

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)
(ступінь вищої освіти)

на тему «Забезпечення якості виготовлення деталей опорних вузлів
авіадвигунів»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

МИХЄЄВА І.А.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри С.І. ДЯДЯ
« » 2023 року

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

МИХЄЄВА Ірина Анатоліївна
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Забезпечення якості виготовлення деталей опорних вузлів авіадвигунів»

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

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

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення кришка переднього підшипника; річна програма випуску N=1700 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина. 2. Конструкторська частина. 3. Розрахунок деталі на міцність. 4. Автоматизація. Високопродуктивний токарний верстат з ЧПК GOODWAY GCL-2B – забезпечення високої стабільності інтенсивного різання та прецизійного точіння. 5. Спеціальне завдання. Новий підхід до швидких та автоматизованих вимірювань залишкових напружень. 6. Економічний розрахунок. 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	19.09.2023	
2	Конструкторська частина	03.10.2023	
3	Автоматизація. Високопродуктивний токарний верстат з ЧПК GOODWAY GCL-2B – забезпечення високої стабільності інтенсивного різання та прецизійного точіння	15.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	18.10.2023	
5	Спецзавдання. Новий підхід до швидких та автоматизованих вимірювань залишкових напружень	27.10.2023	
6	Економічний розрахунок.	07.11.2023	
7	Охорона праці	14.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	22.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	08.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	12.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

Ірина МИХЄЄВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Наталя ГОНЧАР

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 107 с.; 36 рис.; 30 таб.; 2 дод.; 19 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЗАЛИШКОВІ НАПРУЖЕННЯ, КРИШКА ПЕРЕДНЬОГО ПІДШИПНИКА, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, МІЦНІСТЬ, РЕНТГЕНІВСЬКА ДИФРАКЦІЯ

Об'єкт дослідження – кришка переднього підшипника.

Мета магістерської роботи – забезпечити якість виготовлення деталі опорного вузла авіадвигуна.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

У магістерському проєкті представлено результати роботи, спрямованої на забезпечення якості виготовлення деталі опорного вузла авіадвигуна, а саме «Кришки переднього підшипника». Проведено детальний аналіз технологічного маршруту обробки, включаючи аналіз технологічності, проєктування маршруту обробки поверхонь та розрахунок режимів різання. Конструкторська частина охоплює проєктування робочого пристосування та контрольного пристрою. В розділі про автоматизацію детально розглядається токарний верстат з ЧПК GOODWAY GCL-2B, його технічні характеристики та особливості технологій обробки. Також висвітлено спецзавдання, зокрема використання рентгенівської дифракції для контролю напружень та автоматизовані вимірювання за допомогою μ -X360s. Завершальний розділ присвячений розрахунку деталі на міцність, включаючи визначення напружено-деформованого стану, розрахунок допустимих навантажень та рекомендації щодо оптимізації геометрії. Проєкт також включає оцінку очікуваної економічної ефективності та розглядом питань охорони праці, завершуючи комплексний аналіз розробки та заходів.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	12
1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	23
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	27
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	28
1.6 Розрахунок режимів різання	34
1.7 Технічне нормування операцій	41
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	44
1.8.1 Розробка токарної операції 020	44
1.8.2 Розробка свердлильної операції 060	47
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	49
2.1 Проєктування робочого пристрою	49
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	49
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	49
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	51
2.2 Проєктування контрольного пристосування	54
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ	56
3.1 Загальні відомості про токарний верстат з ЧПК GOODWAY GCL-2B	56
3.2 Особливості технологій обробки	58

3.3 Технічні характеристики верстату	61
4 СПЕЦЗАВДАННЯ	62
4.1 Загальні відомості про рентгенівську дифракцію, як метод неруйнівного контролю для визначення залишкових напружень	62
4.2 Застосування методу в польових умовах.....	64
4.3 Автоматизовані вимірювання за допомогою μ -X360s	67
4.4 Основний принцип вимірювання	70
5 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ.....	72
5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	72
5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	77
5.3 Рекомендації щодо оптимізації геометрії деталі	79
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	80
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	95
ВИСНОВОК.....	102
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	104
ДОДАТОК А. Специфікація робочого пристосування	106
ДОДАТОК Б. Специфікація контрольного пристосування.....	107

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

FEM	Метод кінцевих елементів (Finite Element Method)
LED	Light Emitting Diode
ЗОТС	Змащувально-охолоджувальні технологічні середовища
КВМ	Коефіцієнт використання матеріалу
КГШП	Кривошипний гарячештампувальний прес
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
НДС	Напружено–деформований стан
ПЛК	Програмований логічний контролер
ППТЯ	Послідовність показників точності і якості
ПФЗ	Пластини для формування зображень
САПР	Система автоматизованого проєктування і розрахунку
ТП	Технологічний процес
ЧПК	Числове програмне керування

ВСТУП

Прогрес у сфері машинобудування в значній мірі залежить від розвитку сучасної техніки. Успішна реалізація конструктивних рішень залежить від використаної технології. При проектуванні технологічних процесів має бути забезпечено забезпечення якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна, підвищення продуктивності праці та якості виробу, одночасно знижуючи витрати на його виготовлення. Результати вирішення цих задач визначаються належним створенням процесу обробки, використаним устаткуванням, інструментами та оснасткою, а також обґрунтованими припусками на обробку і допусками операційних розмірів.

Вибір припусків та розрахунки операційних розмірів мають велике значення, оскільки ці етапи передують загальній послідовності завдань при проектуванні технологічного процесу. Згідно загальних правил розробки технологічних процесів, комплекс завдань розмірного аналізу включає такі важливі етапи, як вибір виду базової заготовки, методу її отримання і технологічних баз, розробка технологічного маршруту обробки, а також вибір засобів технологічного оснащення.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Кришка переднього підшипника» (рис.1.1) є однією зі складових у вузлі авіаційного турбовентиляторного двигуна Д-136. Всередину деталі, а саме в отвір $\varnothing 37k6$ встановлюється підшипник. Один з канавочних пазів слугує для потрапляння змащувальної рідини, інший аналогічний паз для встановлення в нього стопорної шайби. Бокові 6 отворів на фланці деталі необхідні для приєднання кришки до фланцю суміжної деталі. Отвір Д розташований на 57° потрібен для встановлення деталі у визначеному положенні. Аналогічний отвір але в дзеркальному вигляді виготовляється у суміжній деталі для їх взаємного розташування. Таке технологічне рішення дає можливість запобіганню провороту цих деталей. Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК4-1 з якого виготовлена деталь наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад, %, алюмінієвого сплаву АК4-1 [1]

Fe	Si	Mn	Ni	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Домішки
0,8 – 1,4	до 0,35	до 0,2	0,8 – 1,4	до 0,1	0,02 – 0,1	93,05 – 95,28	1,9 – 2,7	1,2 – 1,8	до 0,3	інші, кожна 0,05; всього 0,1

Питома вага дорівнює 2800 кг/м^3 . Температура плавлення металу дорівнює $700-750^\circ\text{C}$. Твердість матеріалу за Брінеллем становить 109-117 МПа. Тимчасовий розтяг розриву дорівнює 380-400 МПа (залежить від товщини і маси заготовки). Межа плинності дорівнює 280-310 МПа. Ударна в'язкість дорівнює $0,2 \text{ кДж/м}^2$. Нормальний модуль пружності становить 72 ГПа. Відносне подовження після розриву становить 6%. Теплопровідність дорівнює $146 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$. Коефіцієнт температурного лінійного розширення близько 21 (1/Град). Питома теплоємність матеріалу дорівнює 797-800 Дж/(кг·град). Питомий електричний опір становить 55-60 Ом·м.

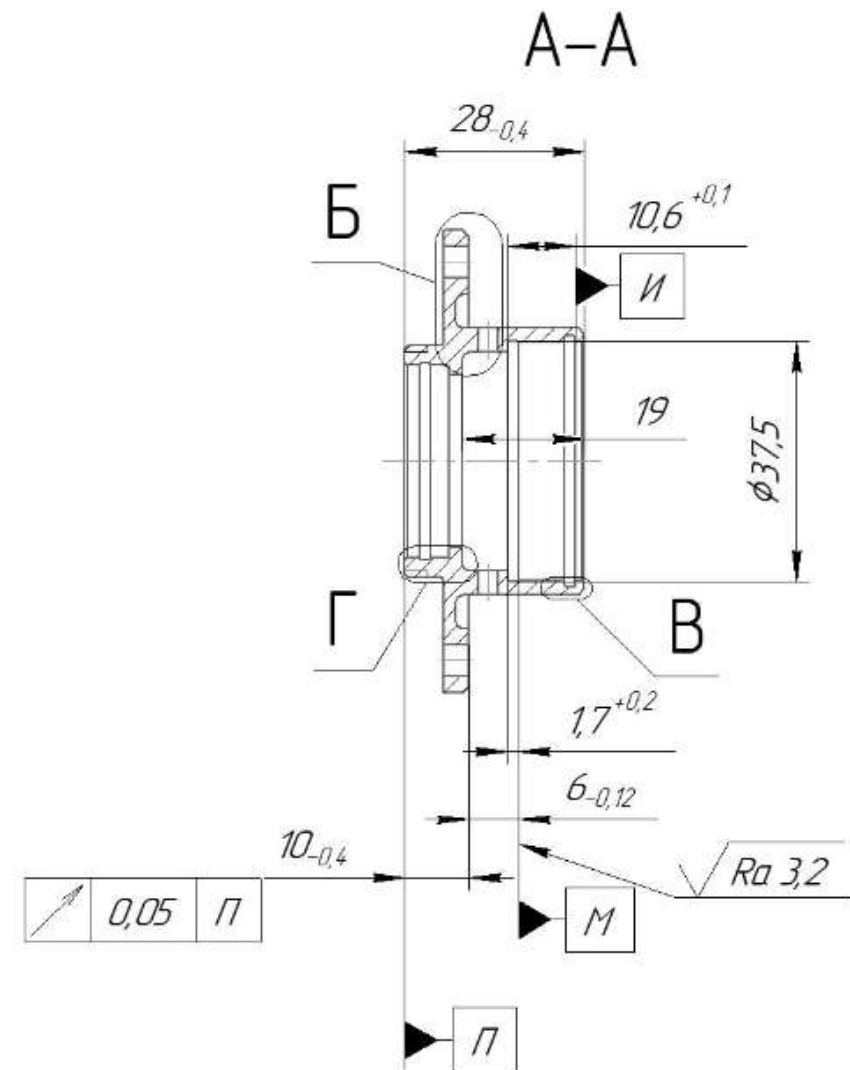
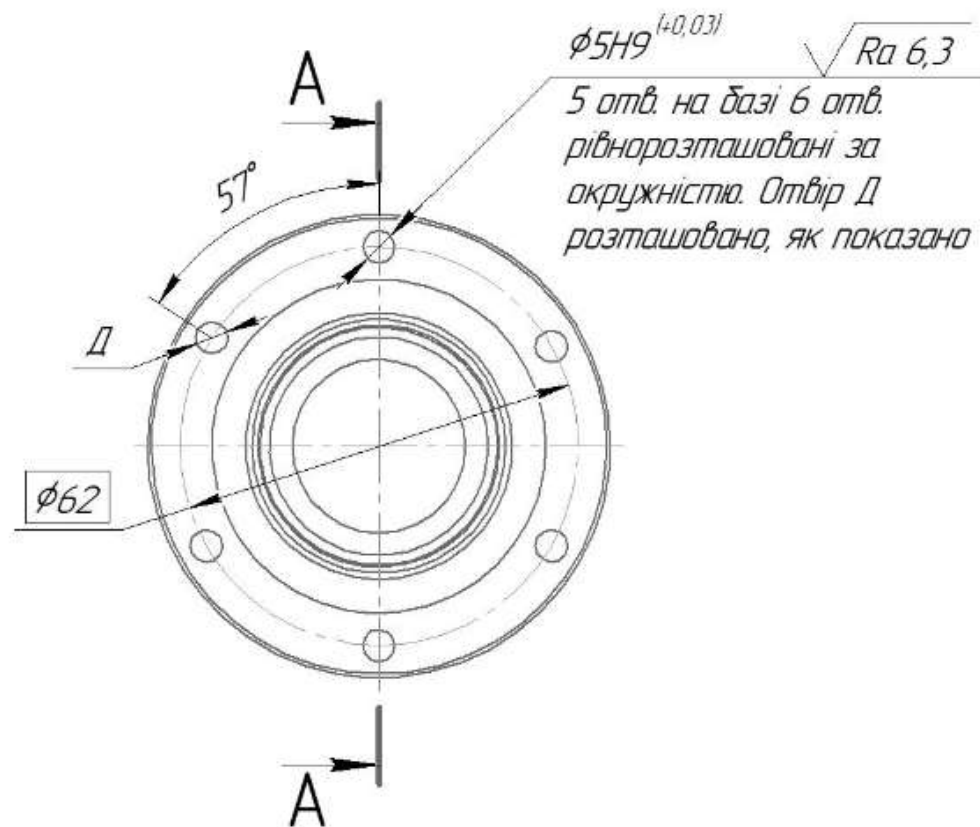


Рисунок 1.1– Ескіз деталі «Кришка переднього підшипника»

Характеристика алюмінію АК4-1: жароміцні сплави типу АК4-1 системи Al-Cu-Mg-Fe-Ni за хімічним і фазовим складами дуже близькі до дуралюмін, але замість марганцю в якості легуючих елементів містять залізо і нікель.

Сплави добре деформуються у гарячому стані; корозійна стійкість є задовільною. Для захисту від корозії деталі піддаються анодуванню, оксидуванню та покриваються лакофарбовими матеріалами.

Сплави задовільно з'єднуються точковим та шовним зварюванням, добре обробляються різанням.

Сплави відрізняються високою зносостійкістю (низький коефіцієнт тертя).

Сплав АК4-1 використовується виготовлення деталей реактивних двигунів (крильчасті насоси, колеса, компресори, парканні, диски, лопатки).

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Форма організації виробничого процесу дільниці (в цеху) визначається, зазвичай, типом виробництва, тобто. ступенем сталості завантаження робочих місць, лінії, ділянки, цеху, заводу однією і тією самою роботою. Розрізняють три типи виробництва: масовий, серійний, одиничний.

Правильне визначення типу виробництва дільниці дозволяє вибрати ефективну форму організації. Основою для такого визначення є програма випуску, вид виробу та його маса.

Беручи до уваги масу деталі $m = 0,052$ кг та її річну програму випуску $N = 1700$ штук, тип виробництва – дрібносерійне [2, с.66].

Форма організації технологічних процесів виготовлення виробу залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу, розташування технологічного обладнання, кількості виробів та напрямків їх

руху в процесі виготовлення [2].

Під змінними потоковими лініями розуміють такі лінії, які протягом певного часу зайняті обробкою однієї деталі або складання одного вузла, потім здійснюється деяка переналагодження обладнання для обробки іншої деталі або складання іншого вузла (і далі - третьої, четвертої, п'ятої деталі або вузла). І ритм роботи потоку при переході від деталі до деталі або від виробу до виробу в цьому випадку змінюється та розраховується для кожної деталі окремо. Організація таких ліній заснована на доборі деталей, що мають подібний або схожий технологічний маршрут, але при цьому різні операційні норми часу. Це переважно деталі із близькими конструктивними формами [2].

Для групи таких деталей, зазвичай, організують одну поточкову лінію. При цьому деталі запускають в обробку партіями з певним чергуванням. Організація змінних поточкових ліній потребує особливо ретельного конструювання оснастки. Економічна обґрунтованість створення таких ліній залежить значною мірою від того, наскільки вдається здійснювати ними зміну деталей без значних витрат часу на переналагодження устаткування [2].

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Виконую економічне обґрунтування одного зі способів одержання заготовки для кришки підшипника. Для порівняння обрано 2 види отримання заготовок:

- заготовка, виконана на кривошипному гарячештампувальному пресі КГШП (рис. 1.2);
- заготовка, виконана на молотах (рис. 1.4).

Для розрахунку мас заготовок обрала систему автоматизованого проєктування і розрахунку (САПР) Siemens NX. Звідси маса заготовки КГШП

$m_{\text{КГШП}}=0,154 \text{ кг}$ (рис.1.3) та маса заготовки виконаної на пресах $m_{\text{МОЛОТИ}}=0,168 \text{ кг}$ (рис.1.5).

$\sqrt{Ra\ 50}$

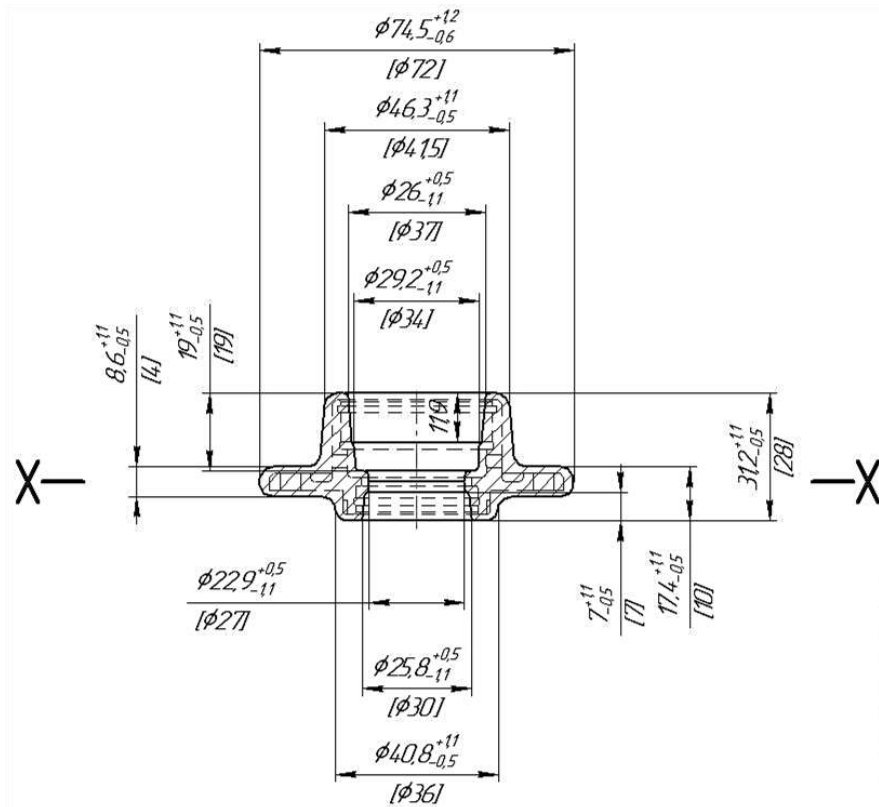


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки «Кришка переднього підшипника» на КГШП

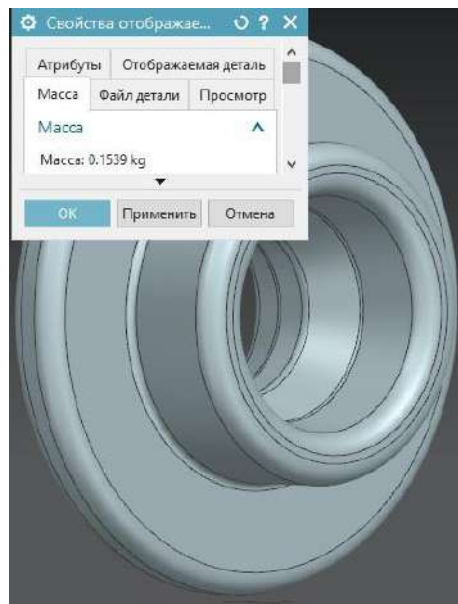


Рисунок 1.3 – Модель заготовки «Кришка переднього підшипника» на КГШП

Для визначення вартості, виготовлення заготовок кожним із способів, розраховують її за формулою (1.1) [3, с.5]:

$$B = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_P - (Q - q) \frac{B_{отх}}{1000} \quad (1.1)$$

де Q – маса кожної із заготовок, кг;

q – маса деталі, кг;

B_6 – базова вартість виготовлення 1 т заготовок, грн;

K_T, K_M, K_C, K_3, K_P – коефіцієнти, які враховують відповідно клас точності матеріалу, групу складності, масу заготовки, програму випуску;

$B_{отх}$ – вартість 1 т стружки, грн;

$$B_{КГШП} = \frac{3150}{1000} \cdot 0,154 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,14 \cdot 1,29 \cdot 1 - (0,154 - 0,052) \cdot \frac{1770}{1000} = 0,69 \text{ грн.}$$

$$B_{МОЛОТИ} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,168 \cdot 0,9 \cdot 1,22 \cdot 1,14 \cdot 1,29 \cdot 1 - (0,168 - 0,052) \cdot \frac{1770}{1000} = 0,93 \text{ грн.}$$

Для визначення коефіцієнту використання матеріалу (КВМ) заготовки використовують формулу (1.2):

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.2)$$

де q, Q – маса однієї деталі та заготовки відповідно, кг.

$$\eta_{КГШП} = \frac{0,154}{0,052} = 0,34$$

$$\eta_{МОЛОТИ} = \frac{0,168}{0,052} = 0,31$$

Розрахункові результати у таблиці 1.2.

Тому, що вартість однієї заготовки виконаної на КГШП нижча ніж заготовка виконана на молотах, необхідно прийняти варіант виготовлення на

КГШП, КВМ якої також вище.

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники за варіантами отримання заготовок.

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Варіант виготовлення	
			КГШП	Молоти
Маса заготовки	Q	кг	0,154	0,168
Базова вартість 1 т заготівок	Сб	грн.	3150	3500
Коефіцієнти	K_T	-	1	0,9
	K_M	-	1,22	1,22
	K_B	-	1,29	1,29
	K_{Π}	-	1	1
	K_C	-	1,14	1,14
Вартість 1 т стружки	$S_{отх}$	грн.	1770	1770
Вартість 1 шт. заготовки	С	грн.	0,69	0,93
КВМ	η_1	-	0,34	0,31

Для визначення річного заощадження вартості виготовлення заготовок використовую формулу (1.3):

$$E_B = (B_2 - B_1)N \quad (1.3)$$

де B_1 – вартість 1 заготовки, що виготовлена на КГШП, грн.;

B_2 – вартість 1 заготовки, що виготовлена на молотах, грн;

N –річна програма випуску заготовок, шт.

$$E_B = (0,74 - 0,69) \cdot 1700 = 85 \text{ грн.}$$

Для визначення річного заощадження матеріалу використовую формулу (1.3):

$$M = \frac{q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \eta_2} \cdot N \quad (1.4)$$

$$M = \frac{0,052(0,34-0,31)}{0,34 \cdot 0,31} \cdot 1700 = 23,8 \text{ кг}$$

1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Технологічність конструкції визначається, як комплекс характеристик виробу, що забезпечують його ефективне виробництво, обслуговування та ремонт з використанням найбільш продуктивних технологій у порівнянні з аналогічними конструкціями для тієї ж мети при однакових умовах виробництва та експлуатації.

Підвищення KBM (коефіцієнт використання матеріалу) при проєктуванні досягається за рахунок розробки конструкцій, які дозволяють використовувати економічні заготовки. Для цього можуть застосовуватись пресовані зварні профілі для фланців корпусів і днища, точне лиття і штампування з механічно необробленими поверхнями, а також заготовки, штамповані з листа без необхідності в подальшій механічній обробці і т.д. Такі інженерні рішення дозволяють максимізувати використання матеріалу, знижуючи витрати і поліпшуючи загальну продуктивність виробництва.

Зазвичай, у машинобудуванні, середній KBM становить близько 0,7 до 0,75. Це означає, що лише приблизно 70% - 75% матеріалу, який використовується при виготовленні, дійсно знаходиться в кінцевому виробі. Заходи щодо підвищення KBM, такі, як ефективніші конструкції та оптимізація процесів виробництва, допомагають зменшити втрати матеріалу та покращити економічні показники підприємства.

KBM даної деталі $\eta = 0,34$, відповідно деталь дійсно не є технологічною, оскільки це значення досить низьке.

Для розрахунку кількісної оцінки необхідно використовувати формулу:

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

де $K_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікованих елементів деталі;

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

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

Для розрахунку коефіцієнту уніфікації необхідно використовувати формулу:

$$K_{\text{ун}} = \frac{n_{\text{ун}}}{n_{\Sigma}} \quad (1.6)$$

де $n_{\text{ун}}$ – кількість уніфікованих елементів;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

Для розрахунку коефіцієнту точності необхідно використовувати формулу:

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

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

$$A_{\text{сер}} = \frac{15 \cdot n_1 + 14 \cdot n_2 + \dots + 6 \cdot n_n}{\sum n} \quad (1.8)$$

де $n_1, \dots, n_n$ – кількість розмірів, які мають даний квалітет;

$\sum n$ – загальна кількість усіх розмірів.

Для розрахунку коефіцієнту шорсткості необхідно використовувати формулу:

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{B_{сер}} > 0,6 \quad (1.9)$$

де $K_{ш}$ – коефіцієнт шорсткості деталі;

$B_{сер}$ – середній квалітет шорсткості деталі; визначаємо коефіцієнт за наступною формулою (1.10):

$$B_{сер} = \frac{K_4 \cdot n_1 + K_5 \cdot n_2 + \dots + K_7 \cdot n_n}{\sum_n} \quad (1.10)$$

де $K_{4...7}$ – клас шорсткості;

$n_1 \dots n_n$ – кількість розмірів, які відповідають даному клас шорсткості;

$\sum_n$ – кількість усіх розмірів.

Проводжу якісну оцінку деталі (рис. 1.6), яка має такі характеристики:

1. Геометрична форма деталі складна і відповідає класу корпусів.
 2. Деталь є тонкостінною.
 3. Дозволяє простановку розмірів відповідно розмірним зв'язкам між конструкторськими і технологічними базами та їх суміщення.
 4. Не допускає застосування типових технологічних процесів.
 5. Має наскрізні отвори.
 6. Деталь має нормальну точність.
 7. Жорсткість деталі достатня і не обмежує режими різання.
 8. Забезпечує вільний доступ інструменту до оброблюваних поверхонь.
- Здійснюю кількісну оцінку з використанням вихідних даних з таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналізування деталі на технологічність

№розм	Розмір	Квалітет	Шорсткість	Уніфікація
1	2	3	4	5
Діаметральні розміри				
1	$\phi 37,5$	H14	12,5/3	—
2	$\phi 30,6^{+0,2}$	H14	12,5/3	—
3	$\phi 30^{+0,033}$	H8	3,2/5	+
4	$\phi 27$	H14	12,5/3	+
5	$\phi 62$	h14	12,5/3	+
6	$\phi 72_{-0,033}$	h7	6,3/4	+
7	$\phi 36_{-0,16}$	h11	12,5/3	+
8	$\phi 34$	H14	12,5/3	+
9	$\phi 41,5_{-0,02}$	h11	12,5/3	—
10	$\phi 52$	H14	12,5/3	+
11	$\square 37^{+0,018}_{+0,002}$	k6	1,6/6	+
12	$\phi 39$	H14	12,5/3	+
13	M36×1	H14	12,5/3	—
14	$\phi 5^{+0,03}$	H9	6,3/4	+
15	$\phi 3$	H9	6,3/4	—
Лінійні розміри				
18	$28_{-0,4}$	h14	12,5/3	+
19	$10,6^{+0,1}$	H14	12,5/3	—
20	$10_{-0,4}$	h14	12,5/3	+
21	$7 \pm 0,1$	H14	12,5/3	+
22	3,5	h14	12,5/3	+
23	4	h6	1,6/6	+
24	3	h14	12,5/3	+
25	2	h6	1,6/6	+
26	$6_{-0,12}$	H14	12,5/3	+
27	$7^{+0,2}$	h14	12,5/3	+
28	19	H14	12,5/3	+
29	$1,7^{+0,2}$	H14	12,5/3	—
30	2,3	H14	12,5/3	—
31	$1,7^{+0,2}$	H14	12,5/3	—
Кутові розміри				
32	57°	h14	12,5/3	—

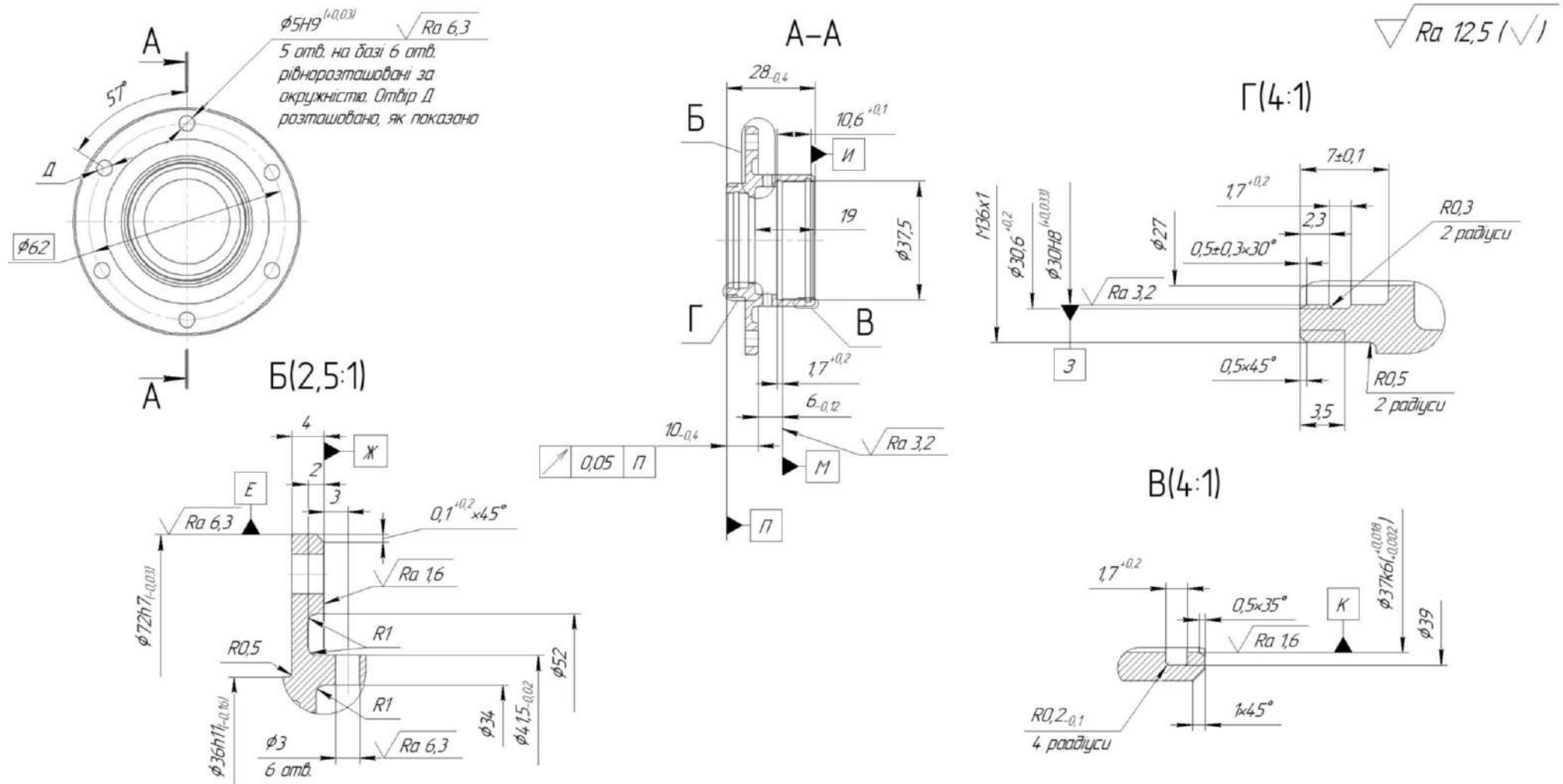


Рисунок 1.6 – Технологічне позначення поверхонь деталі «Кришка переднього підшипника»

Для розрахунку коефіцієнту уніфікації використовую формулу (1.4):

$$K_{\text{ун}} = \frac{20}{30} = 0,66 \geq 0,6$$

Після здійснення розрахунку було отримано висновок, що деталь є технологічною.

Для розрахунку середнього квалітету точності використовую формулу (1.8) та (1.7) для розрахунку коефіцієнту точності:

$$A_{\text{сер}} = \frac{14 \cdot 21 + 11 \cdot 2 + 9 \cdot 2 + 8 \cdot 1 + 7 \cdot 1 + 6 \cdot 3}{42} = 11,63$$

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{11,63} = 0,91 > 0,6$$

Після здійснення розрахунку було отримано висновок, що деталь є технологічною.

Для розрахунку середнього квалітету шорсткості використовую формулу (1.10) та (1.9) для розрахунку коефіцієнту шорсткості:

$$B_{\text{сер}} = \frac{4 \cdot 29 + 5 \cdot 2 + 6 \cdot 8 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 1}{42} = 3,46$$

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{3,46} = 0,71 > 0,6$$

Після здійснення розрахунку було отримано висновок, що деталь є технологічною.

Для розрахунку загального рівня технологічності використовую формулу (1.3)

$$K_{\text{тех}} = \frac{0,66+0,91+0,76}{3} = 0,76 > 0,6$$

Так, згідно з проведеними розрахунками, можна зробити такий висновок: деталь задовольняє всім коефіцієнтам кількісної оцінки технологічності конструкції, але не відповідає параметрам якісної оцінки. Отже, можна прийняти рішення, що деталь не відповідає стандартам технологічності.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) представляє собою послідовний набір технологічних кроків для обробки окремої поверхні заготовки, що необхідний для досягнення встановлених стандартів якості цієї поверхні на деталі. Ця методологія є ключовою технологічною основою для процесів механічної обробки, оскільки включає фізико-механічні, хіміко-термічні та інші процеси впливу на поверхні заготовки.

МОП для циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 72h7_{(-0,03)}$.

Інформація про показники цієї поверхні в деталі та заготовці:

$Td_3 = 1800$ мкм;

$Ra_3 = 50$ мкм.

Квалітет - IT 16.

Дані деталі:

$Td_d = 0,03$ мм = 3 мкм;

$Ra_d = 6,3$ мкм.

Квалітет - h7.

Визначаю уточнення за показником допуску [3, с. 24]:

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{Td_{\text{заг}}}{Td_{\text{дет}}}; \quad (1.11)$$

де $Td_{\text{заг}}$ – допуск на задану заготовку, мкм;

$Td_{\text{дет}}$ – допуск на задану деталь, мкм.

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{1800}{30} = 60$$

Для розрахунку уточнення за шорсткістю використовую формулу:

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{Ra_{\text{заг}}}{Ra_{\text{дет}}}; \quad (1.12)$$

де $Ra_{\text{заг}}$ – шорсткість на дану заготовку, мкм;

$Ra_{\text{дет}}$ – шорсткість на дану деталь, мкм.

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{50}{6,3} = 7,93$$

Для розрахунку кількості переходів використовую формулу (1.13) [3, с. 25]:

$$K_{\text{расч}} = 2 \cdot \lg \varepsilon_{oTd} \quad (1.13)$$

$$K_{\text{расч}} = 2 \cdot \lg 60 = 3,55$$

Прийнято $K=3$.

Визначення різниці квалітетів, їх розподілення та ППТЯ (послідовність показників точності і якості):

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 7 = 9 = 4 + 3 + 2$$

ППТЯ за точністю: $IT16 \rightarrow T/O \rightarrow h12 \rightarrow h9 \rightarrow h7$

за шорсткістю: $Ra 50 \rightarrow T/O \rightarrow Ra 25 \rightarrow Ra 12,5 \rightarrow Ra 6,3$

Перевірка:

$$\varepsilon_{oTd} \leq \Pi \varepsilon_{iTd}$$

$$60 \leq 60 \text{ вірно}$$

$$\varepsilon_{oRa} \leq \Pi \varepsilon_{iRa}$$

$$7,93 \leq 7,93 \text{ вірно}$$

Нижче наведено результати розрахунку у таблиці 1.4. Виконано перевірку, і МОП показав задовільний результат.

МОП для циліндричної внутрішньої поверхні $\emptyset 37K6^{(+0,018}_{+0,002})$.

Інформація про показники цієї поверхні в деталі та заготовці:

$$Td_3 = 1800 \text{ мкм};$$

$$Ra_3 = 50 \text{ мкм}.$$

Квалітет - IT 16.

Дані деталі:

$$Td_d = 0,03 \text{ мм} = 3 \text{ мкм};$$

$$Ra_d = 6,3 \text{ мкм}.$$

Квалітет - h7.

Визначаю уточнення за показником допуску (1.11):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{1600}{16} = 100$$

Для розрахунку уточнення за шорсткістю використовую формулу (1.12):

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{50}{1,6} = 31,25$$

Для розрахунку кількості переходів використовую формулу (1.13):

$$K_{расч} = 2 \cdot \lg 100 = 4$$

	Показ.,	Уточн.	Кіл. пер.	Різн. пок. ППТЯ	i	Метод обработки		Td, мкм	Ra, мкм	ε_{iTd}	ε_{iRa}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Внутр.цил.пов. $\varnothing 37K6^{+0,018}_{-0,002}$	Td Ra	100 31,25	4	$16-6=10==4+2+2+2$	1	Загот.	IT16	1600	50	—	—
					2	T/O	—	—	—	—	—
					3	Розточ.чорн.	H12	250	12,5	6,4	4
					4	Розточ н/ч .	H10	100	6,3	2,5	1,98
					5	Розточ. чист.	H8	39	3,2	2,56	1,96
					6	Шліф.	K6	16	1,6	2,43	2
		Уточнення								100	31,25
Зовн. цил.пов. $\varnothing 728h7_{(-0,03)}$	Td Ra	60 7,93	3	$16-7=9==4+3+2$	1	Загот.	IT16	1800	50	—	—
					2	T/O	—	—	—	—	—
					3	Точ.чорн.	h12	300	25	6	2
					4	Точ н/ч .	h9	74	12,5	4,05	2
					5	Точ. чист.	h7	30	6,3	2,46	1,98
		Уточнення								60	7,93

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Під час створення технологічного процесу (ТП) одні з основних завдань технології полягають у забезпеченні якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна та ефективного зниження собівартості виготовлення деталі. Технологічні основи ТП включають в себе визначення оптимальних МОП, а організаційні основи - створення послідовності операцій у маршруті виготовлення деталі (МВД).

Для забезпечення якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна, в 025 токарну операцію з ЧПК було об'єднано 4 токарних операції з ЧПК, а саме дві операції точіння зовнішніх поверхонь деталі та дві внутрішніх. Також було замінено обладнання на даній операції, у вихідному варіанті ТП, 4 токарних операції з ЧПК виконувалися на 4^{box} верстатах 16A35 з ЧПК, а в новому розробленому ТП на 025 токарній операції з ЧПК використовується сучасне високотехнологічне обладнання – токарний верстат GOODWAY мод. GCL-2B з ЧПК FANUC 0-iTD, що підвищує якість обробленої поверхні, за рахунок високотехнологічної револьверної головки з сервоприводом для індексації. Індиксація інструменту відбувається швидше і точніше, забезпечуючи відмінну ефективність роботи.

Окрім об'єднання механічних операції та заміни обладнання та більш сучасне та ефективне, також було впроваджено на 085 операції – анодування. В якому використовуються анодні оксидні покриття, які забезпечують електричну та теплову ізоляцію. Цей шар складається з гідратованого оксиду алюмінію, що вважається несприйнятливим до корозії. Та на цьому переваги анодування алюмінію не закінчуються. Воно також може діяти як захисне покриття від агресивних хімічних речовин, що використовуються при очищенні. Окрім стійкості до зносу та корозії, процес також покращує адгезію лакофарбових ґрунтів та клеїв, порівняно з нанесенням фарби на голі метали. Це також дуже корисно для запобігання задирок на різьбових деталях.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Визначення припусків розрахунково-аналітичним методом на розмір $\phi 72h7(-0,03)$.

Зовнішня циліндрична поверхня $\phi 72h7(-0,03)$.

МОП:

1. Заготовка IT17 ($T_{D1} = 1800$ мкм);
2. Т/О
3. Точіння чорнове $h14(T_{D3} = 300$ мкм);
4. Точіння напівчистове $h11(T_{D4} = 74$ мкм);
5. Точіння чистове $h11(T_{D5} = 30$ мкм);

Значення нормативів висоти нерівностей Rz та висоти дефектного шару h [4, табл.3.7, с.23], були додані до таблиці 1.5.

За переходами:

1. Заготовка $Rz_1 = 100$ мкм $h_1 = 200$ мкм;
2. Т/О;
3. Точіння чорнове $Rz_3 = 80$ мкм $h_3 = 50$ мкм;
4. Шліфування чорнове $Rz_4 = 50$ мкм $h_4 = 40$ мкм;
5. Шліфування чистове $Rz_5 = 40$ мкм $h_5 = 20$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень розраховується за формулою (1.14):

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (1.14)$$

де $\rho_{зм}$ – значення, що допускається щодо зміщення поверхні;

$\rho_{кор}$ – значення, що допускається щодо короблення поверхні.

Допустиме значення зміщення поверхні розраховується за

формулою (1.15):

$$\rho_{зм} = \rho_{зм\ таб} \cdot l \quad (1.15)$$

де $\rho_{зм\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні; [4, табл.3.9, с.25];

l – довжина цієї поверхні.

$$\rho_{зм} = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ мкм}$$

Допустиме значення короблення даної поверхні розраховується за формулою (1.16):

$$\rho_{кор} = \rho_{кор\ таб} \cdot l \quad (1.16)$$

де $\rho_{кор\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні; [5, табл.15, с.186];

l – довжина поверхні, мкм.

$$\rho_{кор} = 0,9 \cdot 21 = 18,9 \text{ мкм}$$

Сумарне значення просторових відхилень розраховується за формулою (1.14):

$$\rho_1 = \sqrt{21^2 + 18,9^2} = 6,705 \text{ мкм}$$

Приймаю коефіцієнти уточнення k_i за [5, табл.13, с.42];

$$\rho_3 = \rho_1 \cdot k_3 = 6,705 \cdot 0,06 = 0,402 \text{ мкм};$$

$$\rho_4 = \rho_3 \cdot k_4 = 0,402 \cdot 0,05 = 0,02 \text{ мкм};$$

$$\rho_5 = \rho_4 \cdot k_5 = 0,02 \cdot 0,04 = 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальні припуски розраховуються за формулою (1.17):

$$2z_i^{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.17)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей попередньої операції;

h_{i-1} – висота дефектного шару попередньої операції;

ρ_{i-1} – значення просторового відхилення попередньої операції;

ε_i – значення похибки установки даної операції, [5, табл.13, с.42].

$$2z_3^{\min} = 2(100 + 200 + \sqrt{6,705^2 + 100^2}) = 0,8 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\min} = 2(80 + 50 + \sqrt{0,402^2 + 80^2}) = 0,42 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(50 + 40 + \sqrt{0,02^2 + 50^2}) = 0,28 \text{ мм}.$$

Розраховуються номінальні припуски:

$$2z_3^H = 2z_3^{\min} + e_{i \text{ заг}} = 0,8 + 0,6 = 1,4 \text{ мм};$$

$$2z_4^H = 2z_4^{\min} + Td_3 = 0,42 + 0,3 = 0,72 \text{ мм};$$

$$2z_5^H = 2z_5^{\min} + Td_4 = 0,28 + 0,074 = 0,354 \text{ мм};$$

Розраховуються номінальні діаметри:

$$d_5^H = d_{\text{дет}}^H = 72 \text{ мм};$$

$$d_4^H = d_5^H + 2z_5^H = 72 + 0,354 = 72,354 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_4^H + 2z_4^H = 72,354 + 0,72 = 73,074 \text{ мм};$$

$$d_{\text{дет}}^H = d_3^H + 2z_3^H = 73,074 + 1,4 = 74,474 \text{ мм}.$$

Розраховуються максимальні припуски:

$$2z_3^{\max} = 2z_3^{\min} + Td_3 + Td_1 = 0,8 + 0,3 + 1,8 = 2,9 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max}=2z_4^{\min}+Td_4+Td_3=0,42+0,074+0,3=0,794 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max}=2z_5^{\min}+Td_5+Td_4=0,28+0,3+0,074=0,384 \text{ мм}.$$

Розраховується загальний номінальний припуск:

$$2z_o^H=\sum 2z_i^H=1,4+0,72+0,354=2,474 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$d_{\text{заг}}^H-d_{\text{дет}}^H=2z_o^H$$

$$74,474-72=2,474$$

$$2,474=2,474$$

Розрахунок припусків вважається вірним, оскільки результати перевірки збігаються.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунків припусків на обробку циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 72h7_{(-0,03)}$

	Найменування переходу	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε_i мкм	Td , мм	$2z_i^H$, мм,	d_i^H , мм	Вик. розмір d , мм	$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівельна	100	200	6,705	—	1,8	—	74,474	$74,5^{+1,2}_{-0,6}$	—	—
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Точ. чорнове	80	50	0,402	100	0,3	1,4	73,074	$73_{-0,3}$	2,9	0,8
4	Точ напівчист.	50	40	0,02	80	0,074	0,72	72,354	$72,35_{-0,074}$	0,794	0,42
5	Точ.чист.	40	20	0	50	0,03	0,354	72	$72_{-0,03}$	0,384	0,28

Визначення припусків табличним способом на розмір $\varnothing 37K6^{(+0,018}_{+0,002})$.

Циліндрична внутрішня поверхня $\varnothing 37K6^{(+0,018}_{+0,002})$

Табличні припуски [4, табл.4.11, с.48].

1. Заготовка;

2. T/O

3. Розточування чорнове $2z_3^{\min} = 2 \cdot 2,5 = 5$ мм;

4. Розточування напівчистове $2z_4^{\min} = 2 \cdot 1,3 = 2,6$ мм;

5. Розточування чистове $2z_5^{\min} = 2 \cdot 0,9 = 1,8$ мм;

6. Шліфування однократне $2z_6^{\min} = 2 \cdot 0,4 = 0,8$ мм.

Розраховуються номінальні припуски:

$$2z_3^H = 2z_3^{\min} + e_{\text{изг}} = 5 + 0,5 = 9,1 \text{ мм};$$

$$2z_4^H = 2z_4^{\min} + Td_3 = 2,6 + 0,25 = 2,85 \text{ мм};$$

$$2z_5^H = 2z_5^{\min} + Td_4 = 1,8 + 0,1 = 1,9 \text{ мм};$$

$$2z_6^H = 2z_6^{\min} + Td_5 + e_{\text{дет}} = 0,8 + 0,039 + 0,018 = 0,857 \text{ мм};$$

Розраховуються номінальні діаметри:

$$d_6^H = 37 \text{ мм};$$

$$d_5^H = d_6^H - 2z_6^H = 37 - 0,857 = 36,143 \text{ мм};$$

$$d_4^H = d_5^H - 2z_5^H = 36,143 - 1,9 = 34,243 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_4^H - 2z_4^H = 34,243 - 2,85 = 31,393 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{изг}}^H = d_3^H - 2z_3^H = 31,393 - 5,5 = 25,893 \text{ мм}.$$

Розраховуються максимальні припуски:

$$2z_3^{\max} = 2z_3^{\min} + Td_3 + Td_1 = 5 + 0,25 + 1,6 = 6,85 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = 2z_4^{\min} + Td_4 + Td_3 = 2,6 + 0,1 + 0,25 = 2,95 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 2z_5^{\min} + Td_5 + Td_4 = 1,8 + 0,039 + 0,1 = 1,939 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 2z_6^{\min} + Td_6 + Td_5 = 0,8 + 0,016 + 0,039 = 0,855 \text{ мм}.$$

Розраховується загальний номінальний припуск:

$$2z_0^H = 2z_3^H + 2z_4^H + 2z_5^H + 2z_6^H = 5,5 + 2,85 + 1,9 + 0,857 = 11,107 \text{ мм.}$$

Перевірка:

$$1) 2z_0^H = d_6^H - d_1^H$$

$$11,107 = 37 - 25,893$$

$$11,107 = 11,107$$

$$2) 2z_n^{\max} - 2z_n^{\min} = Td_n + Td_{n+1}$$

$$1,85 = 1,85$$

$$3) 0,35 = 0,35$$

$$4) 0,139 = 0,139$$

$$6) 0,055 = 0,055$$

Розрахунок припусків вважається вірним, оскільки результати перевірки збігаються, табл 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунків припусків на обробку циліндричної внутрішньої поверхні $\varnothing 37K6^{(+0,018, +0,002)}$

	Операції	Відхилення		Допуск	Номиналь- ний припуск $2z_i^H$, мм	Номиналь- ний розмір, d_i^H , мм	Виконавчий. розмір d , мм	Припуски	
		es, мм	ei, мм					$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівка	1,1	-0,5	1,6	—	25,893	$\varnothing 26^{+0,5}_{-1,1}$	-	-
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Розт. чорн.	0,25	0	0,25	5,5	31,393	$\varnothing 31,4^{+0,25}$	6,85	5
4	Розт. н/чист.	0,1	0	0,1	2,85	34,243	$\varnothing 34,24^{+0,1}$	2,95	2,6
5	Розт. чист.	0,039	0	0,039	1,9	36,143	$\varnothing 36,143^{+0,039}$	1,939	1,8
6	Шліф. чис.	0,018	0,0020	0,016	0,857	37	$\varnothing 37^{+0,018}_{+0,002}$	0,855	0,8

1.6 Розрахунок режимів різання

Проводжу розрахунки, щоб визначити режими різання для операції токарної 020. (рис. 1.7).

Згідно початковим даним для 1,2 переходів було обрано токарний прохідний різець з пластинами виготовленими з твердого сплаву ВК8, ГОСТ 18878-73, для 3^{го} переходу різець токарний підрізний з твердого сплаву ВК8 ГОСТ 18884-73, а для 4^{го} переходу було обрано токарний розточувальний різець з пластинами виготовленими з твердого сплаву ВК8, ГОСТ 18883-73 [6, табл. 14, с. 123].

Для розрахунку глибини різання використовую формули (1.18), (1.19) :

$$t = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \quad (1.18)$$

$$t = L_{\max} - L_{\min} \quad (1.19)$$

де $D (L)_{\max/\min}$ – діаметр або довжина необробленої поверхні (max) та після її обробки (min) відповідно.

$$t_1 = \frac{73 - 72,35}{2} = 0,325 \text{ мм}$$

$$t_2 = 0,1 \text{ мм}$$

$$t_3 = 7 - 6 = 1 \text{ мм}$$

$$t_4 = \frac{34,24 - 31,4}{2} = 1,42 \text{ мм}$$

Для розрахунку подачі використовую формулу (1.20):

$$S_o = S_T \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1.20)$$

де S_T – табличне значення подачі, [6, таб. 26 с.237];

K_1 – коефіцієнт що враховує вид обробки та діаметр оброблюваної

деталі, [6, таб. 30 с.239];

K_2 – коефіцієнт що враховує матеріал оброблюваної деталі, [6, таб. 30 с.239];

$$S_{01} = 0,38 \cdot 0,83 \cdot 1,25 = 0,394 \text{ мм/об}$$

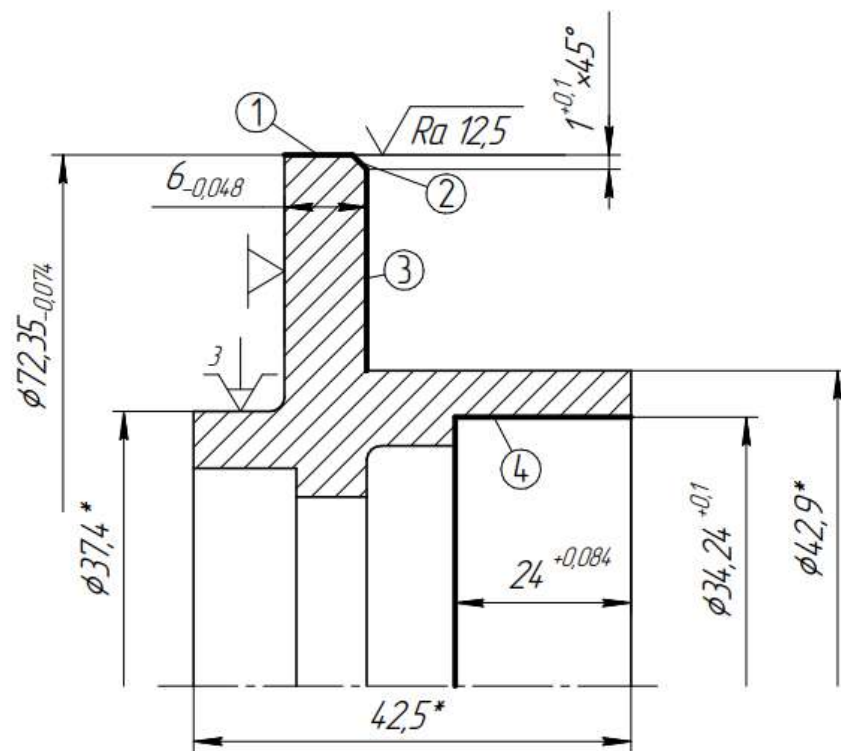
$$S_{02} = 0,38 \cdot 0,85 \cdot 1,25 = 0,404 \text{ мм/об}$$

$$S_{03} = 0,38 \cdot 0,83 \cdot 1,25 = 0,394 \text{ мм/об}$$

$$S_{04} = 0,38 \cdot 0,62 \cdot 1,25 = 0,194 \text{ мм/об}$$

За технічними показниками верстата $S_{01-3} = 0,4 \text{ мм/об}$, $S_{04} = 0,2 \text{ мм/об}$.

$\sqrt{Ra 6,3 (\sqrt{I})}$



* – розміри для довідок.

Рисунок 1.7 – Ескіз деталі “Кришка переднього підшипника” обробки операції токарної з ЧПК 020. Верстат токарний з ЧПК GCL-2В.

Для розрахунку швидкості різання, використовую формулу (1.21):

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{таб}} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot V_4 \cdot V_5 \cdot V_6 \quad (1.21)$$

де $V_{\text{таб}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв [6, таб. 32 с.241];

V_{1-6} – коефіцієнти, котрі залежить від: матеріалу деталі та його властивостей, геометричних особливостей ріжучого інструменту, виду обробки, стану оброблюваної поверхні, врахування впливу ЗОТС [6, таб. 35 с.242].

$$V_{\text{розр1}} = 364 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,2 = 218,4 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{розр2}} = 364 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1,2 = 327,6 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{розр3}} = 278 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1,2 = 166,8 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{розр4}} = 366 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 213,45 \text{ м/хв}$$

Для розрахунку швидкості обертання шпинделя використовую формулу (1.22):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр}}}{\pi \cdot D} \quad (1.22)$$

$$n_{\text{розр1}} = \frac{1000 \cdot 218,4}{3,14 \cdot 72,35} = 961,36 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{розр2}} = \frac{1000 \cdot 327,6}{3,14 \cdot 72,35} = 1442,03 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{розр3}} = \frac{1000 \cdot 166,8}{3,14 \cdot 72,35} = 734,22 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{розр4}} = \frac{1000 \cdot 213,45}{3,14 \cdot 34,24} = 1985,33 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними показниками верстата $n_{\text{пр1}} = 950 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{пр2}} = 1450 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{пр2}} = 725 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{пр2}} = 2000 \text{ хв}^{-1}$

Для розрахунку фактичної швидкості різання шпинделя використовую формулу (1.23):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{пр}}}{1000} \quad (1.23)$$

$$V_{\Phi_1} = \frac{3,14 \cdot 72,35 \cdot 950}{1000} = 215,8 \text{ хв}$$

$$V_{\Phi_2} = \frac{3,14 \cdot 72,35 \cdot 1450}{1000} = 329,4 \text{ хв}$$

$$V_{\Phi_3} = \frac{3,14 \cdot 72,35 \cdot 725}{1000} = 164,7 \text{ хв}$$

$$V_{\Phi_4} = \frac{3,14 \cdot 34,24 \cdot 2000}{1000} = 215,02 \text{ хв}$$

Для розрахунку основного часу необхідного для виконання операції використовую формулу (1.24):

$$t_0 = \frac{L_{p.x.}}{n \cdot S_o} \cdot i \quad (1.24)$$

де $L_{p.x.}$ – довжина робочого ходу інструменту, мм, для розрахунку якої використовується формула (1.25);

i – кількість проходів, яку робить інструмент в даній операції.

Для розрахунку довжини робочого ходу інструмента використовую формулу (1.25):

$$L_{p.x} = l_{вр} + l_{різ} + l_{пер} \quad (1.25)$$

де $l_{різ}$ – довжина ділянки різання, мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання, мм [7, с.165];

$l_{пе}$ – довжина перебігу, мм [7, с.165].

$$L_{p.x1} = 1 + 6 + 1 = 7 \text{ мм}$$

$$L_{p.x2} = 1 + 0,1 + 1 = 1,1 \text{ мм}$$

$$L_{p.x3} = 1 + 14,725 + 1 = 15,725 \text{ мм}$$

$$L_{p.x4} = 2,1 + 24 = 26,1 \text{ мм}$$

Для розрахунку основного часу необхідного для виконання операції використовую формулу (1.24):

$$t_{o1} = \frac{7}{950 \cdot 0,4} \cdot 1 = 0,018 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{1,1}{1450 \cdot 0,4} \cdot 1 = 0,002 \text{ хв}$$

$$t_{o3} = \frac{15,725}{725 \cdot 0,4} \cdot 1 = 0,054 \text{ хв}$$

$$t_{o4} = \frac{26,1}{2000 \cdot 0,2} \cdot 1 = 0,065 \text{ хв}$$

$$t_{o \text{ заг}} = \sum t_{o \text{ п}} = 0,018 + 0,002 + 0,054 + 0,065 = 0,139 \text{ хв}$$

Проводжу розрахунки, щоб визначити режими різання для операції свердлильної 060. (рис. 1.9).

Згідно початковим даним було обрано свердло ø6 твердосплавне та оснащене пластинами з твердого сплаву ВК8, 2300-8327 ГОСТ 22735-77 [6, табл. 40, с. 139].

Для розрахунку глибини різання використовую формулу (1.28):

$$t = \frac{d_{\text{св}}}{2} \quad (1.28)$$

Для розрахунку подачі використовую формулу (1.20):

$$S_o = 0,1 \cdot 0,6 \cdot 1,52 = 0,091 \text{ мм/об}$$

За технічними показниками верстата $S_{o1-3} = 0,2 \text{ мм/об}$.

Для розрахунку швидкості різання використовую формулу (1.21):

$$V_{\text{розр}} = 69 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 67,07 \text{ м/хв}$$

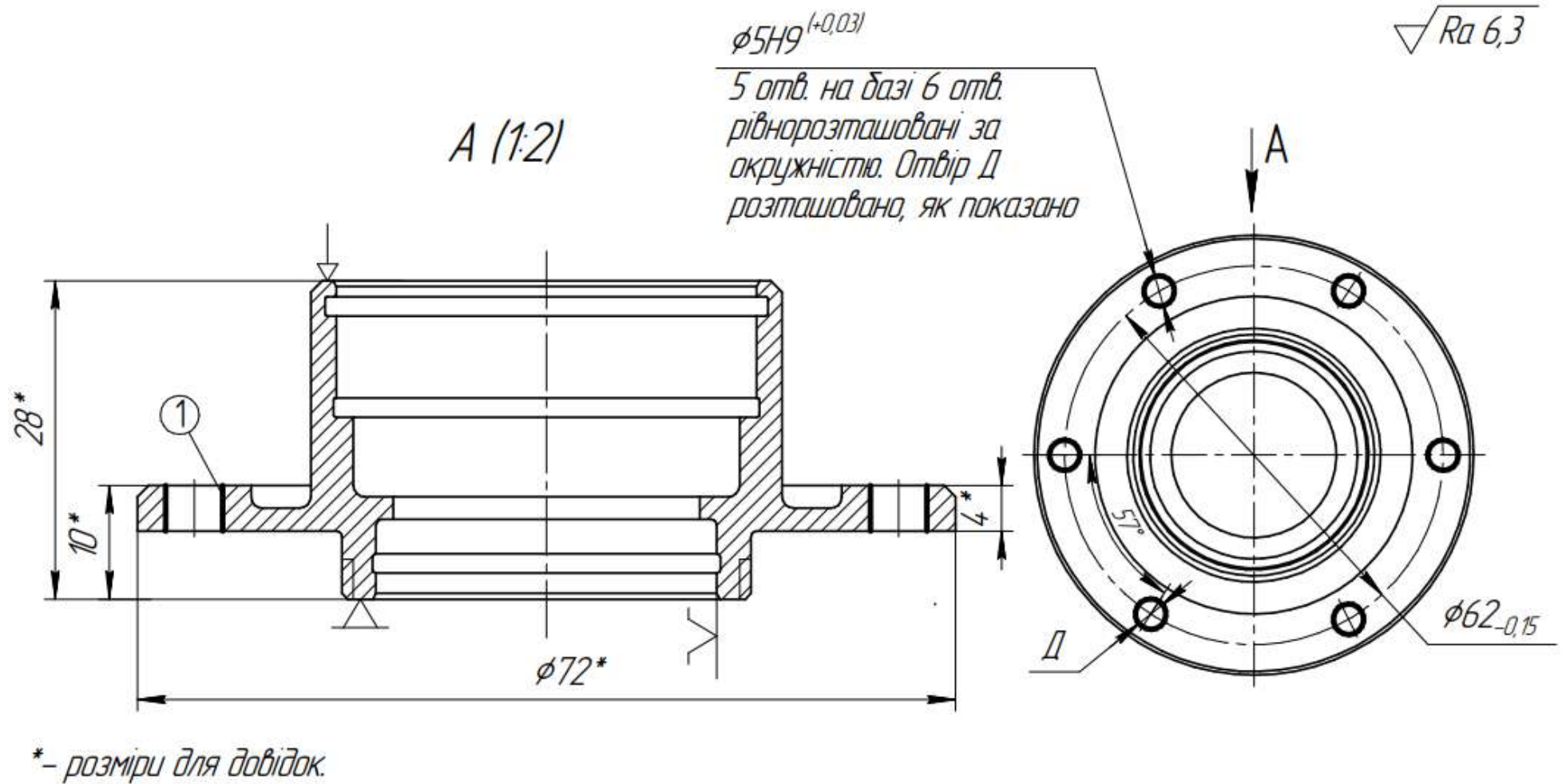


Рисунок 1.9 – Ескіз деталі “Кришка переднього підшипника” обробки операції свердлильної з ЧПК 060. Верстат обробний центр з ЧПК KN-6410С.

Для розрахунку швидкості обертання шпинделя використовую формулу (1.22):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 67,07}{3,14 \cdot 5} = 4271,97 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними показниками верстата $n_{\text{пр}} = 4000 \text{ хв}^{-1}$.

Для розрахунку фактичної швидкості різання шпинделя використовую формулу (1.23):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 4000}{1000} = 62,8 \text{ м/хв}$$

Для розрахунку довжини робочого ходу інструмента використовую формулу (1.25):

$$L_{\text{р.х}} = 1 + 4 + 1,5 = 6,5 \text{ мм}$$

Для розрахунку основного часу необхідного для виконання операції використовую формулу (1.24):

$$t_0 = \frac{6,5}{4000 \cdot 0,1} \cdot 6 = 0,098 \text{ хв}$$

Таблиця 1.7 – Висновок розрахунків режимів різання.

№ оп	Найменування операції	Зміст переходу	Обладнання	t, мм	Режими різання			t _{о/оа} , хв
					n, ^{кр/де} хв ⁻¹	S, мм/об	V, ^{кр/де} м/хв	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
020	Токарна	Точити поверхню 1	Токарний з ЧПК GCL-2В	0,325	950	0,4	215,8	0,018
		Точити фаску 2		0,1	1450	0,4	329,4	0,002
		Підрізати торець 3		1	725	0,4	164,7	0,054
		Розточити пов. 4		1,42	2000	0,2	215,02	0,065
t _о								0,139
060	Свердлильна	Свердлити 6 отв.	Обробний центр з ЧПК KN-6410С	2,5	4000	0,1	62,8	0,098
t _о								0,098

1.7 Технічне нормування операцій

Для розрахунку допоміжного часу необхідного для виконання токарної 020ї операції використовую формулу (1.29) [8, с.101]:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст/зн}} + t_{\text{закр/відкр}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{вимір}} + t_{\text{контр}} \quad (1.29)$$

де t_n – час необхідний для: встановлення та зняття, закріплення та відкріплення деталі, використання алгоритмів керування верстатом, вимірювань основних параметрів деталі та контролю хв [8, с.197].

Для розрахунку допоміжного часу використовую формулу (1.29)

$$t_{\text{доп}} = 0,06 + 0,45 + 0,16 + 0,6 + 0,51 = 1,78 \text{ хв}$$

Для розрахунку оперативного часу використовую формулу (1.30):

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.30)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,139 + 1,78 = 1,919 \text{ хв}$$

Для розрахунку прибавочного часу використовую формулу (1.31):

$$t_{\text{пп}} = \alpha_{\Sigma} \cdot t_{\text{оп}} \quad (1.31)$$

де α_{Σ} – нормативи часу для обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби, % [8, с.214].

$$t_{\text{пп}} = 6\% \cdot 1,919 = 0,115 \text{ хв}$$

Для розрахунку штучного часу використовую формулу (1.32):

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{пп}} \quad (1.32)$$

$$t_{\text{шт}} = 1,919 + 0,115 = 2,034 \text{ хв}$$

Для розрахунку підготовчо-заключного часу використовую формулу (1.33, 1.34):

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}} \quad (1.33)$$

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + t_{\text{пз}} / n \quad (1.34)$$

де $t_{\text{пз1}}, t_{\text{пз2}}, t_{\text{пз3}}, \text{хв}$ [7, с.135];

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

$$t_{\text{шт-к}} = 2,034 + 16/34 = 2,276 \text{ хв}$$

Для розрахунку допоміжного часу необхідного для виконання токарної 070ї операції використовую формулу (1.29) [8, с.101]:

$$t_{\text{доп}} = 0,14 + 0,06 + 0,16 + 0,04 + 0,12 = 0,52 \text{ хв}$$

Для розрахунку оперативного часу використовую формулу (1.30):

$$t_{\text{оп}} = 0,098 + 0,52 = 0,618 \text{ хв}$$

Для розрахунку прибавочного часу використовую формулу (1.32):

$$t_{\text{пр}} = 6\% \cdot 0,618 = 0,037 \text{ хв}$$

Для розрахунку штучного часу використовую формулу (1.32):

$$t_{\text{шт}} = 0,618 + 0,037 = 0,655 \text{ хв}$$

Для розрахунку підготовчо-заключного часу використовую формулу (1.33, 1.34):

$$t_{\text{пз}} = 5 + 2 + 5 = 12 \text{ хв}$$

$$t_{\text{шт-к}} = 0,655 + 12/34 = 1,008 \text{ хв}$$

Таблиця 1.8 – Загальна таблиця нормативів часу по всіх операціям

№ оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт}}, \text{хв.}$	$T_{\text{п.з.}}, \text{хв.}$	Величина партії n, шт.	$T_{\text{шт.к.}}, \text{хв.}$
15	Токарна	4,293	20	34	4,881
20	Токарна	2,034	16		2,505
25	Токарна	10,706	23		11,382
45	Токарна	1,590	18		2,119
50	Токарна	1,505	18		2,034
55	Різьбонарізна	1,823	17		2,323
60	Свердлильна	0,655	12		1,008
65	Свердлильна	0,696	13		1,078

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції 020

Змодельовані, в програмному забезпеченні Siemens NX, технологічні операції показані, на рис. 1.10-1.18.

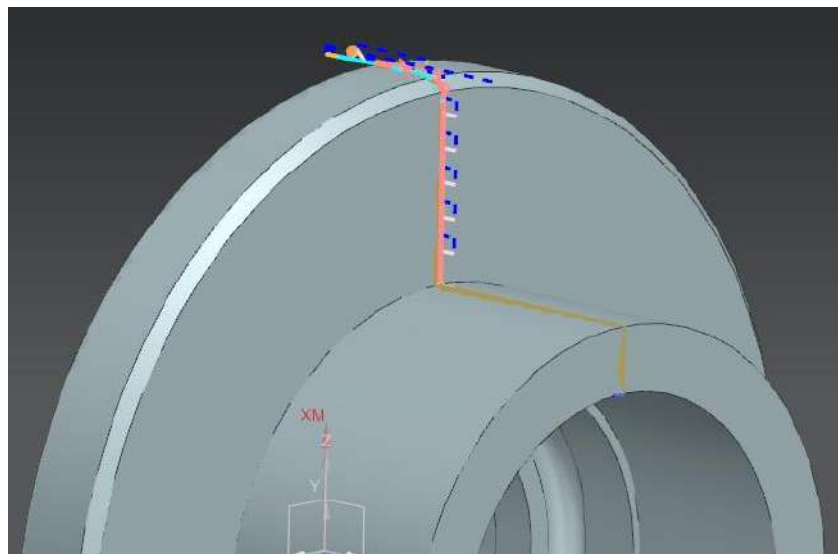


Рисунок 1.10 – Траєкторія руху різця для 1^{го} переходу (оп. 020)

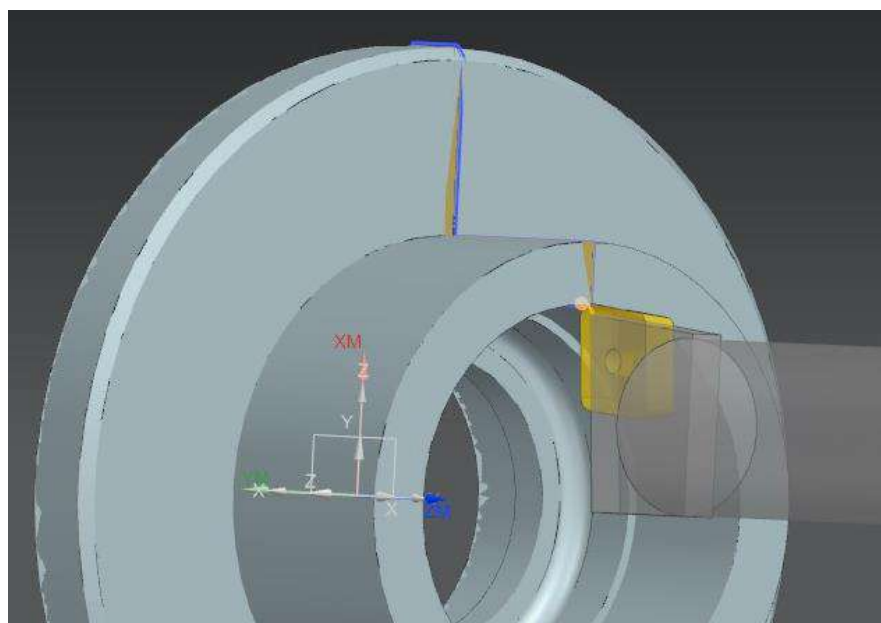


Рисунок 1.11 – Різець в процесі обробки 1^{го} переходу (оп. 020)

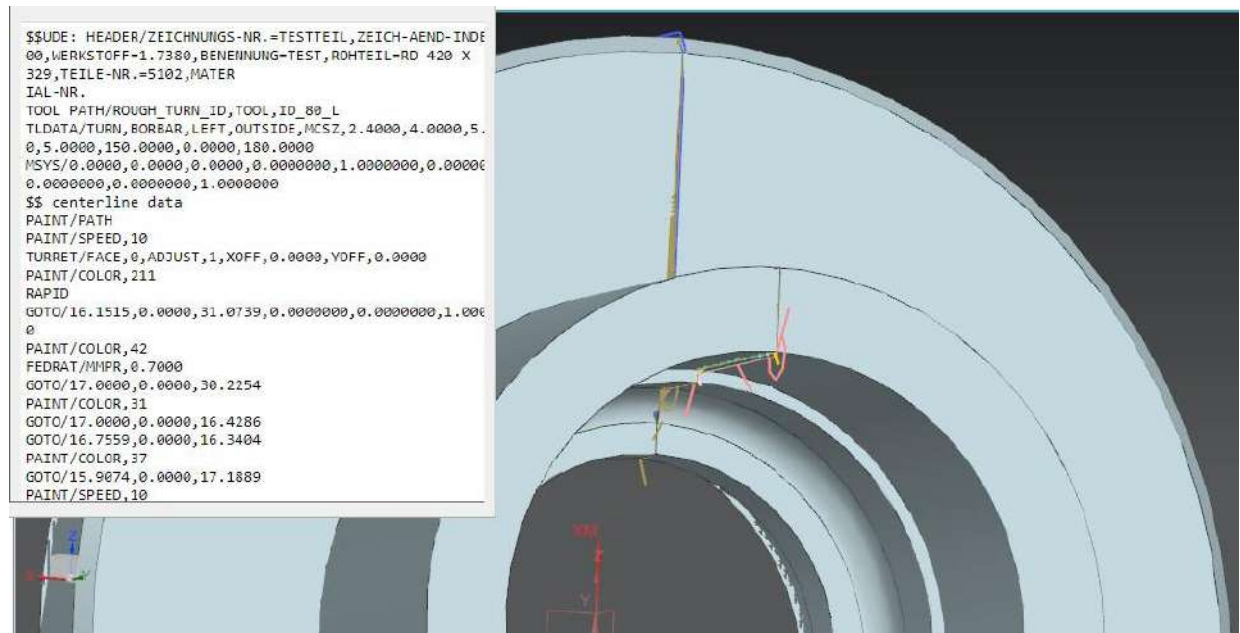


Рисунок 1.12 – Траєкторія руху різця та програма обробки для
1^{го} переходу (оп. 020)

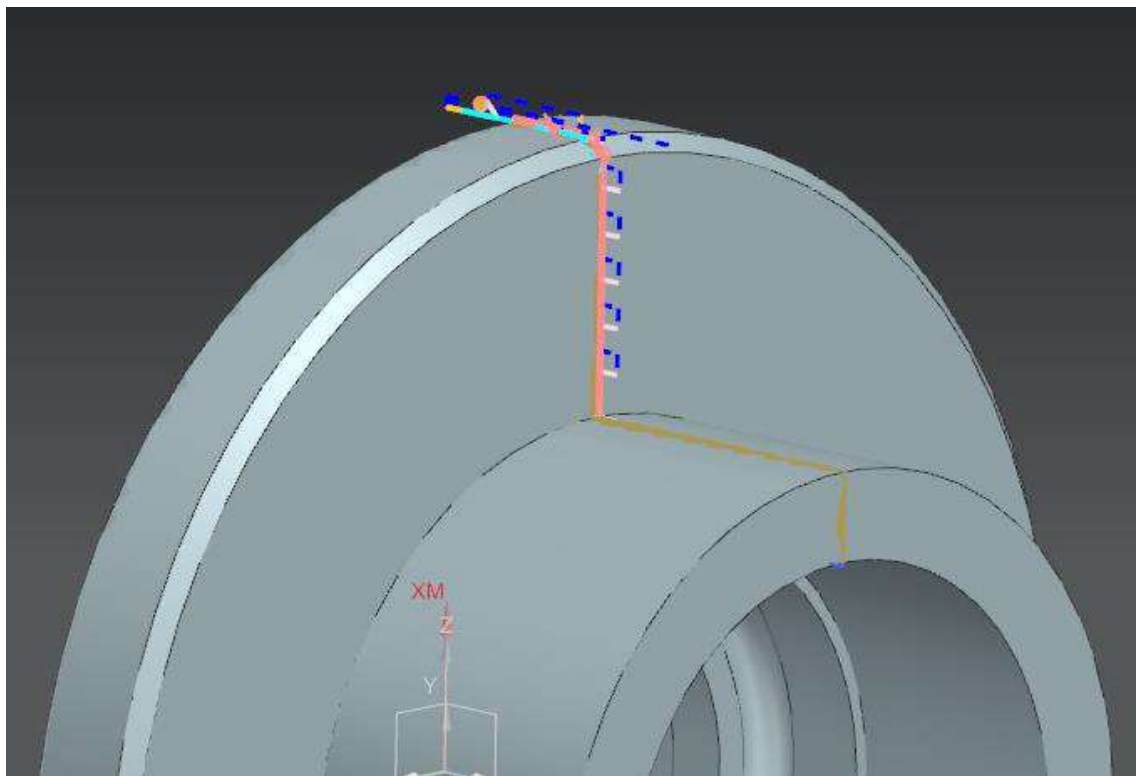


Рисунок 1.13 – Траєкторія руху різця для 2^{го} переходу (оп. 020)

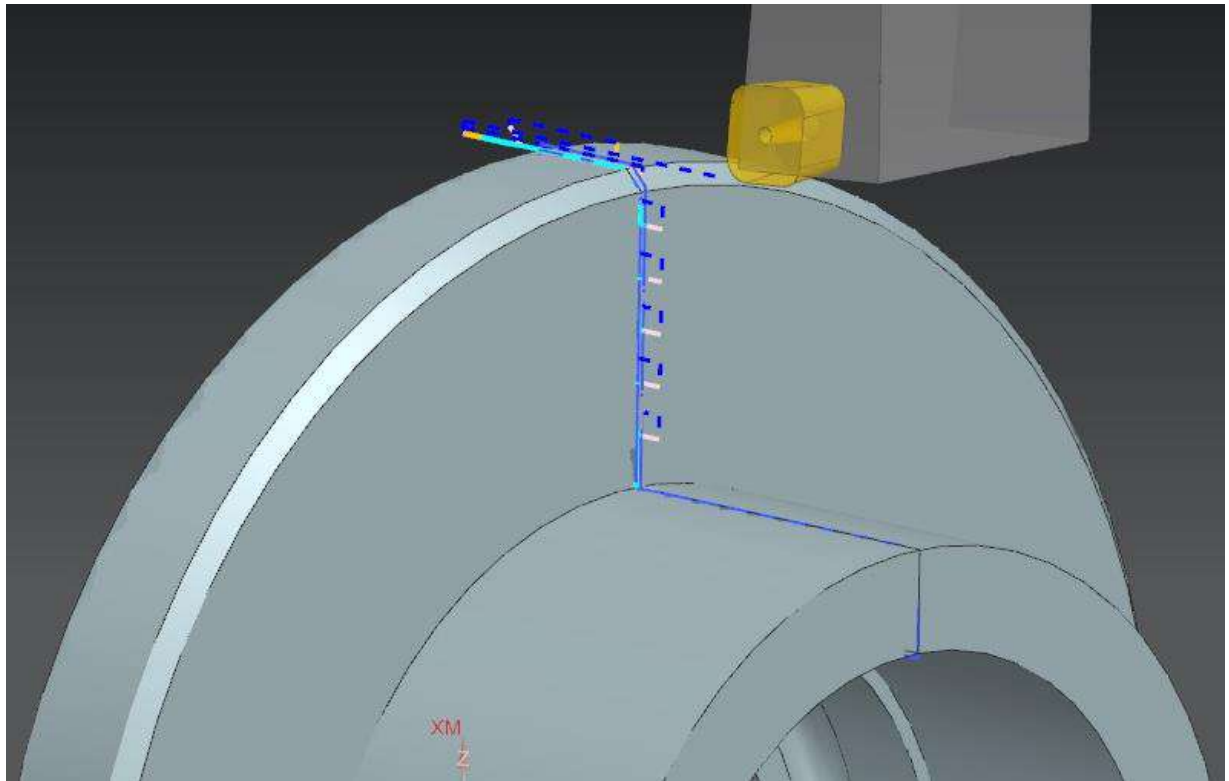


Рисунок 1.14 – Різець в процесі обробки 2^{го} переходу (оп. 020)

```

$$UDE: HEADER/ZEICHNUNGS-NR.=TESTTEIL,ZEICH-AEND-INDE
00,WERKSTOFF=1.7380,BENENNUNG=TEST,ROHTEIL-RD 420 X
320,TEILE-NR.=5102,MATER
IAL-NR.
TOOL PATH/ROUGH_TURN_ID 1,TOOL,0D_80_L
TLDATA/TURN,LEFT,OUTSIDE,MCSZ,2.4000,4.0000,5.0000,5.
0,150.0000,270.0000
MSYS/0.0000,0.0000,0.0000,0.0000000,1.0000000,0.0000
0.0000000,0.0000000,1.0000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED,10
TURRET/FACE,0,ADJUST,1,XOFF,0.0000,YOFF,0.0000
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/38.6005,0.0000,17.1889,1.0000000,0.0000000,0.000
0
RAPID
GOTO/38.6005,0.0000,-0.6937
RAPID
GOTO/38.0000,0.0000,-0.6937
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPR,0.7000
GOTO/38.0000,0.0000,0.5063
PAINT/COLOR,31
GOTO/38.0000,0.0000,10.2937
PAINT/COLOR,37
GOTO/38.0000,0.0000,11.4937
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/38.3000,0.0000,11.4937
RAPID
GOTO/38.3000,0.0000,-0.7393
RAPID

```

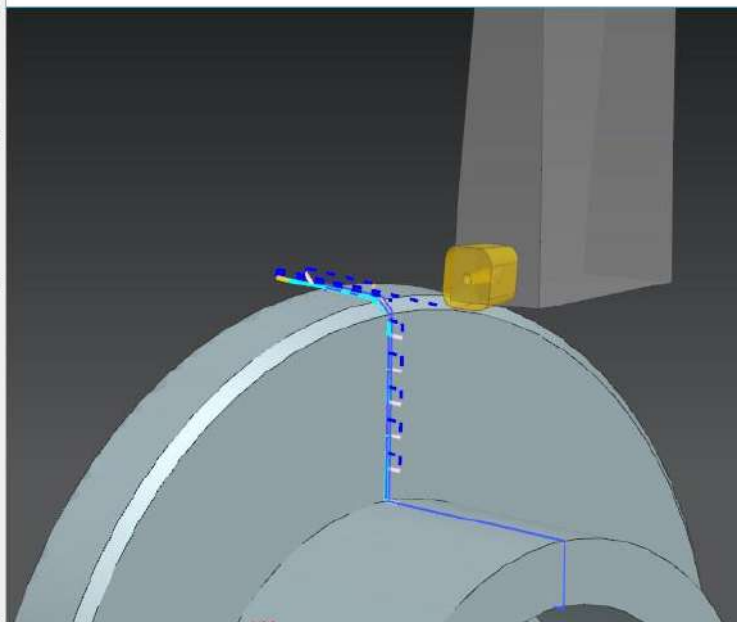


Рисунок 1.15 – Траєкторія руху різця та програма обробки для 2^{го} переходу (оп. 020)

1.8.2 Розробка свердильної операції 060

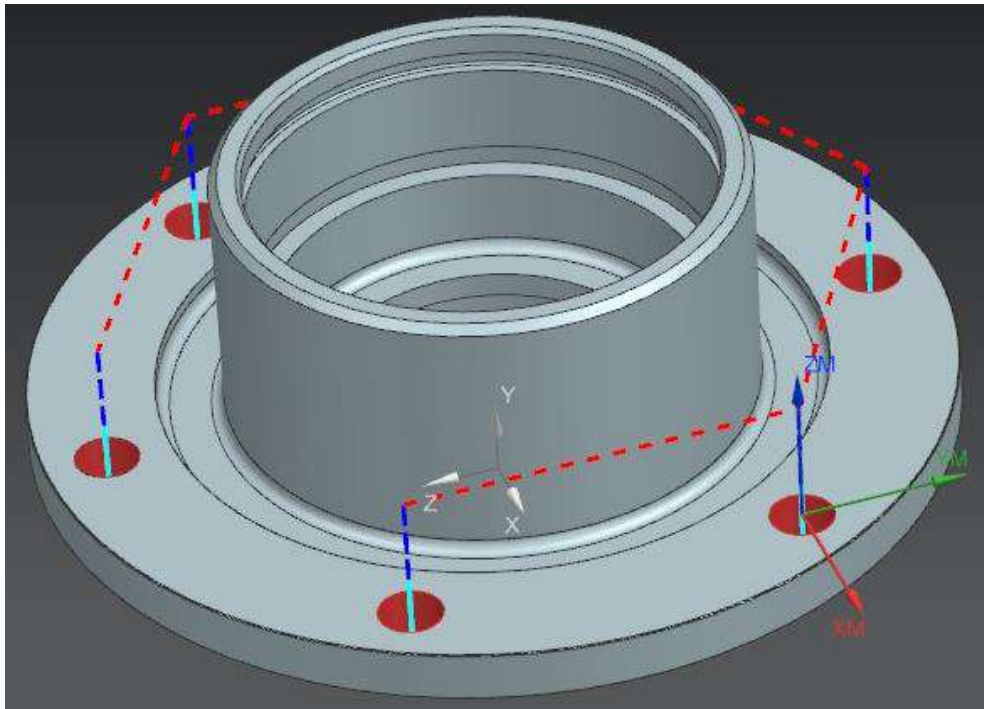


Рисунок 1.16 – Траєкторія руху свердла (оп. 060)

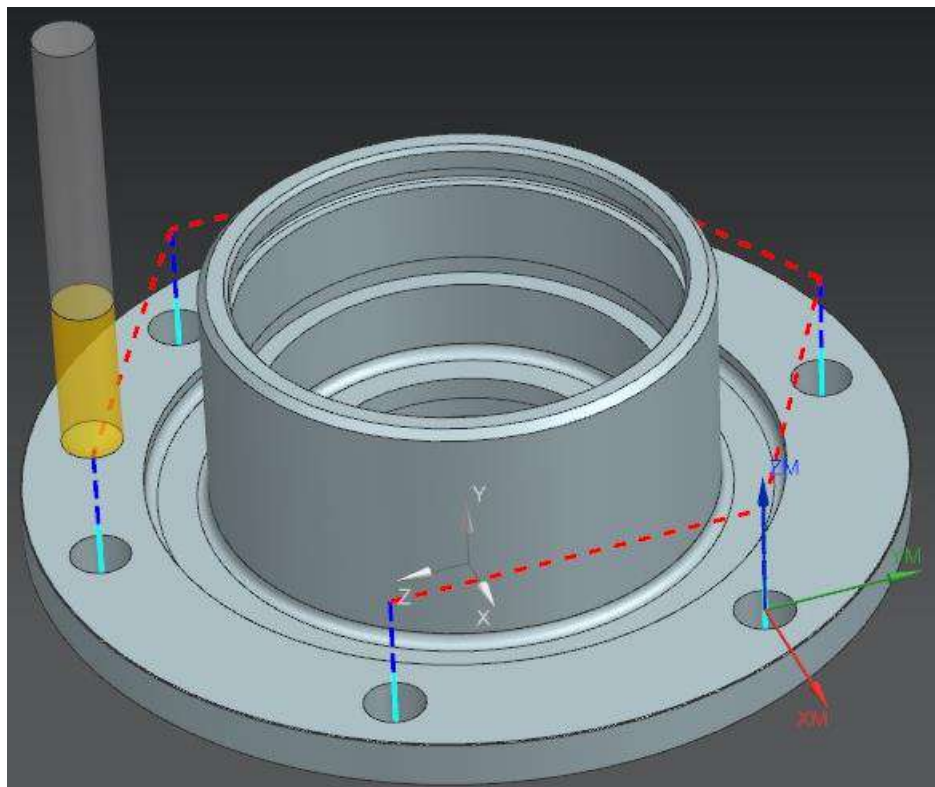


Рисунок 1.17 – Свердло в процесі обробки (оп. 060)

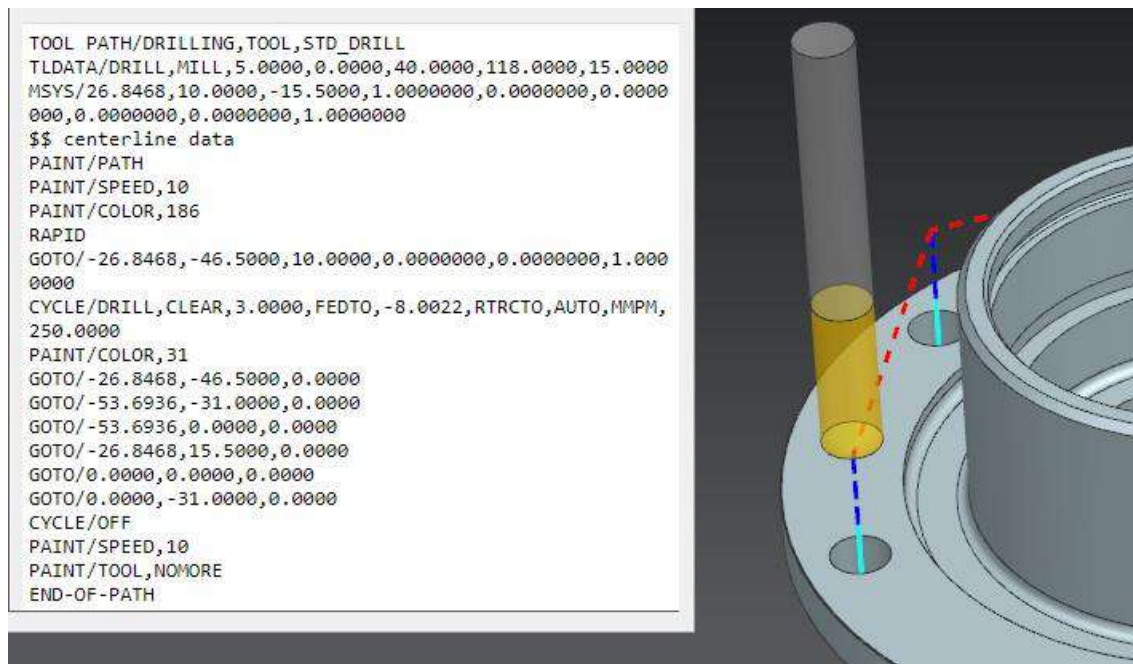


Рисунок 1.18 – Траєкторія руху свердла та програма обробки (оп. 060)

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристрою

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Спроектовано свердлильне пристосування (рис. 2.1). Яке дає змогу швидко та надійно закріплювати заготовки при операції – свердління. Заготовка в пристосування базується на площині фланця та оправці.

Для закріплення деталі у свердлильному пристосуванні до верхньої частини гідравлічного циліндру 1 через штуцер подається мастило, що під тиском 2,5 МПа тисне на поршень. За цим рахунком шток з'єднаний з поршнем опускається донизу, на верхівці штоку кришка 3 притискає деталь до втулки 4. На кришці відкидна гайка 7 закривається, тим самим позбавляючи деталь можливості зрушити.

Розкріплення деталі відбувається за зворотнім порядком, але при цьому мастило подається до нижньої порожнини гідравлічного циліндру.

На верстат свердлильне пристосування встановлюється за допомогою двох пальців 5 за відповідними місцями.

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Пристосування для свердління 6 отв. (на рис. 2.1) встановлюється на обробний центр з ЧПК MILL 1055, який забезпечує точне розташування деталі в даному пристосуванні. Цей обробний центр має автоматичну систему зміни інструменту. Використовуються високоякісні компоненти, що гарантують надійну і тривалу роботу центру обробки. Зазначений верстат ефективно виконує різні операції, такі як фрезерування, свердління, нарізування різьблення та розгортання, при цьому зберігаючи високу точність обробки.

Його точність позиціонування дозволяє використовувати це пристосування без необхідності проведення додаткових розрахунків щодо точності установки деталі.

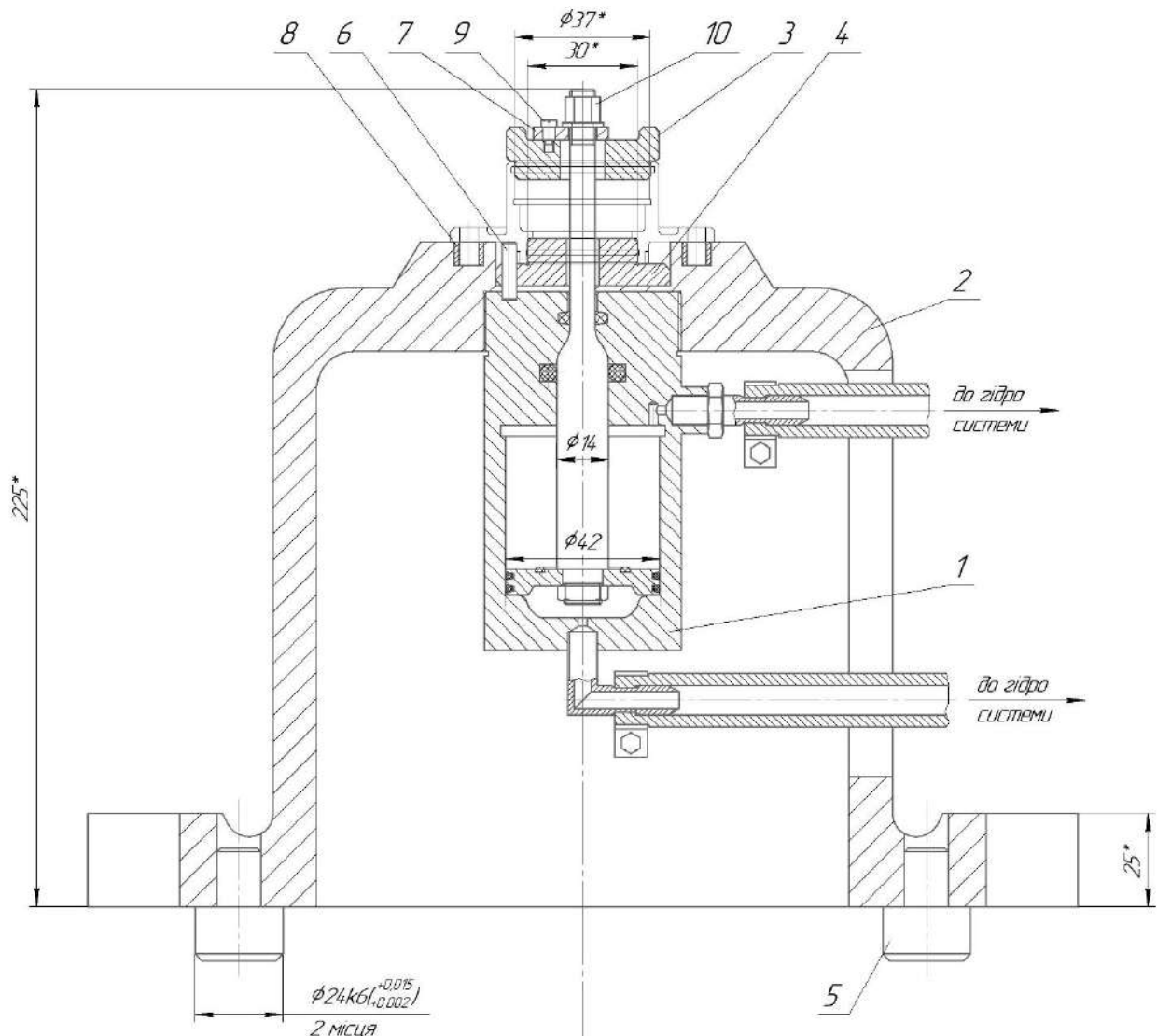


Рисунок 2.1 – Пристосування для свердління 6-ьох отворів

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Розрахунок необхідної сили затиску є важливим етапом при проектуванні робочих пристосувань, які вимагають затискання деталі. Дійсна сила затиску враховує ряд факторів, які впливають на ефективність та безпеку робочого пристосування. Основні причини розрахунку дійсної сили затиску включають:

1. Безпека: Визначення правильної сили затиску важливо для забезпечення безпеки обробки. Якщо сила затиску недостатня, може виникнути ризик втрати контролю над робочим процесом або небезпека для оператора. З іншого боку, зайвий тиск може призвести до перевантаження обладнання або пошкодження виробів.

2. Стійкість процесу: Для забезпечення стійкого та ефективного процесу обробки важливо мати оптимальний рівень сили затиску. Це може впливати на точність, якість та швидкість обробки матеріалів чи виробів.

3. Знос інструментів: Неправильно налаштований затиск може призводити до нерівномірного зносу інструментів чи пристроїв, що використовуються в робочих пристосуваннях. Правильна сила затиску може допомогти зберегти ресурси та підвищити тривалість служби інструментів.

4. Ефективність ресурсів: Правильний розрахунок сили затиску дозволяє оптимізувати використання ресурсів, зменшуючи витрати енергії та забезпечуючи ефективність виробничого процесу.

Загалом, розрахунок дійсної сили затиску є важливим елементом при забезпеченні якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна у виробничому процесі.

Для ефективного розрахунку дійсної сили затиску свердлильного пристосування, обираю схему установки заготовок в пристосуванні (рис. 2.2), [9, таб. 6.4, с. 112].

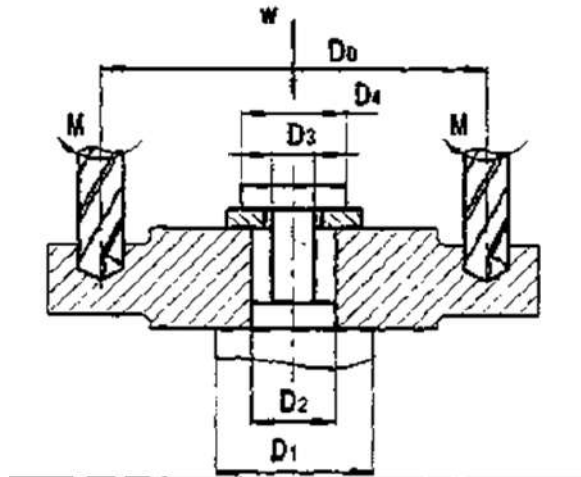


Рисунок 2.2 – Схема установки заготовки в пристосуванні [9]

Після вибору необхідної схеми установки заготовки в пристосуванні, для розрахунку дійсної сили затиску, використовую формулу (2.1):

$$W = \frac{3kM}{f \left[\left(\frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right) + \left(\frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3^2 - D_4^2} \right) \right]} \quad (2.1)$$

де M – крутний момент на свердлі;

k – коефіцієнт запасу закріплення;

f – коефіцієнт тертя з установчими елементами [9, таб. 6.4, с. 113].

Для розрахунку крутний момент на свердлі, використовую формулу (2.2), [9, таб. 6.4, с. 113]:

$$M = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (2.2)$$

де C_p, q, y – коефіцієнти, [10, таб. 28, с. 278];

K_p – поправочний коефіцієнт $K_p = K_{mp} = 2,75$ [10, таб. 10, с. 265].

$$M = 10 \cdot 36,3 \cdot 5^{0,25} \cdot 0,1^{0,25} \cdot 2,75 = 420,71 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для розрахунку коефіцієнту запасу закріплення, використовую формулу (2.3), [9, с. 100]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (2.3)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу [9, с.100]

k_1 – враховує зміну сил різання в процесі обробки через нерівномірність припуску на заготовці [9, с.100]

k_2 – враховується у всіх випадках обробки та залежить від виду обробки, матеріалу, який обробляється та нерівномірного зносу ріжучого інструменту [9, таб. 6.1 с.101];

k_3 – враховує умови переривчастого виду обробки [9, с.100];

k_4 – характеризує затискний пристрій з точки зору постійності сил затиску [9, с.100];

k_5 – характеризує ручні затиски з точки зору зручності закріплення деталі [9, с.100];

k_6 – враховується у тому випадку, коли розрахунок сил затиску робиться з урахуванням моментів сил різання та залежить від виду опорної поверхні пристосування [9, с.100].

$$k = 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,725$$

Для розрахунку дійсної сили затиску, використовую формулу (2.1):

$$W = \frac{3 \cdot 1,725 \cdot 420,71}{0,25 \left[\left(\frac{0,36^3 - 0,3^3}{0,36^2 - 0,3^2} \right) + \left(\frac{0,415^3 - 0,375^3}{0,415^2 - 0,375^2} \right) \right]} = 7994,23 \text{ Н}$$

Для розрахунку діаметру гідроциліндру, використовую формулу (2.1), [9, с.138]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (2.6)$$

де Q – сила затиску, $Q=W$, Н;

p – тиск у гідроциліндрі, МПа;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 7994,23}{3,14 \cdot 7,5 \cdot 0,9}} = 38,84 \text{ мм}$$

Аналізуючи попередні розрахунку, було обрано гідроциліндр діаметром $D = 40$ мм та штоком $d = 14$ мм ГОСТ 15608-81. Відповідно саме даний гідроциліндр забезпечує якість виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна на 060 свердлильній операції.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Було спроектоване контрольне пристосування (рис. 2.3), з метою проведення контролю торцевого биття. Для фіксації деталі права частина стійки 4 може пересуватися вздовж пазу у плиті 3. Це виконано таким чином, щоб між деталлю та стійкою утворювався зазор, необхідний для ручного обертання деталі.

Для забезпечення можливості ручного обертання деталі, у широкому отворі, що утворюється, встановлюється деталь діаметром $\varnothing 41,5$, яка опускається донизу. Таким чином, торець з різью розташовується на площині, до якої прикріплений індикаторний годинник.

Контроль проводиться вручну контролером, який взаємодіє з деталлю. Одночасно з цим контролер знімає відповідні показники з індикаторного годинника. Цей процес дозволяє ефективно здійснювати контроль торцевого биття деталі та забезпечує відповідність вимогам якості.

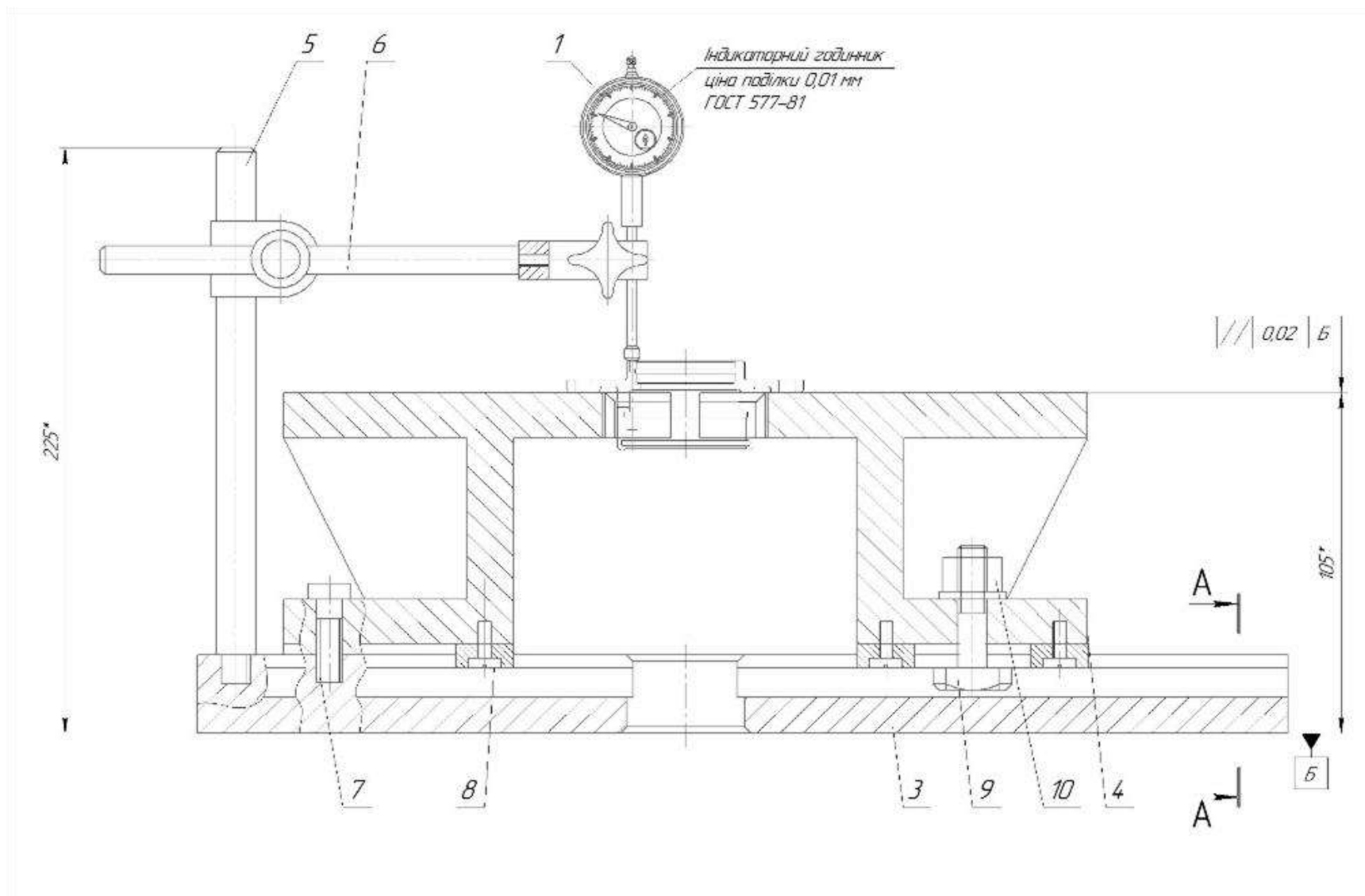


Рисунок 2.3 – Пристосування для контролю торцевого биття

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

ВИСОКОПРОДУКТИВНИЙ ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ З ЧПК GOODWAY GCL-2B – ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИСОКОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ІНТЕНСИВНОГО РІЗАННЯ ТА ПРЕЦИЗІЙНОГО ТОЧІННЯ

3.1 Загальні відомості про токарний верстат з ЧПК GOODWAY GCL-2B

Заснована на більш ніж 25-річному виробничому досвіді та передових технологіях токарної обробки з ЧПК, нова серія GCL-2 забезпечує високу стабільність важкого різання та прецизійну токарну обробку. Серія GCL-2 заснована на наших найсучасніших токарних технології токарної обробки та видатних виробничих можливостей, забезпечуючи користувачам високе співвідношення ціна/якість та високу стабільність роботи. Завдяки високій потужності, надміцній конструкції та прецизійній револьверній головці з сервоприводом, серія GCL-2 може задовольнити будь-які потреби в різанні, як сьогодні, так і в майбутньому.

Всі нові серії оснащені високотехнологічною револьверною головкою з сервоприводом для індексації. Індикація інструменту відбувається швидше і точніше, забезпечуючи відмінну ефективність роботи [11].

Високомоментний шпиндель зі швидкістю обертання 4500 об/хв приводиться в дію широкодіапазонним двигуном потужністю 15 кВт, який легко задовольняє всі види вимог до різання у важких умовах.

Осі X і Z мають надміцну коробчасту конструкцію з термообробкою і точною механічною обробкою, що забезпечує необхідну стабільність для різання у важких умовах.

Надміцна задня бабка оснащена живим центром МТ#4, а тяга шпинделя може регулюватися гідравлічним тиском, щоб відповідати різним вимогам до різання [11].



Рисунок 3.1 – Зображення токарного верстату з ЧПК моделі GCL-2B [11].

Завдяки використанню методу кінцевих елементів (FEM), оптимальні підсилювальні ребра безпосередньо відливаються в суцільну структуру станини. Механічна жорсткість була збільшена більш ніж на 30% в порівнянні зі звичайними конструкціями. Токарні верстати серії GCL-2 здатні виконувати надважкі токарні роботи і підтримувати довготривалу надвисоку точність.

Надміцна конструкція створена для того, щоб витримувати роками суворе високопродуктивне точіння, сильно ребриста, цілісна термічно збалансована станина і ливарні компоненти виготовлені з FC35-Meehanite (промисловий стандарт - FC25 ~ 30).

Надзвичайно широкі загартовані та шліфовані коробчасті шляхи безпосередньо формуються в станині та сідлі верстата під час процесу лиття

(твердість коробчатого шляху може досягати до HS70). Вони точно оброблені та широко розставлені для забезпечення максимальної міцності. Коробчаста конструкція також забезпечує жорсткість, необхідну для важких умов експлуатації та токарної обробки з перервами.

Низький центр ваги станини для важких умов експлуатації та конструкція клинового сидла з кутом нахилу 30° забезпечують плавне відведення стружки при тривалій роботі.

Усі шпинделі та серводвигуни, включно з приводами, є компонентами серії FANUC α , та забезпечують максимальну продуктивність і точність обробки [11].

3.2 Особливості технологій обробки

Надвисокоточні 2-компонентні муфти CURVIC діаметром 180 мм точно позиціонують диск револьверної головки (рис. 3.2), а зусилля притискання 4000 кг забезпечує достатню жорсткість револьверної головки для всіх умов різання.

Криволінійні муфти забезпечують велику площу контакту і мають функцію автоматичного очищення, якої немає в традиційних муфтах.

Надпотужна серворевольверна головка з індексацією використовує найсучаснішу технологію точіння. Індексні рухи є одноступінчастими, без пауз, незалежно від того, скільки позицій пропущено.

Досягнення часу індексації 0,2 секунди для сусідніх позицій і 0,5 секунди для позицій на протилежному кінці диска. Ефективність зміни інструменту на 50% вища, ніж у попередній моделі.

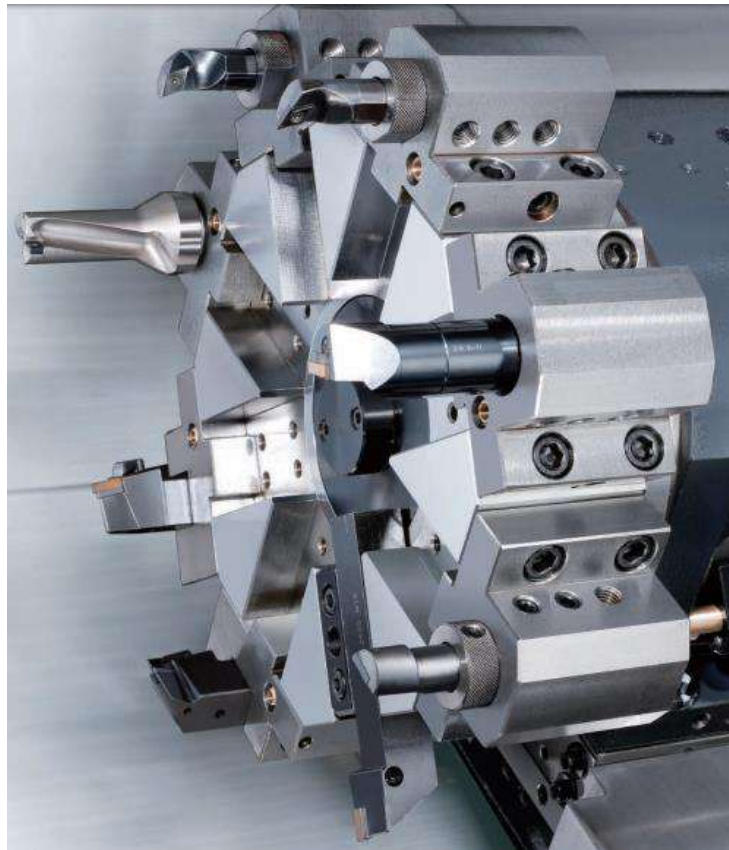


Рисунок 3.2 – Револьверна головка токарного верстату з ЧПК моделі GCL-2B [11]

Надвисокоточні підшипники серії P4 (клас 7) зібрані безпосередньо на верстаті (рис. 3.3) для забезпечення максимального рівня підтримки та точності. Конфігурація підшипників розроблена для надважкого різання з ультраплавною роботою та довготривалою довговічністю з високим рівнем точності [11].

Надміцна задня бабка виготовлена суцільним литтям з посиленими ребрами, що рівномірно розподіляють тепло.

Високомоментний двигун FANUC α P22 серії «і» з постійним крутним моментом, що вдвічі перевищує вихідний крутний момент стандартних двигунів, має номінальну потужність 15 кВт (30 хв). Цей двигун із подвійним зв'язуванням забезпечує повну потужність на 1/2 швидкості обертання стандартних двигунів, що дає змогу виконувати важче різання (таблиця 3.1) в нижніх діапазонах швидкості обертання.

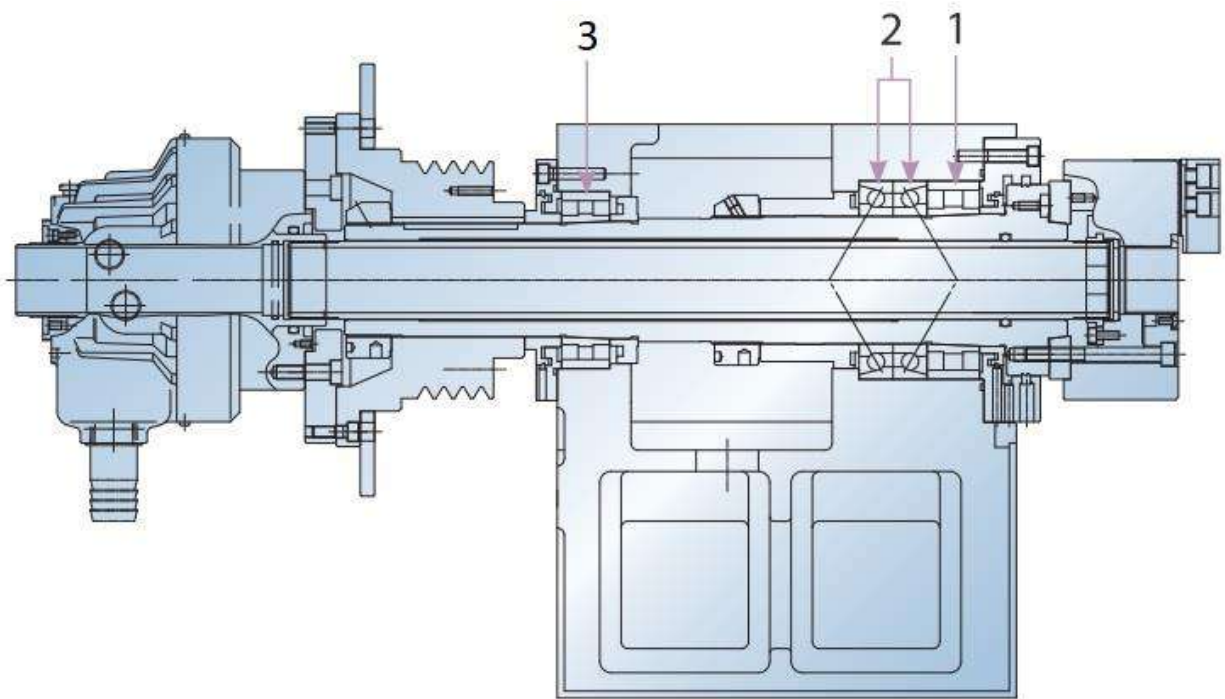
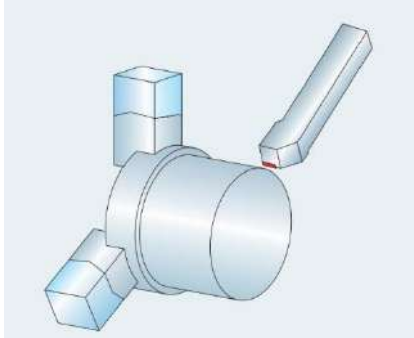


Рисунок 3.3 – Схема верстату з конфігураціями підшипників: 1 - передній - подвійний роликовий (1 шт.), 2 - кутовий – контактний (2 шт.), 3 - задній - подвійний роликовий (1 шт.) [11]

Таблиця 3.1 – Приклад параметрів важкого різання зовнішнього діаметра деталі.

	$D_{\text{заг}}$	$D_{\text{дет}}$	n	S_o	t	Навантаж. на шпиндель, %
	мм	мм	хв^{-1}	мм/об	мм	
	108	96	500	0,3	6	97
	96	82	550	0,32	7	112

3.3 Технічні характеристики верстату

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики токарного верстату з ЧПК моделі GCL-2В

Максимальний діаметр точіння, мм	ø230
Макс. довжина точіння, мм	600
Макс. частота обертання шпинделя, об/хв	4500
Крутний момент шпинделя, Н·м	35,8
Потужність двигуна, кВт	15
Макс. Хід по осі X, мм	125
Макс. Хід по осі Z, мм	620
Швидкість по осях X / Z, м/хв	20
Подачі, мм / хв	1 ~ 4800
Кількість позицій револьверної головки, шт.	8
Точність позиціонування (повторюваність)	$\pm 0,00069^{\circ} (\pm 0,00027^{\circ})$
Ємність гідравлічного бака, л	40
Ємність бака для охолоджуючої рідини, л	80
Вага машини, кг	3500
Розміри, мм	2480×1300×1635

4 СПЕЦЗАВДАННЯ

НОВИЙ ПІДХІД ДО ШВИДКИХ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

4.1 Загальні відомості про рентгенівську дифракцію, як метод неруйнівного контролю для визначення залишкових напружень

Рентгенівська дифракція широко використовується, як метод неруйнівного контролю для визначення залишкових напружень у полікристалічних матеріалах. Окрім лінійних детекторів, що використовуються для добре відомого методу $\sin^2\psi$, в рентгенівських аналізаторах напружень поступово впроваджуються двовимірні детектори, наприклад пластини для формування зображень (ПФЗ) та напівпровідникові детектори. Застосування цих детекторів забезпечує новий підхід до швидких і автоматизованих вимірювань напружень за допомогою портативного обладнання [12].

Японська компанія Pulstec Industrial CO., LTD розробила і випустила портативний рентгенівський аналізатор залишкових напружень ще в 2012 році. Серія PULSTEC μ -X360 базується на методі $\cos\alpha$ для розрахунку напружень. Метод використовує все кільце Дебая-Шеррера, зареєстроване на двовимірному детекторі та під одним кутом падіння рентгенівського випромінювання (рис. 4.1). Проста оптична система μ -X360s значно зменшує енергію випромінювання, робить аналізатор напружень легким, компактним, портативним, дуже швидким і, таким чином, більш зручним у використанні для вимірювань на місці та в польових умовах [12].

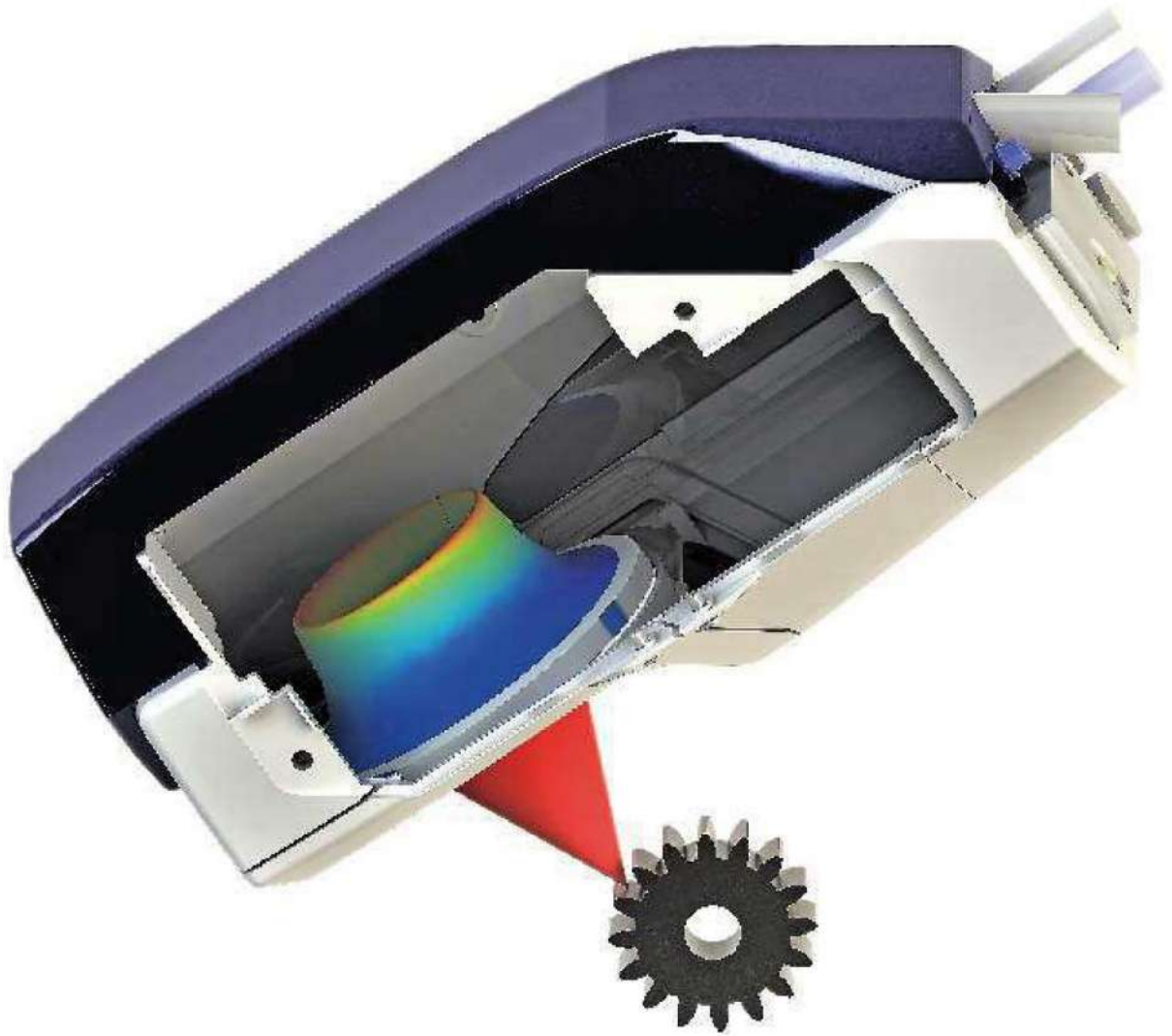


Рисунок 4.1 – Принципова схема блоку датчиків [12]

Найновіший μ -X360s може видати результат вимірювання залишкових напружень трохи менше ніж за одну хвилину при вимірюванні феритових матеріалів. Понад 400 приладів серії μ -X360 використовуються по всьому світу в університетах, науково-дослідних інститутах і промислових компаніях в найрізноманітніших галузях, а саме, в автомобілебудуванні, виробництві автомобільних запчастин, сталеливарній, авіаційній та залізничній промисловості, важкому машинобудуванні, та інфраструктурі.

4.2 Застосування методу в польових умовах

Професор Еккехард Мюллер з Університету прикладних наук в Бохумі, Німеччина, був першим користувачем Pulstec μ -X360s в Центральній Європі. З грудня 2016 року, прилад знаходиться в постійному користуванні вже виконавши понад 20 000 вимірювань і пропрацювавши 270 годин роботи без жодних проблем. Близько 25% цих вимірювань було проведено за межами лабораторії. Основною причиною були розміри зразків [12].

Прикладами таких великих деталей є шатуни і вали для залізничних двигунів, валки для сталеливарної промисловості, підшипники, шестерні для вітрових електростанцій та багато інших. Всі вимірювання можуть бути виконані в звичайному промисловому середовищі з використанням спеціальної ліцензії для мобільних вимірювань [12].

Рентгенівський аналізатор напружень легко монтується на столі або візку (рис. 4.2). Позиціонування точки вимірювання легко здійснюється за допомогою лазера, спрямованого в ту ж позицію, що і рентгенівське випромінювання. Безпечна зона навколо місця вимірювання обмежена лише двома метрами.

В межах цієї установки можна легко виконати розширену програму вимірювань для 20 прокатних валків протягом одного робочого дня. Ця програма зазвичай включає визначення напружень уздовж і перпендикулярно до осі ролика у великій кількості точок.

Завдяки низькому енергоспоживанню, μ -X360s може працювати від зручного акумуляторного блоку. У поєднанні з додатковим гнучким кронштейном і штативом, де це необхідно, практично немає обмежень для віддаленого використання. Все обладнання, включаючи електрополірувальну машину для створення профілів напружень, можна легко переносити в спеціальних транспортних кейсах.

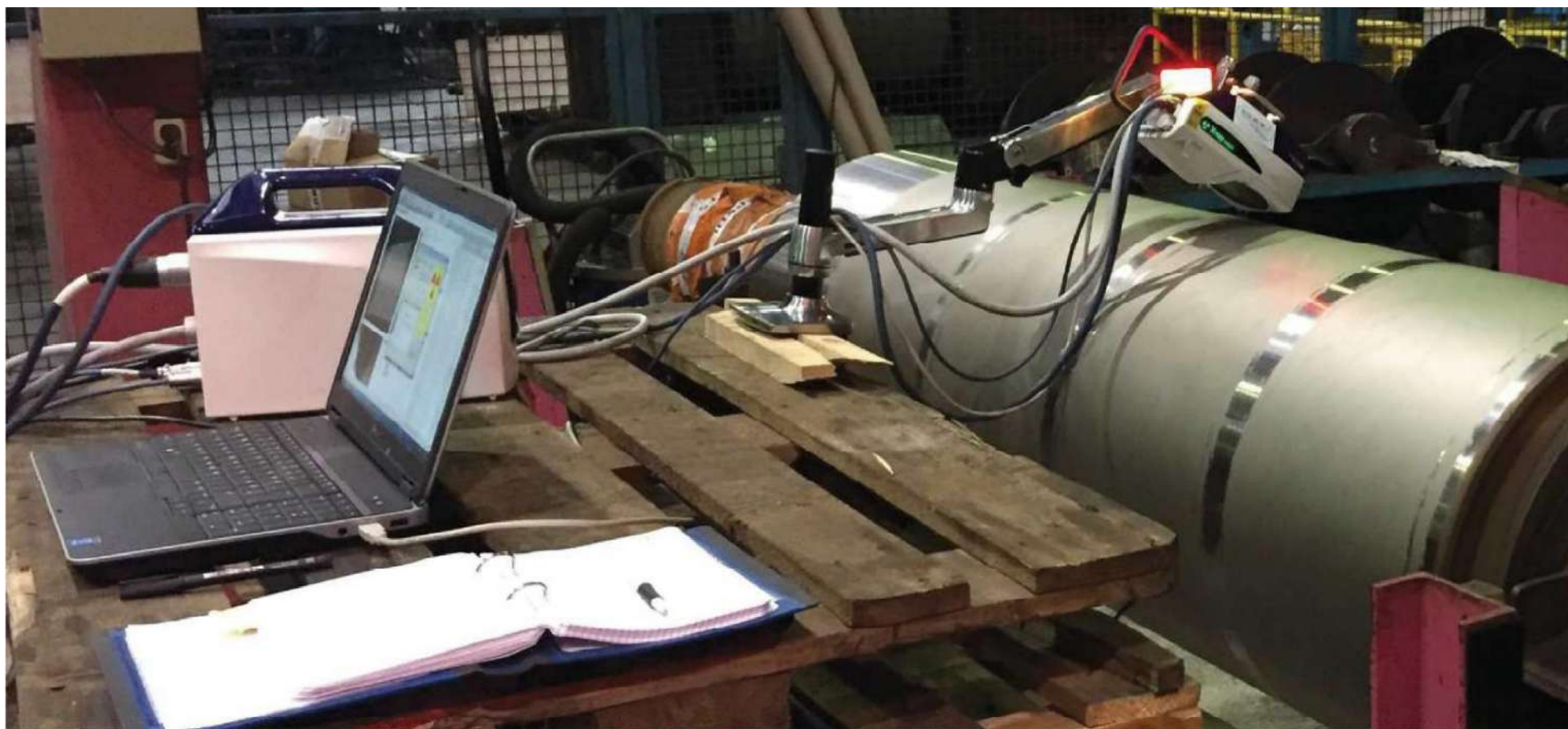


Рисунок 4.2 – Вимірювання напружень в польових умовах на роликовому брусі з використанням колаборативного робота [12]

На додаток до значень залишкових напружень, користувач також отримує цінну видиму інформацію від кільцевої структури Дебая-Шеррера. Нерівномірний розподіл інтенсивності сигналу по окружності кільця вказує на грубозернисту структуру або текстуру, як показано на рисунку 4.3. За допомогою програмного забезпечення μ -X360s також можна розрахувати залишкові напруження відповідно до неповних кілець Дебая-Шеррера через затінення дифракційного конуса [13].

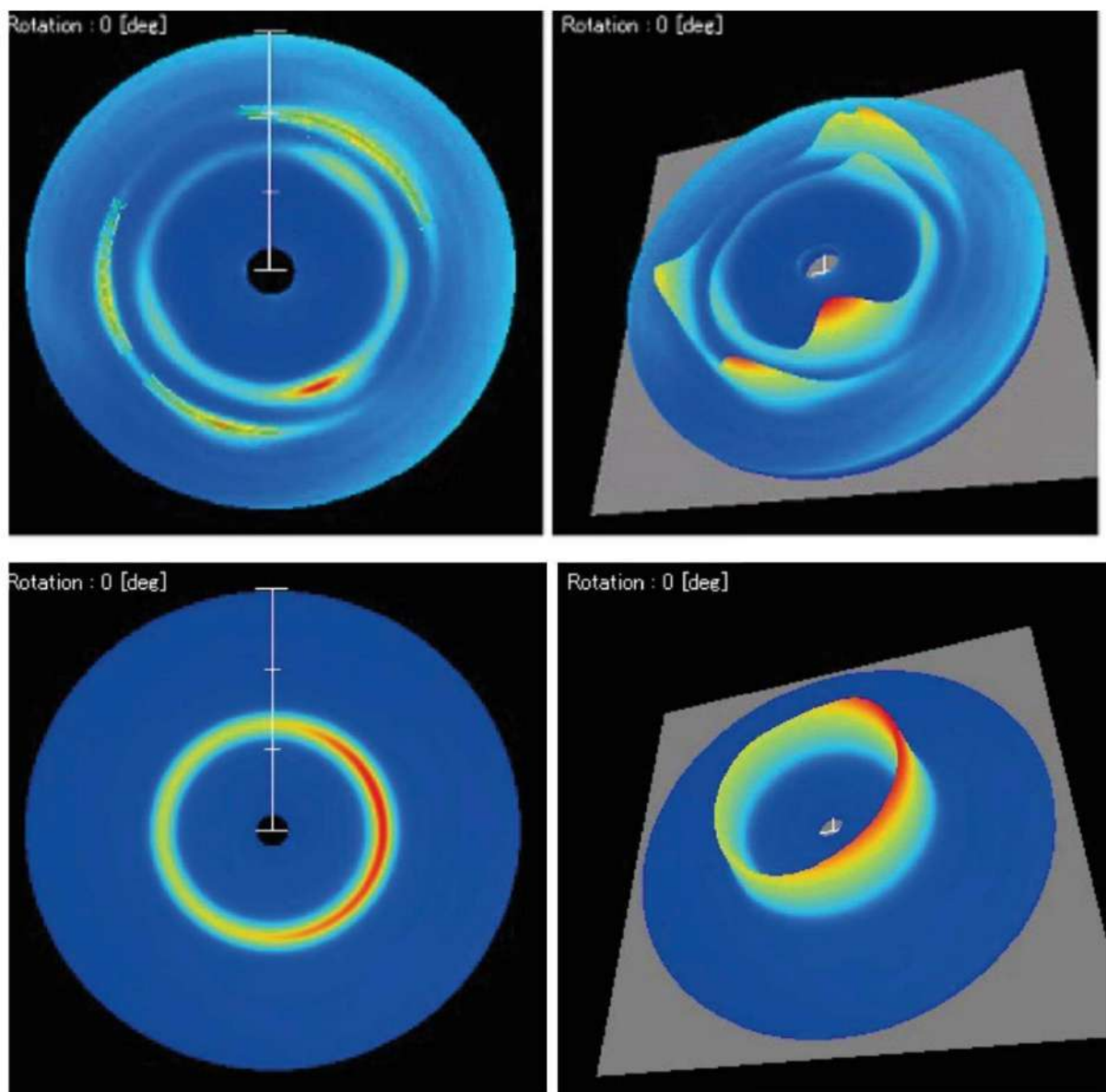


Рисунок 4.3 – Кільця Дебая-Шеррера, взяті зі зразка з грубим зерном (вгорі) і текстурою (внизу) [13]

Окрім лабораторного використання, μ -X360s знаходиться на шляху до промислового застосування у виробничих умовах. Вже готуються і впроваджуються перші застосування у серійному виробництві пружин, інструментів і зубчастих коліс. Визначення напружень в потоці замість тривалих лабораторних процедур дозволяє значно пришвидшити контроль якості виробництва та аналіз відмов. Однією з головних вимог для цього розвитку є автоматизація вимірювальних процедур, що дуже часто реалізується за допомогою роботів і відповідних програмних рішень.

4.3 Автоматизовані вимірювання за допомогою μ -X360s

Використовуючи швидкі вимірювання і просте налаштування μ -X360s, можна проводити високоавтоматизовані вимірювання величезної кількості зразків. Крім того, низька радіаційна небезпека і знижені обмеження безпеки дозволяють проводити вимірювання у виробничих умовах. За допомогою робота або конвеєра, деталі стрічки, можна автоматично розміщувати під μ -X360s для проведення вимірювань. Крім того, робот або інше автоматизоване обладнання переміщує блок датчика μ -X360s в потрібне положення (рис.4.4), завдяки низьким вимогам до точності відстані і кута між датчиком і поверхнею зразка [12].

За допомогою робота і додаткового програмного забезпечення StressEasy від Sentenso доступні додаткові функції автоматизації:

1. Оцінка (ОК / не ОК).
2. Вимірювання.
3. Методи коливань (лінійні, кругові, ψ -кутові).
4. Визначення позаплощинних напружень зсуву.
5. Визначення тензора напружень.
6. Повторні вимірювання.

7. Відображення напружень.



Рисунок 4.4 – Вимірювання на диску турбіни за допомогою
коллаборативного робота [12]

За допомогою функції оцінки StressEasy можна вимірювати деталі на лінії і класифікувати їх, як "в нормі" або "не в нормі", що дозволяє виявити проблеми на виробничій лінії. За допомогою робота можна проводити навіть кілька вимірювань на одній деталі. Якщо вимірювання виходить за межі діапазону, воно позначається в програмному забезпеченні, і сигнал подається на ПЛК (програмований логічний контролер), щоб деталь можна було відповідним чином направити.

Деякі зразки мають грубозернисту структуру або текстуру, яка відображається на детекторі у вигляді нерівномірного кільця Дебая-Шеррера. Якщо таке кільце не підходить для визначення залишкових напружень, існує кілька методів осциляції, які допомагають поліпшити вимірювальний сигнал.

Під час вимірювання рентгенівська пляма на деталі коливається лінійно або по колу відносно початкової точки вимірювання, або кут падіння ψ коливається на невеликий градус, зберігаючи положення на зразку. Таким чином, збираються дані з більшої кількості незалежних зерен і покращується плямистість кільця Дебая-Шеррера [12].

Відображення напружень є дуже потужною функцією. Однією з проблем у цій розробці процесу індукційного нагріву є прогнозування розподілу залишкових напружень з певними параметрами. За допомогою програмного розширення StressEasy можна легко і автоматично створювати відображення напружень по всій поверхні зразка. На рисунку 4.5 показано таке відображення навколо індукційного нагрівання з $21 \times 21 = 441$ вимірюваннями, виконаними трохи менше ніж за сім годин. Такі відображення надають цінну інформацію про розподіл напружень на ділянці і дозволяють цілеспрямовано оптимізувати виробничі процеси з коротким часом очікування результатів вимірювань. Результати також можуть бути використані в моделюванні для подальшого вдосконалення процесів.

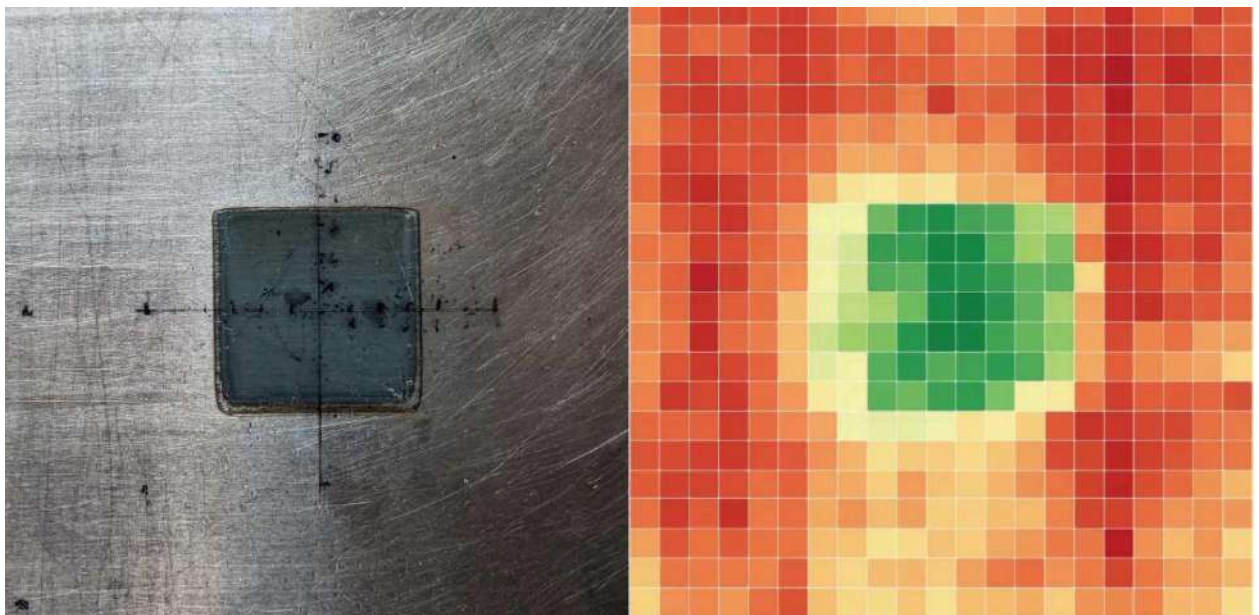


Рисунок 4.5 – Відображення напружень, зроблене на феритній сталевій деталі з індукційним нагріванням. Червоний колір відповідає стискаючому, а зелений - розтягуючому напруженню

4.4 Основний принцип вимірювання

Метод $\cos\alpha$ заснований на дифракції Брегга полікристалічними матеріалами. Падаюче рентгенівське випромінювання дифрагується під кутами, що задовольняють рівнянню (4.1):

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (4.1)$$

де θ залежить від відстані до площини ґратки (d) і дискретної довжини хвилі (λ) джерела рентгенівського випромінювання [14].

Для зразка без напружень відстань до площини ґратки дорівнює d_0 для кожної орієнтації ґратки відносно поверхні. Це створює дифракційний конус з симетричною віссю обертання, яка колінеарна падаючому рентгенівському випромінюванню. Конус проєктується на поверхню детектора у вигляді центричного і круглого кільця Дебая-Шеррера.

Введення напруги в матеріал призведе до того, що відстань до площини решітки d буде різною для різних орієнтацій відносно поверхні зразка (рис. 4.6). Наприклад, майже паралельно орієнтовані площини будуть розширюватися, а майже вертикальні площини будуть стискатися під дією двовісного напруження. Різні відстані між ґратками призводять до різних кутів дифракції (2θ).

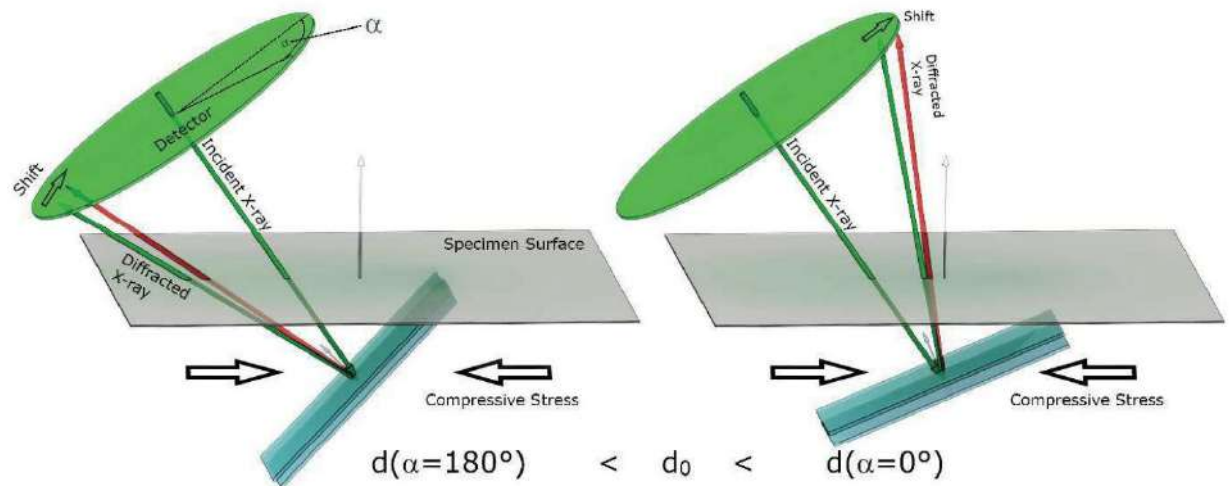


Рисунок 4.6 – Основний принцип вимірювання. Червона стрілка показує дифраговане рентгенівське випромінювання під напруженням стискання, зелена стрілка - в умовах без напруження [14]

Кут α на площині детектора являє собою орієнтацію площини решітки до поверхні. Кільцева область навколо $\alpha = 0^\circ$ показує дифракційні піки від майже паралельних до поверхні площин решітки, тоді як область навколо 180° показує дифракційні піки від майже вертикальних до поверхні площин решітки. Загалом, різні кути α відповідають різним відстаням між площинами ґратки $d(\alpha)$.

Отже, пов'язані з напруженням зміни міжплощинних відстаней призводять до нахилу дифракційного конуса в напрямку вимірювання.

5 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Подано 3D-модель деталі «Кришка переднього підшипника» (рис. 5.1), яка була розбита сітку (вільну, тетраїдричну) кінцевих елементів (рис. 5.2). Деталь була надійно закріплена на різі зовнішнього діаметру M36×1 (рис. 5.3). Навантаження силою було рівномірно розподілено по вужчій стороні фланцю, за допомогою SIEMENS NX CAM (рис. 5.4). Після проведення розрахунку на міцність було отримано зображення на рисунку 5.5 з напружено-деформованим станом (НДС) деталі.

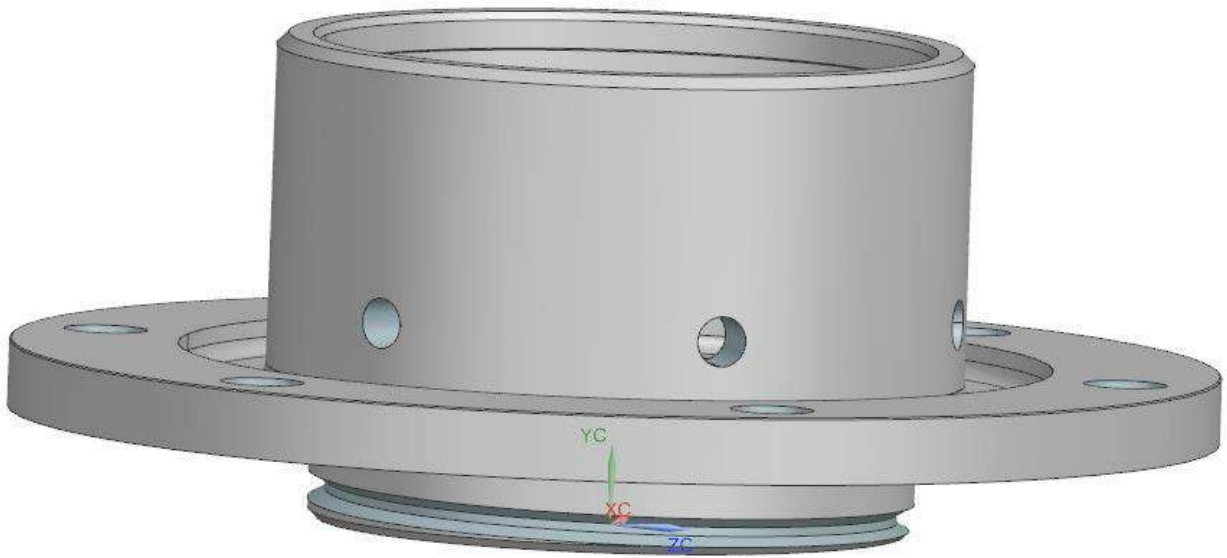


Рисунок 5.1 – 3D-модель деталі «Кришка переднього підшипника»

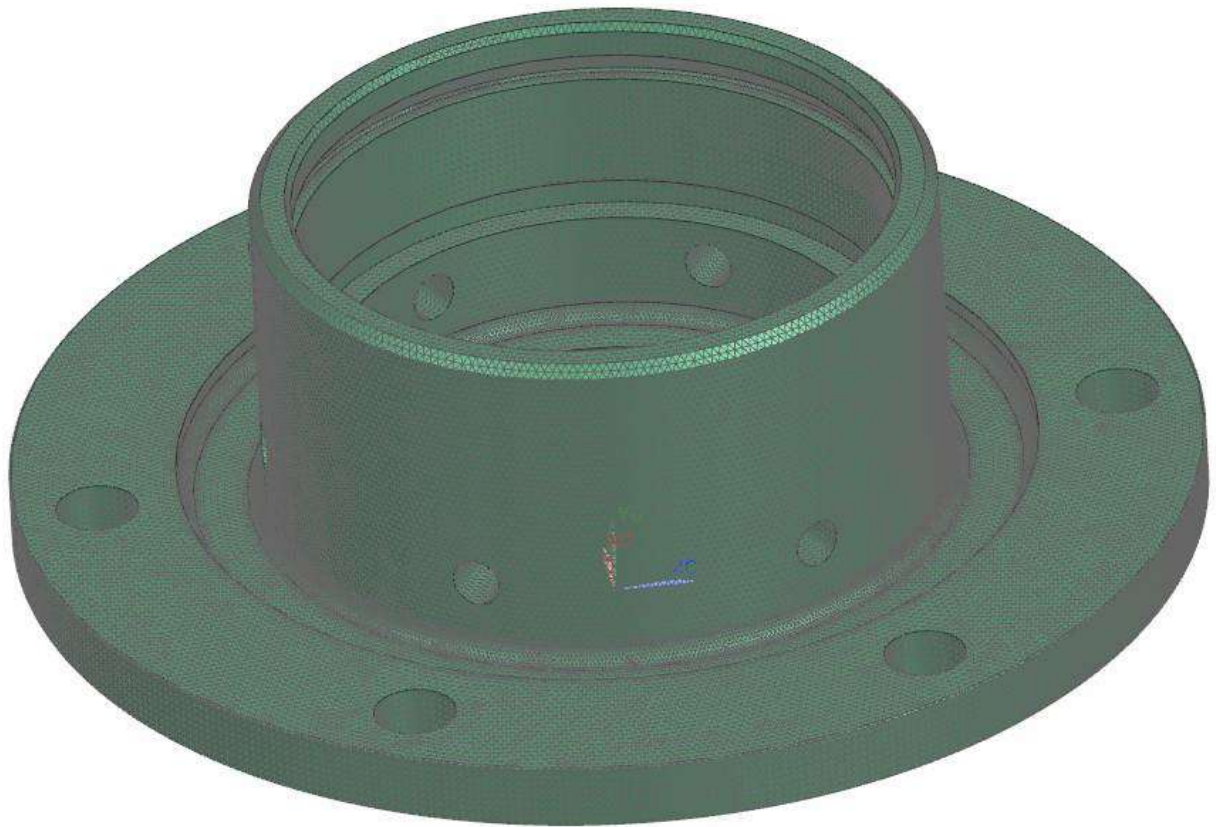


Рисунок 5.2 – 3D-модель деталі «Кришка переднього підшипника» розбита сітку (вільну, тетраїдричну) кінцевих елементів (число елементів в сітці 287925)

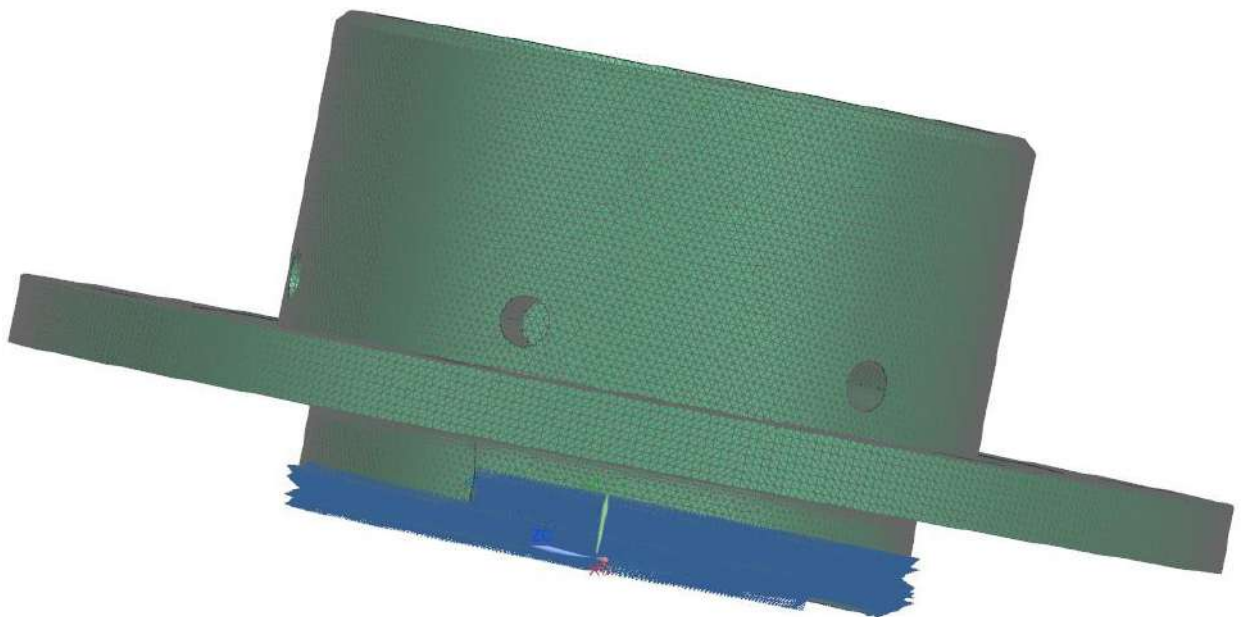


Рисунок 5.3 – 3D-модель деталі «Кришка переднього підшипника» з поверхнею закріплення

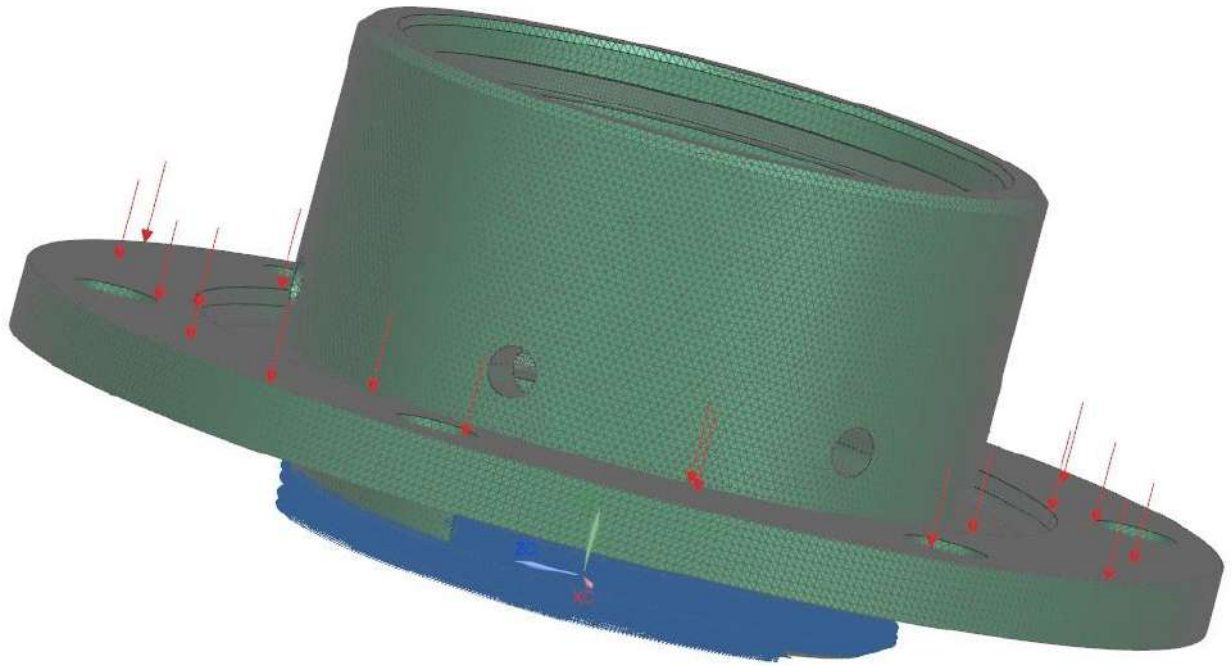


Рисунок 5.4 – 3D-модель деталі «Кришка переднього підшипника» з поверхнею закріплення та ділянкою прикладення сили

Границя міцності матеріалу деталі АК4-1 при розтягуванні σ_b становить 400 МПа, що є стандартним значенням для цього матеріалу.

У сфері авіабудівної промисловості нормальним значенням коефіцієнта запасу міцності є діапазон від 2 до 5.

Для визначення необхідного значення коефіцієнта запасу міцності для деталі «Кришка переднього підшипника», були розглянуті декілька значень навантаження (таблиця 5.1), на рисунку 5.4 зображено НДС деталі після розрахунку з прикладеною силою 1500 Н. Результати інших розрахунків, виконаних за допомогою програмного забезпечення SIEMENS NX CAM, представлені в таблиці 5.1. Для будь-якого типу деталі важливо враховувати відповідний запас міцності для забезпечення безпеки та надійності в авіабудівній галузі.

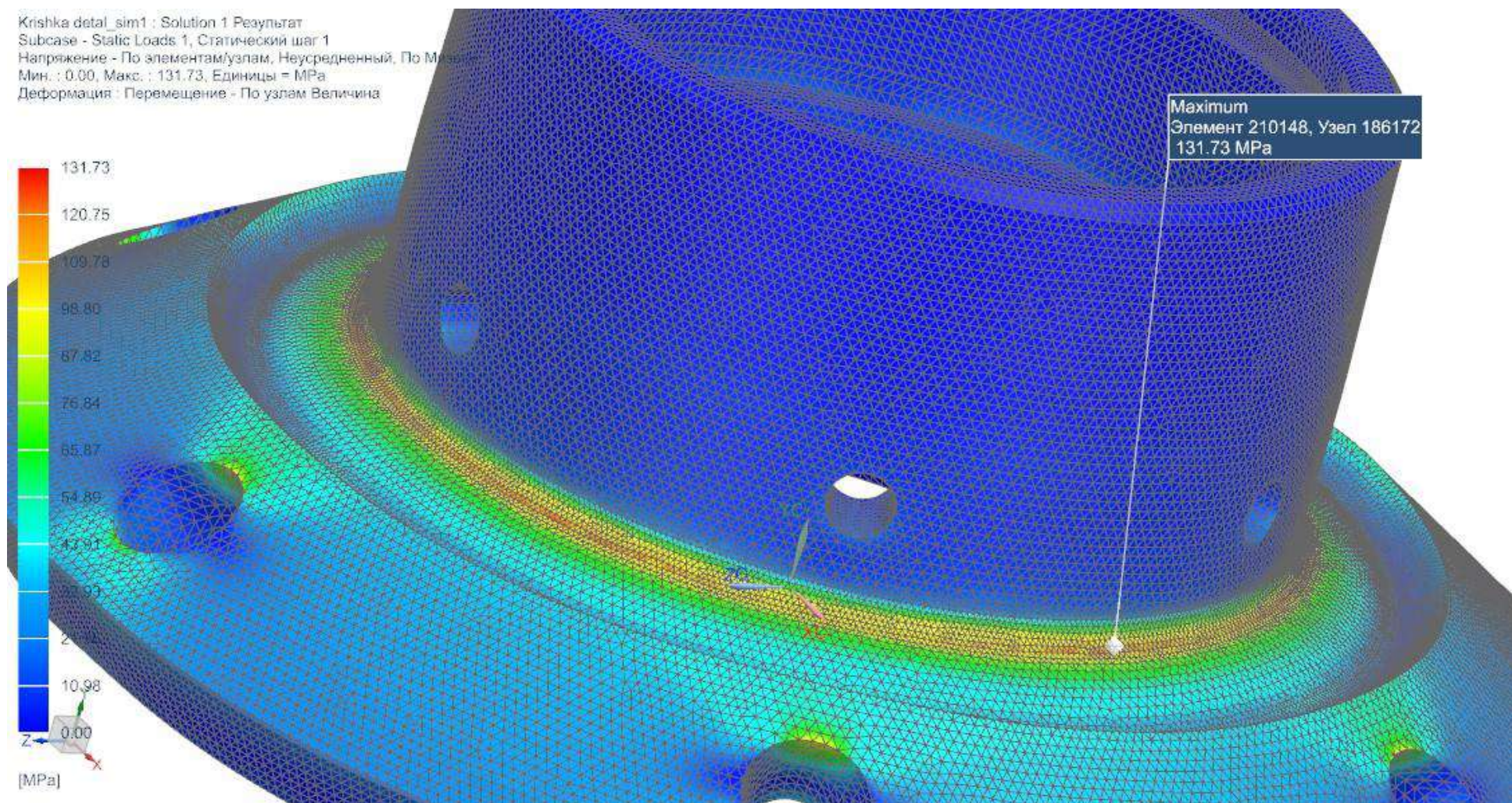


Рисунок 5.5 – 3D-модель НДС деталі «Кришка переднього підшипника» після розрахунку з прикладеною силою 1500 Н

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку на міцність деталі «Кришка переднього підшипника»

Прикладене навантаження σ_0 , Н	Мах навантаження $\sigma_{\max}$, МПа	Коеф. запасу міцності, n
910	79,92	5,0
1000	87,82	4,55
1500	131,73	3,03
2100	184,42	2,17
2270	199,35	2,0

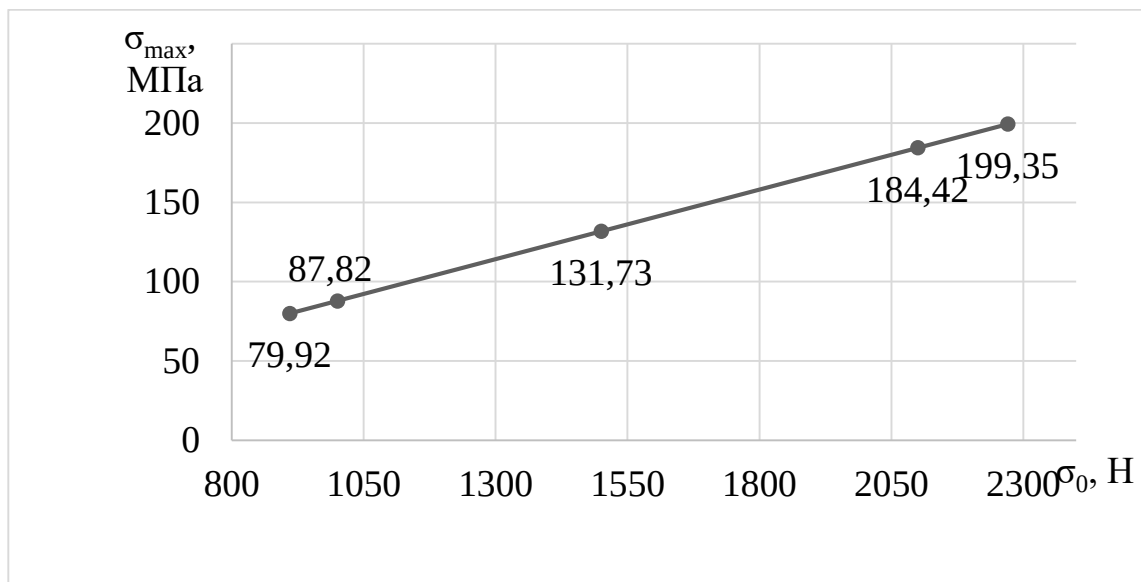


Рисунок 5.6 – Графік залежності мах напруження $\sigma_{\max}$ від прикладеного навантаження σ_0

З результатів, представлених у таблиці 5.1 та на графіку (рис. 5.6), очевидно, що найбільш вигідним діапазоном прикладеного навантаження є інтервал від 910 до 2270 Н. Цей діапазон навантаження забезпечує вимоги щодо коефіцієнта запасу міцності n від 2 до 5, при цьому максимальні значення напруженості ($\sigma_{\max}$) коливаються в межах від 79,92 до 199,35 МПа.

Небезпечним перерізом у деталі є радіус скруглення канавки біля фланцю (рис. 5.5)

5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Для зменшення величини максимального напруження в небезпечному перерізі деталі пропонується змінити величину радіусу скруглення канавки. На рисунку 5.7 зображено НДС деталі після розрахунку з прикладеною силою 1500 Н та зміненням радіусу скруглення канавки. Результати інших розрахунків зі зміною цієї величини, виконаних за допомогою програмного забезпечення SIEMENS NX CAM, представлені в таблиці 5.2 та на графіку (рис. 5.8).

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку на міцність деталі «Кришка переднього підшипника» зі зміненим радіусом скруглення канавки при $\sigma_0=1500$ Н

Величина радіусу скруглення R, мм	Мах навантаження $\sigma_{\max}$, МПа	Коеф. запасу міцності, n
1 – станд. конст.	131,73	3,04
1,2	124,56	3,21
1,3	123,19	3,25
1,5	118,55	3,37
2	101,79	3,93

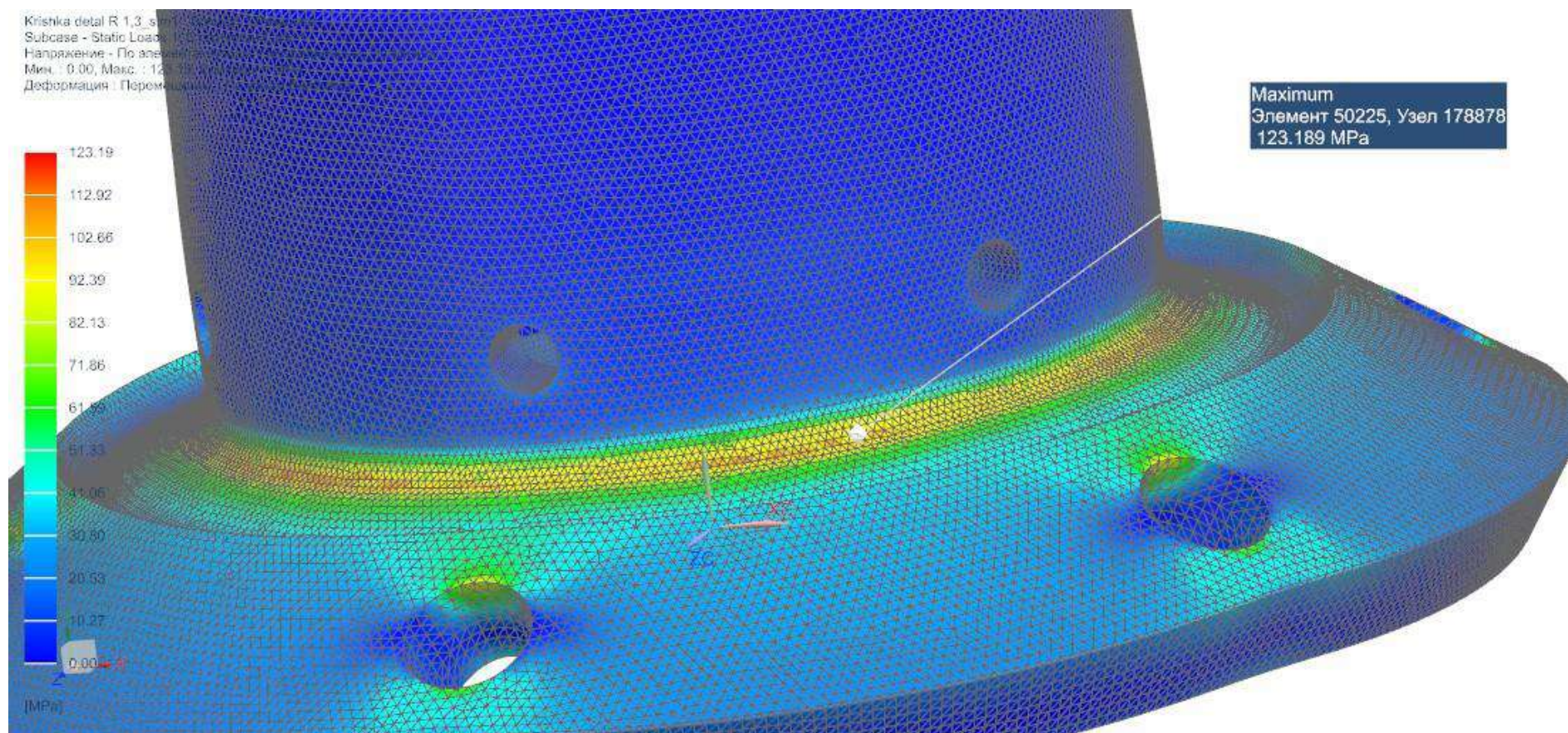


Рисунок 5.7 – 3D-модель НДС деталі «Кришка переднього підшипника» після розрахунку зі зміненим радіусом скруглення канавки з R1 мм на R1,3 мм

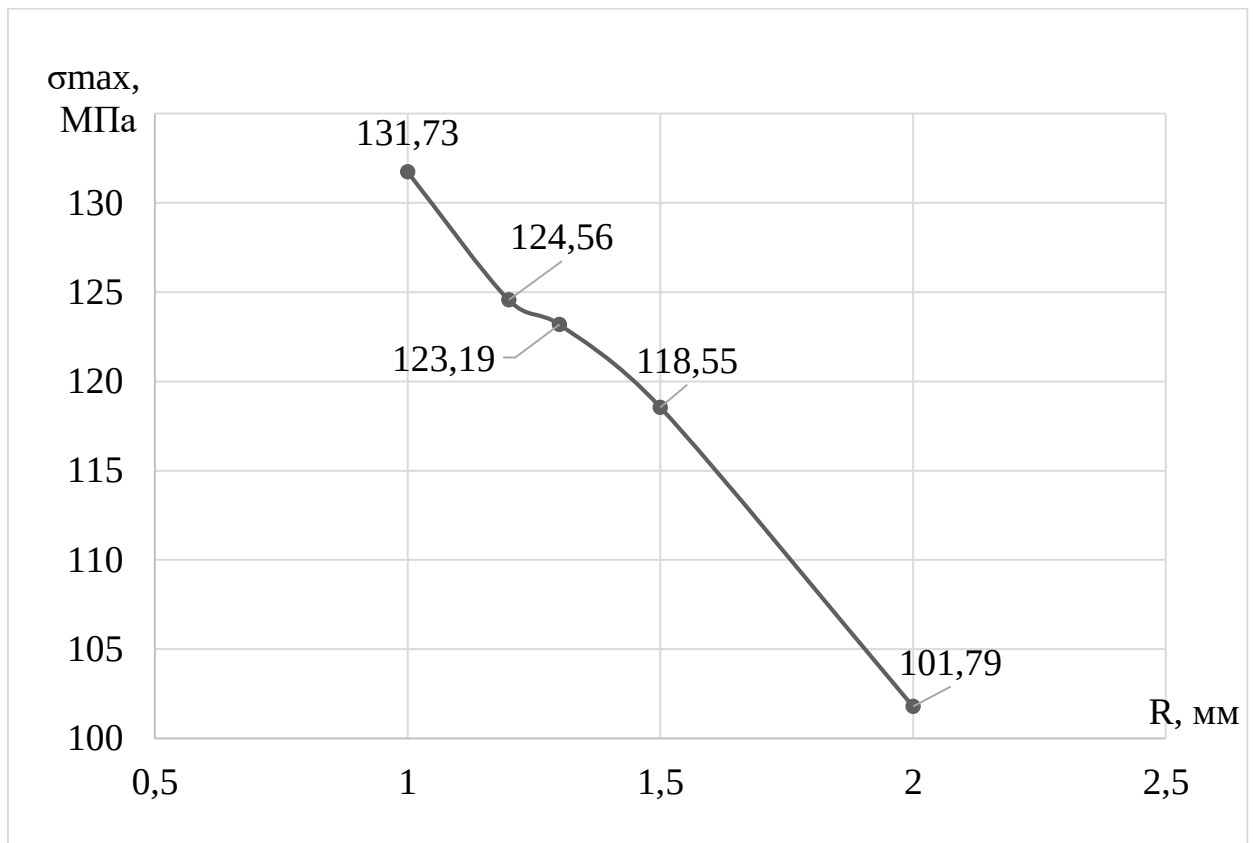


Рисунок 5.8 – Графік залежності max напруження $\sigma_{\max}$ від зміненої величини радіусу скруглення канавки R

5.3 Рекомендації щодо оптимізації геометрії деталі

Після проведення змін у конструкції деталі можна припустити, що при однаковій нарузі, замінюючи стандартну величину радіусу скруглення канавки з 1 мм на 2 мм конструкція досить значною мірою зменшує максимальну напруженість.

Тому для досягнення оптимізації геометрії деталі, рекомендується розглянути варіанти зміни величини радіусу скруглення канавки на 2 мм за умови, що це не вплине на подальшу експлуатацію та функціонування деталі.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів для забезпечення якості виготовлення деталей опорних вузлів авіадвигунів представляє собою системний аналіз та калькуляцію потенційних вигід та витрат, пов'язаних із впровадженням нового виробництва, виробничих процесів або технологічних рішень у даній галузі. Цей процес включає в себе кілька ключових аспектів:

1. Оцінка інвестицій:

- визначення необхідних фінансових ресурсів для розробки та впровадження проєкту в машинобудуванні;
- розрахунок капітальних витрат на нові технології, обладнання та інші ресурси.

2. Прогнозування прибутковості:

- аналіз ринкових умов та потенційного попиту на новий продукт чи технологію;
- передбачення доходів від реалізації продукції або послуг, які будуть впроваджені через розробку.

3. Оцінка операційних витрат:

- аналіз операційних витрат, пов'язаних з експлуатацією нового виробництва чи технологічних процесів;
- розрахунок витрат на технічне обслуговування, енергоспоживання та інші зобов'язання.

4. Ризиковий аналіз:

- врахування можливих ризиків, пов'язаних з реалізацією проєкту в машинобудуванні, і розробка стратегій для їх управління.

Оцінка економічної ефективності дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій в розробку та впровадження нових рішень в галузі

машинобудування, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів та максимізацію прибутковості проєкту.

Для забезпечення якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна, в 025 токарну операцію з ЧПК було об'єднано 4 токарних операції з ЧПК, а саме дві зовнішніх та дві внутрішніх. Також було замінено обладнання на даній операції, у вихідному варіанті ТП, 4 токарних операції з ЧПК виконувалися на 4^{box} верстатах 16A35 з ЧПК, а в новому розробленому ТП на 025 токарній операції з ЧПК використовується сучасне високотехнологічне обладнання – токарний верстат GOODWAY мод. GCL-2B з ЧПК FANUC 0-iTD.

Тому для оцінки ефективності вищенаведених заходів, порівнюємо витрати на технологічні операції та обслуговування обладнання [15] вихідного з новим розробленим ТП (табл. 6.1).

Для розрахунку заробітної плати основних виробничих робітників використовую формулу (6.1):

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-к_i} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}. \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі (табл. 6.1);

$t_{шт-к_i}$ – норма штучно-калькуляційного часу виконання і-ої операції, год (табл. 6.1)

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [15, т.А.1, с.33];

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERстатному обслуговуванні [15, т.2.1, с.13];

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату [15, с.13];

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [15, с.13].

Для розрахунку основної та додаткової заробітної плати всіх інших робітників (наладчиків, електронників, транспортних робітників)

використовую формулу (6.2):

$$Z_H = \frac{C_{\text{тар.н}} \cdot \Phi_p \cdot \chi_H \cdot k_{\text{доп.}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн. [15, т.А.1, с.33];

Φ_p – річний фонд часу, год [15, с.13];

χ_H – чисельність робітників відповідної категорії, чол.

Для розрахунку амортизаційних відрахувань на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби використовую формулу (6.3):

$$A_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{oi}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ій операції, грн. (табл. 6.1);

H_{ai} – річна норма амортиз. відрахувань на обл. на i -ій операції (табл. 6.1);

t_{oi} – основний час на i -ої операції, хв (табл. 6.1);

F_d – дійсний (ефективний) фонд часу роботи устаткування, год.

Для розрахунку витрат на інструмент використовую формулу (6.4):

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

де $C_{\text{ініj}}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, що визначається за каталогами для підприємств, фірм-постачальників інструменту чи сайтах мережі інтернет, грн./шт.;

$t_{\text{шт-кij}}$ – штучний час роботи j -го інст-ту на i -ої операції, хв (табл. 6.1);

η_m – коефіцієнт основного часу, що визначається, як відношення $t_o/t_{\text{шт-к}}$;

T_{ij} – період стійкості інст-ту j -го виду на i -ої операції, хв [15, т.3.8, с.22];

n_{in} – номенклатура інструментів на i -ої операції [15, т.3.8, с.22];

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [15, т.3.8, с.22].

Для розрахунку витрат на технологічну електроенергію використовую формулу (6.5):

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_w \cdot t_{\text{шт-к}}}{\eta \cdot k_B} \cdot \text{Ц}_e, \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт (табл. 6.1);

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [15, с.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [15, с.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [15, с.16];

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства [15, с. 16];

Ц_e – вартість 1 кВт · год електроенергії (тариф для підприємств становить 3,45 грн. за 1 кВт·год).

Для розрахунку витрат на обслуговування та ремонт обладнання використовую формулу (6.6):

$$S_p = \frac{\text{Ц}_{\text{го}} \cdot K_p \cdot C_p}{N}, \quad (6.6)$$

де $\text{Ц}_{\text{го}}$ – залишкова вартість обладнання, грн.

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [15, с.16].

Для розрахунку витрат на налаштування інструментів поза верстатом використовую формулу (6.7):

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{\text{ГН}} \cdot t_{\text{ін}} \cdot t_0 \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60}, \quad (6.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковості поломки інструменту [15, с.16];

$C_{\text{ГН}}$ – середня годинна заробітна плата наладчиків, грн./год [15, т.А.1, с.32];

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту, хв [15, с.17];

t_0 – основний час роботи інструменту на операції, хв. (табл. 4.1);

K_T – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучно-калькуляційному часі [15, с.17];

T_M – середня стійкість інструменту, хв. [15, т.3.15, с.32];

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.[15, с.17].

Для розрахунку інших загальновиробничих витрат використовую формулу (6.8):

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

де $k_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [15, с.17].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані порівнюваних варіантів ТП

Вихідні дані операцій ТП	Варіанти ТП				
	Вихідний				Новий розроблений
Річна прогр. випуску дет. N_p , шт.	1700				
Модель верстата з ЧПК	16A25				GCL-2B
Штучно-кальк. час $T_{шт-к}$, хв.	10,317	9,612	7,262	4,123	11,382
Розряд верстатника	5				5
Розряд наладчика	5				5
Основний час t_{oi} , хв	2,56	2,385	1,802	1,023	4,67
Тариф. ст. осн. робіт., грн/год	65,1				
Тариф. ст. доп. робіт., грн/год	57,7				
Число змін робітника m	2				2
Опт. ціна верстата F , грн	1517500				2163052
Число верстатів, шт	1	1	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	15				
Норма аморти. відрахувань H_a %	14,2				
Встановлена потужність електродвигунів, N	7,5				15

Для розрахунку розрахункової кількості потреби в обладнанні використовую формулу (6.9):

$$C_p = \frac{t_{шт-кі} \cdot N}{F_d \cdot k_b \cdot k_z \cdot 60} \quad (6.9)$$

де $t_{шт_i}$ – штучно-калькуляційний час i -тої, операції ТП, хв;

N – річна програма випуску деталей, шт.;

F_d – дійсний фонд часу роботи обладнання, год (при 1-змінній роботі - 2007 год);

k_v – коефіцієнт виконання норм часу (приймається за даними підприємства, приблизно $k_v = 1,1 \dots 1,2$);

k_z – коефіцієнт завантаження обладнання (приймається за даними підприємства, приблизно $k_z = 0,8 \dots 0,85$).

Для розрахунку фактичного коефіцієнту завантаження верстата використовую формулу (6.10):

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P} \quad (4.10)$$

де P – прийнята кількість робочих місць [15, с.10];

Для розрахунку кількості операцій, що виконуються на робочому місці використовую формулу (6.11):

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} \quad (6.11)$$

Таблиця 6.2 – Висновок розрахунків коефіцієнту закріплення операцій вихідного ТП

№ оп.	Найм-ння операції	$t_{шт-к}$, хв.	C_p	P , чол	$\eta_{зф}$	O	K_{30i}
025	Токарна з ЧПК	10,317	0,082	1	0,082	9,76	9,76
030	Токарна з ЧПК	9,612	0,076	1	0,076	10,53	10,53
035	Токарна з ЧПК	7,262	0,058	1	0,058	13,79	13,79
040	Токарна з ЧПК	4,123	0,033	1	0,033	24,24	24,24
						$\Sigma =$	58,32

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{30i}=58,32/4=14,58$.

Таблиця 6.3 – Висновок розрахунків коефіцієнту закріплення операцій нового розробленого ТП

№ опер.	Найм-ння операції	$t_{шт-к}$, хв.	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	K_{30}	$K_{30 (доз)}$
025	Токарна з ЧПК	11,382	0,09	1	0,09	8,89	8,89	11,0

Операцію нового розробленого було дозавантажено деталями подібними до «Кришка переднього підшипника». Після дозавантаження верстату на виробничій ділянці $K_{30 (доз)}=11,0$.

Для розрахунку заробітної плати основних виробничих робітників використовую формулу (6.1).

Таблиця 6.4 – Заробітна плата верстатника вихідного ТП

№ оп.	Найм. оп.	$t_{шт-к}$, хв.	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	K_6	$З_o$, грн
025	Токарна з ЧПК	10,317	65,1	1,2	1,4	0,65	12,224
030	Токарна з ЧПК	9,612	65,1	1,2	1,4	0,65	11,388
035	Токарна з ЧПК	7,262	65,1	1,2	1,4	0,65	8,604
040	Токарна з ЧПК	4,123	65,1	1,2	1,4	0,65	4,885
							$\Sigma = 37,1$

Таблиця 6.5 – Заробітна плата верстатника нового розробленого ТП

№ оп.	Найм. оп.	$t_{шт-к}$, хв.	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	K_6	$З_o$, грн
025	Токарна з ЧПК	11,382	65,1	1,2	1,4	0,48	9,959

Для розрахунку основної та додаткової заробітної плати всіх інших робітників (наладчиків, електронників, транспортних робітників) використовую формулу (6.2).

Таблиця 6.6 – Заробітна плата наладчиків за вихідного ТП

№ оп.	Найм. оп.	С _{тар.н} , грн	Ф _р , год	Ч _н , чол.	k _{доп}	k _{соц}	З _н , грн
025	Токарна з ЧПК	57,7	4015	0,5	1,2	1,4	3,82
030	Токарна з ЧПК	57,7	4015	0,5	1,2	1,4	
035	Токарна з ЧПК	57,7	4015	0,5	1,2	1,4	3,82
040	Токарна з ЧПК	57,7	4015	0,5	1,2	1,4	
				Σ = 2			Σ = 7,64

Таблиця 6.7 – Заробітна плата наладчиків за нового розробленого ТП

№ оп.	Найм. оп.	С _{тар.н} , грн	Ф _р , год	Ч _н , чол.	k _{доп}	k _{соц}	З _н , грн
025	Токарна з ЧПК	57,7	4015	1	1,2	1,4	3,82

Для розрахунку амортизаційних відрахувань на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби використовую формулу (6.3).

Таблиця 6.8 – Відрахування на амортизацію обладнання вихідного ТП

№ оп.	Найм. оп.	t _{шт-к} , хв.	К, грн	Н _а , %	F _д	A _{від} , грн.
025	Токарна з ЧПК	10,317	1517500	14,2	4015	2,290
030	Токарна з ЧПК	9,612	1517500	14,2	4015	2,133
035	Токарна з ЧПК	7,262	1517500	14,2	4015	1,612
040	Токарна з ЧПК	4,123	1517500	14,2	4015	0,915
						Σ = 6,95

Таблиця 6.13 – Витрати на силову електроенергію нового розробленого ТП

№ оп.	Найм. оп.	$t_{шт-к,}$ хв.	Ц_e , грн./ кВт·год	N_e кВт	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_W	η_e	k_B	S_e ,
025	Токарна з ЧПК	11,382	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	7,14

Для розрахунку витрат на обслуговування та ремонт обладнання використовую формулу (6.6).

Таблиця 6.14 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання вихідного ТП

№ оп.	Найм. оп.	Коеф. відрах. до рем. фонду, K_p	C_p	S_p , грн
025	Токарна з ЧПК	0,02	0,082	2,788
030	Токарна з ЧПК	0,02	0,076	2,584
035	Токарна з ЧПК	0,02	0,058	1,972
040	Токарна з ЧПК	0,02	0,033	1,122
				$\Sigma = 8,47$

Таблиця 6.15 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання нового розробленого ТП

№ оп.	Найм. оп.	Коеф. відрах. до рем. фонду, K_p	C_p	S_p , грн
025	Токарна з ЧПК	0,02	0,09	3,06

Для розрахунку витрат на налаштування інструментів поза верстатом використовую формулу (6.7).

Таблиця 6.17 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом
нового розробленого ТП

№ оп.	Найм. оп.	t _{шт-к} , хв.	t _о , хв.	Інструмент	C _{стар.н} , грн	Стій- кість Т, хв	K _т	Число гр. ріж.част. m	S _н , грн
025	Токарна з ЧПК	11,382	4,67	Різець прохідний	57,7	60	0,41	1	0,160
				Різець канавочний		30			0,319
				Різець розточний		40			0,240
				Різець канавочний		30			0,319
				Різець прохідний		60			0,160
				Різець розточний		40			0,240
				Різець канавочний		30			0,319
									Σ = 1,757

Таблиця 6.18 – Висновок розрахунків елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості	Познач.	Варіанти	
		Вихідний ТП	Новий розроблений ТП
Заробітна плата верстатника	Z_o	37,1	9,959
Заробітна плата наладчика	Z_n	7,64	3,82
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	6,95	5,954
Витрати на ремонт та обсл-ння обладнання	S_p	8,47	3,06
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	5,52	1,757
Витрати на електроенергію	S_e	9,83	7,14
Інші витрати	I_n	1,484	0,4
Витрати на налашт. інстр-тів поза верстатом	S_n	0,443	1,757
Технологічна собів-ть	C_T	77,44	58,008

Для розрахунку умовного економічного ефекту використовую формулу (6.11):

$$E_{yp} = (C_1 - C_2) \cdot N \quad (6.11)$$

де $C_{1/2}$ – собівартість деталі вихідного та нового розробленого ТП, грн.;

$$E_{yp} = (77,44 - 58,008) \cdot 1700 = 33034,4 \text{ грн.}$$

Впровадження заходів із економічним ефектом у розмірі 33034,4 гривень приносить різноманітні переваги для проєкту з поставленою метою – забезпечення якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна. Ключові позитивні аспекти включають підвищення прибутковості через оптимізацію виробничих процесів та впровадження ефективних технологій. Покращення якості продукції чи послуг сприяє конкурентоспроможності. Таким чином, визначений економічний ефект створює можливість для значущого розвитку та досягнення стратегічної перспективи.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

ПРОЄКТУВАННЯ ЗАГАЛЬНОГО ВИРОБНИЧОГО ОСВІТЛЕННЯ

Як відомо, освітлення є основним фактором, що впливає на безпеку працюючих, швидкість виконання роботи, збереження здоров'я зору. Згідно законодавства України, забезпечувати відповідні умови на підприємстві зобов'язані керівники різного рівня, а служба охорони праці повинна проводити періодичний та постійний контроль за дотриманням вимог нормативно-правових документів. Але, останнім часом в умовах активного розвитку комп'ютерної техніки та інших «гаджетів» суттєво збільшилось навантаження на зір не тільки під час основної роботи але і під час відпочинку. Такі навантаження призводить до відчуття стомлення очей, їх важкості, може з'являтися відчуття так званого «піску в очах», виникає почервоніння. Крім того, зорова втома може стати причиною проявів частого головного болю. Захворювання органу зору проявляються у молодших людей ніж це мало місце 15-20 років тому. В зв'язку з означеним, для забезпечення комфортних умов праці для виконання робіт по контролю якості продукції, коли фахівець повинен розглядати дефекти розміром менше одного мм, необхідним є проєктування загального штучного освітлення з урахуванням значних постійних навантажень на зір. Як природне так і штучне освітлення нормується відповідно ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення», де враховуються необхідні умови праці в залежності від розряд зорової роботи. Проаналізуємо потенційну схему розміщення світильників в робочій кімнаті, де перевіряють якість продукції, що виробляється на механічній дільниці. Довжина приміщення $A=19\text{м}$, ширина $B=13$, висота $H=3.8\text{м}$. Для виконання розрахунку будемо дотримуватись рекомендацій [16].

1. Вибір системи освітлення.

Для приміщень адміністративного типу, згідно ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» [17],

необхідно передбачити застосування світильників типу ЛПО або ЛСП, які мають естетичний вигляд, легко миються та просто монтуються. В них використовуються дві або чотири люмінесцентні лампи.

Для забезпечення східних умов праці передбачається рівномірне встановлення світильників на однаковій висоті, яку буде визначено при розрахунках.

2. Визначення рівня нормованої освітленості (E_n).

Рівень нормативної освітленості для виробничих приміщень встановлюється по ДБН В.2.5-28:2018. [18] За кількісну характеристику освітленості у приміщенні береться найменша освітленість, яка залежить від : розряду зорових робіт, фону, контрасту об'єкта з фоном, системи освітлення (додаток А).

По ДБН В.2.5-28:2018 рекомендована характеристика зорової роботи, як середньої точності тому, що найменший розмір об'єкта розрізнення: більше 0,5 до 1 мм. Такій роботі відповідає розряд зорової роботи: IV, а підрозряд -"в" [18].

Вибираємо нормовану освітленість $E_n = 400$ лк, що забезпечить комфортні умови праці.

3. Вибір джерела світла.

Для світильників ЛПО та ЛСП джерелом світла є люмінесцентні лампи. Вони досить надійні, економічні але навіть незначна кількість ртуті, що застосовується для забезпечення процесу світіння є небезпечним для навколишнього середовища. Тому, доцільно вибрати більш сучасні освітлювальні прилади типу ЛЕД, які є безпечними для екології міста та приблизно в два рази економніші.

4. Світильник типу INOX підходить для обраних LED ламп, про що свідчить інформація наведена в додатку В [16].

Ступінь захисту світильників IP за міжнародними стандартами становить 64 [19].

Відношення відстані між світильниками до висоти їх підвісу $L/h - 1.4$ [16].

5. Коефіцієнт запасу роботи світильників залежить від тих умов, де вони будуть розміщені. Для адміністративних приміщень, читальних залів та конструкторського бюро $k_3=1.4$.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z (відношення середньої освітленості до її мінімального значення) дорівнює: $z = 1,1$ – для LED-світильників.

6. Коефіцієнт відбиття поверхонь (від: стелі – ρ_c ; стін – $\rho_{ст}$ та підлоги – $\rho_{п}$) залежить від запиленості приміщення. Для зазначеного робочого приміщення (з незначним пиловиділенням) приймаємо коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення від стелі, стін та підлоги рівними $\rho_c = 70\%$, $\rho_{ст}=50\%$, $\rho_{п}=30\%$.

7. Чисельне значення індексу приміщення i , визначається за формулою (7.1):

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} \quad (7.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Загальна висота приміщення H , м, визначається за формулою (7.2):

$$H = h + h_p + h_3 \quad (7.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м; (як правило, висота умовної робочої поверхні $h_p=0,9$ м);

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м. (може вибиратися за технологічною доцільністю).

Визначення h і h_3 проводити за наступною послідовністю:

а) кількість рядів світильників у приміщенні N_p , визначається за формулою (7.3):

$$N_p = \frac{B}{(H-h_p) \cdot [L/h]} \quad (7.3)$$

$$N_p = \frac{13}{(3,9-0,9) \cdot 1,4} = 3$$

де $[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника (дод. В, [17]).

б) максимально припустима відстань між рядами світильників L_{max} , м, визначається за формулою:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (7.4)$$

$$L_{max} = \frac{13}{3} = 4.3$$

в) висота підвісу світильника над робочою поверхнею h , м, визначається:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} \quad (7.5)$$

$$h = \frac{4.3}{1,4} = 3.0 \text{ м}$$

г) висота звисання світильника від стелі h_3 , м, визначається за формулою (4.6):

$$h_3 = H - h_p - h \quad (7.6)$$

$$h_3 = 3.9 - 0.9 - 3.0 = 0 \text{ м,}$$

тобто світильник повинен кріпитися до стелі.

д) індекс приміщення дорівнює :

$$i = \frac{19 \cdot 13}{3.0(19+13)} = 2,58$$

8. Значення коефіцієнта використання світлового потоку η вибирається в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{п}$) та індексу приміщення (додаток Д, [17]), $\eta = 0,67$.

9. Визначення світлового потоку LED - світильника та загальної кількості світильників:

а) сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні Φ_{Σ} , лм, визначається за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\eta} \quad (7.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлюваної поверхні, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 247 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,67} = 227092 \text{ лм}$$

б) розрахункова загальна кількість світильників N^* :

$$N^* = \frac{AB}{L_{\max}^2} \quad (7.8)$$

$$N^* = \frac{19 \cdot 13}{4.3^2} = 13.36$$

Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\text{л}}} \quad (7.9)$$

де $N_{\text{л}}$ – загальна кількість ламп у приміщенні, шт., визначається за формулою:

$$N_{\text{л}} = N^* \cdot n \quad (7.10)$$

де n – кількість ламп у світильнику

$$N_{\text{л}} = 13.36 \cdot 1 = 13.36 \text{ шт}$$

г) вибираємо з додатку Б тип стандартної лампи з найближчими значеннями фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$ і коефіцієнт пропорційності m , визначається за формулою (7.11):

$$m = \Phi_{\text{л}}^* / \Phi_{\text{л}} \quad (7.11)$$

$$\Phi_{\text{л}}^* = \frac{227092}{13.36} = 16997 \text{ лм}$$

$$m = \frac{16997}{10000} = 1.69$$

д) оптимальна кількість LED 80 світильників N , шт, визначається за формулою (7.12):

$$N = N^* \cdot m \quad (7.12)$$

$$N = 13.36 \cdot 1.69 = 22.7 \text{ шт}$$

Коригуємо число світильників та визначаємо їх фактичну кількість N_{Φ} , яка відповідає рівно кількісному розміщенню світильників у кожному ряді (тобто є величиною кратною кількості рядів), $N_{\Phi} = 24$ шт.

10. Загальна розрахункова освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні вибраних стандартних LED 80 ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{л}} \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot z} \quad (7.13)$$

$$E_p = \frac{10000 \cdot 24 \cdot 0,67}{247 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 422 \text{ лк}$$

де $N_{\text{фл}}$ – фактична кількість ламп у приміщенні, шт, визначається за формулою (7.14):

$$N_{\text{фл}} = N_{\Phi} \cdot n \quad (7.14)$$

$$N_{\text{фл}} = 24 \cdot 1 = 241 \text{ шт}$$

11. Загальна потужність освітлювальної установки P_{Σ} , Вт, визначається за формулою (7.16):

$$P_{\Sigma} = N_{\text{фл}} \cdot P_{\text{л}} \quad (7.16)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраної стандартної лампи, Вт, $P_{\text{л}} = 250$.

$$P_{\Sigma} = 24 \cdot 82 = 1968 \text{ Вт}$$

Таким чином, для постійного виконання робіт високої точності в приміщенні необхідно передбачити 24 світильники INOX LED80, які розташовуються у три ряди по 8 штук у кожному. Освітлення, що відповідає вимогам ДБН В.2.5-28-2018, ДБН В.2.2-28:2010 дасть можливість для безпечного та якісного виконання робіт [17, 18].

ВИСНОВОК

У даному магістерському проєкті представлено результати проробленої роботи з забезпечення якості виготовлення деталі опорного вузлу авіадвигуна, а саме «Кришки переднього підшипника».

Технологічна частина зосереджена на описі конструкції, виборі типу виробництва, формі організації робіт, а також виборі виду та способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням. Ретельно розглянуті кроки проєктування технологічного маршруту обробки деталі, включаючи проєктування МОП та розрахунок режимів різання. Окрема увага приділена технічному нормуванню операцій та розробці технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК.

Конструкторська частина включає в себе проєктування робочого пристосування для свердління 12^{ти} отворів з визначенням його конструкції, принципу роботи, розрахунку точності та вибору приводу. Та проєктування контрольного пристрою.

Розділ про автоматизацію присвячений розгляду токарного верстату з ЧПК GOODWAY GCL-2B. За рахунок його використання оснащення його двигуном із подвійним зв'язуванням, забезпечується повна потужність на 1/2 швидкості обертання стандартних двигунів, що дає змогу виконувати важче різання в нижніх діапазонах швидкості обертання. Що збільшує продуктивність використання даного верстата та кількість оброблюваних ним деталей.

Спецзавдання описує застосування рентгенівської дифракції для неруйнівного контролю залишкових напружень та автоматизовані вимірювання за допомогою μ -X360s. За допомогою програмного розширення StressEasy можна легко і автоматично створювати відображення напружень по всій поверхні зразка. Його використання збільшить якість проведення контролю та взагалі якість продукції, що виготовляється. Також у висліді ці

заходи суттєво зменшать відсоток бракованих деталей при виготовленні деталі.

Розділ про розрахунок деталі на міцність включає визначення напружено-деформованого стану, розрахунок допустимих навантажень та рекомендації щодо оптимізації геометрії деталі.

Окрім об'єднання механічних операції та заміни обладнання та більш сучасне та ефективне, також було впроваджено на 085 операції – анодування. В якому використовуються анодні оксидні покриття, які забезпечують електричну та теплову ізоляцію. Цей шар складається з гідратованого оксиду алюмінію, що вважається несприйнятливим до корозії. Та на цьому переваги анодування алюмінію не закінчуються. Воно також може діяти як захисне покриття від агресивних хімічних речовин, що використовуються при очищенні. Окрім стійкості до зносу та корозії, процес також покращує адгезію лакофарбових ґрунтів та клеїв, порівняно з нанесенням фарби на голі метали. Це також дуже корисно для запобігання задирок на різьбових деталях.

Впровадження заходів із економічним ефектом у розмірі 33034,4 гривень приносить різноманітні переваги для проєкту з поставленою метою – забезпечення якості виготовлення деталі «Кришка переднього підшипника» опорного вузлу авіадвигуна. Ключові позитивні аспекти включають підвищення прибутковості через оптимізацію виробничих процесів та впровадження ефективних технологій. Покращення якості продукції чи послуг сприяє конкурентоспроможності. Таким чином, визначений економічний ефект створює можливість для значущого розвитку та досягнення стратегічної перспективи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ГОСТ 4784 – 97. Алюміній і сплави алюмінієві деформівні. Марки
2. Організація виробництва : підручник / за ред. А.І. Яковлєва, С.П. Сударкіної, М.І. Ларки. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2016. – 436с.
3. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін «Технології машинобудування» (розділ – проектування технологічних процесів), для студентів напрямку 6.050502. Спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання // Укл.: О.В.Алексєєнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011.– 86 с.
4. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 6.05050201 – технологія машинобудування всіх форм навчання // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 2-е). Під ред., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 62 с.
5. Довідник технолога-машинобудівника Т1. /Під ред. А.Г.Косилової, Р.К.Мещерякова. – М.: Машинобудування, 1985.- 694 с.
6. Баранчик В.І., Жаринів А.В., Юдина Н.Д. та ін., Прогресивні різальні інструменти та режими різання металів. Довідник. Під загальною редакцією В.І. Баранчика. 1990р. -400с.
7. Стружестрах Є.І. Довідник нормувальника .М.: Машинобудування, 1961.-Т2.-890с.
8. Горбацевич А. Ф. Курсове проектування технологій машинобудування: Навчальний посібник для вузів. —/ Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. - М.: ООО ІД «Альянс», 2007. - 256 с.
9. Богуслаєв В. О. Верстатні пристосування/В. О. Богуслаєв, В. А. Леховіцер, А. С. Смірнов. – Запорожжя: ОАТ «Мотор Січ», 2000. – 461 с.
10. Довідник технолога-машинобудівника Т2. /Під ред. А.Г.Косилової,

Р.К.Мещерякова. – М.: Машинобудування, 1985.- 652 с.

11. GOODWAY MACHINE (WUJIANG) CO.,LTD. No. 4888, East Lake Taihu Avenue, Wujiang Economic and Technological Development Zone. 2015p.– 16 с.

12. Jörg Behler, Yoshinobu Teramoto, Professor Eckehard Müller. A New Approach to Fast and Automated Residual Stress Measurements // MFN (Metal Finishing News) (2021). in Vol. 22 - March Issue – pp 22-25.

13. T. Miyazaki, T. Sasaki, X-ray stress measurement from an imperfect Debye–Scherrer ring, IJMR 106 (2015) 237–241.

14. K. Tanaka, The $\cos\alpha$ method for X-ray residual stress measurement using two-dimensional detector, Mechanical Engineering Reviews 6 (2019) 18-00378-18-00378.

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

16. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.

17. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

18. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.

19. Ступінь захисту IP — Класифікація. IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254-96). Електронний ресурс: https://electrica-shop.com.ua/ua/articles/70.stupin_zahistu_ip_shcho_tse.

ДОДАТОК Б
Специфікація контрольного пристосування

		Перв. примен.			Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
		Формат	Зона	Поз.							
Строй. №											
						<u>Документация</u>					
		A1			НУЗП 401386.036 СК	Складальне креслення					
						<u>Сборочные единицы</u>					
				1		Блок датчиків	1				
				2		Електронний індикаторний годинник	1				
						<u>Детали</u>					
				3		Плита	1				
				4		Планка	1				
Подп. и дата				5		Планка	1				
				6		Стійка	1				
						<u>Стандартные изделия</u>					
				7		Болт М8-д6х26	8				
						ГОСТ 7798-70					
				8		Болт М9-д6х39	1				
						ГОСТ 7798-70					
				9		Гайка М9-Н6.13	1				
						ГОСТ 5915-70					
Подп. и дата				10		Гвинт М4-д6х12	4				
						ГОСТ 1491-80					
Инд. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 401386.036 Пристосування для контролю життя		Лит	Лист	Листов
		Разраб.	Михеева І.А.								
		Проб.	Гончар Н.В.								
		Нконтр.	Дядя С.І.								
		Утв.	Дядя С.І.								
Копіював Формат А4											