

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МАШИНОБУДІВНИЙ
(повне найменування факультету)

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему Розроблення технологічного процесу виготовлення

(назва теми)

циліндру автофлюгування

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ДАНИЛЬЧЕНКО І.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Сергій ДЯДЯ

« _____ » _____ 20__ року

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

ДАНИЛЬЧЕНКО Інна Владиславівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення
циліндру автофлюгування

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ГОНЧАР Наталя Вікторівна,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12»травня 20 26 року №233

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 1.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) креслення деталі, програма випуску N=1000 шт.

4.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина, 2 Конструкторська частина, 3 Організаційна частина планування ділянки 4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки, 5 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) Креслення деталі, заготовки, плакат моделей деталі і заготовок, маршрут виготовлення деталі, графічне зображення етапів підготовки управляючої програми та розрахунків на міцність, креслення робочого пристосування.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ГОНЧАР Н.В., доцент		
2	ГОНЧАР Н.В., доцент		
3	ГОНЧАР Н.В., доцент		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доцент		
5	ГОНЧАР Н.В., доцент		
Нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» березня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	19.05.2026	
2	Конструкторська частина	22.05.2026	
3	Розробка планування ділянки	25.05.2026	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	27.05.2026	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	29.05.2026	
6	Нормоконтроль і рецензія	30.05.2026	
7	Захист дипломного проєкту	01.06.2026	

Студент(ка)

_____ Інна ДАНИЛЬЧЕНКО
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Наталя ГОНЧАР
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 93 с., 9 табл., 17 рис., 1 дод., 12 джерел.

БИТТЯ, ВЕРСТАТ, ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС, ГАБАРИТИ, ЕЛЕМЕНТ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРИВІД, ПРИПУСК, РЕЖИМ РІЗАННЯ, РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, СИЛА ЗАКРІПЛЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ТОЧНІСТЬ ОБРОБКИ.

Об'єкт дослідження – циліндр автофлюгування.

Мета роботи – розроблення технологічного процесу виготовлення циліндру автофлюгування.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

В бакалаврській роботі за рахунок використання сучасних верстатів з ЧПК і продуктивного обладнання та оснастки розроблено технологічний процес виготовлення циліндру автофлюгування, розраховано режими різання, норми часу, розроблено операцію з ЧПК з використанням сучасного програмного забезпечення SIEMENS NXCAM, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцнісні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на дільниці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис деталі відповідно до службового призначення	9
1.2 Вибір типу та форми організації виробництва	13
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	15
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі «Циліндр автофлюгування»	19
1.4.1 Вибір технологічних баз	19
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	21
1.4.3 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі	24
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	26
1.6 Розрахунок режимів різання	30
1.7 Технічне нормування операцій	41
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	47
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	51
2.1 Проектування робочого пристосування	51
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.	51
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.	52
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.	55
2.2 Проектування контрольного пристосування.	58
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	58
2.3 Розрахунок на міцність деталі.	59
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ	64
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	70

5 ОХОРОНА ПРАЦІ	74
ВИСНОВОК	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	81
Додаток А. Технологічні карти	82

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГОСТ – міждержавний стандарт

ДСТУ – державний стандарт України

ЄСКД – єдина система конструкторської документації

ЄСТД – єдина система технологічної документації

КП – керуюча програма

ЛВМ – лиття за витоплюваними моделями

МСК – метод скінченних елементів

ПЗ – програмне забезпечення

САПР – система автоматизованого проектування

ТП – технологічний процес

CAM (Computer-Aided Manufacturing) – система автоматизованої розробки керуючих програм

ВСТУП

Розвиток авіаційного двигунобудування супроводжується постійним підвищенням вимог до якості та надійності конструкцій. Одним із ключових показників технологічності нового двигуна є можливість його швидкого запуску у серійне виробництво, що безпосередньо залежить від рівня технологічної підготовки.

Деталі авіаційних двигунів експлуатуються в умовах високих температур і значних навантажень, тому для їх виготовлення застосовують високоміцні та жаростійкі матеріали. Однак такі матеріали, як правило, мають низьку оброблюваність, що ускладнює процес механічної обробки та вимагає розробки ефективних технологічних процесів.

Якість і продуктивність виготовлення значною мірою залежать від раціональної побудови технологічного процесу, правильного призначення припусків та операційних допусків. Надмірні припуски призводять до перевитрати матеріалу, збільшення кількості технологічних переходів, зростання витрат інструменту та енергії, а також підвищують трудомісткість і собівартість продукції.

Важливим резервом підвищення надійності авіаційної техніки є застосування неруйнівного контролю. Своєчасне виявлення дефектів у відповідальних деталях дозволяє зменшити ризики відмов та аварій, що особливо важливо з точки зору безпеки та економічної ефективності.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис деталі відповідно до службового призначення

Деталь «Циліндр автофлюгування» (рисунок 1.1) входить у вузол систем автофлюгування редуктора і призначений для передачі переміщення з валу гвинта через зовнішню обойму заднього підшипника валу гвинта, при цьому передаючи зусилля стиску 16 пружин циліндра автофлюгування й тиску масла на золотник з командним каналом, що управляє уведенням гвинта у флюгерний стан.

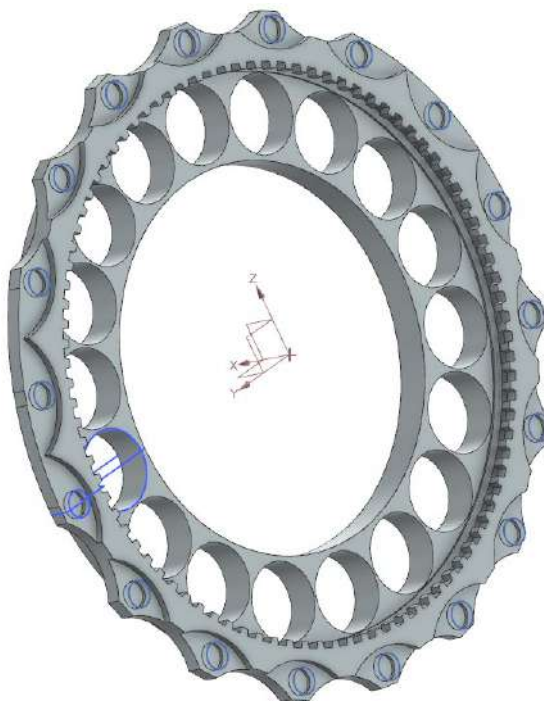


Рисунок 1.1 – Зображення деталі – циліндр автофлюгування

Деталь «Циліндр автофлюгування» є одним із ключових компонентів системи управління повітряним гвинтом турбогвинтового авіаційного двигуна АІ-20. Основне службове призначення цієї системи – забезпечення безпеки польоту у випадку раптової відмови двигуна шляхом автоматичного переведення лопатей гвинта у флюгерне положення (паралельно набігаючому потоку повітря) для максимального зменшення аеродинамічного опору. Даний циліндр виступає

складним силовим та кінематичним вузлом, який сприймає тиск робочої рідини і перетворює його на рух, що змінює крок лопатей. Враховуючи специфіку експлуатації в авіаційній техніці, деталь працює в умовах значних знакозмінних навантажень, високого гідравлічного тиску, вібрацій та температурних перепадів. Саме тому до конструкції, вибору матеріалу та якості механічної обробки її поверхонь висуваються надзвичайно жорсткі інженерні вимоги. Матеріалом для виготовлення циліндра обрано високоякісну леговану конструкційну сталь марки 38ХА за ДСТУ 7806-2015. Ця хромиста сталь відзначається високими показниками міцності, пружності, зносостійкості та здатністю витримувати значні динамічні навантаження, що є критичним фактором для надійності силових агрегатів авіаційних систем. Конструктивно деталь являє собою масивне тіло обертання ступінчастої форми з розвиненим фланцем та інтегрованим внутрішнім зубчастим вінцем. Згідно з таблицею параметрів зубчастого вінця, він має модуль $m = 2,5$ мм, кількість зубів $z = 92$, та кут нахилу лінії зуба по ділільному циліндру 30 градусів. Циліндр виконує не лише гідравлічну функцію стримування тиску, але й безпосередньо кінематично пов'язаний з іншими механізмами двигуна. Для забезпечення плавності ходу механізму, зниження рівня вібрацій та високої точності передачі зусиль, допуск на радіальне биття профілю зубів відносно базової осі встановлено в досить жорстких межах – $0,12$ мм.

На кресленні вказано низку точних внутрішніх розмірів з високими вимогами до шорсткості. Зокрема, поверхні з параметром шорсткості $Ra\ 1,6$ мкм виступають відповідальними посадковими або направляючими поверхнями для рухомих поршнів та ущільнювальних кілець, де необхідно забезпечити мінімальне тертя та абсолютну герметичність гідросистеми. Задані жорсткі допуски на ключові розміри, такі як діаметри $124^{+0,25}$ мм , $85^{+0,18}$ мм або довжина $95_{-0,11}$ мм, підтверджують високий клас точності сполучення циліндра з суміжними компонентами. Зовнішні контури деталі включають велику опорну фланцеву поверхню. Габаритний діаметр деталі по найбільшому зовнішньому контуру становить $275h12$ мм. На фланцевій частині розміщено масиви отворів для жорсткого кріплення циліндра до суміжних вузлів двигуна. Креслення вказує на

наявність груп з 18 та 20 отворів, рівномірно розподілених по колу. Окрім звичайних кріпильних отворів, присутні прецизійні отвори, зокрема діаметром 32H7 із заданою шорсткістю Ra 1,25 мкм. Посадка за квалітетом H7 та низька шорсткість вказують на те, що ці отвори виконують функцію базових – вони призначені для встановлення точних центрувальних штифтів. Це гарантує безпомилкове просторове базування циліндра при складанні та унеможливорює його зсув під дією колосальних вібраційних навантажень під час польоту. Технічні вимоги до виготовлення також визначають суворі критерії щодо фінішних операцій та системного контролю якості. Загальна шорсткість поверхонь, які не потребують спеціальної прецизійної обробки, становить Ra 3,2 мкм, тоді як деякі невідповідальні ділянки чи фаски можуть мати показник до Ra 10,0 мкм. Допуски на вільні розміри регламентуються нормаллю 22AT-52. Для захисту деталі від корозії в агресивних умовах навколишнього середовища передбачено нанесення спеціального захисного покриття методом хімічного оксидування. Однією з найважливіших операцій у технологічному процесі є неруйнівний контроль. Зважаючи на приналежність до 24-ї групи контролю за ОСТ 100021-78, деталь підлягає обов'язковій стовідсотковій перевірці на відсутність мікротріщин та прихованих дефектів матеріалу методом магнітно-порошкової дефектоскопії (перевірка на монофлоксі за інструкцією ОГМ-78-3802). Такий комплексний підхід до формоутворення, обробки поверхонь та дефектоскопії гарантує безвідмовну роботу циліндра автофлюгування протягом усього ресурсу авіаційного двигуна

З точки зору технологічних властивостей, сталь 38ХА ДСТУ 7806:2015 за класифікацією оброблюваності різанням відноситься до шостої групи матеріалів. Це свідчить про певну складність механічної обробки, зумовлену схильністю легованих сталей до зміцнення в зоні різання та необхідністю ретельного підбору режимів і геометрії ріжучого інструменту. Для досягнення заданих кресленням параметрів точності та шорсткості шліцьових поверхонь і каліброваних отворів, заготовки з цієї сталі зазвичай проходять попередню термічну обробку у вигляді поліпшення або нормалізації, що дозволяє отримати оптимальну структуру металу для подальшого різання.

Хімічний склад (табл. 1.2) сталі 38ХА за ДСТУ 7806:2015 характеризується суворим обмеженням вмісту шкідливих домішок, таких як сірка та фосфор, що характерно для високоякісних марок металу, які використовуються в авіабудуванні. Вміст вуглецю в межах 0.38 відсотка дозволяє проводити гартування з наступним відпуском для отримання необхідного балансу між в'язкістю серцевини деталі та твердістю його робочих поверхонь. Такі фізико-механічні характеристики забезпечують надійну роботу деталі під тиском пружин та в умовах постійної взаємодії з підшипниковими вузлами, гарантуючи довговічність механізму автофлюгування протягом усього міжремонтного ресурсу двигуна. Механічні властивості показані на таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад, % ДСТУ 7806:2015

Залізо	Вуглець	Марганець	Кремній	Хром	Сірка	Фосфор	Мідь
					Не більше		
основа	0.37-0.44	0.1 -0. 4	0.17-0.37	0.6-0.9	0.025	0.025	0.25

Таблиця 1.3 – Механічні властивості 38ХА ДСТУ 7806:2015

σ_B	σ_T	δ_5	ψ	КСУ
МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
930	780	12	35	88

Для деталі зі сталі 38ХА доцільно застосовувати термічну обробку типу поліпшення, яка включає гартування з наступним високим відпуском. Такий вид обробки є характерним для конструкційних легованих хромистих сталей, що працюють в умовах змінних навантажень, тертя та підвищених вимог до надійності. Вибір саме цього способу термообробки зумовлений необхідністю забезпечення оптимального поєднання міцності, твердості, пластичності та ударної в'язкості матеріалу.

У процесі гартування в сталі формується зміцнена структура, яка підвищує опір деформації та зношуванню. Однак після гартування матеріал має значні

внутрішні напруження і підвищену крихкість, тому наступний високий відпуск є обов'язковим. Проведення відпуску дозволяє зменшити рівень внутрішніх напружень, підвищити в'язкість і стабілізувати структуру металу, зберігаючи при цьому достатньо високі показники міцності. У результаті сталь 38ХА набуває комплексу властивостей, необхідних для роботи відповідальних деталей у складних експлуатаційних умовах.

Метою термічної обробки є підвищення експлуатаційної надійності деталі, забезпечення її опору втомному руйнуванню, зменшення ймовірності появи тріщин, а також отримання стабільних механічних характеристик по всьому об'єму заготовки. Для деталей типу циліндр автофлюгування це особливо важливо, оскільки вони працюють під дією циклічних осьових навантажень, контактних напружень і тертя у спряженнях. Після поліпшення матеріал краще зберігає геометричну точність, має вищу зносостійкість робочих поверхонь і забезпечує довговічну роботу вузла в цілому.

У технологічному процесі також може передбачатися попередня термічна обробка заготовки, наприклад нормалізація або відпал, якщо необхідно покращити оброблюваність різанням та знизити структурну неоднорідність матеріалу перед механічною обробкою. Остаточна термообробка виконується після попереднього формоутворення деталі та є одним із ключових етапів забезпечення її заданих службових властивостей.

1.2 Вибір типу та форми організації виробництва

Формування структури та змісту технологічного процесу безпосередньо залежить від організаційної форми та типу виробництва, що встановлюється на базі обсягів річного випуску продукції та масових характеристик деталі. Для підприємств авіаційної галузі найбільш характерними є умови серійного або

дрібносерійного виготовлення деталей, тоді як при проведенні ремонтних робіт часто застосовується одиничний тип виробництва.

Серійний тип виробництва відрізняється роботою з обмеженою номенклатурою виробів, випуск яких здійснюється партіями, що систематично повторюються через певні проміжки часу. Залежно від обсягу виробничої серії виділяють дрібне, середнє та велике серійне виробництво. Технологічні особливості такої форми організації праці передбачають закріплення за кожним робочим місцем декількох операцій та поділ загального процесу на окремі етапи. При цьому використовується комбінація універсального обладнання та спеціалізованих верстатів, які розставляються відповідно до послідовності технологічних переходів з урахуванням оптимізації вантажопотоків на дільниці. Характерними рисами також є активне застосування спеціального оснащення, використання праці фахівців різного рівня кваліфікації та забезпечення принципу взаємозамінності деталей, що мінімізує обсяг ручних підгінних операцій.

Спираючись на нормативні дані та обсяг випуску, для даного проєкту попередньо обрано серійний тип виробництва. Проте остаточна ідентифікація типу виробничого процесу здійснюється після розрахунку коефіцієнта закріплення операцій на дільниці або потоковій лінії. Цей показник розраховується як відношення загальної кількості детале-операцій, що підлягають виконанню протягом місяця, до кількості наявних робочих місць, що дозволяє кількісно оцінити рівень спеціалізації виробництва.

Організаційний підхід до проведення робіт на виробничій дільниці визначається схемою розміщення обладнання та особливостями переміщення заготовок у процесі їх обробки. При виборі форми організації враховується співвідношення між тривалістю окремих технологічних операцій та загальним тактом випуску продукції. Залежно від цих факторів виробництво може базуватися на поточкових або непоточкових методах роботи. Враховуючи специфіку виготовлення компонентів системи автофлюгування та заздалегідь визначений тип виробництва, для даного проєкту доцільно обрати непотокову організаційну форму.

Ключовим параметром, що визначає ритмічність та ефективність серійного виробництва, є оптимальний розмір виробничої партії. Процедура визначення кількості деталей у партії запуску, що забезпечує раціональне завантаження потужностей ділянки, здійснюється за допомогою розрахунку за відповідною формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{\Phi} \quad (1.1)$$

де a - періодичність запуску (період запуску деталей для безперебійної роботи),
приймаємо $a = 10$ днів;

Φ - дійсний річний фонд часу роботи визначається за формулою (1.2):

$$\Phi = \Phi_{\text{рік}} - T_{\text{вих}} - T_{\text{свят}} \quad (1.2)$$

де $\Phi_{\text{рік}}$ - кількість календарних днів на рік, $\Phi_{\text{год}} = 365$ днів;

$T_{\text{вих}}$ - кількість вихідних днів, $T_{\text{вих}} = 105$ днів;

$T_{\text{свят}}$ - кількість святкових днів і днів релігійних свят, $T_{\text{свят}} = 10$ днів.

$$\Phi = 365 - 105 - 10 = 250 \text{ днів}$$

$$n = \frac{10 \cdot 1000}{250} = 40 \text{ шт}$$

Приймаємо партію деталей $n = 40$ шт.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Вибір способу отримання заготовки для виготовлення деталі здійснюється з урахуванням фізико-механічних характеристик металу та складності її геометричної форми. Оптимальним варіантом у даному випадку є застосування методу об'ємного штампування. Найбільш ефективним технологічним рішенням для отримання заготовки такого профілю є використання закритих штамів на

кривошипно-шатунних гарячештапувальних пресах, що дозволяє максимально наблизити контури заготовки до розмірів готового виробу та суттєво зменшити обсяги подальшої механічної обробки. Як альтернативний варіант, у разі відсутності складного штампового оснащення, можливе застосування вільного кування на молотах. Хоча цей метод характеризується меншою трудомісткістю на етапі підготовки виробництва, він не забезпечує високої точності геометричних параметрів, що призводить до збільшення припусків.

Для прийняття остаточного рішення необхідно виконати економічне порівняння двох підходів до отримання заготовки третього класу точності, а саме методу гарячого штампування на пресовому обладнанні та технології вільного кування на молотах. Це дозволить визначити найбільш доцільний спосіб виробництва з точки зору мінімізації витрат на матеріал та подальшу обробку. На рисунку 1.2 показано зображення заготовки у закритих штампах на КГШП.

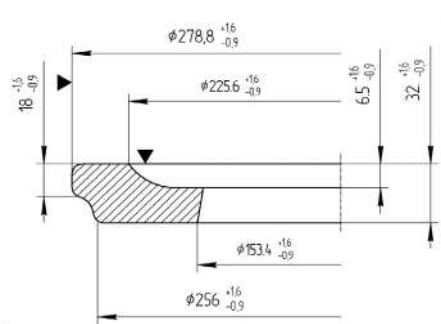


Рисунок 1.2 - Ескіз заготовки у закритих штампах на КГШП

На рисунку 1.3 показано зображення заготовки після вільної ковки на молотах.

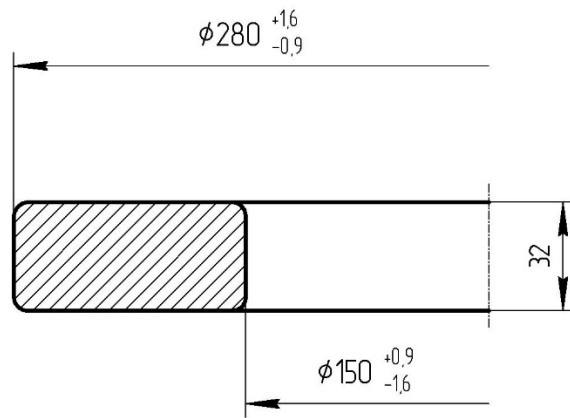


Рисунок 1.3 - Ескіз заготовки після вільної ковки на молотах

Встановлюємо припуски [1] і розраховуємо, використовуючи [1], масу заготовки Q , отриману кожним методом. Дані заносимо до таблиці.

Розраховуємо вартість однієї заготовки C за формулою (1.3) та коефіцієнт її використання η за формулою (1.4):

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{II} - (Q - q) \cdot \frac{C_{\text{відх}}}{1000} \quad (1.3)$$

де C_B – базова вартість виготовлення 1т заготовок, грн.;

Q та q – відповідно маса заготовки та готової деталі, кг;

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності, $K_T^{\text{КГШП}} = K_T^{\text{МОЛ}} = 1,0$ [1];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал, $K_M^{\text{КГШП}} = K_M^{\text{МОЛ}} = 1,24$ [1];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності, $K_C^{\text{КГШП}} = 1,1$, $K_C^{\text{МОЛ}} = 1,0$ [1];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, $K_3^{\text{КГШП}} = K_3^{\text{МОЛ}} = 0,91$ [1];

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуска, $K_{II}^{\text{КГШП}} = K_{II}^{\text{МОЛ}} = 0,8$ [1];

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1т стружки, грн.

$$C_1 = \frac{16500}{1000} \cdot 8,529 \cdot 1,0 \cdot 1,24 \cdot 1,1 \cdot 0,91 \cdot 0,8 - (8,529 - 3,5) \cdot \frac{900}{1000} = 135,22 \text{ грн},$$

$$C_2 = \frac{13900}{1000} \cdot 11,029 \cdot 1,0 \cdot 1,24 \cdot 1,0 \cdot 0,91 \cdot 0,8 - (11,029 - 3,5) \cdot \frac{900}{1000} =$$

$$= 131,61 \text{ грн.}$$

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.4)$$

$$\eta_1 = \frac{3,5}{8,529} = 0,41;$$

$$\eta_2 = \frac{3,5}{11,029} = 0,317.$$

Порівняльні дані щодо варіантів виготовлення заготовки будемо зводити в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 - Порівняльні показники за варіантами

Показники	Позн.	Одиниця	Варіант	
			КГШП	КОВКА
Маса заготовки	Q	Кг	8,529	11,029
Маса деталі	q	Кг	3,5	
Базова вартість 1т заготовок	C _Б	Грн	16500	13900
Коефіцієнти	K _Т	-	1,0	1,0
	K _М	-	1,24	1,24
	До _С	-	1,1	1,0
	До _З	-	0,91	0,91
	До _П	-	1,0	0,8
Вартість 1т стружки	З _{відх}	Грн	140	
Вартість однієї заготівлі	З	Грн	135,22	131,61
Коефіцієнт використання заготовок	η	Грн	0,779	0,742

При порівнянні 2-х способів отримуємо значення $C_1 > C_2$ і $\eta_1 > \eta_2$, тому розраховуємо додаткові капітальні вкладення за варіантами.

Порівнюємо варіанти отримання заготовок:

Витрати виготовлення при штампуванні в закритих штампах визначаємо за формулою (1.5):

$$C_1 = (C_2 - C_1) \cdot N. \quad (1.5)$$

$$C_1 = (135,22 - 131,66) \cdot 1000 = 3560 \text{ грн}$$

Витрати на матеріал при вільній ковці визначаємо за формулою (1.6):

$$C_2 = C_6 \cdot M_{\text{дод}} / 1000 \quad (1.6)$$

де $M_{\text{дод}}$ - додатково використана маса матеріалу, яку визначаємо за формулою (1.7):

$$M_{\text{дод}} = M_{\text{д}} \cdot (\eta_1 - \eta_2) \cdot N / \eta_1 \cdot \eta_2 \quad (1.7)$$

$$M_{\text{дод}} = (3,5 \cdot (0,41 - 0,317) \cdot 1000) / (0,41 \cdot 0,317) = 2504 \text{ кг}$$

$$C_2 = (3560 + 2504) \cdot 1000 = 1056 \text{ грн}$$

У результаті зіставлення встановлено, що технологія гарячого штампування в закритих штампах на кривошипно-шатунних пресах є найбільш економічно виправданою, оскільки дозволяє мінімізувати виробничі витрати за рахунок менших припусків та високого коефіцієнта використання матеріалу.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі «Циліндр автофлюгування»

1.4.1 Вибір технологічних баз

Обґрунтований вибір баз є фундаментальним етапом проектування технологічного процесу, оскільки саме він гарантує досягнення заданих параметрів точності. На початковій стадії обробки за технологічний орієнтир обирається чорнова база, тобто необроблена поверхня заготовки. Для даної деталі у якості первинної чорнової бази доцільно використовувати зовнішню поверхню найбільшого діаметра та суміжний із нею торець.

Вибрані чорнові поверхні мають створювати умови для рівномірного розподілу припусків під час подальших етапів обробки, а також гарантувати

мінімальне відхилення взаємного розміщення між уже обробленими та ще необробленими ділянками деталі. Важливо, щоб такі поверхні були максимально рівними, не мали технологічних ухилів, швів від роз'єму штампів або залишків ливникових систем.

Під час подальшого формування маршруту обробки необхідно дотримуватися принципу суміщення баз. Це означає, що як технологічну базу слід використовувати поверхні, які одночасно є вимірювальними орієнтирами. Для циліндра найбільш раціональним рішенням є вибір вже обробленої частини більшого зовнішнього діаметра та відповідного торця. Найвищої точності вдається досягти при повному збігу технологічних, конструкторських та вимірювальних баз, тобто тих поверхонь, які визначають положення деталі у зібраному вузлі.

Окрім суміщення, важливим є дотримання принципу постійності баз, що передбачає використання одних і тих самих поверхонь на більшості основних операцій. Обрана база (рисунок 1.4) повинна забезпечувати надійну жорсткість та стабільність положення заготовки, що досягається за рахунок високої якості базових площин та їх достатніх габаритів.

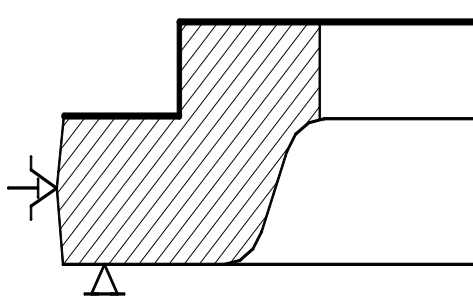


Рисунок 1.4 – Ескіз чорнової бази деталі автофлюгування

Процес базування має на меті однозначну орієнтацію заготовки в робочій зоні пристосування. Для повної фіксації об'єкта кількість та розміщення опорних елементів повинні унеможливити будь-яке лінійне зміщення або поворот відносно трьох координатних осей. Тільки за умови позбавлення заготовки всіх

ступенів свободи можна гарантувати високу повторюваність результатів обробки та стабільну якість виготовлення деталей.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

МОП для циліндричної внутрішньої поверхні циліндра $\varnothing 158H7^{(+0,04)}$. Під час проектування технології обробки внутрішньої циліндричної поверхні меншого діаметра ключову увагу необхідно приділити досягненню заданого показника точності її геометричного розміру. Саме цей параметр є визначальним для коректного встановлення кількості необхідних технологічних переходів, формування структури маршруту механічної обробки та розробки керуючих програм для верстатів із програмним керуванням.

Для об'єктивного оцінювання процесу підвищення точності на кожному етапі, виконаємо розрахунок коефіцієнта загального уточнення геометричного розміру, скориставшись формулою (1.8):

$$\varepsilon_d = \frac{Td_{заг}}{Td_{дет}}; \quad (1.8)$$

де $Td_{заг}$ - допуск на розмір заготовки, мм;

$Td_{дет}$ — допуск на розмір деталі, мм.

$$\varepsilon_d = \frac{2,5}{0,04} = 62,5$$

Розраховуємо число переходів механічної обробки за формулою (1.9):

$$K_d = 2 \lg \varepsilon_d \quad (1.9)$$

$$K_d = 2 \lg 62,5 = 3,59$$

Визначення кількості технологічних переходів під час механічної обробки здійснюється технологом на основі комплексного аналізу виробничих можливостей.

Зокрема, враховуються технічні характеристики та поточний стан експлуатованого або запланованого до впровадження обладнання, номенклатура наявного різального інструменту, а також специфіка призначеної термічної обробки деталі.

Враховуючи зазначені фактори, для перевірки відповідності обраної технології заданим параметрам точності, найбільш раціональним і достовірним підходом у даній роботі буде застосування методу уточнення, результати якого наведено нижче. $K_d = 4$.

Для розробки ППТК знаходимо різницю показників квалітетів точності в деталі та заготовці: $\Delta IT = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 17 - 7 = 10$.

Цю різницю показників розподіляємо між прийнятим числом переходів механічної обробки K_d за законом прогресивного зменшення $10 = 4 + 2 + 2 + 2$.

Зрештою ППТК матиме вигляд: $IT17 \rightarrow H13 \rightarrow H11 \rightarrow H9 \rightarrow H7$.

Методи обробки призначаємо з урахуванням таблиць економічної точності:
1. Заготовка; 2. Точіння чорнове; 3. Точіння напівчистове; 4. Точіння чистове; 5. Шліфування однократне.

Аналогічно виконуємо розрахунки для інших поверхностей (Табл. 1.5).

Таблиця 1.5 - Маршрути обробки поверхонь

Характеристика поверхні в деталі та в заготівці	Показник j	Уточнення ε_j	Кількість переходів До		Різниця показників та ППТК	Маршрут обробки поверхонь		Допуск на розмір	Уточнення показника
			Розкова	Прийняте		i	Метод обробки		
Циліндрична внутрішня поверхня $\varnothing 158H7^{(+0,04)}$; заготовка $Td_{\text{заг}}=2,5$; IT17	d	62,5	3,59	4	IT17→	1	Заготовка	2,5	-
					H13→	2	Точ. чорн.	0,63	3,97
					H11→	3	Точіння напівчистове	0,25	2,52
					H9→	4	Точіння чистове	0,1	2,5
					H7→	5	Шліфування однократне	0,04	2,5
$\varnothing 275H10^{(-0,21)}$ заготовка $Td_{\text{заг}}=2,5$; IT17	d	11,9	2,15 1	2	IT17→	1	Заготовка	2,5	-
					h 13→	2	Точіння чорн.	0,81	3,09
					→H10	3	Точіння чист.	0,21	3,86
$\varnothing 242h11^{(-0,29)}$ заготовка $Td_{\text{заг}}=2,5$; IT17	d	8,62	10,8 7	2	IT17→	1	Заготовка	2,5	-
					h 13→	2	Точіння чорн.	0,72	
					→h 10	3	Точіння чист.	0,29	
9,5h14 ^(+0.36) Ra0.8 заготовка Ra 50; IT17	Ra	62.5	3,59	4	IT17→	1	Заготівля	Ra50	-
					h 13→	2	Точіння чорн.	Ra 12,5	4
					h 12→	3	Точіння напівчистове	Ra 6,3	1,99
					h 12→	4	Точіння чист.	Ra 3,2	1,97
					→h 10	5	Шліф. однократ.	Ra0.8	4
$\varnothing 30H7^{(+0,021)}$ У заготовці немає	d	24,8	2,78		H13→	1	Свердління	0,52	
					H11→	2	Зенкерування чорнове	0,13	4
					H9→	3	Зенкерування чистове	0,05 2	2,5
					H7→	4	Розгортання	0,02 1	2,48

1.4.3 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

Проектування технологічного маршруту виготовлення відповідальної авіаційної деталі «Циліндр автофлюгування» базується на принципах оптимізації послідовності обробки поверхні для забезпечення заданої точності, мінімізації похибок базування та досягнення максимальної продуктивності. Розробка маршруту передбачає раціональне поєднання принципів диференціації та концентрації операцій, що дозволяє ефективно розподілити припуск між чорновими, напівчистовими та фінішними переходами. На початкових етапах маршруту виконується видалення основного об'єму металу та підготовка надійних технологічних баз, тоді як на завершальних етапах концентрується високоточна обробка на верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) та спеціалізованому зубообробному й шліфувальному обладнанні.

Технологічний маршрут починається із заготовчої операції 005, де на пресовому обладнанні формується первинний контур деталі. Оскільки вихідною заготовкою є відливка або штамповка зі складною структурою волокон, наступним обов'язковим кроком є термічна операція 010, що реалізується в електропечах із застосуванням гартувальних ванн. Цей етап є критично важливим для стабілізації внутрішніх напружень у металі та досягнення необхідного рівня твердості конструкційної легованої сталі перед початком інтенсивного зняття стружки.

Первинне зняття припуску та чорнове формування геометрії тіла обертання виконується на універсальних токарних верстатах під час операцій 015 та 020. Тут обробляються зовнішні та внутрішні циліндричні поверхні з досягненням грубої шорсткості R_a 6,3 мкм, що дозволяє підготувати надійні чорнові бази для подальшого встановлення деталі. Після цього деталь передається на високоточні токарні верстати з ЧПК моделі AT320MC для виконання операцій 025 та 030. На цих операціях виконується напівчистове та чистове точіння ступінчастих контурів, торців та канавок із досягненням точності за квалітетами R_a 3,2 мкм, що формує остаточний геометричний каркас циліндра перед шліфуванням.

Наступний блок операцій присвячений чистовій та координатно-свердлильній обробці функціональних елементів фланця та внутрішніх порожнин. На внутрішньошліфувальному верстаті 3K227A під час операцій 035 забезпечується висока точність внутрішнього дзеркала циліндра, що необхідно для герметичного спряження з поршневою групою. Свердлильна операція 040 на радіально-свердлильному верстаті 2955 та плоскошліфувальна операція 045 на верстаті 3E736 слугують для обробки плоских торцевих поверхонь фланця до шорсткості $Ra\ 0,80\ \mu\text{m}$, що створює прецизійну базу для координатного свердління.

Важливою особливістю аналізованого техпроцесу є концентрація операцій на багатоосьових обробних центрах з ЧПК моделі MA-65544 (комплексні операції 050 та 060). Використання обробних центрів дозволяє за один або мінімальну кількість установів виконати високоточне фрезерування, розточування та зняття фасок у складних просторових елементах циліндра. Паралельно, на координатно-свердлильних верстатах (зокрема фірми TOS) в операціях 055, 065 виконується послідовна обробка масивів кріпильних отворів (групи по 18 та 20 отворів), включаючи розгортання прецизійних отворів 32H7 до шорсткості $Ra\ 1,25\ \mu\text{m}$, які виступають фінішними пальцевими базами при складанні двигуна.

Завершальний етап механічної обробки включає фінішну токарну операцію 070 та круглошліфувальну операцію 075 на верстаті 3A151, де остаточно шліфуються відповідальні зовнішні шийки та посадочні місця під підшипники до високих квалітетів точності. Однією з найбільш відповідальних є зубодовбальна операція 085, яка виконується на верстаті 5140. На цьому етапі здійснюється нарізання зубчатого вінця із параметрами модуля 2,5 мм та кількістю зубів 92. Зубообробка свідомо винесена в кінець маршруту, щоб захистити точні профілі зубів від випадкових механічних пошкоджень під час виконання попередніх важких токарних та фрезерних операцій.

Аналіз технологічного процесу завершується контрольно-здавальними та очисними операціями, що гарантують авіаційну якість виробу. Операція промивки 095 у мийній машині МК-1000В повністю видаляє залишки змащувально-

охолоджувальних технологічних рідин, дрібної стружки та шліфувального шламу за допомогою гарячого технічного розчину при температурі 60–90 °C та обдування стисненим повітрям. Фінішною та критично важливою є операція 100 – магнітний неруйнівний контроль на дефектоскопі УМІЗ-10000. Через пропускання потужного струму намагнічування силою 9000 А та нанесення магнітної суспензії здійснюється стовідсоткова візуально-оптична перевірка деталі на відсутність прихованих внутрішніх дефектів, волосовин та мікротріщин, що повністю підтверджує надійність циліндра для роботи у вузлах авіаційного двигуна.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків обумовлює: оптимальні проміжні розміри заготовок по всіх технологічних переходах (від чорнової заготовки до готової деталі); мінімальне число технологічних переходів, що забезпечують задану якість оброблюваної деталі; раціональний вибір настановних баз і методів обробки.

Порівняно з дослідно-статистичними величинами припусків розрахунок забезпечує економію металу (від 6 до 15% чистого ваги деталі), зниження трудомісткості процесів механічної обробки, зменшення витрат ріжучого інструменту.

Для забезпечення необхідної якості готової деталі необхідно на кожному виконуваному переході призначати припуск, що компенсує похибки попередньої обробки.

До основних погрішностей відносяться:

- R_z - висота мікронерівностей поверхні (шорсткість);
- h - глибина дефектного поверхневого шару;
- $\Delta\Sigma$ - сумарне значення просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь;
- ε - похибка установки на виконуваному переході.

Нижче наведено порядок розрахунку припусків на одну поверхню визначають розрахунково-аналітичним методом [2]:

Зовнішня діаметральна поверхня $\emptyset 275h12$ ($\square_{-0,52}$)

Для заготівельного переходу значення $Rz=100\text{мкм}$ и $h=250\text{мкм}$ приймається у відповідності ваги заготовки [2]. Просторові відхилення заготовки визначаємо для штамповки задовільної точності [2,]: $\rho_{\text{см}}=750\text{мкм}$, $\rho_{\text{кор}}=\Delta_k \times l = 3 \times 25 = 75\text{мкм} = 0,075\text{мм}$. Визначаємо сумарне значення просторових відхилень за формулою (1.10) [2]:

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

$$\rho_1 = \sqrt{750^2 + 75^2} = 644,02\text{мкм} = 0,644\text{мм}$$

Значення заносимо в таблицю 1.6. Для переходу чорнового точіння значення Rz , h : $Rz_2=50\text{мкм}$, $h_2=125\text{мкм}$, $\rho_2=k_y \times \rho_1 = 0,06 \times 754 = 45,24\text{мкм} = 0,045\text{мм}$, $k=0,06$ – коефіцієнт уточнення [2]. Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.11) [2]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \times \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.11)$$

де $Td_{\text{заг}}=3,2\text{мм}$ – допуск заготовки.

$$\varepsilon_2 = 0,25 \sqrt{3,2^2 + 1} = 0,838\text{мм} = 838\text{мкм}$$

Для переходу напівчистового точіння значення Rz , h , приймаємо [2]: $Rz_3=25\text{мкм}$, $h_3=60\text{мкм}$, $\rho_3=2,3\text{мкм}$, $\varepsilon_3=41,9\text{мкм}$ [2].

Мінімальний припуск визначаємо за формулою (1.12):

$$2Z_{imin} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) \quad (1.12)$$

Для переходу точіння чорнового:

$$2Z_{1\min} = 2[100 + 250 + \sqrt{(644^2 + 838^2)}] = 2814\text{мкм} = 2,814\text{мм}$$

Для переходу точіння напівчистового:

$$2Z_{2\min} = 2[50 + 125 + \sqrt{(45,24^2 + 41,9^2)}] = 473,3\text{мкм} = 0,473\text{мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки [2] за формулою (1.12):

$$d_3^{\min} = d_3^{\text{ном}} + \text{eid}_3 \quad (1.12)$$

$$d_3^{\min} = 275 + (-0,52) = 274,48\text{мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.13) [2]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min} \quad (1.13)$$

$$d_2^{\min} = 274,48 + 0,473 = 274,953\text{мм};$$

$$d_1^{\min} = 274,953 + 2,814 = 277,767\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.14) [2]:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.14)$$

$$d_3^{\max} = 274,48 + 0,52 = 275 \text{ мм};$$

$$d_2^{\max} = 274,953 + 1,12 = 276,073 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = 277,767 + 3,2 = 280,967 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.15) [2]:

$$\begin{aligned} 2z_i^{\max} &= d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \\ 2z_2^{\max} &= 280,967 - 276,073 = 4,894 \text{ мм;} \\ 2z_3^{\max} &= 276,073 - 275 = 1,073 \text{ мм;} \end{aligned} \quad (1.15)$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.16) [2]:

$$\begin{aligned} 2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} &= Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \\ 3116 - 2365 &= 740 + 11 \end{aligned} \quad (1.16)$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.17) [2]:

$$\begin{aligned} d_{1\text{ном}} &= d_{1\text{min}} + ei_1 \\ d_{1\text{ном}} &= d_{1\text{min}} + ei_1 = 277,767 + 1,0 = 278,77 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.17)$$

Виконуючий розмір заготовки буде дорівнювати: $\varnothing 278,77_{-1,0}^{+2,2}$ виконуючі розміри за іншими переходами виконуємо в системі «валу», за номінальний розмір приймається максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок припусків

№ Пов.	Перехід	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий		Допуск, мм	Макс. розмір, мм	Мінім. розмір, мм	Припуск на обробку, мкм		Виконавчий розмір, мм
		Rz	h	ρ	ε	Мін. припуск, мкм	Розмір, мм				2Z _{max}	2Z _{min}	
Ø275h12	Заготовка	100	250	754	-	-	277,767	3,2	280,967	277,767	-	-	Ø278,8 ^{+2,2} _{-1,0}
	Т/О	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Точ.чорн.	50	125	45,2 4	838	2814	274,953	1,12	276,073	274,953	4894	2814	Ø276,1 _{-1,12}
	Точ. напів/чист	25	60	2,3	41,9	473	274,48	0,52	275	274,48	1073	473	Ø275 _{-0,52}
Ø26H7	Заготовка					-	149,6 2	2,5	152,12	149,62	-	-	Ø151,1 ^{+1,0} _{-1,5}
	Т/О					-	-	-	-	-	-	-	-
	Розточ.чорн.					2500	154,6 2	1,12	155,74	154,62	6120	2500	Ø154,6 ^{+1,12}
	Розточ. п/чист					1120	156,8 6	0,24	157,1	156,86	2480	1120	Ø156,9 ^{+0,24}
	Розточ. чист					550	157,6 5	0,1	157,75	157,65	890	550	Ø157,7 ^{+0,1}
	Шліф					250	158	0,04	158,04	158	390	250	Ø158 ^{+0,04}

1.6 Розрахунок режимів різання

Процедура призначення режимів різання полягає у встановленні оптимальних значень глибини різання, швидкості та подачі інструменту, що є необхідною базою для подальшого обчислення часових витрат на виконання кожної операції. Відповідно до індивідуального завдання, детально обґрунтуємо параметри обробки для 3–5 основних етапів технологічного циклу виготовлення деталі. Виконаємо призначення та розрахунок режимів різання для операції 015 Токарна з ЧПК.

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК АТПр 800. Заготовка затискається в спеціальному пристрої. Точити поверхні, витримуючи розміри 1,2

Інструмент – різець прохідний упорний з пластиною з твердого сплаву Т5К10. Зображення операційного ескізу показано на рисунку 1.5.

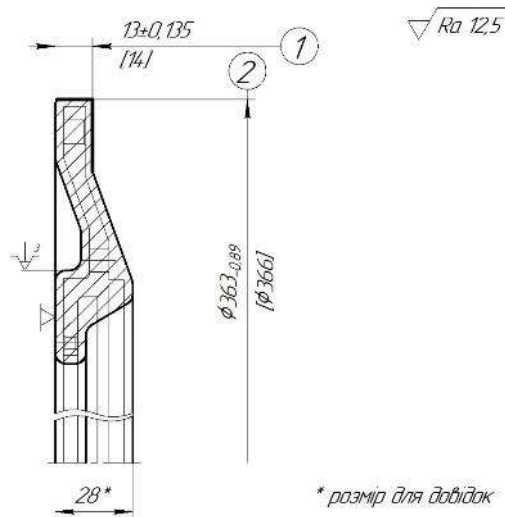


Рисунок 1.5 – Ескіз операції №015 Токарна з ЧПК

Глибина різання $t_1=1,5$ мм.

Подача розраховується за формулами (1.18), (1.19) [3]:

$$S_o = S_{o_T} \cdot K_{S_o} \quad (1.18)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{\Pi}} \cdot K_{S_H} \cdot K_{S_{\Phi}} \cdot K_{S_3} \cdot K_{S_{Ж}} \cdot K_{S_M} \quad (1.19)$$

де $S_{o_T} = 0,2$ мм/об [3];

$K_{S_{\Pi}}$ – показник, що враховує стан обраблюваної поверхні, $K_{S_{\Pi}}=1,0$ [3];

K_{S_H} – показник, що враховує матеріал інструменту, $K_{S_H}=1,0$ [3];

$K_{S_{\Phi}}$ – показник, що враховує форму обраблюваної поверхні, $K_{S_{\Phi}}=0,7$ [3];

K_{S_3} – показник, що враховує вплив заправки, $K_{S_3}=0,8$ [3];

$K_{S_{Ж}}$ – показник, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{S_{Ж}}=0,83$ [3];

K_{S_M} – показник, що враховує матеріал обраблюваної поверхні, $K_{S_M}=1,0$ [3].

$$K_{S_o} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,83 \cdot 1,0 = 0,46$$

$$S_o = 0,2 \cdot 0,46 = 0,092 \approx 0,1 \text{ мм/об}$$

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.20), (1.21) [3]:

$$V = V_T \cdot K_V \quad (1.20)$$

$$K_V = K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\Phi} \cdot K_{VT} \cdot K_{VЖ} \cdot K_{V\Pi} \cdot K_{VO} \quad (1.21)$$

де, V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T=144\text{м/хв}$, [3];

K_V – узагальнений швидкісний параметр [3];

K_{VM} – показник, що враховує оброблюєми матеріал, $K_{vm}=0,8$ [3];

K_{VI} – показник, що враховує вплив матеріалу інструменту, $K_{VI}=1,0$ [3];

$K_{V\Phi}$ – показник, що враховує вплив головного куту в плані, $K_{V\Phi}=1,0$ [3];

K_{VT} – показник, що враховує вид обробки, $K_{VT}=0,85$ [13];

$K_{VЖ}$ – показник, що враховує жорсткість технологічної системи $K_{VЖ}=0,82$ [3];

$K_{V\Pi}$ – показник, що враховує стан оброблюємої поверхні, $K_{V\Pi}=1,0$ [3];

K_{VO} – показник, що враховує вплив ЗОТС, $K_{VO}=1,0$ [3].

$$k_v=0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0=0,56$$

$$V = 144 \cdot 0,56 = 80,64\text{м/хв}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделю (1.22) [3]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.22)$$

де, V - швидкість різання, м/хв

D - діаметр поверхні, що обробляється, мм

$$n = \frac{1000 \cdot 80,64}{3,14 \cdot 363} = 70,75\text{хв}^{-1}$$

Приймаємо $n=70 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 363 \cdot 70}{1000} = 79,78\text{м/хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.23) [3]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.23)$$

де, C_p – параметр, що пояснює умови обробки. $C_p=204$ [3]

x, y, n – показники степені, що враховують умови обробки.

$n=0; x=1,0; y=0,75$; [3]

k_p – поправочний показник, який пояснює фактичні умови різання визначаємо за формулою (1.24):

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.24)$$

де, k_{mv} - поправочний параметр, що пояснює вплив якості оброблюваного матеріалу [3]:

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{1080}{750} \right)^{0,75} = 1,31$$

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$ - поправочні параметри, які враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту $k_{\phi p}=1,08, k_{\gamma p}=1,15, k_{\lambda p}=1,0, k_{rp}=0.93$, [3]

$$k_p = 1,31 \cdot 1,08 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 1,51$$

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 1,5^{1,0} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 79,78^0 \cdot 1,51 = 821,67 H$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.25) [3]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.25)$$

де, P_z - сила різання, Н

V - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{821,67 \cdot 79,78}{1020 \cdot 60} = 1,07 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата [3]:

$$N_2 = 0,72 \text{ кВт} \leq N_{\text{СТ}} = N_{\text{ДВ}} \cdot \eta = 15 \cdot 0,85 = 12,75 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час (1.26) [3]:

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.26)$$

де, l - довжина оброблюємої поверхні, $l=27,4$ мм

y - величина врізання, мм $y=3$ мм;

Δ - величина перебігу інструменту, $\Delta=3$ мм

$$T_0 = \frac{33 + 3 + 3}{70 \cdot 0,1} = 5,57 \text{ хв}$$

Свердлильна операція №60

Верстат: Свердлильний з ЧПК 2Р135Ф2

Поверхня $\varnothing 8,5$ $L=7$ мм $Ra=3,2$ мкм;

Інструмент: Свердло спіральне $\varnothing 8,5$ мм, $L=40$ мм, Р6М5, ГОСТ12121-77

Свердлить відповідно два отвори, витримуючи розмір 1 (рис. 1.8):

Зображення операційного ескізу показано на рисунку 1.6.

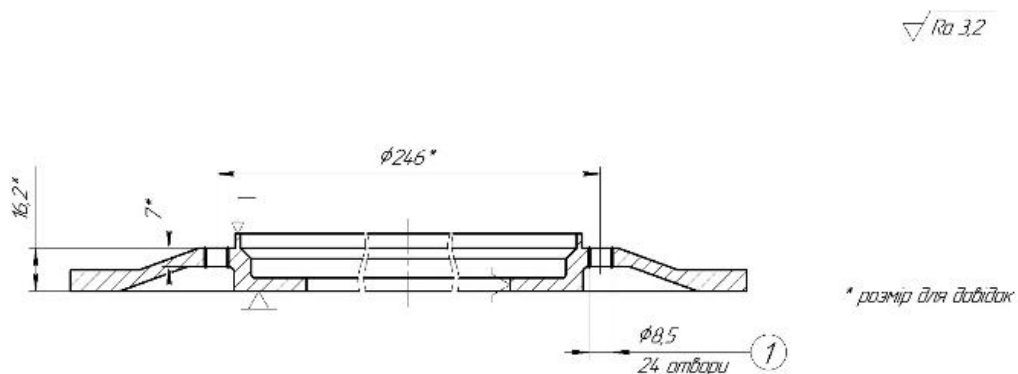


Рисунок 1.6 - Операційний ескіз – операція № 060

Довжина робочого ходу визначаємо за формулою (1.27) [3]:

$$Lp = 2 \cdot (l + y) \quad (1.27)$$

де l -довжина свердління $l=7\text{мм}$;

$y=0,6d_{\text{св}}$ –врізання, мм;

$d_{\text{св}}$ -діаметр свердла, мм;

$$Lp = 2 \cdot (7 + 5,1) = 24,2\text{мм}$$

Глибина різання: $t = \frac{8,5}{2} = 4,25\text{мм}$.

Визначаємо подачу за формулою (1.18):

$$S_0 = 0,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,09 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.28) [3]:

$$v_0 = v_m \cdot k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\phi 1v} \cdot k_r \quad (1.28)$$

де, k_{mv} – показник, що враховує матеріал заготовки визначаємо за формулою (1.29) [3]:

$$k_{mv} = k_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (1.29)$$

k_r – показник, що враховує групу сталі. $k_r=0.8$ [3];

σ_b - тимчасовий опір розриву, МПа. $\sigma_b=1061\text{МПа}$;

n_v - показник степені, $n_v=1.0$ [3];

$$k_{mv} = 0.8 \cdot \left(\frac{750}{1061} \right)^1 = 0.55$$

$k_{пв}$ – показник, що враховує стан поверхні $k_{пв}=0.8$ [3];

$k_{ив}$ – показник, що враховує матеріал інструменту $k_{ив}=1.0$ [3];

$k_{фв}$, $k_{ф1в}$, k_{rv} , - параметри, які характеризують геометричні параметри інструменту $k_{фв}=1,0$, $k_{ф1в}=0,94$, $k_{rv}=1,03$ [3].

$$v_0 = 4,7 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 1,03 = 1,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання деталі визначаємо за формулою (1.22):

$$n = \frac{1000 \cdot 1,6}{3,14 \cdot 8,5} = 59,9 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання $n=60$ об/хв.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \cdot 8,5 \cdot 60}{1000} = 1,6 \text{ м/хв}$$

Крутячий момент, визначаємо за формулою (1.30) [3]:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.30)$$

$$C_M = 0,041; q = 2; y = 0,7 K_P = 1,04 \text{ [3];}$$

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,041 \cdot 8,5^2 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,04 = 6,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, Н визначаємо за формулою (1.31) [3]:

$$P_0 = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.31)$$

$$C_P = 143; q = 1; y = 0,7; K_P = 1,04 \text{ [3]}$$

$$P_0 = 10 \cdot 87 \cdot 8,5^1 \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,04 = 1534,5 \text{ Н}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{\text{э}} = \frac{6,15 \cdot 60}{9750} = 0,04 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначаємо за формулою (1.32) [3]:

$$t_{02} = \frac{l + l_1}{n \cdot S} \cdot i \quad (1.32)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору), $l=24,2$ мм;

l_1 – довжина врізання і перебігу інструменту $l_1 = 3,5$ мм, [3];

i – кількість проходів, $i = 1$;

n – частота обертання шпинделя з інструментом, об/хв;

S – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left(\frac{27,7}{60 \cdot 0,1} \right) \cdot 24 = 110,8 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на шліфувальну операцію (75)

Вихідні дані: Інструмент – круг шліфувальний

1 300×25×32 25A F60 CM1 K 35м/с 1кл ГОСТ 2424-88

Зображення операційного ескізу показано на рисунку 1.7.

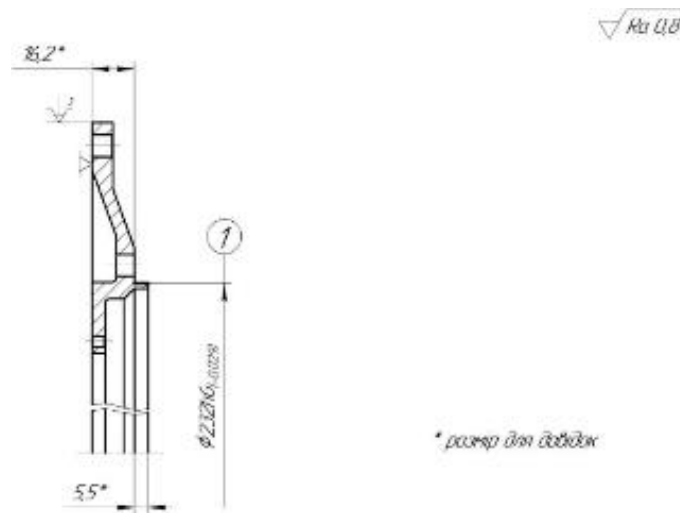


Рисунок 1.7 - Операційний ескіз на шліфувальну операцію 075.

Припуск на обробку поверхонь $h = 0,03\text{мм}$, [3]

Розрахунок швидкості обертання шліфувального круга $V_{кр}$ визначаємо за формулою (1.33):

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \quad (1.33)$$

де $n_{кр}$ - число обертів шпинделя шліфувального круга, $n_{кр} = 1590\text{об/хв}$;

D - діаметр круга, $D = 300\text{мм}$.

$$V_{кр} = \frac{3,14 \cdot 300 \cdot 1590}{1000 \cdot 60} = 25\text{м/с} \leq 35\text{м/с}$$

Оброблюваний діаметр $D_d = 232$.

Швидкість деталі $V_o = 48 - 68\text{ м/хв}$ [3], приймаємо $V_o = 48\text{ м/хв}$.

Частота обертання деталі визначаємо за формулою (1.22):

$$n = \frac{1000 \cdot 48}{3,14 \cdot 232} = 65,9\text{об/хв}$$

Приймаємо згідно паспортних даних верстата $n_d = 70\text{об/хв}$.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \cdot 232 \cdot 70}{1000} = 50,9 \text{ м/хв}$$

Визначення радіальної подачі круга S_t в мм/об визначаємо за формулою (1.34) [3]:

$$S_{t1} = S_t \cdot K_m \cdot K_D \cdot K_{V_k} \cdot K_t \cdot K_{IT} \cdot K_h, \quad (1.34)$$

де S_t – таблична радіальна подача круга, $S_t = 0,007 \text{ мм/об}$ [3];

K_m – показник, що враховує оброблюваний матеріал, $K_m = 0,38$ [3];

K_D – показник, що враховує діаметр круга, $K_D = 0,5$ [3];

K_{V_k} – показник, що враховує швидкість круга, $K_{V_k} = 1$ [3];

K_t – показник, що враховує стійкість круга, $K_t = 0,72$ [3];

K_{IT} – показник, що враховує точність обробки, $K_{IT} = 0,5$ [3];

K_h – показник, що враховує припуск на обробку, $K_h = 1$ [3].

$$S_{t1} = 0,007 \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 0,72 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0005 \text{ мм/об},$$

Приймаємо радіальну подачу $S_{t1} = 0,001 \text{ мм/об}$

Визначення радіальної хвилинної подачі S_{tm} мм/хв [3]:

$$S_{tm} = 0,001 \cdot 650 = 0,65 \text{ мм/хв}.$$

Визначення потужності різання N за формулою (1.35) [3]:

$$N = \frac{N_{10} \cdot L_{акт}}{10} \quad (1.35)$$

де N_{10} – потужність на 10 мм активної поверхні круга, $N_{10} = 0,43$, [3],

$L_{акт}$ – довжина активної поверхні круга, оскільки $l_d < B_k$ то $L_{акт} = l_d = 4,2 \text{ мм}$.

$$N = \frac{0,43 \cdot 4,2}{10} = 0,18 \text{ кВт}$$

Визначення основного (технологічного) часу за формулою (1.36) [3]:

$$t_o = (\tau_2 + \tau_3) \cdot K \quad (1.36)$$

де τ_2 - час сталого процесу, $\tau_2 = 0,19$, [3],

τ_3 – час зачистки, $\tau_3 = 0,132$, [3],

K – параметр, залежний від форми поверхні, $K=1$.

$$t_o = (0,19 + 0,132) \cdot 1 = 0,32 \text{ хв.}$$

Таблиця 1.6 – Режими різання

N Опер.	Найменування операції		t, мм	S _o , мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	T _о , хв
015	Ток. з ЧПК		1,5	0,1	79,78	70	5,57
020	Ток. з ЧПК		1,5	0,1	79,78	70	7,14
025	Ток. з ЧПК		1,0	0,1	111,78	100	12,73
030	Ток. з ЧПК	1	1,0	0,1	111,78	100	15,36
		2	1,0	0,12	155,4	150	
		3	1,0	0,12	109,74	150	
035	Ток. з ЧПК		0,8	0,1	100,6	180	3,78
040	Ток. з ЧПК		0,5	0,08	111,78	100	4,21
045	Ток. з ЧПК	1	0,5	0,05	111,78	100	9,47
		2	0,5	0,05	113,04	120	
		3	0,5	0,05	87,8	120	
050	Ток. з ЧПК	1	0,15	0,05	167,7	150	7,15
		2	0,15	0,05	188,4	200	
		3	0,15	0,05	146,3	200	
055	Ток. з ЧПК		0,2	0,08	55,89	100	2,48
060	Сверд. з ЧПК		4,25	0,1	1,6	60	110,8
065	Сверд. з ЧПК		4,25	0,1	1,6	60	78,3
070	Сверд. з ЧПК		2	0,1	1,76	140	60
075	Шліфувальна		0,03	0,65 мм/хв	1500/48	1590/70	0,32
080	Шліфувальна		0,03	0,65 мм/хв	1700/70	2500/140	0,73
085	Шліфувальна		0,01	0,65 мм/хв	1500/48	1590/70	0,15
090	Шліфувальна		0,01	0,65 мм/хв	1700/70	2500/140	0,34

1.7 Технічне нормування операцій

Технічне нормування є одним із найважливіших етапів розробки технологічного процесу, оскільки воно визначає необхідні витрати робочого часу на виконання заданої операції. Метою цього підрозділу є розрахунок технічно обґрунтованої норми часу, яка враховує не лише безпосередню машинну обробку деталі, але й усі необхідні допоміжні дії, час на обслуговування робочого місця та регламентовані перерви. Визначені норми часу є базою для планування завантаження верстатного парку, розрахунку необхідної кількості робітників та визначення загальної трудомісткості виготовлення виробу.

У серійному виробництві нормою часу на операцію є штучно-калькуляційний час. Штучно-калькуляційний час на операцію визначаємо по формулах (1.37), (1.38) [4]:

$$t_{um-к.} = \frac{t_{nz}}{n} + t_{um.} \quad (1.37)$$

$$t_{um.} = t_o + t_{всп} + t_{обс} + t_n \quad (1.38)$$

де $t_{um.}$ - штучний час, хв;

t_{nz} – підготовчо-завершальний час, хв;

n – кількість деталей в партії, $n=40$ шт;

t_o – сумарний час на операцію, хв;

$t_{всп}$ – допоміжний час, хв;

$t_{обс}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

t_n – час на особисті потреби, хв.

Технічне нормування на токарну операцію (015)

Основний сумарний час на операцію $t_o = 5,57$ хв

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.39) [4]:

$$t_{ecn.} = t_{e.y} + t_{m.e.} \quad (1.39)$$

де, $t_{e.y.} = 0,85$ хв – час на установку і зняття деталі в патроні з ручним затиском [4];

$t_{m.e.} = 0,73$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [4]

$$t_{ecn} = 0,85 + 0,73 = 1,58 \text{ хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою (1.40) [4]:

$$t_{n.y.} = t_o. + t_{m.e.} \quad (1.40)$$

$$t_{n.y.} = 5,57 + 1,58 = 7,15 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.41) [4]:

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{n.y.} \quad (1.41)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 7,15 = 0,72 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою (1.42) [4]:

$$t_n = 10\% \cdot t_{n.y.} \quad (1.42)$$

$$t_n = 0,1 \cdot 7,15 = 0,72 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію [4]:

$$t_{um.} = 7,15 + 0,72 + 0,72 = 8,59 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою (1.43) [4]:

$$T_{n-3} = T_{n-31} + T_{n-32} \quad (1.43)$$

де, $T_{n-31} = 5$ хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [4]

$T_{n-32} = 8$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [4]

$$T_{n-3} = 5 + 8 = 13 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{13}{40} + 8,59 = 8,92 \text{ хв.}$$

Технічне нормування на свердлильну операцію з ЧПК (60)

Основний сумарний час на операцію $t_o = 110,8$ хв

Допоміжний час визначається за формулою (1.39):

$t_{в.у.} = 1,25$ хв – час на установку і зняття деталі [4];

$t_{м.в.} = 2,26$ хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [4]

$$t_{всп} = 2,26 + 1,25 = 3,51 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління $t_{п.у.}$ дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою (1.40) [4]:

$$t_{п.у.} = 110,8 + 3,51 = 114,31 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.44) [4]:

$$t_{обс} = 8\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.44)$$

$$t_{обс} = 0,08 \cdot 114,31 = 9,14 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.45) [4]:

$$t_n = 8\% \cdot t_{n,y}. \quad (1.45)$$

$$t_n = 0,08 \cdot 114,31 = 9,14 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію [4]:

$$t_{um.} = 114,31 + 9,14 + 9,14 = 132,59 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою (1.43) [4]:

$$T_{n-3} = 12 + 11 = 23 \text{ хв.}$$

де, $T_{n-31} = 12$ хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПК [4];

$T_{n-32} = 11$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [4].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{um.-к.} = \frac{23}{40} + 132,59 = 133,16 \text{ хв.}$$

Технічне нормування на круглошлифовальну операцію (075)

Основний сумарний час на операцію $t_o = 0,32$ хв

Допоміжний час:

$t_{ycm} = t_{cn} = 0,1$ хв – установка на розтискну оправку з пневмозатиском [4]

$t_{nep} = 1,09$ хв – час, пов'язаний з переходами при шліфуванні зовнішніх циліндричних і торцевих поверхонь на круглошлифовальних верстатах [4]

t_{mex} – час технічного обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.46) [4]:

$$t_{mex} = \frac{t_{np} \cdot t_o \cdot 1,1}{T} \quad (1.46)$$

де - $T=7$ – стійкість круга,

$t_{np} = 1,3$ хв – час правки круга [4]

$$t_{mex} = \frac{1,3 \cdot 0,32 \cdot 1,1}{7} = 0,06 \text{ хв}$$

$$t_{ecn} = 0,1 + 1,09 + 0,06 = 1,25 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час за формулою (1.40) [4]:

$$t_{on.} = 0,32 + 1,25 = 1,57 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.47) [4]:

$$t_{обс} = 0,015 \cdot t_{on.} \quad (1.47)$$

$$t_{обс} = 0,015 \cdot 1,57 = 0,024 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою (1.48) [4]:

$$t_{омд} = 0,04 \cdot t_{on.} \quad (1.48)$$

$$t_{омд} = 0,04 \cdot 1,57 = 0,063 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 1,57 + 0,024 + 0,063 = 1,66 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [4]: $t_{пз}=13$ хв.

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{13}{40} + 1,66 = 1,97 \text{ хв}$$

Таблиця 1.7 – Технічна норма часу за операціями

Номер операції	Найменування операції	Складові $T_{шт-к}$						
		t_o	t_d	$t_{оп}$	$t_{обсл}$	$t_{п}$	$t_{п-з}$	$t_{шт-к}$
015	Токарна з ЧПК	5,57	1,58	7,15	0,72	0,72	13	8,92
020	Токарна з ЧПК	7,14	2,31	9,45	0,95	0,95	20	11,85
025	Токарна з ЧПК	12,73	3,15	5,88	0,59	0,59	10	7,46
030	Токарна з ЧПК	15,56	2,78	18,14	1,81	1,81	15	22,14
035	Токарна з ЧПК	3,78	1,23	5,01	0,5	0,5	17	6,44
040	Токарна з ЧПК	4,21	2,43	6,64	0,66	0,66	14	8,31
045	Токарна з ЧПК	9,47	1,74	11,21	1,12	1,12	12,5	13,8
050	Токарна з ЧПК	7,15	3,19	10,34	1,03	1,03	10	12,8
055	Токарна з ЧПК	2,48	1,36	3,84	0,38	0,38	15	4,97
060	Свердлильна з ЧПК	110,8	3,51	114,31	9,14	9,14	23	133,16
065	Свердлильна з ЧПК	78,3	15,1	93,4	7,47	7,47	20	108,84
070	Свердлильна з ЧПК	60,2	3,13	63,33	5,07	5,07	19	73,95
075	Шліфувальна	0,32	1,25	1,57	0,024	0,063	13	1,97
080	Шліфувальна	0,73	1,43	2,16	0,032	0,078	5	2,4
085	Шліфувальна	0,15	0,93	1,08	0,071	0,052	10	1,6
090	Шліфувальна	0,34	1,54	1,88	0,09	0,084	20	2,55

За результатами проведеного технічного нормування було визначено технічно обґрунтовані норми часу. У ході розрахунків встановлено значення основного (технологічного) часу, а також визначено регламентовані витрати на допоміжні дії, обслуговування робочого місця та перерви на відпочинок. Розраховані норми часу будуть використані як вихідні дані для визначення необхідної кількості обладнання, коефіцієнта його завантаження, а також для розрахунку економічної ефективності розробленого процесу

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Використання сучасних систем автоматизованого проектування та виробництва (CAD/CAM систем) є невід'ємною частиною підготовки виробництва деталей складної просторової конфігурації. Для розробки керуючої програми (КП) на фрезерну операцію в даній роботі було застосовано програмний комплекс Siemens NX CAM. Ця система дозволяє автоматизувати розрахунок траєкторій руху різального інструменту, уникнути колізій та оптимізувати процес обробки.

Процес розробки керуючої програми розпочинається з підготовки 3D-моделі та налаштування технологічного середовища. Спочатку виконується позиціонування деталі у просторі та створення абсолютної системи координат верстата (MCS – Machine Coordinate System), яка слугуватиме нульовою точкою для відліку всіх переміщень інструменту. Як зображено на рисунку 1.8, початок координат встановлено по центру деталі на її верхній площині, вісь Z направлена вертикально вгору. На цьому ж етапі системі вказується геометрія готової деталі (Part) для контролю зарізів.

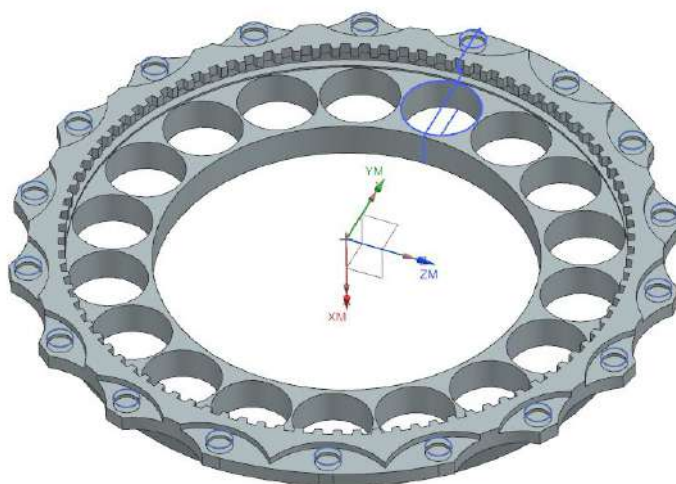


Рисунок 1.8 – Зображення деталі для операції фрезерна з ЧПК

Наступним кроком є вибір та створення різального інструменту, що відповідає вимогам креслення та розрахованим раніше режимам різання. Для обробки зовнішнього фасонного контуру деталі було створено кінцеву фрезу. Параметри інструменту налаштовуються у відповідному діалоговому вікні системи: діаметр (D) дорівнює 10 мм, робоча довжина різальної кромки (FL) – 50 мм, загальна довжина (L) – 75 мм, кількість зубів – 2. Вікно визначення параметрів фрези демонструє рисунок 1.9.

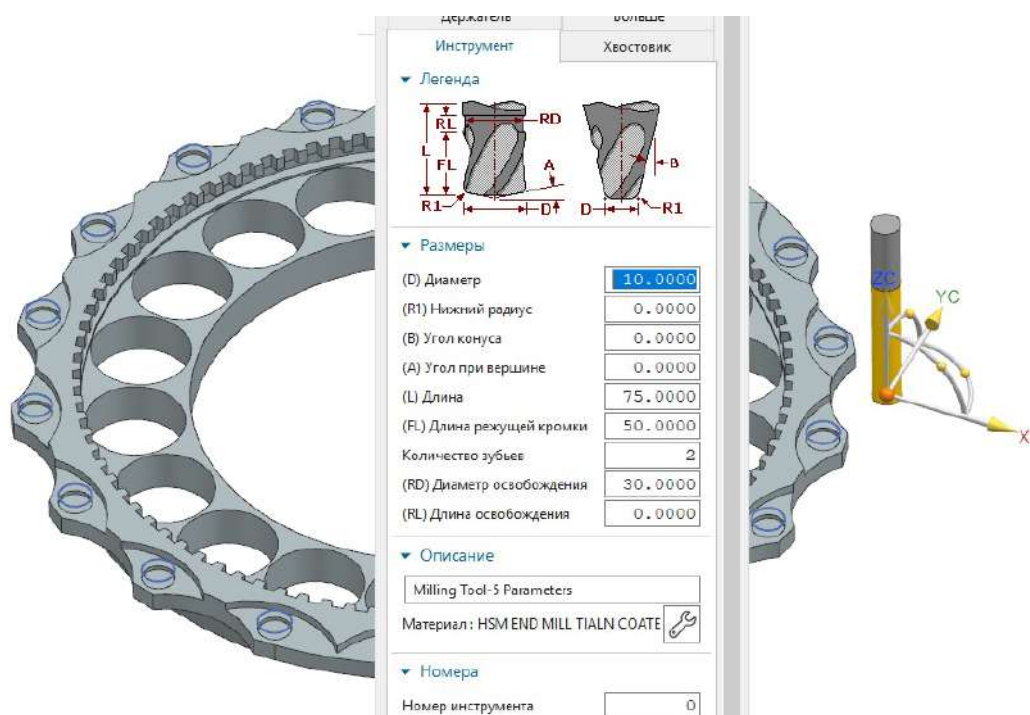


Рисунок 1.9 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

Після визначення геометрії та інструменту створюється безпосередньо технологічна операція. Для фрезерування складного контуру з радіусними вирізами було обрано стратегію 3D-профілювання на твердому тілі (операція SOLID_PROFILE_3D). У налаштуваннях операції задаються межі обробки, площина безпеки для відведення інструменту та параметри врізання. Після генерації система розраховує траєкторію руху фрези, яка огинає контур деталі. Процес налаштування параметрів та згенерована траєкторія (відображена кольоровими лініями) наведені на рисунку 1.10.

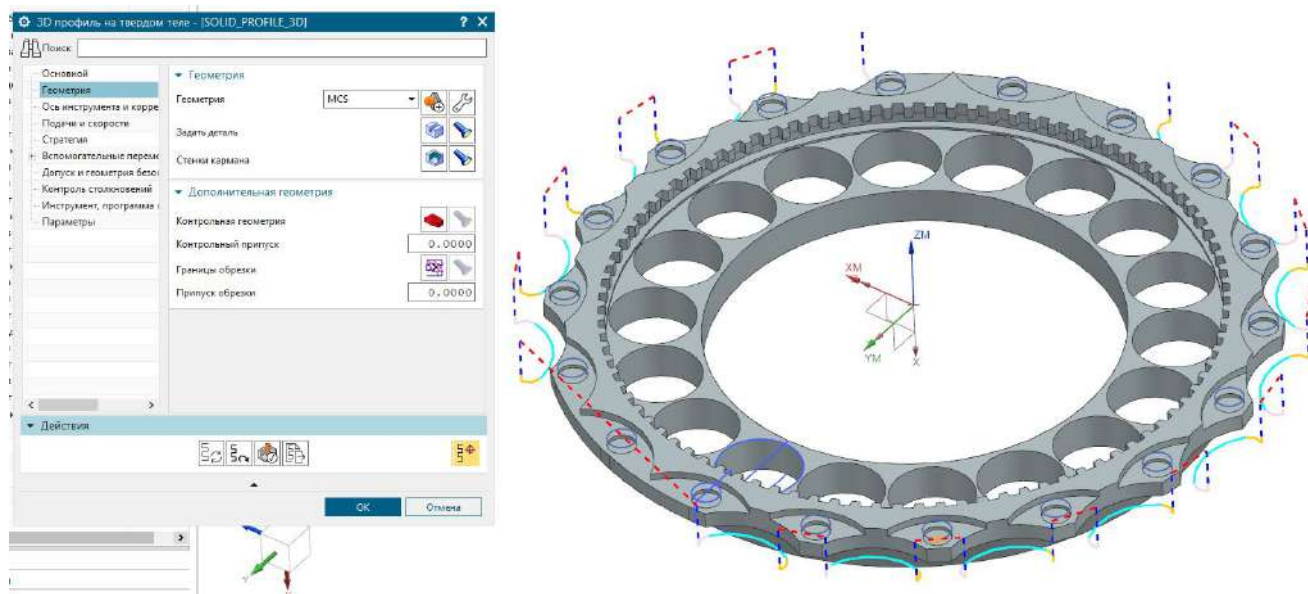


Рисунок 1.10 – Верифікація траєкторії обробки

Завершальним і найважливішим етапом розробки є симуляція обробки та постпроцесування. Після візуальної перевірки траєкторії та впевненості у відсутності зіткнень, внутрішні дані системи (CL-data) перетворюються на G-код, зрозумілий стійці керування верстата з ЧПК. На рисунку 1.11 зображено кінцеву траєкторію інструменту та вікно лістингу згенерованої керуючої програми. У коді чітко прослідковуються виклик робочої системи координат (G54), команди прискореного (G00) та робочого (G01) переміщень, кругова інтерполяція (G02/G03), а також команди увімкнення обертання шпинделя (M3) із заданою частотою (S1061).

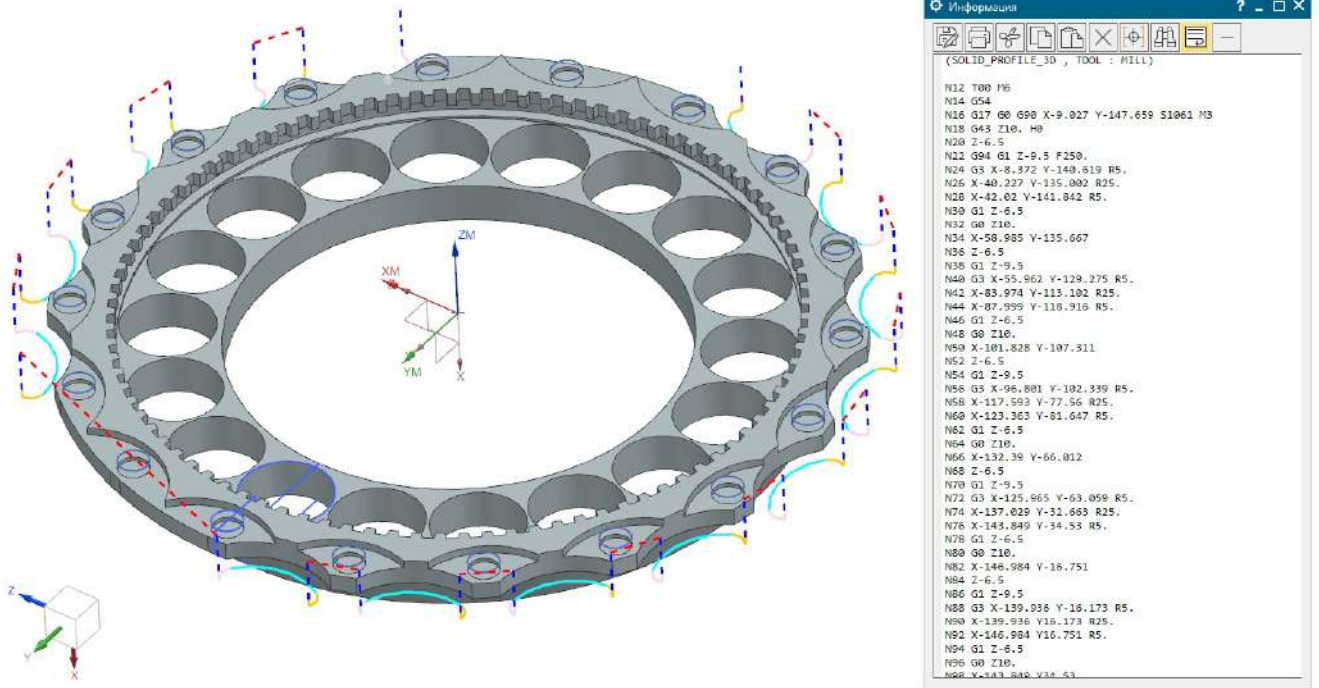


Рисунок 1.11 – Лістинг програми в G-код

Розроблена керуюча програма є технічно правильною, верифікованою у віртуальному середовищі і повністю готовою до передачі на верстат для механічної обробки заготовки.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Основним призначенням розробленого верстатного пристосування (рисунок 2.1) є надійна фіксація заготовки під час виконання токарних операцій із обробки компонентів системи автофлюгування. Даний пристрій розрахований на однопозиційне встановлення та закріплення однієї одиниці продукції.

Дане креслення ілюструє пристосування для токарної обробки деталей, яке використовує вбудований пневматичний привод для швидкої та надійної фіксації заготовки. Відповідно до технічних вказівок, робота механізму забезпечується стисненим повітрям у діапазоні робочого тиску 0,4...0,6 МПа. Керуючий тиск подається через спеціальний нерухомий повітроприймач (ротаційне з'єднання), розташований на лівому кінці пристрою, що дозволяє безперебійно передавати робоче середовище до частин механізму, які обертаються разом зі шпинделем верстата.

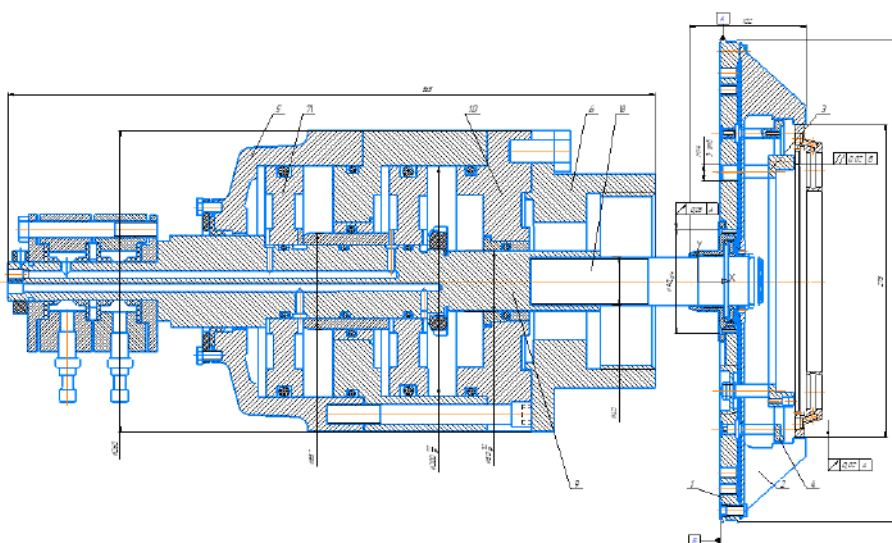


Рисунок 2.1 - Схема роботи пристосування

Від повітроприймача стиснене повітря спрямовується системою поздовжніх і поперечних каналів, просвердлених усередині центрального валу, до відповідних порожнин пневматичного циліндра. Конструкція містить тандемний (багатопоршневий) пневмоциліндр, тому повітря одночасно заповнює кілька ізольованих робочих камер, тиснучи на ряд послідовно встановлених поршнів. Це конструктивне рішення дозволяє сумувати тягове зусилля від кожного поршня, забезпечуючи високу силу затискання при відносно невеликому зовнішньому діаметрі корпусу.

Під дією утвореного тиску поршні синхронно зміщуються вздовж осі та тягнуть за собою масивний центральний шток. Це осьове переміщення передається на планшайбу та затискні елементи патрона в правій частині пристрою. Там лінійний рух тяги перетворюється на рух робочих кулачків або спеціального притискного кільця, які надійно центрують і жорстко блокують деталь для безпечного виконання токарних операцій. Для того щоб звільнити заготовку, розподільник верстата змінює напрямок подачі повітря, спрямовуючи тиск у зворотні порожнини циліндрів і змушуючи весь механізм повернутися у вихідне положення.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Сутність аналізу точності верстатного пристосування полягає в перевірці умови, згідно з якою сумарне значення всіх похибок, що генеруються під час виконання технологічної операції, має бути меншим або дорівнювати величині допуску на контрольований параметр виробу. Тобто розрахунок спрямований на підтвердження того, що похибки базування, закріплення та встановлення пристрою не виходять за межі геометричних обмежень, визначених конструкторською

документацією для даного етапу обробки. Розрахунок виконуємо за формулами (2.1), (2.2) [5]:

$$T_{\text{обр}} > \sum_{i=1}^{i=n} \epsilon_i \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} \epsilon_i = \epsilon_{\text{уст}} + \epsilon_{\text{пр}} + \epsilon_{\text{наст}} + \epsilon_{\text{обр}} \quad (2.2)$$

де $\epsilon_{\text{уст}}$ – частина похибки обробки, яка залежить від обраної схеми установки заготовки в пристрій визначається за формулою (2.3) [5];

$\epsilon_{\text{пр}}$ – частина похибки обробки, яка залежить від точності виготовлення настановних елементів, їх зносу та установки пристосування на металорізальному верстаті визначається за формулою (2.4) [5];

$\epsilon_{\text{настрій}}$ – частина похибки обробки, яка залежить від точності виготовлення настроювальних елементів пристосування та процесу налаштування,

$\epsilon_{\text{настр}} = 0,001 \text{ мм}$ [5];

$\epsilon_{\text{обр}}$ – частина похибки обробки, яка залежить від зношування ріжучого інструменту, геометричної неточності виготовлення верстата, пружних та теплових деформацій системи СПД [5].

$$\epsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\epsilon_{\text{баз}}^2 + \epsilon_{\text{закр}}^2} \quad (2.3)$$

де $\epsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування, $\epsilon_{\text{баз}} = 0$ (деталь встановлюється на цангу) [5];

$\epsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення заготовки, $\epsilon_{\text{закр}} = 0,005 \text{ мм}$ [5].

Таким чином, похибка установки дорівнює [5]:

$$\epsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\epsilon_{\text{баз}}^2 + \epsilon_{\text{закр}}^2} = \sqrt{0 + 0,005^2} = 0,005 \text{ мм} \quad (2.4)$$

де Δ_1 - похибка, обумовлена неточністю виготовлення настановних елементів,

$\Delta_1 = T_{\text{у.с.}} = 0,003 \text{ мм}$ [5];

Δ_2 – похибка залежить від величини допустимого зносу настановних елементів,

$\Delta_2 = 0,001$ мм [5];

Δ_3 – похибка, що виникає при встановленні пристосування на металорізальному верстаті [5],

$$\Delta_3 = S_{\max} \cdot \frac{L_{\text{обр}}}{L_{\text{пр}}} \quad (2.4)$$

де $S_{\max}$ – максимальний зазор між шпинделем та центруючим буртом,

$S_{\max} = 0,05$ мм [5];

$L_{\text{пр}}$ – відстань між отворами кріплення пристосування, $L_{\text{пр}} = 200$ мм [5];

$L_{\text{обр}}$ – виліт деталі із пристосування, $L_{\text{обр}} = 28$ мм [5].

$$\Delta_3 = S_{\max} \cdot \frac{L_{\text{обр}}}{L_{\text{пр}}} = 0,05 \cdot \frac{28}{200} = 0,007 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 = 0,003 + 0,001 + 0,007 = 0,011 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\text{обр}} = \Delta_7 + \Delta_8 + \Delta_9 + \Delta_{10} \quad (2.5)$$

де Δ_7 – величина допуску зносу ріжучого інструменту, $\Delta_7 = 0,001$ мм [5];

Δ_8 – величина похибки, що залежить від геометричної неточності виготовлення металорізальних верстатів, $\Delta_8 = 0,003$ мм [5];

Δ_9 – величина похибки залежить від деформацій системи СПД, $\Delta_9 = 0,001$ мм;

Δ_{10} – величина похибки залежить, від температурних деформацій системи СПД, $\Delta_{10} = 0,001$ мм [5];

Таким чином, похибка становить:

$$\varepsilon_{\text{обр}} = 0,001 + 0,003 + 0,001 + 0,001 = 0,006 \text{ мм.}$$

Сумарна похибка обробки:

$$\sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon_i = 0,005 + 0,011 + 0,001 + 0,006 = 0,023 \text{ мм.}$$

Відповідно до методики оцінювання точності оснащення, загальна похибка, що акумулюється під час технологічного процесу, не повинна перевищувати поле допуску на виконуваний розмір. Для даної операції встановлений допуск на обробку складає 0.074 мм. Проведений аналіз сумарних похибок показав, що конструкція розробленого пристосування забезпечує стабільне витримання заданих геометричних параметрів з точністю до $\sum_{i=1}^{i=n} \varepsilon = 0,023 \text{ мм}$. Таким чином, можливості пристрою повністю відповідають технічним вимогам, дозволяючи обробляти відповідальні поверхні з необхідною якістю та значним запасом за точністю.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

При встановленні заготовки в мембранний пристрій, зусилля на штоку необхідне для закріплення заготовки розраховується за формулою (2.6) [5]:

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot n \quad (2.6)$$

де P – сила затиску, забезпечена одним кулачком;

α - половина кута тиску мембрани, $\alpha = 5^\circ$;

n - кількість пелюстків мембрани.

Сила затиску, що забезпечується однією пелюсткою мембрани визначається за формулою (2.7) [5]:

$$P = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{M^2}{r^2}} \quad (2.7)$$

де f - коефіцієнт тертя, $f = 0,25$ [5];

M - момент різання визначається за формулою (2.8) [5];

r – радіус заготівлі на ділянці затиску, $r = 275/2 = 137,5$ мм [5];

$$M = P_z \cdot r_1 \quad (2.8)$$

де P_z – сила різання за формулою (2.9) [5];

r_1 – відстань від осі до точки докладання сили різання [5],

$$r_1 = 228/2 = 114 \text{ мм.}$$

$$P_z = 10 C_{pz} \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.9)$$

де C_{pz} , x , y , n - емпіричні коефіцієнт і показники ступеня, $C_{pz} = 300$, $x = 1$, $y = 0,75$, $n = -0,1$ [5];

K_p – поправочний коефіцієнт на силу різання залежно від умов різання за формулою (2.10) [5]:

$$K_p = K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{mp} \cdot K_{rp} \quad (2.10)$$

де $K_{\varphi p}$ - поправочний коефіцієнт на силу різання, що враховує вплив головного кута у плані, $K_{\varphi p} = 1,0$ при $\varphi = 90^\circ$ [5];

$K_{\gamma p}$ - поправочний коефіцієнт на силу різання, що враховує вплив переднього кута, $K_{\gamma p} = 1,0$ $\gamma = 10^\circ$ [5];

$K_{\lambda p}$ - поправочний коефіцієнт на силу різання, що враховує вплив кута нахилу головної ріжучої кромки, $K_{\lambda p} = 1,0$ [5];

K_{mp} - поправочний коефіцієнт на силу різання, що враховує вплив матеріалу, що обробляється,

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^n = \left(\frac{930}{750} \right)^{0.75} = 1,175$$

K_{rp} - поправочний коефіцієнт на силу різання, що враховує вплив радіусу при вершині різця, $K_{rp} = 1,0$ при $r = 1,0$ мм [5].

$$K_p = 1,175 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,175$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5^{-1} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 63^{-0,15} \cdot 1,175 = 1433,99 \text{ Н}$$

Розрахуємо силу затиску, що забезпечується одним кулачком:

$$P = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{M^2}{r^2}} = \frac{1}{f} \cdot \sqrt{\frac{(P_z \cdot r_1)^2}{r^2}} = \frac{1}{0,15} \cdot \sqrt{\frac{(1433,99 \cdot 114)^2}{137,5^2}} = 7926,05 \text{ Н}$$

Тоді зусилля на штоку одно:

$$Q = 7926,05 \cdot \tan 518 = 12481,9 \text{ Н}$$

Процедура перевірки конструкції пристосування на механічну міцність включає аналіз найбільш навантаженого елемента системи та визначення необхідних геометричних параметрів привода, зокрема діаметра пневматичного циліндра.

Встановлено, що критичною ланкою в ланцюгу передачі зусилля є різьбова ділянка штока (поз. 23), яка піддається найвищим напруженням. Для підтвердження надійності фіксації розрахуємо мінімально допустимий діаметр даної різьби, виходячи з величини прикладеного зовнішнього зусилля, що становить 12481,1 Н. Розрахунок геометричних параметрів різьбового з'єднання тяги виконується за наведеною математичною залежністю:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot [\sigma_p]}}, \quad (2.11)$$

де $[\sigma_p]$ - допустима напруга на розтягування, $[\sigma_p] = 300$ МПа для матеріалу сталь 45 [5].

Діаметр різьблення:

$$d_1 \geq \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot [\sigma_p]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12481.9}{3.14 \cdot 300 \cdot 10^6}} = 0,0072 \text{ м}$$

Діаметр різьблення на тязі не повинен бути меншим ніж М10 мм.

Діаметр пневмоциліндра розраховується за формулою (2.12)

$$D_{\text{пц}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P_{\text{пов}} \cdot \eta_{\text{пц}}}}, \quad (2.12)$$

де $P_{\text{пов}}$ – тиск повітря на пневмосистемі, $P_{\text{пов}} = 0,3 \dots 0,6$ МПа [5];

η – коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра, $\eta = 0,8 \dots 0,85$ [5].

Таким чином, діаметр пневмоциліндра:

$$D_{\text{пц}} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot P_{\text{пн}} \cdot \eta_{\text{пц}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 12481.9}{3.14 \cdot 0.5 \cdot 0.8}} = 199.32 \text{ мм}$$

Вибираємо D з нормального ряду $\varnothing$ пневмоциліндрів $D_{\text{пц}} = 200$ мм .

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Розглянутий контрольний пристрій застосовується для вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь. Конструктивно пристосування складається з базової плити 9, на якій змонтовано стійку з вимірювальною штангою

14. Під час контролю штанга контактує з поверхнею деталі, а отримані переміщення через важільну систему транслюються на індикатор годинникового типу 11. Базування виробу здійснюється на закріплену в плиті 9 легкоконусну оправку.

Величина радіального биття розраховується як різниця між максимальною та мінімальною відстанями від точок фактичної поверхні до базової осі обертання деталі.

За класичної схеми встановлення похибка базування визначається найбільшим зазором між внутрішньою поверхнею деталі та установчим елементом (пальцем). Проте, оскільки в даному пристрої деталь встановлюється на легкоконусну оправку з натягом, зазор повністю усувається. Як наслідок, похибка базування дорівнює нулю. Похибка закріплення також є нульовою завдяки надійній фіксації деталі на оправці за рахунок натягу.

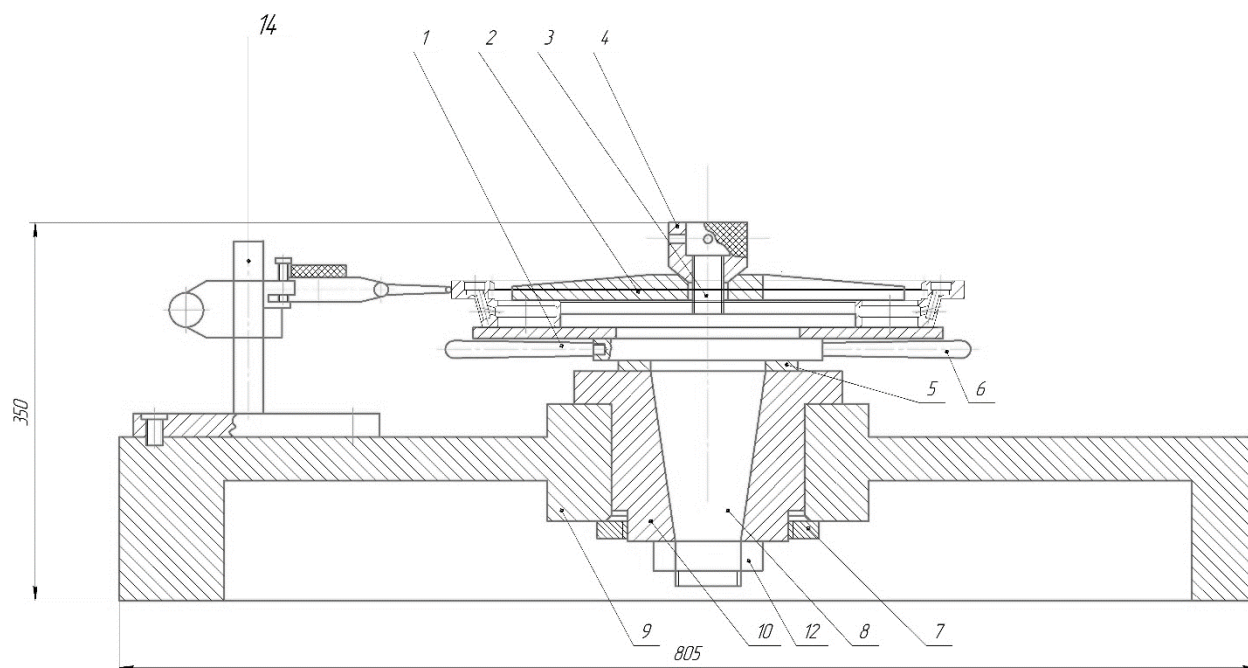


Рисунок 2.2 – Схема установки деталі в пристосуванні.

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Для підтвердження надійності та працездатності спроектованої деталі було проведено статичний розрахунок на міцність за допомогою методу скінченних

елементів (МСЕ). Цей метод дозволяє з високою точністю змодельовати поведінку деталі під дією експлуатаційних навантажень та визначити просторовий розподіл напружень у її об'ємі. Дослідження проводилося у спеціалізованому програмному середовищі для інженерного аналізу (CAE-системі). Процес розрахунку складався з кількох послідовних етапів: підготовки тривимірної геометрії, розбиття на скінченні елементи, задання граничних умов і навантажень та безпосереднього аналізу результатів обчислення.

На першому етапі розрахунку імпортується або створюється твердотільна 3D-модель досліджуваної деталі, як це детально показано на рисунку 2.3. Вона відображає точну геометричну форму об'єкта з усіма конструктивними елементами, такими як внутрішні шліци, монтажні отвори та фаски. Якість і деталізація побудови цієї комп'ютерної моделі безпосередньо впливають на загальну точність подальших розрахунків міцності. На цьому ж етапі програмному комплексу вказуються фізико-механічні властивості конкретного матеріалу, з якого виготовлятиметься деталь. Дана базова геометрична форма слугує єдиною основою для подальшої математичної дискретизації об'єкта.

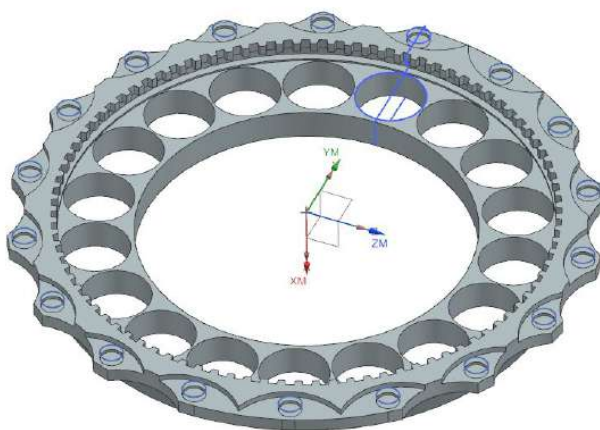


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд базової розрахункової моделі

Наступним вкрай важливим кроком є розбиття суцільної геометрії деталі на дрібні скінченні елементи, що ілюструє рисунок 2.4. Для даної складної

криволінійної форми було згенеровано якісну тетраедральну сітку, яка найкраще адаптується до круглих отворів та зубчастого вінця. Розмір та загальна щільність цих елементів підбиралися таким чином, щоб забезпечити оптимальний баланс між точністю кінцевих результатів та часом машинного обчислення. У місцях наявності потенційних концентраторів напружень сітка автоматично або вручну генерується з підвищеною густотою. Коректно побудована скінченно-елементна модель є головною запорукою адекватного математичного моделювання реального фізичного процесу.



Рисунок 2.4 – Розбивка на сітку кінцевих елементів

Після створення сітки необхідно задати розрахункову схему, застосувавши відповідні граничні умови та робочі навантаження, які наочно показані на рисунку 2.5. Червоними векторами на моделі позначено прикладені силові фактори, що імітують реальні умови експлуатації та взаємодії механізму з іншими вузлами. Також на відповідних циліндричних поверхнях деталі (внутрішньому контуру) задано жорсткі обмеження ступенів свободи, які надійно фіксують її в просторі. Правильний вибір місць прикладання крутних моментів, сил та зон закріплень є критично важливим для достовірності всього розрахунку. Цей етап повністю

завершує підготовку розрахункової моделі до безпосереднього запуску системного процесора-обчислювача.

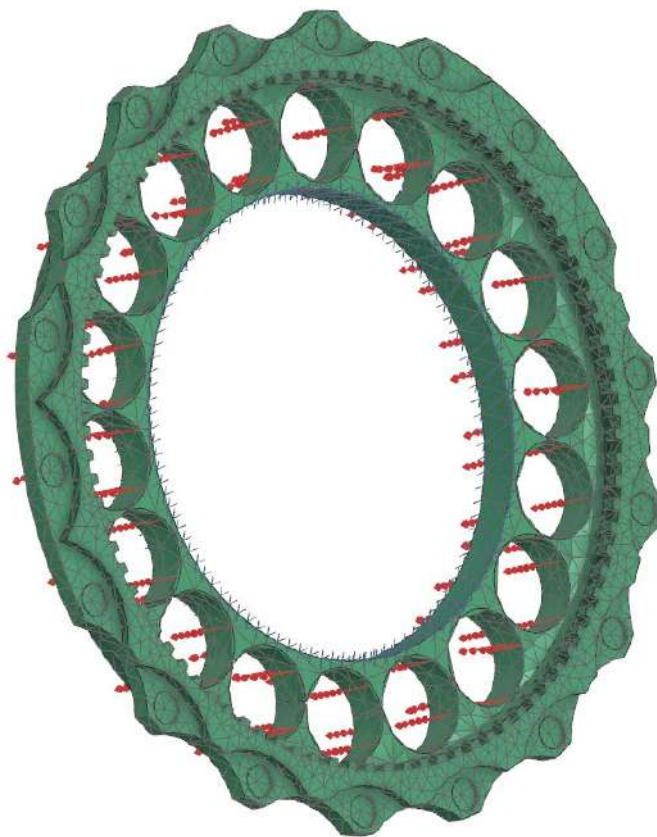


Рисунок 2.5 – Накладення обмежень

Отримані результати статичного розрахунку у вигляді інформативної кольорової епюри еквівалентних напружень за критерієм фон Мізеса наведено на рисунку 2.6. Згідно з графічною шкалою, максимальне значення напружень становить 55,53 МПа і локалізується виключно в зонах концентрації (біля внутрішніх зубців та отворів). Основний об'єм матеріалу деталі забарвлений у синій колір, що свідчить про низький рівень напружень та значний загальний запас міцності конструкції. Отриманий максимальний рівень робочих напружень є набагато меншим за границю плинності обраного конструкційного матеріалу.

Отже, деталь гарантовано здатна витримувати задані експлуатаційні навантаження без ризику виникнення пластичних деформацій та руйнування.

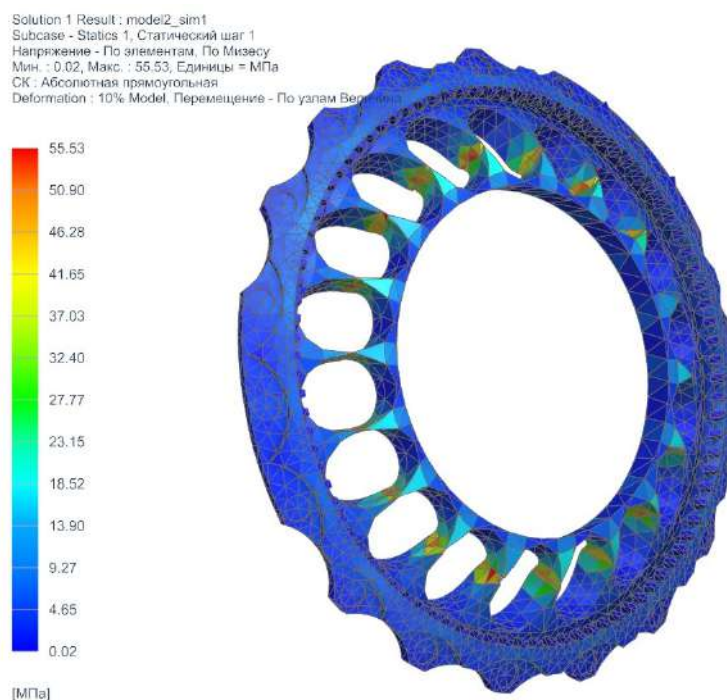


Рисунок 2.6 – Результат розрахунку

На основі проведеного скінченно-елементного аналізу можна зробити обґрунтований висновок про високу надійність та працездатність спроектованої деталі. Визначений розподіл напружень підтверджує раціональність обраних конструктивних рішень, форми та геометричних розмірів. Деталь повністю задовольняє критерії міцності та жорсткості при заданих нормативних режимах експлуатації, що дозволяє рекомендувати її до подальшого впровадження у виробництво.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Розрахунок кількості верстатів проведемо за формулою (3.1) [6]:

$$S_{pi} = \frac{t_{ш-к.i} \cdot N}{F_d \cdot 60} \quad (3.1)$$

де $t_{ш-к}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції, хв;

N - річна програма випуску;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, $F_d=4000$ годин.

Ефективний річний фонд часу являє собою загальну кількість годин, протягом яких обладнання та персонал можуть бути безпосередньо залучені у виробничий процес. При обчисленні цього показника враховується неминуче зменшення номінального часу через планові відпустки працівників, періоди непрацездатності за станом здоров'я, навчальні відпустки та інші законодавчо встановлені скорочення робочих змін. Сумарний обсяг таких часових втрат зазвичай варіюється в межах 10–12 % від встановленого номінального фонду.

Додатково при визначенні дійсного фонду часу для роботи технологічних ліній і верстатів обов'язково закладаються резерви на проведення планово-попереджувальних ремонтів, технічне обслуговування, а також на випадки простоїв, викликаних непередбаченою відсутністю персоналу або організаційними затримками. Такий комплексний розрахунок дозволяє отримати об'єктивну оцінку виробничої потужності дільниці.

Коефіцієнт завантаження обладнання розрахуємо за формулою (3.2) [6]:

$$K_{з.о.i} = \frac{S_{p.i}}{S_{п.i}} \quad (3.2)$$

Розрахуємо кількість верстатів та коефіцієнт завантаження обладнання:

Операція 015 - Токарний п/а 1К282 (на 1 деталь) за формулою (3.1) [6]:

$$S_p = \frac{\Sigma t_{ш-к.} \cdot N}{F_d \cdot 60} = \frac{5,875 \cdot 1700}{4000 \cdot 60} = 0,042$$

$$S_{\pi} = 1 \quad K_{з.о} = \frac{S_p}{S_{\pi}} = \frac{0,042}{1} = 0,042$$

Операція 015 - Токарний п/а 1К282 (після дозавантаження) за формулою (3.1) [6]:

$$S_p = \frac{\Sigma t_{ш-к.} \cdot N}{F_d \cdot 60} = \frac{8,707 \cdot 6000 + 5,875 \cdot 1700 + 13,06 \cdot 8000}{4000 \cdot 60} = 0,695$$

$$S_{\pi} = 1 \quad K_{з.о} = \frac{S_p}{S_{\pi}} = \frac{0,695}{1} = 0,695$$

Отримані результати зводимо у таблицю 3.1

Аналогічно виконуємо розрахунки для інших операцій ТП.

Середній коефіцієнт завантаження обладнання (на 1 деталь) [6]:

$$\bar{K}_3 = \frac{\sum S_p}{\sum S_{\pi}} = \frac{1,298}{15} = 0,087$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання ділянкою [6]:

$$\bar{K}_3 = \frac{\sum S_p}{\sum S_{\pi}} = \frac{11,43}{15} = 0,762$$

Розрахуємо коефіцієнт закріплення операцій [6]:

$$K_{з.о.} = \frac{O}{M} \quad (3.3)$$

де O - кількість деталей - операцій, що виконуються на ділянці протягом місяця,

. М-кількість робочих місць (верстатів) на ділянці .

$$O = \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^m O_{ij} \quad (3.4)$$

де l-кількість різних деталей, які обробляються на ділянці;

m- номер технологічної операції.

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки та кількість робочих місць на ділянці:

$$O = 18 \cdot 4 = 72 \text{ деталі – операцій}$$

$$M = \sum S_{ni} = 9 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 2 \cdot 3 + 2 \cdot 5 = 39$$

$$K_{з.о.} = \frac{O}{M} = \frac{72}{39} = 1,84$$

Коефіцієнт закріплення операцій виступає фундаментальним показником для класифікації типу виробництва на ділянці чи в окремому цеху, оскільки саме він визначає рівень його серійності. Згідно з чинними нормативними стандартами (ДСТУ 14.004-74), значення цього коефіцієнта в діапазоні від 1 до 10 свідчить про належність процесу до категорії серійного виробництва.

Беручи до уваги масові габарити виробу та запланований річний обсяг випуску, отримане розрахункове значення коефіцієнта становить 1,84. Спираючись на цей результат, можна остаточно кваліфікувати виробництво як середньосерійне. Відповідно, найбільш раціональною формою організації технологічного циклу на лінії механічної обробки циліндра автофлюгування буде впровадження змінно-поточного методу виконання робіт.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані та результати розрахунку

Вихідні дані				Результати розрахунку			
№оп.	Модель верстата	N,шт	t шт	$\sum_j t_{um-kij} \cdot N_{ij}$	S_{pi}	S_{ni}	K_{3i}
015	1K282	1700	5,875	9987,0	0,042	1	0,042
020	1K282		6,205	10548,0	0,044	1	0,044
025	АТ- 320МС		15,464	26289,0	0,110	1	0,110
030	АТ- 320МС		6,834	11618,0	0,048	1	0,048
035	3K227A		6,265	10650,0	0,044	1	0,044
040	2P55		6,545	11126,0	0,046	1	0,046
045	3E736		5,835	9919,0	0,041	1	0,041
050	МА655А4		50,584	85993,0	0,358	1	0,358
055	TOS		10,714	18214,0	0,076	1	0,076
060	TOS		10,594	18010,0	0,075	1	0,075
065	TOS		10,474	17806,0	0,074	1	0,074
070	1K282		3,645	6196,0	0,026	1	0,026
075	2P55		5,875	9987,0	0,042	1	0,042
080	МА655А4		32,324	54951,0	0,229	1	0,229
085	5140		6,014	10224,0	0,043	1	0,043
Разом			183,247	311518	1,298	15	0,087

Продовження таблиці 3.2

Вихідні дані				Результати розрахунку			
№	Модель верстата	N,шт	t шт	$\sum t_{um-kij} \cdot N_{ij}$	S_{pi}	S_{ni}	K_{3i}
015	1K282	8000	13,060	22202,0	0,695	1	0,695
020	1K282		14,510	24667,8	0,769	1	0,769
025	AT-320MC		13,122	22306,7	0,766	1	0,766
030	AT-320MC		14,416	24507,3	0,769	1	0,769
035	3K227A		14,501	24652,5	0,769	1	0,769
040	2P55		14,459	24581,1	0,769	1	0,769
045	3E736		14,566	24762,2	0,770	1	0,770
050	MA655A4		7,854	13351,1	0,751	1	0,751
055	TOS		13,834	23517,9	0,768	1	0,768
060	TOS		13,852	23548,5	0,768	1	0,768
065	TOS		13,870	23579,1	0,768	1	0,768
070	1K282		14,894	25320,6	0,771	1	0,771
075	2P55		14,560	24752,0	0,770	1	0,770
080	MA655A4		10,593	18007,4	0,759	1	0,759
085	5140		14,539	24716,4	0,770	1	0,770
Разом			202,63	344472,6	11,432	15	0,762

В умовах змінно-потокової організації виробництва тривалість окремих технологічних операцій не обов'язково повинна збігатися з тактом випуску або бути йому кратною, проте для таких ліній характерна наявність певного усередненого показника ритмічності.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Визначення економічної ефективності тієї чи іншої конструкції пристосування ґрунтується на порівнянні приведених витрат на базовий та проєктний варіанти конструкції пристрою. Економічну оцінку проводять у порівнянні з технологічною собівартістю виготовлення однієї деталі за формулою (4.1) [7]:

$$C = L \cdot (1 + Z/100) + S/(N \cdot i) + (S \cdot q)/(100 \cdot N) \quad (4.1)$$

де: C – собівартість виготовлення однієї деталі, грн;

L – штучна заробітна плата, грн;

Z – цехові накладні витрати, $Z = 400\%$ [7];

S – витрати на виготовлення та налагодження пристосування, грн;

N – річна програма випуску деталей, $N = 1000$ шт. [7];

i – термін амортизації пристосування, у роках (для пристроїв середньої складності 4-ї групи $i = 3$ роки) [7];

q – витрати, пов'язані з утриманням, ремонтом та експлуатацією пристосування, $q = 15\%$ [7].

Порівнюємо варіанти виготовлення деталі із застосуванням базового токарного трикулачкового патрона з ручним затиском заготовки та проєктного мембранного патрона з пневматичним приводом в умовах середньосерійного виробництва циліндрів.

Штучна заробітна плата при обробці однієї деталі визначається за формулою (4.2) [7]:

$$L = (t_{\text{шт-к}} \cdot C_{\text{год}}) / 60 \quad (4.2)$$

де: $t_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час на виконання операції з обробки заготовки, хв;

$C_{год}$ – годинна тарифна ставка робітника, яка залежить від його кваліфікації, грн/год.

Розрахунок для проєктного варіанту (мембранний пневматичний патрон):

Згідно з нормуванням операції 025 (токарна з ЧПК на верстаті АТ-320МС) з файлу технологічного процесу: Штучний час $T_{шт} = 15,17$ хв; Підготовчо-заклучний час $T_{пз} = 20$ хв. Штучно-калькуляційний час становить [7]:

$$t_{шт-к_пр} = T_{шт} + T_{пз}/N = 15,17 + 20/1700 = 15,17 + 0,012 = 15,18 \text{ хв.}$$

Для роботи з пневматичним затиском достатньо кваліфікації токаря 4-го розряду. Прийmemo годинну тарифну ставку $C_{год_пр} = 80,00$ грн.

Штучна заробітна плата [7]:

$$L_{пр} = (15,18 \cdot 80,00)/60 = 20,24 \text{ грн.}$$

Мембранний пневматичний токарний патрон відноситься до пристроїв середньої складності (4-та група) і складається приблизно з 45 деталей. При середній вартості однієї деталі пристрою 150 грн, його вартість становить [7]:

$$S_{пр} = 45 \cdot 150 = 6750 \text{ грн.}$$

Собівартість виготовлення однієї деталі із застосуванням мембранного пневматичного патрона [7]:

$$C_{пр} = 20,24 \cdot (1 + 400/100) + 6750/(1700 \cdot 3) + (6750 \cdot 15)/(100 \cdot 1700)$$

$$C_{пр} = 101,20 + 1,32 + 0,60 = 103,12 \text{ грн.}$$

Розрахунок для базового варіанту (трикулачковий патрон з ручним затиском):

При використанні ручного патрона збільшується допоміжний час на встановлення, вивіряння та зняття деталі ($T_{вст}$). Прийmemo $T_{вст_баз} = 1,5$ хв (замість 0,3 хв для пневматики). Інші складові допоміжного часу залишаються незмінними: $T_{пер} = 0,271$ хв, $T_{контр} = 0,28$ хв.

Новий оперативно-допоміжний час [7]:

$$T_{д_баз} = 1,5 + 0,271 + 0,28 = 2,051 \text{ хв.}$$

Штучний час для базового варіанту [7]:

$$T_{шт_баз} = (T_o + T_{д_баз}) \cdot (1 + 10/100) = (11,943 + 2,051) \cdot 1,1 = 15,39 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час збільшується через необхідність ретельного вивіряння деталі: $T_{пз_баз} = 25$ хв. Штучно-калькуляційний час [7]:

$$t_{шт-к_баз} = 15,39 + 25/1700 = 15,39 + 0,015 = 15,41 \text{ хв.}$$

Через необхідність вищої кваліфікації для ручного базування та вивіряння приймаємо розряд робітника – 5, з годинною тарифною ставкою $C_{год_баз} = 95,00$ грн.

Штучна заробітна плата:

$$L_{баз} = (15,41 \cdot 95,00)/60 = 24,40 \text{ грн.}$$

Базовий пристрій (спеціальні м'які кулачки або перехідна втулка) складається з 25 деталей, його вартість становить:

$$S_{баз} = 25 \cdot 150 = 3750 \text{ грн.}$$

Собівартість виготовлення однієї деталі із застосуванням базового пристрою з ручним затиском:

$$C_{\text{баз}} = 24,40 \cdot (1 + 400/100) + 3750/(1700 \cdot 3) + (3750 \cdot 15)/(100 \cdot 1700)$$

$$C_{\text{баз}} = 122,00 + 0,74 + 0,33 = 123,07 \text{ грн.}$$

Оскільки собівартість виготовлення однієї деталі із застосуванням мембранного пневматичного патрона (103,12 грн) нижча, ніж собівартість виготовлення однієї деталі із застосуванням базового пристрою з ручним затиском (123,07 грн), то застосування проєктного пристрою є економічно більш виправданим.

Річний економічний ефект від впровадження проєктного пристрою розраховується за формулою (4.3) [7]:

$$E = (C_{\text{баз}} - C_{\text{пр}}) \cdot N \quad (4.3)$$

$$E = (123,07 - 103,12) \cdot 1700 = 19,95 \cdot 1700 = 33\,915 \text{ грн/рік.}$$

Впровадження розробленого мембранного пристосування з пневматичним приводом для обробки циліндра автофлюгування двигуна AI-20 дозволяє знизити собівартість виготовлення однієї деталі на 19,95 грн та отримати річний економічний ефект у розмірі 33 915 грн, що підтверджує доцільність його застосування у виробництві.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ охорони праці є невід’ємною складовою проектування технологічного процесу механічної обробки деталі «циліндр автофлюгування», оскільки забезпечення безпечних умов праці безпосередньо впливає на збереження здоров’я працівників та підвищення ефективності виробництва. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» та чинних галузевих нормативно-правових актів, на дільниці механічної обробки передбачається впровадження комплексних правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів. Організація безпечної роботи на проектуємій механообробній дільниці починається з проведення інструктажів (вступного, первинного на робочому місці, повторного, позапланового та цільового). До роботи на верстатах з числовим програмним керуванням, а також круглошліфувальних та свердлильних верстатах допускаються виключно особи, які досягли 18-річного віку, пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, інструктаж з охорони праці та мають відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки.

Оскільки розроблений технологічний процес базується на використанні сучасного високопродуктивного обладнання, виробниче середовище характеризується наявністю низки небезпечних та шкідливих факторів, які потребують ретельного аналізу та повної нейтралізації на кожному робочому місці. Відповідно до стандартів безпеки праці, основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами на дільниці є фізичні, хімічні та психофізіологічні. До фізичних факторів належать рухомі частини виробничого обладнання, підвищений рівень шуму та вібрації на робочому місці, підвищена температура поверхонь обладнання та інструменту, небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, а також недостатня освітленість робочої зони. Хімічні фактори проявляються через токсичний та подразнюючий вплив парів змащувально-охолоджувальних рідин та аерозолів. Психофізіологічні фактори включають статичні і динамічні

перевантаження та нервово-психічне перенапруження, викликане монотонністю праці або високою концентрацією уваги.

Враховуючи, що обробці підлягає високоміцна легована сталь 38ХА, процеси інтенсивного точіння та шліфування супроводжуються виділенням значної кількості теплової енергії, утворенням безперервної або елементної стружки та дрібнодисперсного абразивного пилу. Відлітаючи з великою кінетичною енергією частинки металу, розпечена стружка та краплі змащувально-охолоджувальної технологічної рідини становлять серйозну загрозу для органів зору та шкірних покривів оператора. Для захисту працівників від механічного травмування передбачено комплекс інженерно-технічних рішень. Для мінімізації критичних ризиків усі верстати з ЧПК в обов'язковому порядку обладнуються захисними герметичними кабінами із міцними прозорими екранами з полікарбонату, які повністю закривають робочу зону і мають систему електронного блокування, що технічно унеможливорює запуск шпинделя при відкритих дверцятах.

Окремої уваги вимагає безпека експлуатації спроектованого технологічного оснащення, зокрема робочого пристосування – патрона із пневматичним приводом. Ця конструкція генерує значне зусилля затиску на штоку, що надійно утримує заготовку і запобігає її небезпечному вильоту під дією потужних відцентрових сил. Проте використання стисненого повітря вимагає суворого апаратного контролю: пневматична система верстата оснащується редукційними клапанами, запобіжними пристроями, манометрами та реле тиску. У разі аварійного падіння робочого тиску в пневмомагістралі нижче допустимого рівня автоматика верстата повинна миттєво подати сигнал тривоги та зупинити обертання шпинделя й подачу інструменту. Для безпечного обслуговування обладнання, прибирання зливної стружки з робочої зони та елементів патрона дозволяється виконувати виключно за допомогою спеціальних гачків, магнітних уловлювачів та щіток і лише після повної зупинки всіх рухомих частин обладнання. Крім того, весь персонал в обов'язковому порядку забезпечується сертифікованими засобами індивідуального захисту: захисними окулярами закритого типу, спецодягом із щільних зносостійких тканин, спеціальним робочим взуттям із жорстким носком.

Для забезпечення комфортних санітарно-гігієнічних умов, підтримання високої працездатності та зниження загальної втомлюваності персоналу на виробничій ділянці постійно підтримуються оптимальні параметри мікроклімату. Згідно з санітарними нормами, категорія виконуваних робіт на верстатах належить до середньої важкості. Оптимальна температура повітря в теплий період року становить 21–23 °С, у холодний – 18–20 °С; відносна вологість – 40–60%; швидкість руху повітря – 0,2 м/с. Підвищений рівень виробничого шуму та вібрації є ще одним суттєвим шкідливим фактором, що виникає під час силових обробок сталевих заготовок. Для локалізації та боротьби з цим явищем усе важче обладнання встановлюється на спеціальні віброізолюючі опори або фундаменти, які ефективно гасять коливання та запобігають їх розповсюдженню по несучих конструкціях цеху, а персонал обов'язково застосовує протишумові вкладиші або навушники.

Особлива увага приділяється очищенню повітряного середовища. Оскільки під час круглого шліфування утворюється шкідливий пил, робочі зони таких верстатів додатково обладнуються ефективними місцевими витяжними пристроями та індивідуальними пиловловлювачами для негайного видалення абразивних частинок та аерозолів змащувально-охолоджувальної рідини. Об'єм всього механічного цеху обслуговується потужною загальнообмінною припливно-витяжною вентиляцією з механічним спонуканням. Загальне освітлення цеху здійснюється сучасними енергоефективними джерелами світла, які гарантують рівномірне освітлення площ та не створюють небезпечного стробоскопічного ефекту, що є вкрай важливим для запобігання оптичній ілюзії нерухомості деталей або шпинделів, які швидко обертаються. Для точного візуального контролю зони різання та налаштування інструменту використовуються місцеві світильники на гнучких кронштейнах, що живляться від безпечної напруги 12–24 В.

З точки зору електробезпеки, виробниче обладнання становить зону підвищеної небезпеки через використання трифазного електричного струму промислової частоти. Відповідно до Правил улаштування електроустановок, приміщення механічного цеху належить до приміщень з підвищеною небезпекою

ураження електричним струмом через наявність струмопровідного пилю та металевої підлоги. Усі металорізальні верстати підключаються до електромережі з глухозаземленою нейтраллю. Для гарантованого захисту працівників від ураження електричним струмом у разі випадкового пробію фазної ізоляції, металеві станини верстатів, корпуси всього електрообладнання, розподільчих щитків, пультів керування та зовнішні кожухи електродвигунів підлягають обов'язковому захисному заземленню. Електропроводка прокладається у спеціальних захисних металорукавах або лотках, що запобігає її механічному пошкодженню гострою стружкою або транспортними засобами, а шафи управління верстатами з ЧПК мають кінцеві вимикачі, що знімають напругу при відкритті дверцят.

Завдання пожежної безпеки полягає у запобіганні виникнення пожеж та мінімізації їх наслідків. Категорія даної виробничої ділянки за пожежною небезпекою визначається як пожежонебезпечне виробництво, що зумовлено постійною наявністю горючих мастильних матеріалів, технологічних рідин та потужного електрообладнання. З метою неухильного дотримання правил пожежної безпеки суворо забороняється зберігати поблизу верстатів запаси мастил, легкозаймистих речовин і технологічних рідин у кількостях, що перевищують розрахункову змінну потребу. Використане в процесі обслуговування верстатів обтиральне ганчір'я має збиратися у спеціально відведені металеві ящики з щільними кришками та щоденно утилізуватися у безпечне місце поза межами цеху. Виробниче приміщення в обов'язковому порядку оснащується первинними засобами пожежогасіння, зокрема вуглекислотними та порошковими вогнегасниками, розміщеними на спеціальних пожежних щитах. Крім того, цех обладнується сучасною автоматичною системою пожежної сигналізації із димовими та тепловими сповіщувачами, а також має чітко розроблений та затверджений план евакуації персоналу в разі виникнення будь-якої надзвичайної ситуації. Шляхи евакуації підтримуються вільними від тари, заготовок та сторонніх предметів, їх ширина становить не менше 1,2 метри відповідно до норм проєктування цехів машинобудівних підприємств.

ВИСНОВОК

У бакалаврській дипломній роботі на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення циліндру автофлюгування» успішно вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо проектування високоефективного технологічного процесу механічної обробки відповідальної деталі авіаційного призначення. На основі проведеного комплексного аналізу вихідних даних, службового призначення та умов експлуатації вузла в системі управління повітряним гвинтом турбогвинтового двигуна AI-20 обґрунтовано необхідність підвищення точності обробки, зниження собівартості та забезпечення високої надійності виробу. Усі етапи проектування виконані у повній відповідності до чинних стандартів, нормативних документів та сучасних тенденцій розвитку авіаційного машинобудування.

В ході виконання роботи проведено детальний аналіз конструктивно-технологічних особливостей циліндра автофлюгування. Встановлено, що деталь функціонує в умовах високих гідравлічних тисків, значних знакозмінних навантажень та вібрацій. Матеріалом для виготовлення обґрунтовано обрано леговану конструкційну сталь марки 38ХА (ДСТУ 7806-2015), яка після відповідної термічної обробки забезпечує необхідний комплекс міцнісних, пружних та зносостійких властивостей. Як вихідну заготовку аргументовано прийнято відливку, що дозволило максимально наблизити її форму до геометрії готової деталі, забезпечити сприятливий напрямок волокон металу в навантажених зонах, а також суттєво підвищити коефіцієнт використання матеріалу та знизити обсяг стружкоутворення.

У технологічній частині проекту розроблено прогресивний технологічний процес механічної обробки деталей на базі використання сучасного високопродуктивного обладнання, зокрема токарних та фрезерних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Було виконано раціональне

структурування технологічних операцій, визначено оптимальні бази для кожної установки, що дозволило мінімізувати похибки базування та закріплення. Для всіх переходів розраховано та встановлено оптимальні режими різання (швидкість, подача, глибина різання) з урахуванням стійкості сучасного твердосплавного інструменту, а також проведено технічне нормування часу, яке підтвердило високу продуктивність запропонованого варіанта техпроцесу. Запропонована послідовність обробки, що включає чистове розгортання отворів до квалітету H7, шліфування прецизійних поверхонь та точне нарізання зубчатого вінця (модуль 2,5 мм, 92 зуби, кут нахилу 30°), гарантує виконання жорстких вимог щодо взаємного розташування поверхонь та параметрів шорсткості.

Конструкторська частина роботи присвячена проектуванню спеціального технологічного оснащення, а саме пневматичного пристосування для токарної обробки деталей на верстаті АТ-320МС. Розроблений тандемний (багатопоршневий) пневматичний циліндр працює при тиску в системі 0,4...0,6 МПа і дозволяє сумірувати зусилля від кількох послідовно розташованих поршнів. Це інженерне рішення забезпечило генерацію високої сили затискання, необхідної для надійної фіксації та центрування заготовки під час інтенсивних режимів різання, при збереженні компактних зовнішніх габаритів корпусу пристрою. Впровадження автоматизованого пневмоприводу дозволило значно скоротити допоміжний час на встановлення та зняття деталі, полегшити працю оператора верстата та підвищити загальну безпеку виконання робіт.

У розрахунково-дослідницькому розділі виконано перевірочний статичний розрахунок на міцність найбільш навантаженого елемента деталі за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ) у спеціалізованому програмному САЕ-комплексі. За результатами дискретизації геометрії, задання граничних умов та експлуатаційних навантажень (сил та крутних моментів) побудовано інформативні епюри розподілу напружень та деформацій за критерієм «фон Мізеса». Встановлено, що максимальні еквівалентні напруження становлять 55,53 МПа і зосереджені в зонах конструктивних концентраторів, що є значно меншим за границю плинності сталі 38ХА. Розрахунок повністю підтвердив високу

жорсткість, надійність та працездатність конструкції із гарантованим коефіцієнтом запасу міцності при нормативних режимах роботи.

У розділі «Охорона праці» проведено всебічний аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які виникають на проєктуємій механообробній дільниці (механічні небезпеки від рухомих частин верстатів, стружка, абразивний пил, пари ЗОР, шум, вібрація та ризики ураження струмом). Для їх нейтралізації розроблено комплекс організаційних та технічних заходів, що включає використання захисних кабін верстатів із блокуванням, захисного заземлення (занулення) обладнання з опором контуру до 4 Ом, систем місцевої та загальнообмінної вентиляції, а також засобів індивідуального захисту. Дільницю забезпечено первинними засобами пожежогасіння (вуглекислотними та порошковими вогнегасниками), автоматичною сигналізацією та вільними евакуаційними шляхами відповідно до вимог пожежної безпеки для приміщень категорії «В».

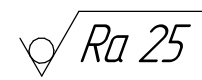
Таким чином, розроблений дипломний проєкт має завершений характер, відзначається високим рівнем науково-технічного обґрунтування та практичною цінністю. Запропоновані комплексні рішення з модернізації технології виготовлення циліндра автофлюгування двигуна AI-20 забезпечують стабільне виконання жорстких авіаційних вимог креслення, оптимізують виробничі витрати і можуть бути рекомендовані до реального впровадження на машинобудівних підприємствах галузі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Технологія авіаційного двигунобудування: підручник / В. К. Яценко. Київ : Кондор, 2012. 380 с.
2. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник. / Ципак В.І. та ін. Запоріжжя : ЗНТУ, АТ «Мотор Січ», 2003. 335 с.
3. Металорізальні верстати : підручник / В. О. Федорович. Львів : Львівська політехніка, 2011. 412 с.
4. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя. 2019. 240 с.
5. Технологічне оснащення машинобудівного виробництва: навч. посібник / С. Г. Смірнов. Харків : НТУ «ХП», 2014. 284 с.
6. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / С. Ю. Олійник. Краматорськ : ДДМА, 2021. – 260 с.
7. Методичні рекомендації для дипломного проєктування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка». Каф. Технологія машинобудування; уклад. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023. 43 с.

ДОДАТОК А.
ТЕХНОЛОГІЧНІ КАРТИ

										Аркушів 1	Аркуш 1
Розраб.	Данильченко І.В.			НУЗП	НУЗП 712252.032						
Провер.	Гончар Н.В.										
Н. контр.	Дядя С.І.			Циліндр автофлюгування					Операція 005		



1. Заготовка – штамповка, клас точності Т4, ступінь складності поковки С1, група матеріалу М2.
2. Група контролю II по ОСТ 1 90197-89.
3. Твердість HB260..290.
4. Допустиме значення зміщення поверхні роз'єму штампa 1мм.
5. Штампувальні цухили не більше 2°, невказані радіуси 3мм.

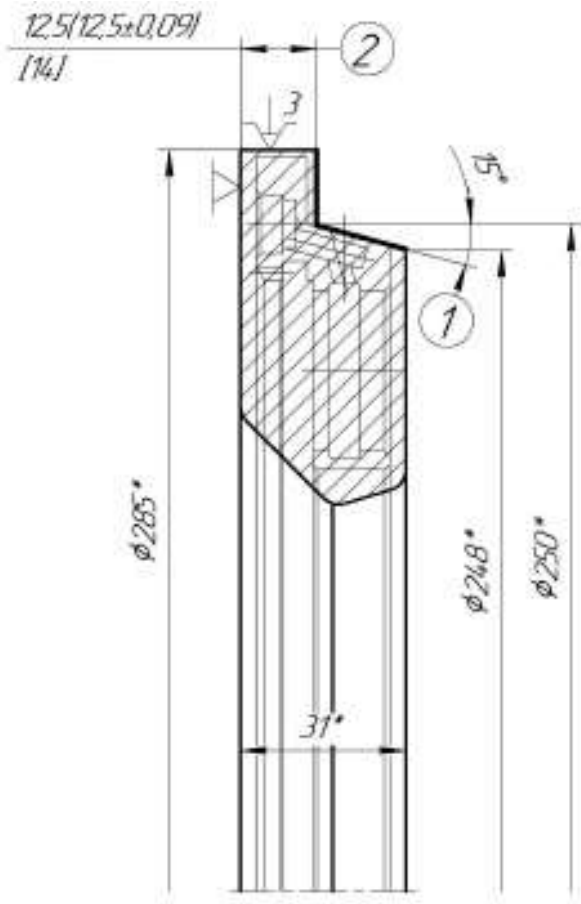
[illegible]

[illegible]

[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

					НУЗП 02141.26032		1	1
Разраб.	Данильченко І.В.			НУЗП	НУЗП 712252.032		Мз-113сп.20141.00030	
Перевір.	Гончар Н.В.							
				Циліндр автофлюгування			030	
Н.контр.	Дядя С.І.							



√ Ra 12.5

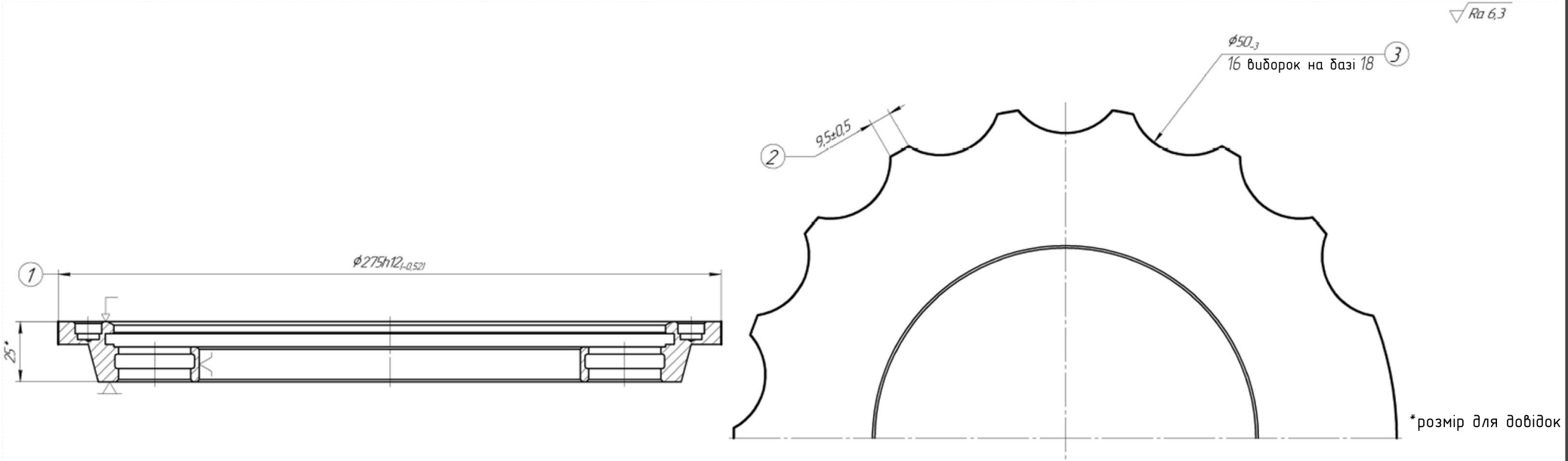
* РОЗМ:РИ ДЛЯ ДОВ:ДОК

КЭ				
----	--	--	--	--

[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

				НУЗП 02141.26032		1	1
Разраб.	Данильченко І.В.			НУЗП	НУЗП 712252.032	Мз-113сп.20141.00070	
Перевір.	Гончар Н.В.						
Н.контр.	Дядя С.І.			Циліндр автофлюгування			070

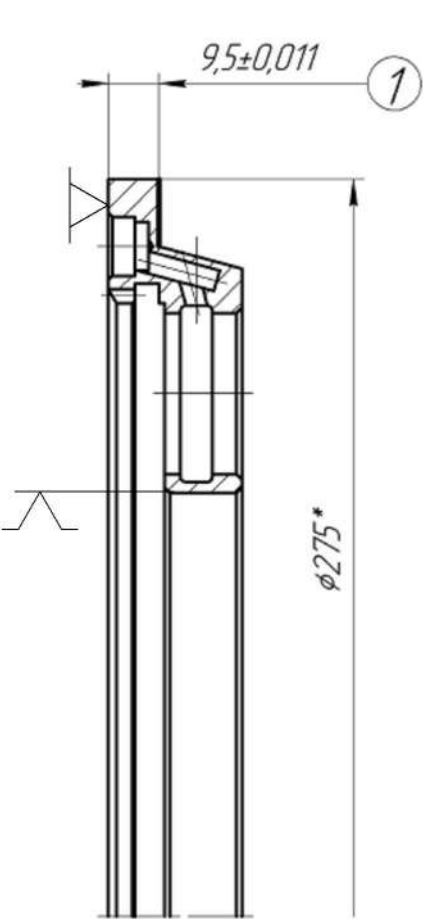


КЭ				
----	--	--	--	--

[illegible]

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

				НУЗП 02141.26032		1	1
Разраб.	Данильченко І.В.			НУЗП	НУЗП 712252.032	Мз-113сп.20141.00075	
Перевір.	Гончар Н.В.						
Н.контр.	Дядя С.І.			Циліндр автофлюгування			075



* розмір для довідок

КЭ				
----	--	--	--	--

[illegible]