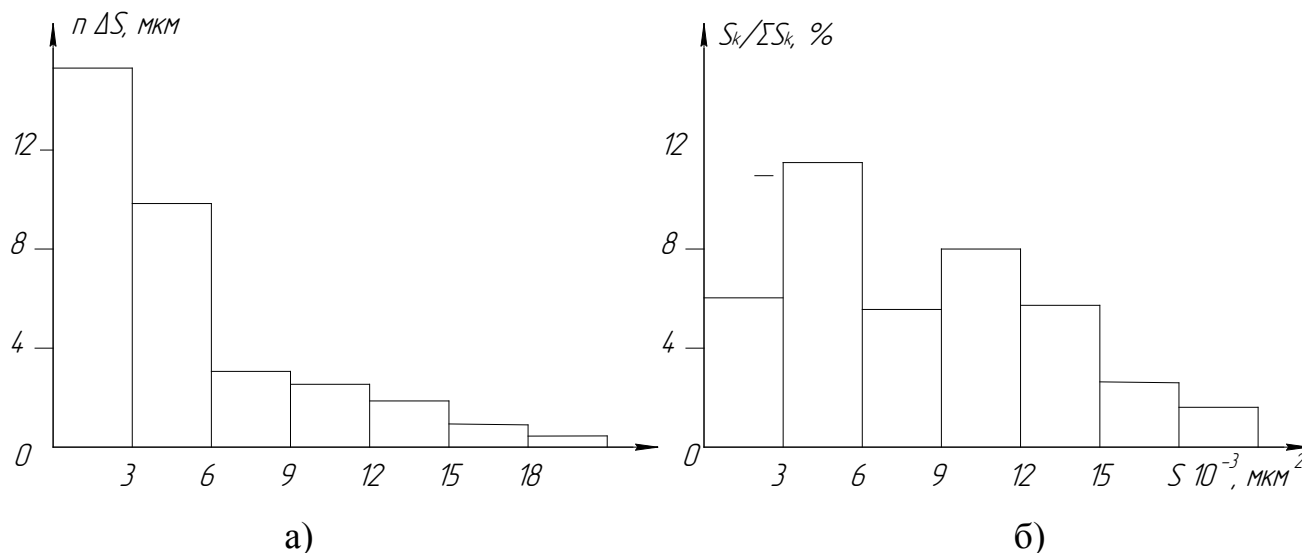


Рисунок 4.7 – Гистограма розподілу зерен по розміру площ зносу на їх вершинах (а) і частка загальної площі затуплення, що приходить на майданчики відповідного розміру (б)

На рисунку 4.7 представлені результати вимірювання відносної площі зносу на шести рівнях за розмірами ділянках робочої поверхні круга. Відносна площа зносу визначається як відношення сумарної площі всіх майданчиків зносу до площі робочої поверхні ділянки і в середньому дорівнює 1,6%. На рис. 4.7, а показано розподіл кількості зерен із майданчиками на тих самих ділянках круга. Середня площа майданчика, отримана діленням сумарної площі зносу на число зерен, дорівнює 4800 мкм^2 , що становить 14% площі поперечного перерізу зерна, апроксимованого квадратом зі стороною, що дорівнює номінальному розміру зерна. За наявними даними можна орієнтовно знайти частку зносу, спричинену стиранням. Оскільки сумарна площа майданчиків зносу на всій робочій поверхні круга дорівнює 1,6%, об'ємне зношування, зумовлене стиранням, становить 1,6% об'єму зношеного алмазоносного шару або 6% об'єму, що припадає на алмазні зерна, що містяться в цьому шарі (при 100%-вій концентрації зерна в алмазоносному шарі займають 25% об'єму).

Якщо припустити, що активними є зерна, на яких є майданчики зносу, то дані, представлені на рис. 4.7, а, дають змогу знайти число активних зерен, що

припадають на одиницю поверхні. Їхнє число, що визначається як відношення середнього числа зерен на спостережуваній ділянці поверхні до площі цієї ділянки, дорівнює 3,3 на один квадратний міліметр.

Імовірність наявності на вершині зерна майданчика зносу того чи іншого розміру, а також частку площі затуплення, що припадає на майданчики відповідного розміру, можна оцінити за допомогою рис. 4.7, б. Під час побудови гістограми як варіант розглядали площу майданчика зносу на зерні. Видно, що найімовірнішою є наявність на зернах майданчиків менше 6000 мкм². Зі збільшенням розміру майданчика зносу закономірно зменшується число зерен, що мають майданчик такого розміру. Основний внесок у сумарну площу затуплення вносять зерна з майданчиками розміром до 15000 мкм², причому найбільша частка (27%) припадає на зерна, що мають майданчики розміром 3000-6000 мкм². Тож, швидке зменшення відносних частот зі зростанням s пояснюється превалюванням механічного руйнування і випаданням зерен зі зв'язки над зносом стиранням.

4.5 Висновки

1. Розглянуті питання механізму зносу ріжучих кромek абразивних зерен. Встановлено, що залежно від оброблюваного й абразивного матеріалів та умов оброблення матеріал абразивних зерен у процесі різання зазнає адгезійного, абразивного, дифузійного зношення, а також комбінованих видів зношення, коли зношування абразивного матеріалу спричинено одночасним перебігом кількох видів зношення.

2. Досліджено питання крихкої міцності абразивних зерен, зокрема, що зношування зерен під час шліфування зрештою визначається умовною напругою різання і стійкістю ріжучих крайок у динамічних умовах. Проведено дослідження працездатності різних марок алмазних зерен під час мікрорізання з глибиною 10 мкм і швидкістю 30 м/с, $a_z = 0,4$ мкм. Визначено динамічне середнє руйнівне

навантаження P_d . Встановлено взаємозв'язок між напруженістю процесу, міцністю зерен і їхнім зносом.

3. Встановлено, що з метою підвищення ефективності шліфування, наприклад для зниження зносу зерен під час шліфування металів, бажано сповільнити процес зростання тріщин, тоді як під час обробки надтвердих матеріалів, навпаки, необхідно всіляко полегшити процес руйнування зерен, щоб підтримати стабільну різальну здатність кругів.

4. Встановлено, що підвищення температури в зоні обробки до 600°C не змінює характеру руйнування. При нагріванні вище 600°C число циклів руйнування зменшується. Розроблено залежність для визначення руйнівного навантаження.

5. Розглянуті питання руйнування зерен із різною формою майданчиків зносу. Проведено аналітичне дослідження руйнування зерен шліфувальних кругів з урахуванням затуплення їхніх ріжучих вершин. Розроблені залежності для знаходження мінімальної сили $P_{кр}$, що призводить до руйнування зерна, і виявлення відстані від вершини зерна до місця дії найбільших напружень, яка характеризує величину частини зерна, що відкололася. Для врахування впливу форми майданчиків затуплення ріжучих крайок було проаналізовано руйнування зерен з різною формою частини, що виступає зі зв'язки.

6. Проаналізувавши особливості руйнування зерен з різною формою частини, що виступає, можемо зробити висновок, щодо механізму їхнього зносу та взаємозв'язок їхнього затуплення і руйнування.

7. Побудовані графіки залежностей $h = h(t)$, $s = s(t)$, які показали, що зменшенню величини майданчика зносу відповідає більш інтенсивне лінійне зношування. Проте за абсолютною величиною площа s має тенденцію до зростання, що відбувається внаслідок збільшення площі перерізу зерна в міру наближення до центру ваги.

8. Лінійною апроксимацією залежностей $s = s(t)$ і $h = h(t)$ для окремих зерен отримані середні значення інтенсивності зміни в часі величин h_m , s і h .

5. Економічна частина

Вхідні данні:

Деталь:	корпус НМШ25-00-01
Маса виробу:	1,1 кг
Маса заготовки	1,7 кг
Річна програма випуску:	15700 шт. /рік
Кількість деталей у вузлі:	1 шт.
Матеріал:	СЧ15

5.1 Розрахунок календарно-планових нормативів

Розрахунок партії деталей

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{um}^{\min}}$$

$F_{зм}$ – дійсний фонд часу зміни (440 хв.)

$t_{um}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції:

$$n_p^{\kappa} = \frac{0,5 \cdot 440}{0,778} \approx 282 \text{ шт.};$$

Кількість запуску деталей протягом року:

$$A = \frac{N_z}{n_p}$$

$$A^{\kappa} = \frac{15700}{282} = 56;$$

Приймаємо A з стандартного ряду

$$A_{np}^{\kappa} = 52;$$

Перераховуємо партію

$$n = \frac{N_3}{A_{np}}$$

$$n_{np}^{\kappa} = \frac{15700}{52} \approx 302 \text{ шт.};$$

Тривалість операційного циклу

$$T_o = \frac{n \cdot t_{\kappa\partial}}{S \cdot F_{3M\partial}}$$

$t_{\kappa\partial}$ - калькуляційно-дійсний час

$$t_{\kappa\partial} = \frac{t_{um}}{q \cdot p \cdot k_g} + \frac{t_{n3}}{n}$$

$$t_{\kappa\partial 005}^{\kappa} = \frac{3,386}{1 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{22}{302} = 3,459 \text{ хв.}$$

Таблиця 5.1 – Розрахунок тривалості операційного циклу

№ оп.	корпус	
	$T_{\kappa\partial}$, хв.	T_o , дн.
005	3,459	1,18
010	1,155	0,396
015	5,324	1,827
020	0,877	0,3
025	0,837	0,287
	Σ	3,99

Приймаємо послідовний рух партії деталей для корпусу - послідовний

$$T_n = \sum_1^m T_o + m \cdot t_{mo}$$

t_{mo} - межопераційний час. Приймаємо $t_{mo} = 0,1$ дн.

$$T_n^{\kappa} = 3,99 + 5 \cdot 0,1 = 4,49 \text{ дн.}$$

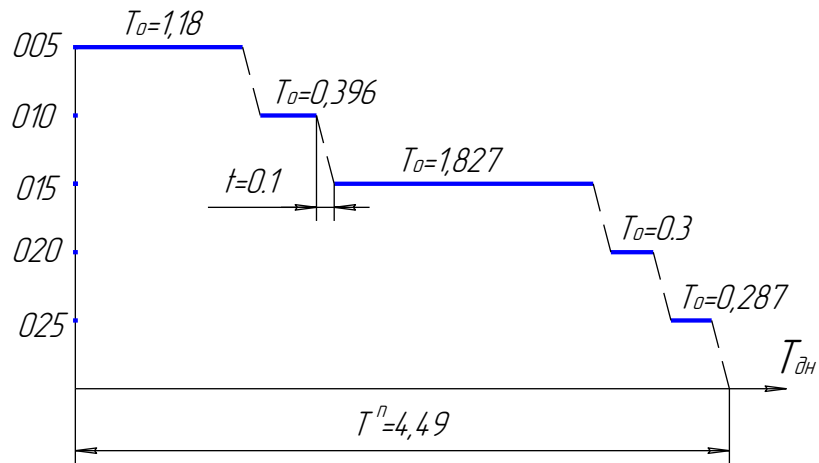


Рисунок 5.1 – Графік послідовного виду руху партії деталей корпус.

Розрахунок чисельності виробничих робітників:

$$R^{sup} = \frac{T_p}{F_{dp} \cdot k_m}$$

$$T_p = \frac{N_z \cdot \sum_{i=1}^m t_{um} \cdot (1 + 0,01 \cdot \alpha)}{60}$$

T_p - трудомісткість річної програми випуску деталей;

k_m - коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування;

F_{dp} - фонд часу річний одного робітника;

α - процент додаткових робіт.

Коефіцієнт довантаження

$$K_{дов} = \frac{\eta_{норм}}{\bar{\eta}}$$

η - нормативний коефіцієнт навантаження обладнання в часі.

$$K_{дов}^{\kappa} = \frac{0,8}{0,152} = 5,26;$$

$$K_{дов}^u = \frac{0,8}{0,14} = 5,71;$$

$$T_p^{\kappa} = \frac{15700 \cdot 11,329 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20)}{60} = 3557 \text{ год.}$$

Чисельність робітників:

$$R_{\text{вир}}^{\kappa} = \frac{3557 \cdot 5,26}{1840 \cdot 1,0} \approx 10 \text{ чол.};$$

5.2 Розрахунок планової цехової собівартості

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{op} + B_{\text{соц}} + Z_{zo} + P_o + P_{\text{цех}}$$

M_o – витрати на основні матеріали

$$M_o = a_d \cdot C_m \cdot K_{\text{тр}} - a_v \cdot C_v$$

a_d, a_v – відповідно маса деталі, відходів;

C_m, C_v – відповідно ціна матеріалу, відходів;

$K_{\text{тр}}$ – коефіцієнт, враховуючий транспортні витрати.

$$M_o^{\kappa} = 1,1 \cdot 13,8 \cdot 1,05 - 0,6 \cdot 1,4 = 15,1 \text{ грн.}$$

Z_{od} – заробітна плата основна та додаткова

$$Z_{od}^{\kappa} = 1,1 \cdot \left[\frac{20,052}{60} \cdot (5,328 + 0,825 + 3,38) + \frac{17,044}{60} \cdot (1,102 + 0,778) \right] = 4,09 \text{ грн.}$$

α - процент додаткової заробітної плати (10%)

$B_{\text{соц}}$ – відрахування на соціальне страхування

$$B_{\text{соц}}^{\kappa} = 4,09 \cdot 0,22 = 0,89 \text{ грн.}$$

Z_{co} – витрати на спецоснащення;

$$Z_{co}^{\kappa} = \frac{1,5}{60} (3,386 + 1,102 + 5,238 + 0,825 + 0,778) = 0,28 \text{ грн.}$$

P_o – витрати на утримання і експлуатацію обладнання

$$P_o = \frac{Z_o \cdot \alpha_o}{100}$$

α_o – процент витрат на утримання і експлуатацію обладнання (200 %)

$$P_o^{\kappa} = \frac{3,72 \cdot 200}{100} = 7,44 \text{ грн.};$$

$P_{\text{цех}}$ – цехові витрати

$$P_{\text{цех}} = \frac{z_o \cdot \alpha_{\text{цех}}}{100}$$

$\alpha_{\text{цех}}$ – цехові витрати (90 %)

$$P_{\text{цех}}^{\kappa} = \frac{3,72 \cdot 90}{100} = 3,35 \text{ грн.};$$

Таблиця 5.2 – Калькуляція собівартості виробів і собівартості річного випуску деталей

N з/п	Стаття витрат	корпус	
		на одиницю, грн.	на річний випуск, грн.
1	Основні матеріали	15,1	237070
2	Основна заробітна плата	3,72	58404
3	Додаткова заробітна плата	0,37	5809
4	Відрахування до соціальних фондів	0,89	13973
5	Витрати на спец. оснащення	0,28	4396
6	Витрати на утримання та експлуатацію оснащення	7,44	116808
7	Цехові витрати	3,35	52595
Всього		31,15	489055

5.3. Аналіз варіантів техпроцесів

Аналіз здійснюється по деталі корпус. Чотири операції базового технологічного процесу, замінено на одну операцію проектного.

Таблиця 5.3 – Характеристика змін при обробці деталі корпус

Номер опер.	базовий варіант		номер опер.	проектний варіант	
	Модель обладнання	$t_{ум}$, хв.		Модель обладнання	$t_{ум}$, хв.
002	Токарно-револьверний 1П365	2,0565	005	Токарний з ЧПК Monforts DNS 500	2,122
005	Вертикально протяжний 7Б65	0,5092			
010	Круглошліфувальний 3Б12	0,5238			
015	Токарний 1А240-П6	1,4073			
	Σ	4,4968		Σ	2,122

Порівняння здійснюється на базі технологічної собівартості за принципом відхилень:

$$C_{tex} = a \cdot N_z + b$$

a - змінні витрати; b - постійні витрати.

$$a = M_o + Z_{одз} + C_{ел} + C_{рем} + C_{дм} + C_{ур} + C_{ом} + C_{еп}$$

M_o - витрати на основні матеріали – не змінюються, тому не розраховуються;

$Z_{одз}$ - основна та додаткова заробітна плата з відрахуваннями.

$$Z_{одз} = \frac{l_{ум}}{60} \cdot l_{зод} \cdot k_{zn}$$

k_{zn} - коефіцієнт додаткової заробітної плати (1,1)

$$Z_{одз}^{баз} = \frac{20,052}{60} \cdot [(2,0565 + 0,5092 + 0,5238 + 1,4073)] \cdot 1,1 = 1,65 \text{ грн.}$$

$$З_{одз}^{np} = 1,1 \cdot \left[\frac{20,052}{60} \cdot 2,122 \right] = 0,78 \text{ грн}$$

Таблиця 5.4 – Характеристика обладнання

N з\п	Модель обладнання	габаритні розміри, м×м	потужність двигунів, кВт	Ремонтна складність, УРО	Балансова вартість грн.
1	Токарний з ЧПК Monforts DNS 500	3,1x2,5	15	30	700000
2	Токарно-револьверний 1П365	4,23x1,89	22	23,5	125000
3	Вертикально - протяжний 7Б65	2,65x1,4	10	12	135000
4	Круглошліфувальний 3Б12	2,65x1,76	3	8	137000
5	Токарний 1А240-П6	3,06x1,95	4	15	350000

Витрати на силову енергію

$$C_{ел} = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_{oi} \cdot K_n \cdot K_r}{\eta_{\partial} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{um}}{60} \cdot C_{ел}$$

N_{ϵ} - потужність встановлених двигунів;

$C_{ел}$ - ціна силової електроенергії (1,9 грн. /кВт)

$$C_{ел002}^{баз} = \frac{22 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,3}{0,9 \cdot 0,95} \cdot \frac{2,0565}{60} \cdot 1,9 = 0,25 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Розрахунок витрат на електроенергію силову

номер опер.	базовий варіант			номер опер.	проектний варіант		
	$N_{\text{в}}, \text{кВт}$	$t_{\text{ум}}, \text{хв.}$	$C_{\text{ел}}, \text{грн.}$		$N_{\text{в}}, \text{кВт}$	$t_{\text{ум}}, \text{хв.}$	$C_{\text{ел}}, \text{грн.}$
1	2	3	4	5	6	7	8
002	22	2,0565	0,25	005	15	2,122	0,17
005	10	0,5092	0,03				
010	3	0,5238	0,008				
015	4	1,4073	0,03				
Σ		4,4968	0,318	Σ		2,122	0,17

Витрати на ремонт

$$C_{\text{рем}} = \frac{W \cdot R \cdot K_e \cdot K_{\text{ел}} \cdot t_{\text{ум}}}{T_{\text{рц}} \cdot 60}$$

 W - витрати на 1 одиницю ремонтної складності; R - ремонтна складність; $T_{\text{рц}}$ - тривалість ремонтного циклу.

$$C_{\text{рем}002}^{\text{баз}} = \frac{570 \cdot 23,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 2,0565}{20400 \cdot 60} = 0,035 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Розрахунок витрат на ремонт

номер опер.	базовий варіант				номер опер.	проектний варіант			
	R	W	$t_{\text{ум}}, \text{хв.}$	$C_{\text{рем}}$		R	W	$t_{\text{ум}}, \text{хв.}$	$C_{\text{рем}}$
002	23,5	570	2,0565	0,035	005	30	570	2,122	0,046
005	12	570	0,5092	0,0044					
010	8	456	0,5238	0,0024					
015	15	570	1,4073	0,015					
Σ			4,4968	0,0568	Σ			2,122	0,046

Витрати на допоміжні матеріали

$$C_{\partial n} = \frac{M_{\text{зв}} \cdot R \cdot t_{\text{ум}}}{60} \cdot K_n$$

K_n - коефіцієнт типу виробництва;

$M_{\text{зв}}$ - годинні витрати на допоміжні матеріали

$$C_{\partial n}^{\text{баз}} = \frac{0,15 \cdot 1}{60} [23,5 \cdot 2,0565 + 12 \cdot 0,5092 + 8 \cdot 0,5238 + 15 \cdot 1,4073] = 0,19 \text{ грн.}$$

$$C_{\partial n}^{\text{нр}} = \frac{0,15 \cdot 1}{60} (30 \cdot 2,122) = 0,16 \text{ грн.}$$

Експлуатація приміщення

$$B_n = \frac{S_{\partial} \cdot B_{\text{пл}} \cdot t_{\text{ум}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \eta_{\text{зн}}}$$

S_{∂} - загальна площа, яку займає верстат;

$B_{\text{пл}}$ - вартість (річна) експлуатації 1 м² приміщення.

$$B_{n002}^{\text{баз}} = \frac{4,9 \cdot 8,1 \cdot 3 \cdot 2,0565}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,0013 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.7 – Розрахунок витрат на експлуатацію приміщення

номер опер.	базовий варіант			номер опер.	проектний варіант		
	S_y	$t_{\text{ум}}$	B_n		S_y	$t_{\text{ум}}$	B_n
002	4,9	2,0565	0,0013	005	7,75	2,122	0,001
005	3,71	0,5092	0,0002				
010	4,66	0,5238	0,0003				
015	5,97	1,4073	0,001				
Σ		4,4968	0,0028	Σ			0,001

Амортизація універсального обладнання

$$C_{\text{аму}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a \cdot t_{\text{ум}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \eta_n \cdot 100}$$

H_a - річна норма амортизації;

$\Phi_{\text{бал}}$ - балансова вартість універсального обладнання.

$$C_{\text{ам}002}^{\text{баз}} = \frac{125000 \cdot 15 \cdot 2,0565}{3890 \cdot 60 \cdot 0,85 \cdot 100} = 0,19 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.8 – Розрахунок амортизації універсального обладнання

номер	базовий варіант			номер	проектний варіант		
опер.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$C_{ам}$, грн.	опер.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$C_{ам}$, грн.
002	125000	2,0565	0,19	005	700000	2,122	1,12
005	135000	0,5092	0,052				
010	137000	0,5238	0,054				
015	350000	1,4073	0,37				
Σ	747000	4,4968	0,666	Σ	700000		1,12

Постійні витрати

$$b = Z_{нал} + C_{ен} + C_{амсп}$$

$Z_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання.

$$Z_{нал} = \frac{t_{нз}}{60} \cdot l_{год}^{нал} \cdot A \cdot K_{зн}$$

$l_{год}^{нал}$ – годинна тарифна ставка налагоджувача;

$$Z_{нал}^{баз} = \frac{(24 + 26 + 26 + 26) \cdot 17,042}{60} \cdot 48 \cdot 1,48 = 2058 \text{ грн.}$$

$$Z_{нал}^{пр} = \frac{24 \cdot 17,042}{60} \cdot 48 \cdot 1,48 = 484 \text{ грн.}$$

$C_{сп}$ – витрати на спеціальне оснащення.

В проектному варіанті спеціальним оснащенням є керуючі програми для верстатів з ЧПК.

$$C_{сп} = 0,6 \cdot S_n$$

S_n – первісна вартість спеціального оснащення.

Вартість програми

$$S_n^{прогр} = T_{прогр} \cdot l_{год}^{пр} \cdot K_{зн}$$

$T_{прогр}$ – трудомісткість розробки програми;

$l_{год}^{пр}$ – годинна ставка програміста;

$K_{зн}$ – коефіцієнт додаткової зарплати.

Таблиця 5.9 – Розрахунок трудомісткості керуючої програми

номе р опер.	Кільк ість повер хонь	Кількі сть розмі рів	Трудомісткість розробки, н/год.				
			операц. карти	керуючої програми	карти налагод- жування інструменту	карти кодув ання	Σ
Проектний							
005	8	12	4,69	30	0,8		35,49
Σ							35,49

$$S_n^{np} = 35,49 \cdot 24,062 \cdot 1,48 = 1263 \text{ грн.}$$

$$C_{en}^{np} = 0,6 \cdot 1263 = 758 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.10 – Розрахунок технологічної собівартості

N з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		базовий варіант	проектний варіант
1	2	3	4
I. Змінні витрати			
1	Заробітна плата	1,65	0,78
2	Силова енергія	0,318	0,17
3	Ремонт обладнання	0,0568	0,046
4	Допоміжні матеріали	0,19	0,16
5	Амортизація універсального обладнання	0,666	1,12
6	Експлуатація приміщення	0,0028	0,001
	Σ	2,884	2,27
II. Постійні витрати			
1	Налагоджування обладнання	2058	484
2	Спеціальне оснащення	-	758
	Σ	2058	1242
	Технологічна собівартість	47337	36881

$$C_{тех}^{\delta аз} = 2,884 \cdot 15700 + 2058 = 47337 \text{ грн.}$$

$$C_{тех}^{np} = 2,27 \cdot 15700 + 1242 = 36881 \text{ грн.}$$

Розрахунок критичної програми

$$N_{кр} = \frac{b^{np} - b^{\delta аз}}{a^{\delta аз} - a^{np}}$$

$$N_{кр} = \frac{1242 - 2058}{2,884 - 2,27} = -1329 \text{ шт.}$$

$$C_{кр} = a_{np} \cdot N_{кр} + b_{np}$$

$$C_{кр} = 2,27 \cdot (-1329) + 1242 = -1775 \text{ грн.}$$

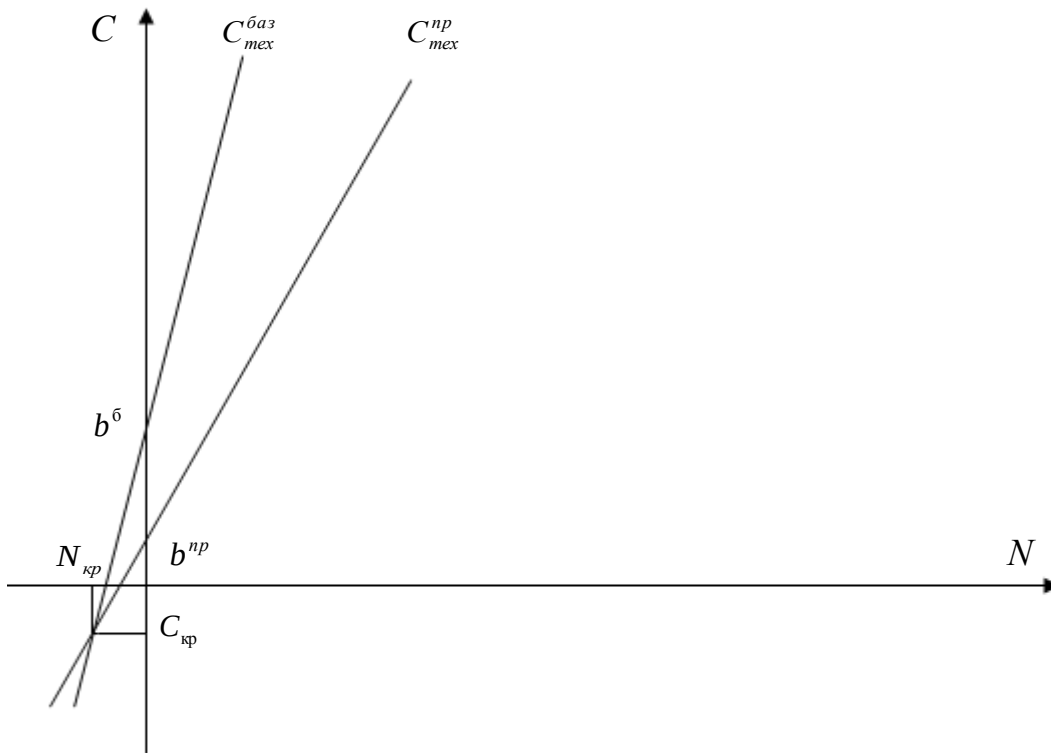


Рисунок 5.2 – Графік порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі корпус за варіантами.

Річний економічний ефект:

$$E_{річн} = (C_{тех}^{\delta аз} + E \cdot K^{\delta аз} \cdot \eta^{\delta аз}) - (C_{тех}^{np} + E \cdot K^{np} \cdot \eta^{np})$$

$K^{\delta аз}$, K^{np} – капіталовкладення за варіантами;

E – нормативний коефіцієнт окупності капіталовкладень;

$\eta^{\bar{a}z}$, η^{np} - коефіцієнт завантаження обладнання;

$$K = K_{\bar{y}d} + K_{obl} + K_{ocn}$$

$$K_{\bar{y}d}^{\bar{a}z} = 4 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 810 = 518400 \text{ грн.} \quad K_{\bar{y}d}^{np} = 1 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 810 = 129600 \text{ грн.}$$

$$K_{obl}^{\bar{a}z} = 125000 + 135000 + 137000 + 350000 = 747000 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{obl}^{np} = 700000 \text{ тис. грн.}$$

$$K_{ocn}^{\bar{a}z} = 0,07 \cdot 747000 = 52290 \text{ грн.} \quad K_{ocn}^{np} = 0,07 \cdot 700000 = 49000 \text{ грн.}$$

$$\eta^{\bar{a}z} = 0,14 \quad \eta^{np} = 0,14$$

$$K^{\bar{a}z} = 518400 + 747000 + 52290 = 1317690 \text{ грн.}$$

$$K^{np} = 129600 + 700000 + 49000 = 878600 \text{ грн.}$$

$$E_{p\bar{c}h} = (C_{tex}^{\bar{a}z} + E \cdot K^{\bar{a}z} \cdot \eta^{\bar{a}z}) - (C_{tex}^{np} + E \cdot K^{np} \cdot \eta^{np})$$

$$E_{p\bar{c}h} = (47337 + 0,16 \cdot 1317690 \cdot 0,14) - (36881 + 0,16 \cdot 878600 \cdot 0,14) = \\ = 57173 \text{ грн.}$$

Додаткових капітальних вкладень немає.

Висновок: проектний варіант технологічного процесу виготовлення корпусу є економічно вигідним.

Висновки

У кваліфікаційній роботі на тему: “Розробка технології обробки корпусу насоса НМШ25-00-01 з дослідженням зносу абразивних зерен” виконаний аналіз діючих на базовому підприємстві технологічного процесу, на основі чого запропоновані зміни. У відповідності до існуючого типу виробництва було запропоновано заміна універсальних верстатів, напівавтоматів та агрегатних на сучасні обробні центри з ЧПК. Для запропонованого технологічного процесу були розроблені структура та зміст операцій, вибране обладнання, визначені режими різання і технічно обґрунтована норма часу. Також були розроблені конструкції затискного пневматичного пристрою та контрольного пристрою індикаторного типу.

В дослідній частині були розглянуті питання механізму зносу ріжучих кромок абразивних зерен. Встановлено, що залежно від оброблюваного й абразивного матеріалів та умов оброблення матеріал абразивних зерен у процесі різання зазнає адгезійного, абразивного, дифузійного зношення, а також комбінованих видів зношення, коли зношування абразивного матеріалу спричинено одночасним перебігом кількох видів зношення.

Досліджено питання крихкої міцності абразивних зерен, зокрема, що зношування зерен під час шліфування зрештою визначається умовною напругою різання і стійкістю ріжучих крайок у динамічних умовах. Проведено дослідження працездатності різних марок алмазних зерен під час мікрорізання з глибиною 10 мкм і швидкістю 30 м/с, $a_z = 0,4$ мкм. Визначено динамічне середнє руйнівне навантаження P_d . Встановлено взаємозв'язок між напруженістю процесу, міцністю зерен і їхнім зносом.

Усі прийняті в проекті технологічні рішення обґрунтовані техніко-економічними розрахунками.

Література

1. Горбачевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения.-Мн.:Выш. Школа, 1983.
2. Машиностроительные материалы: Краткий справочник/В.М. Чуенков, Н.Ф. Бессонова, Д.А. Вейс.-3-е изд. Переработанное и дополненное.-М.: Машиностроение, 1980.
3. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: Учебное пособие/П.А. Руденко-К.: Выща школа, 1991.
4. Методические указания к выполнению курсового проекта по технологии машиностроения для студентов специальности 0501-Кировоград. КИСХМ-1986.
5. Справочник технолога-машиностроителя. Т1.,2.-М.: Машиностроение, 1982.
6. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя.-М.: Издательство стандартов, 1992.
7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технологического нормирования работ на металлорежущих станках.-М.: Машиностроение, 1974.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть II-Москва.: Экономика, 1990.
9. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т./Под редакцией Б.Н. Вардашкина, -М.: Машиностроение, 1984.
10. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник.-2-е изд., перераб. и доп. -М.: Машиностроение, 1990.
11. Справочник технолога-машиностроителя. /Под редакцией А.Г. Косиловой.- М.: ГНТИ машиностроительной литературы, 1956.

12. Справочник металлиста. Т.3. Под редакцией А.Н.Малова/Е.Д. Баклунов, А.К. Белопухов и др. –М.: Машиностроение, 1977.
13. Справочник технолога-машиностроителя. Т.1. Под ред. А.Н. Малова/ В.Н. Гриднев, В.В. Достачов и др. –М.: Машиностроение, 1972.
- 14.Маталин А.А., Френкель Б.И. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением. – Л., Изд-во Ленингр.универс., 1977.
- 15.Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. – М.: Машиностроение, 1984.
- 16.Г.Г. Иноземцев, А.К. Сидоренко Влияние геометрических параметров червячных фрез и технологических факторов на волнистость. Исследование зубообрабатывающих станков и инструментов. Саратов, 1981 – С. 21-33.
17. Ординарцев А.А. Справочник инструменталиста. – М.: Машиностроение
- 18.Технологическое оборудование ГПС/ Под общ.ред. А.И.Федотова и О.Н.Миляева. – Л.: Политехника, 1991 – 320с.
- 19.Павленко І.І., Мажара В.А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. – 392с.
- 20.Павленко І.І. Структура промислових роботів. Кіровоград: КІСМ, 1998. – 98с.
- 21.Організаційно-планові та економічні розрахунки при проектуванні дільниці (цеху) механічної обробки.: Методичні вказівки до курсової роботи та дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202. Укл. Л.В. Лебедева, І.В. Скляренко-Кіровоград: КДТУ, 2000.
- 22.Охрана труда в электроустановках: Учеб.для вузов/ Под ред. Б.А.Князевского. – М.:Энергоатомиздат, 1986.