

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНА РОБОТА

Технологія виготовлення деталі "Шів ОМП 05.17.012"
Назва теми

з використанням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

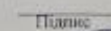
Шифр ДРБ.ФІТА.ПМ.23.07.ПЗ

Виконав студент 3 курсу група ПМТс-20-2
Шифр


Підпис

Денис БУГАЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, звання


Підпис

Віталій КАРАЗЕЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент


Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри технології машинобудування
Назва


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата «27» серпня 2023

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Бугай Денис Валерійович на захист дипломного проєкту (роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологія виготовлення деталі "Шків ОМП 05.17.012" з використанням верстатів з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету

(підпис)

**ВІКТОР
ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Бугай Д. В. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2020 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 37,50 %, задовільно 62,50 %. шкалою ЄКТС: А 2,70 %, В 18,92 %, С 21,62 %, D 10,81 %, E 45,95 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Денис Бугай працював над дипломною роботою систематично та відповідально. Під час роботи виявив глибокі знання із загальної і спеціальної дисциплін, що дозволило розробити механізм виготовлення деталі із застосуванням сучасних досягнень в галузі технології машинобудування. Захист роботи засвідчує оцінку дипломного проєкту (роботи) "відмінно".

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

Віталій КАРАЗЕЦЬ

(ім'я, прізвище)

"___" _____ 2023 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Бугай Д. В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри технології машинобудування

(підпис)

Віталій КАЧУК

(підпис, ім'я, прізвище)

"27" серпня 2023 р.

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну роботу Дениса БУГАЯ
Тема роботи: Технологія виготовлення деталі "Шків ОМП 05.17.012" з використанням верстатів з ЧПК

Тема дипломної роботи, та її зміст відповідають обраній спеціальності. Дипломна робота має необхідні розділи згідно завдання.

У дипломній роботі студент проаналізував конструкцію обраної деталі, її технологічність та визначив тип виробництва.

Обрав (економічно обґрунтувавши) метод отримання заготовки, в подальшому був розроблений технологічний процес механічного оброблення штока з використанням сучасного м/р устаткування з ЧПК фірми DOOSAN. Згідно виданого завдання розраховані притуски на обробку, визначені режими різання, норми штучного часу. Всі прийняті рішення технологічного розділу підкріплені відповідними розрахунками і виконані на високому рівні.

У конструкторському розділі розроблено конструкцію пристрою для оброблення різьбових отворів деталі на фрезерному верстаті та контрольний пристрій.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розділи розрахунково-пояснювальної записки оформлені з виконанням основних вимог високому рівні.

Все це свідчить про досить високий рівень дипломника як сформованого молодого спеціаліста.

Вагомих недоліків у дипломній роботі не виявлено.

Дипломна робота, виконана згідно завдання, в повному обсязі на достатньому технічному рівні заслуговує оцінки «добре».

Рецензент: К.Т.М., доцент ст. викр. категорії
архітектури та інженерно-будівельних наук

« 26 » « 06 » 2023 р.

(підпис)

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)
Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва
Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва
Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

_____._____.2023

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бугаю Денису Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Технологія виготовлення деталі «Шів ОМП 05.17.012» з використанням верстатів з ЧПК

керівник роботи Каразей Віталій Дмитрович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 березня 2023 р. № 5

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2023

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) кресленик деталі шів ОМП 05.17.012 та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 220 шт.

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

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист А2); графотехнологія (1 лист А1); кресленик карти наладки (1 лист А2); кресленик верстатного пристрою (1 лист А1); кресленик контрольного калібру (1 лист А2)

6 Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання 6.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	20.03.2023	
2 Технологічний розділ	20.04.2023	
3 Конструкторський розділ	20.05.2023	
4 Охорона праці	10.06.2023	

Студент _____
Підпис

Денис БУГАЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проєкту (роботи) _____
Підпис

Віталій КАРАЗЕЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Зміст:

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	6
1.1 Завдання	
1.2 Опис конструкції, технічних умов та службового призначення деталі	6
1.3 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	7
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	9
2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки	9
2.2 Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні	12
2.3 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	14
2.4 Розрахунок режимів різання	22
2.5 Технічне нормування операцій	26
2.6 Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК за допомогою САМ програми	28
2.7 Оформлення технологічної документації	32
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Простування верстатного пристрою	34
3.2 Проектування спеціального інструменту	40
3.3 Розрахунок різьбового калібра	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	45
4.1 Організація охорони праці на виробничому підприємстві	45
ВИСНОВКИ	48
ЛІТЕРАТУРА	50

ВСТУП

Машинобудування є однією з найважливіших галузей промисловості. Його продукція - машини різного призначення - постачається у всі галузі народного господарства. Розвиток промисловості та народного господарства, а також темпи озброєння їх новою технікою в значній мірі залежать від рівня розвитку машинобудування.

Як прикладна наука, "Технологія машинобудування" має велике значення у підготовці фахівців для машинобудівної промисловості. Вона забезпечує їх знаннями, необхідними для повсякденної та творчої діяльності з розробки прогресивних технологій та створення конструкцій машин, що дозволяють застосувати високопродуктивні технологічні методи при їх виробництві.

Одним з основних завдань "Технології машинобудування" є вивчення закономірностей протікання технологічних процесів та виявлення технологічних параметрів, на які найбільш ефективно впливає для інтенсифікації виробництва та підвищення його точності. Під час вивчення цього курсу студенти отримують знання, необхідні для повсякденної творчої роботи в галузі розробки нової прогресивної технології, автоматизації виробництва, а також створення конструкцій, що дозволяють застосувати високопродуктивні технологічні методи при їх виготовленні.

Технологічний процес у машинобудуванні характеризується не лише вдосконаленням конструкції машин, але й постійним удосконаленням технології їх виробництва. На сьогоднішній день важливо якісно, економічно та в задані планові строки з мінімальними витратами живої та матеріальної праці виготовити машину, застосувавши сучасне високопродуктивне обладнання, інструмент, технологічне оснащення, засоби механізації та автоматизації виробництва.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Завдання

Завдання, поставлені у даній дипломній роботі:

- розробити кресленик деталі "шків";
- розробити маршрутний технологічний процес виготовлення деталі "шків";
- спроектувати верстатний та контрольний пристрій;
- розробити технологічну документацію.

1.2 Опис конструкції, технічних умов та службового призначення деталі

Деталь "шків" призначена для передачі крутного моменту від ведучого вала двигуна до веденого вала виконавчого механізму. При цьому передача моменту можлива з різними частотами, що забезпечується наявністю двох ребер у шківа.

У процесі роботи шків приймає крутний момент від ведучого вала за допомогою бічних поверхонь шпонки і передає його виконавчому механізму через бічні поверхні ребер за допомогою клинопосмугової передачі. Передаваний крутний момент і частота обертання можуть бути значними за величиною. При цьому виникають циклічні змінні навантаження. У процесі експлуатації шків не захищений жодними елементами, тому умови можуть сильно залежати від зовнішнього середовища, де механізм працює.

Назва деталі - Шів ОМП 05.17.012. Призначена для передачі крутного моменту з валу на косарку. Деталь входить до складу косарки КРН-2,1 А. Марка матеріалу деталі – Сч20 ДСТУ EN 1561:2010. Твердість деталі 170-221НВ.

Сірий чавун завдяки своїм властивостям лиття та достатній механічній міцності є одним з поширених литих сплавів. З сірого чавуну виготовляють методом лиття різноманітні заготовки, що застосовуються в різних галузях машинобудування та побуту. Сірий чавун представляє собою сплав заліза з вуглецем і кремнієм. Крім того, у ньому містяться у невеликих кількостях марганець, фосфор, сірка та інші елементи.

Вимоги до точності.

1. Технічні вимоги на виливок згідно з ДСТУ 8833:2019.
2. Точність виливка 10-8 ДСТУ 8833:2019. Невказані граничні відхилення розмірів H14; h14; 2/2.
3. Незазначені радіуси 3 мм.
4. Формувальні ухили за ДСТУ 8833:2019 у бік збільшення товщини металу.
5. На робочих поверхнях канавок шківа не повинно бути пористості, подряпин та вм'ятин після механічної обробки. На гребенях канавок будь-які раковини та пористість не допускаються.

Виправлення дефектів виробництва газовим зварюванням або паянням міддю з подальшим доведенням до необхідної чистоти. Допускається закладати ненаскрізні раковини діаметром 10...12 мм та глибиною до 5 мм замазками на основі епоксидних смол.

6. Розрахункові діаметри канавок трохи більше 0,6 мм.
7. Биття конусної робочої поверхні шківа, виміряне перпендикулярно утворює конуса на більшому діаметрі не більше 1.1 мм.
8. Шків статично збалансувати. Допустимий дисбаланс 6 г.см.
9. Відносні технічні вимоги згідно з ДСТУ ISO 4184:2010.
10. Методи контролю шківа за ДСТУ ISO 4880–2002 або інші методи, що забезпечують дотримання якості шківа, передбаченого ДСТУ ISO 4880–2002.

1.3 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Тип виробництва визначаємо за коефіцієнтом серійності K_C , визначеному за формулою:

$$K_C = \frac{\Phi_d 60}{T_{шпр} \times \Pi} = \frac{\tau}{T_{шпр}} \quad (1.1)$$

де T — такт випуску в хвилину, дорівнює

$$T = \frac{\Phi_d 60}{\Pi} \quad (1.2)$$

Φ_d — дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год

$$\Phi_d = \Phi_n \times K_1 \quad (1.3)$$

K_1 — коефіцієнт, що враховує простої обладнання через його ремонт

$$K_1 = 0,94 \dots 0,99$$

Φ_n — номінальний річний фонд робочого часу верстата, $\Phi_n = 4000$ г, $\Phi_d = 4000 \times 0,95 = 3800$ год

Π — річна програма випуску деталей, $\Pi = 220$ шт

$T_{\text{шир}}$ - середній штучний час характерних операцій:

$$T_{\text{шир}} = 0,78 + 0,44 + 2,06 + 0,13 = 3,41 \text{ хв}$$

$$T = \frac{3800 \times 60}{220} = 1036 \text{ хв}$$

$$K_c = \frac{1036 \times 364}{3,41} = 303,9$$

$K_c > 40 \Rightarrow$ *одиничне виробництво*

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки

Враховуючи низький опір відливків з сірого чавуну до розтягуючих і ударних навантажень, цей матеріал слід використовувати для деталей, які піддаються стискальним або згинним навантаженням. У машинобудуванні це включає базові, корпусні деталі, кронштейни, зубчасті колеса та направляючі.

Механічні властивості:

Межа міцності при розриві: 180 МПа;

Межа міцності при згині: 360 МПа;

Твердість: 170-229 НВ;

Щільність: 7820 кг/м³;

Модуль пружності: 800 МПа;

Модуль зсуву: 420 МПа.

Ливарні властивості сірого чавуну: чавун відрізняється від сталі саме своїми кращими ливарними властивостями, тому чавун є найпоширенішим матеріалом для виготовлення відливків. Лінійне та об'ємне скорочення у чавунів зазвичай менше, ніж у сталі, а рідкотечість вища. Лінійне скорочення сірого чавуну становить від 0,8% до 1,3%.

Від вибору заготовки, тобто встановлення методу та отримання форми величини припусків, напусків та ін, залежить маса (вага) заготовки та обсяг наступної механічної обробки деталі. Збільшення припусків на обробку веде до зростання витрати металу та труднощів обробки, підвищує витрати на ріжучий інструмент, ремонт верстатів, електроенергію тощо. З іншого боку, надто малі припуски на обробку можуть призвести до браку "по чорності", тобто до невитримання вимог креслення деталі щодо точності та шорсткості оброблених поверхонь. Від правильності вибору виду та розмірів заготовки залежить собівартість виготовлення деталі.

Важливим завданням при виготовленні заготовок є наближення їх за формою та розмірами до готових деталей.

Виливки є заготовками для фасонних деталей.

З чавуну відливають картери, коробки, корпуси підшипників, кронштейни, маховики, шківни, фланці тощо. При більш високих вимогах до механічних властивостей деталей аналогічні виливки виконують із сталі. З алюмінієвих сплавів відливають блоки циліндрів, картери, коробки, поршні.

Існують такі основні способи отримання виливків:

- у земляні форми,
- в оболонкові форми,
- у металеві форми (кокільне лиття),
- лиття під тиском,
- відцентрове лиття,
- лиття за моделями, що виплавляються.

Відхилення, що допускаються, і припуски на механічну обробку заготовок необхідно призначати за діючими стандартами або довідниками, зазначеними в переліку літератури. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічну обробку.

Дана деталь належить до третьої групи складності. Зовнішні контури та конструкція деталі є достатньо простими. Модель і форму для неї можна виготовити з одним роз'ємом; частини моделі легко витягуються з форми. Дана деталь виготовляється з використанням одного циліндра для отримання отвору діаметром 90 мм. В цьому випадку передбачені технологічні отвори для виходу показникових частин циліндра.

До переваг цього відливу належить досить проста форма. В конструкції відливу шківни ми спрощуємо заглиблення, тобто не відливаємо їх, вони будуть виточені після лиття. Для уникнення розсіпання формувальної суміші в кутах моделі під час її витягування з форми, роблять закруглення при з'єднанні стінок відливу.

Вирішення питання щодо положення відливу в формі проводиться, передусім, з урахуванням вимог до рівномірного та направленого затвердіння металу.

Положення відливку в формі має забезпечувати зручність виготовлення та збирання форми. Весь відливок розташовується у нижній частині форми, щоб уникнути деформацій та інших дефектів.

Положення відливку в формі забезпечує використання одного стержня, хорошу вентиляцію форми та спокійне заповнення її розплавленим металом, що уникне руйнування струменів металу в областях форми та стержня.

Вибір роз'єму моделі та форми залежить від розмірів відливку, його конфігурації та характеру виробництва, при цьому необхідно забезпечити зручність виготовлення та збирання форми. Кількість роз'ємів форми має бути мінімальною, а поверхні роз'єму як можна більш плоскими.

У даній дипломній роботі відливок в формі розташовується горизонтально. Весь відливок розташовується у нижній частині форми. Площина роз'єму проходить по верхньому краю відливку. Таке положення відливку сприяє рівномірному затвердінню металу, забезпечує зручність виготовлення та збирання форми, хорошу вентиляцію порожнини форми та спокійне заповнення її розплавленим металом, уникне руйнування стержня та областей форми струменями рідкого металу, та забезпечує якість поверхні відливку.

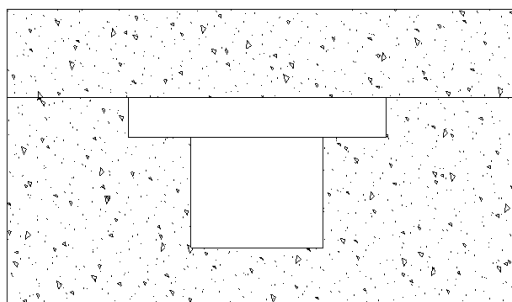


Рисунок 2.1 – Положення відливки у формі та площина роз'єму моделі та форми

Роз'єм форми повинен забезпечувати мінімальну кількість дефектів, зменшувати необхідність в фінішній обробці, тому відливку слід розташувати у двох півформах, з лінією роз'єму, що перпендикулярна вісі симетрії масивної частини шкива, спрямованою вниз. Ця лінія роз'єму забезпечує збирання форми без особливих труднощів, надійне кріплення стержня, виключаючи його

деформацію під дією ваги та тиску розплавленого металу. Ще одна причина, чому лінія роз'єму обрана саме таким чином, - необхідність забезпечити мінімальну висоту відливки в формі.

Маса заготовки – 19 кг.

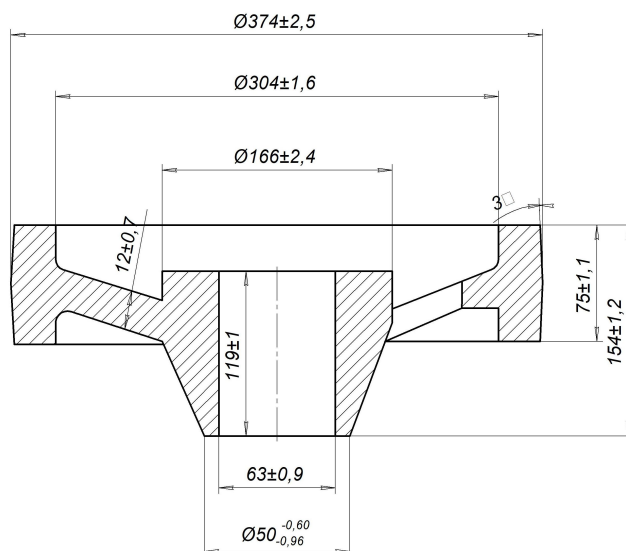


Рисунок 2.2 – Заготовка

2.2 Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні

Розрахунок допусків на механічну обробку виконується за допомогою розрахунково-аналітичного методу та за таблицями.

Давайте розрахуємо значення допуску для закритого отвору $\text{Ø}361(-0,36)$.

Сумарне значення просторових відхилень для циліндричної деталі при обробці в самоцентруючому патроні [7]:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2}, \quad (2.1)$$

де $\rho_{\text{см}}=1000$ мкм; $\rho_{\text{кор}} = 221$ мкм;

Сумарне відхилення:

$$\rho_z = \sqrt{221^2 + 1000^2} = 1024 \text{ мкм.}$$

Остаточне просторове відхилення:

після чорнового розточування: $\rho_1 = 0,06 \cdot 1024 = 61$ мкм ;

після чистового розточування: $\rho_2 = 0,04 \cdot 1024 = 41$ мкм ;

після шліфування: $\rho_3 = 0,02 \cdot 1024 = 20$ мкм .

Якість поверхонь заготовок, отриманих литвом:

$R_z + h = 600$ мкм.

Визначення параметрів, досягнутих після механічної обробки:

Розточування чорнове:

$R_z = 50$ мкм, $h = 50$ мкм.

Розточування чистове:

$R_z = 20$ мкм, $h = 25$ мкм.

Шліфування:

$R_z = 10$ мкм, $h = 20$ мкм.

Погрішність установки заготовки:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_6 = 0$; $\varepsilon_{31} = 140$ мкм; $\varepsilon_{32} = 120$ мкм; $\varepsilon_{33} = 100$ мкм.

Розрахункова формула для визначення припуску на обробку:

$$2 \cdot z_{imin} = 2 \cdot (R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.3)$$

де: R_{zi-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

h_{i-1} – товщина дефектного шару на попередньому переході.;

ρ_{i-1} – сумарне відхилення розташування поверхні;

ε_i – граничне відхилення.

Мінімальні припуски:

Чорнова обробка:

$$2 \cdot z_{imin} = 2 \cdot (600 + \sqrt{1024^2 + 140^2}) = 2 \cdot 1634 \text{ мкм};$$

Чистова обробка:

$$2 \cdot z_{imin} = 2 \cdot (50 + 50 + \sqrt{61^2 + 120^2}) = 2 \cdot 235 \text{ мкм};$$

Шліфування:

$$2 \cdot z_{imin} = 2 \cdot (20 + 25 + \sqrt{41^2 + 100^2}) = 2 \cdot 153 \text{ мкм}.$$

Таблиця 2.1 – Розміри заготовки

Деталь (розмір)	Виливки		
	Допускається	Основний припуск	Розмір
363	5,0	$5,5 \times 2 = 11$	$374 \pm 2,5$
80	1,1	$2,8 \times 2 = 5,6$	$74 \pm 0,55$
120	2,0	$3,4 \times 2 = 6,8$	$113 \pm 1,0$
67	2,2	$3,8 + 4,6 = 8,4$	$75 \pm 1,1$
29,5	1,8	$3,4 + 4,2 = 7,6$	$34 \pm 0,9$
144,5	2,4	$3,8 + 4,6 = 8,4$	$154 \pm 1,2$
158	2,4	$3,8 \times 2 = 7,6$	$166 \pm 2,4$
12	1,4	-	$12 \pm 0,7$
113	2,0	$2,8 + 3,4 = 6,2$	$119 \pm 1,0$
69	1,8	$2,8 \times 2 = 5,6$	$63 \pm 0,9$
304	3,2	-	$304 \pm 1,6$

2.3 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

Для оцінки технологічності шківів розглядається технологічність матеріалу, технологічність заготовки, технологічність загальної конфігурації, технологічність базування та закріплення, технологічність оброблюваних поверхонь. Для аналізу матеріалу заготовки потрібно визначити його склад та основні характеристики.

Шків має достатньо складну конфігурацію, але всі поверхні достатньо прості за формою і можуть бути оброблені стандартними методами механічної обробки. При цьому в конструкції шківів широко використовуються уніфіковані елементи і розміри відповідають нормальному ряду чисел. Тому конфігурацію шківів також можна вважати технологічною.

Одним із ключових питань при механічній обробці та забезпеченні технологічності деталі є її базування. Згідно з даними [5], для базування розглянутої деталі можуть бути використані типові схеми базування, що забезпечить дотримання всіх основних принципів базування та зменшить похибки при обробці. У зв'язку з цим при базуванні деталей на операціях

механічної обробки деталей можна вважати технологічною. З точки зору механічної обробки деталь також можна вважати технологічною. Незважаючи на те, що всі поверхні деталі потрібно піддати механічній обробці, виходячи з їх характеристик, сама обробка може бути виконана за типовими маршрутами [1]. Зміна характеристик поверхонь в бік їх зниження неможлива, оскільки вони є оптимальними для даної деталі з точки зору конструкції всього вузла та умов роботи. З проведеного аналізу можна зробити висновок про високу технологічність деталі.

Першим кроком виконуємо вибір баз для механічної обробки повинен здійснюватися з урахуванням досягнення необхідної точності взаємного розташування поверхонь деталі, щодо лінійних та кутових розмірів, забезпечення доступу інструментів до оброблюваних поверхонь, забезпечення простоти та уніфікації пристроїв станків, а також зручності установки заготовки.

Спочатку рекомендується вибрати чистові бази для кінцевої обробки поверхонь деталі, дотримуючись наступних правил:

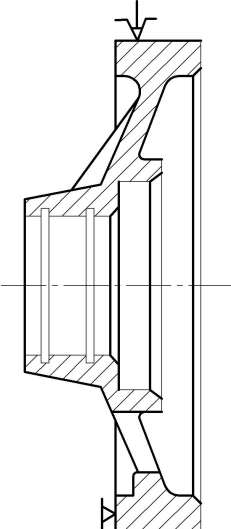
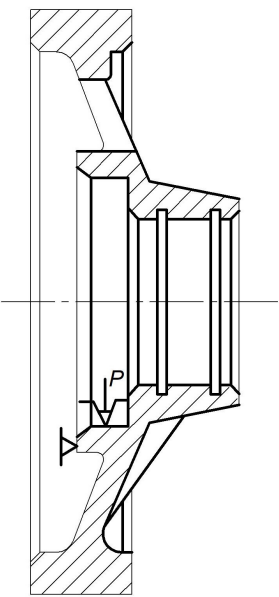
- слід прагнути до дотримання принципу співпадіння (єдності) баз, тобто як технологічну базу вибрати вимірювальну базу для розміру, який буде дотримуватися під час обробки. При цьому точність вказаного розміру буде визначатися лише похибкою технологічної системи на даній операції і не залежатиме від точності взаємного розташування інших поверхонь деталі. При відхиленні від співпадіння баз точність дотримуваного розміру буде залежати від похибки даної технологічної системи та похибки розміру зв'язуючої вимірювальну і технологічну базу (похибка схеми базування). Це може призвести до необхідності застосування більш точних методів обробки та обладнання, що призведе до подорожчання і збільшення трудомісткості механічної обробки деталі.

- слід дотримуватися принципу постійних баз, тобто прагнути використовувати один і той же набір технологічних баз для кінцевої обробки більшості поверхонь деталі. Кожна зміна технологічних баз збільшує похибку

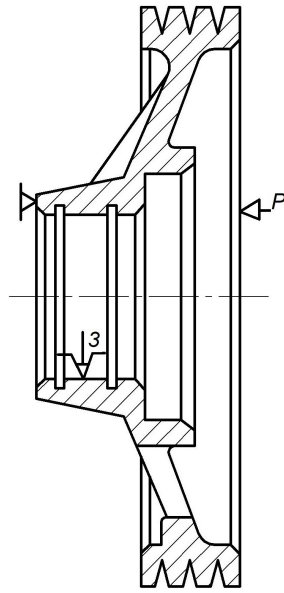
взаємного розташування поверхонь, оброблених з різних баз, на величину похибки розташування цих баз одна відносно іншої.

- для зменшення похибки базування, спричиненої похибками розміру та форми бази, слід використовувати найточніші поверхні як технологічні бази.

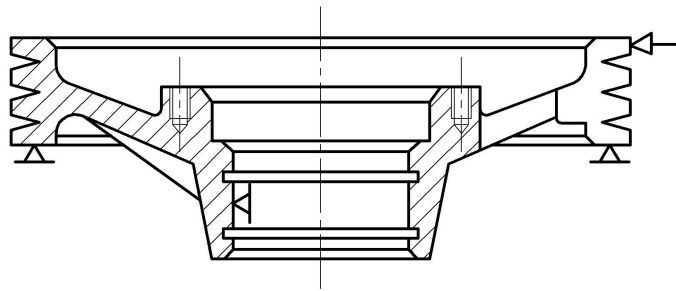
Таблиця 2.2 – Базування деталі на операціях

Операція	Базування
Токарна з ЧПК Верстат	 A technical drawing in cross-section showing a cylindrical part mounted on a lathe. A lathe tool is positioned to cut a groove into the side of the part. The drawing illustrates the relationship between the part's features and the lathe's geometry.
Токарна з ЧПК	 A technical drawing in cross-section showing a part mounted on a lathe. A lathe tool is positioned to cut a groove into the side of the part. The drawing illustrates the relationship between the part's features and the lathe's geometry, with a specific feature labeled 'P'.

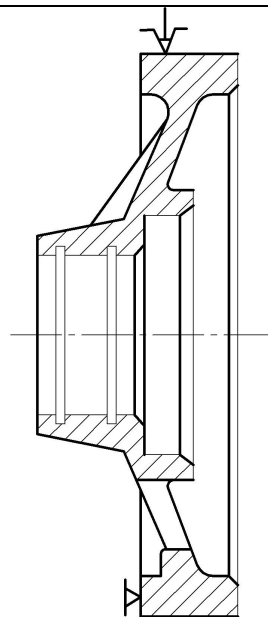
Токарна з ЧПК



Вертикально
свердлувальна з ЧПК



Внутрішньошліфувальна


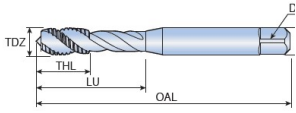


План виготовлення шківів формується на основі отриманого маршруту обробки. В ньому обов'язково повинні бути вказані: всі операції технологічного процесу; використовуване на них обладнання; операційні ескізи з вказанням оброблюваних поверхонь, схем базування, операційних розмірів; технологічні вимоги до виконання операцій. При цьому слід враховувати, що оформлення та проектування плану виготовлення рекомендується здійснювати згідно з рекомендаціями [6].

На основі характеристик типу виробництва технологічний маршрут виготовлення двоступінчастого шківів проектується на основі типових технологічних маршрутів виготовлення, які представлені в [9, 10]. При цьому необхідно провести попередній аналіз відомих маршрутів та врахувати конструктивні особливості розглянутої деталі [6]. Отриманий технологічний маршрут виготовлення шківів буде представлений у вигляді таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічний маршрут виготовлення деталі шківів

№ оп.	Назва	Обладнання	Оснастка		
			Ріжучий інструмент	Засоби контролю	Пристрої
1	2	3	4	5	6
005	Токарна з ЧПК	Токарно-револьверний верстат з ЧПК моделі PUMA 2100S.	Токарний контурний різець: - Модель: TNMG 22 04 08-PF - Покриття: GC4225 "Sandvik" Токарний розточний різець: - Модель: TNMX 16 04 04-WF - Покриття: GC4215 "Sandvik" Канавочний різець: - Модель: N123G2-0300-0001-CF - Покриття: GC1125	Штангенциркуль ШЦ-1 ДСТУ 166:2009	Трьохкулачковий спеціальний патрон.

			"Sandvik"		
010	Токарна з ЧПК	Токарно-револьверний верстат з ЧПК моделі PUMA 2100S.	Токарний контурний різець TNMG 22 04 08-PF. GC4225 "Sandvik"; Різець токарний розточний TNMX 16 04 04-WF GC4215 "Sandvik"; Різець канавочний N123G2-0300-0001-CF GC1125 "Sandvik" Зенкер насадний Ø80 ДСТУ 2233-93	Штангенциркуль ШЦ-1 ДСТУ 166:2009	Трьохкулачковий патрон
015	Токарна з ЧПК	Токарно-револьверний верстат з ЧПК моделі PUMA 2100S.	Різець канавочний спеціальний	шаблон	Трьохкулачковий патрон
020	Вертикально-свердлильна з ЧПК	Вертикальний свердлильний верстат з ЧПУ моделі 2P135Ф2.	Свердло спіральне Ø8 3HD 080-064-08 P18 TaeguTec  Мітчик M10 TRH454C M10X1.5 TaeguTec  <small>* For general purpose</small>	Різьбовий калібр M10 ДСТУ EN 60061-3:2014	Пристрій спеціальний
025	Внутрішньошліфувальна	Внутрішньошліфувальний 3K227B.	Круг шліфувальний 1 – 10x20x4 23A46K7V	Нутромір мікрометричний НМ 50-175 ДСТУ 7809:2015	Оправка цангова

На основі розробленого маршруту технологічного процесу будуть використовуватися наступні моделі станків з відповідними характеристиками з джерел.



Рисунок 2.3 – Токарно-револьверний верстат з ЧПУ моделі Doosan PUMA 2100S

Таблиця 2.4 – Характеристики верстата моделі PUMA 2100S

Максимальний діаметр обробки, мм	480
Максимальна довжина заготовки, мм	520
Частота обертання головного шпинделя/контршпинделя, об/хв	5000/4500
Кількість гнізд для інструментів у револьверній головці	12
Потужність головного шпинделя/контршпинделя, кВт	18,5/7,5
Габарити верстата, мм	3415 1863 1900
Маса, кг	5300

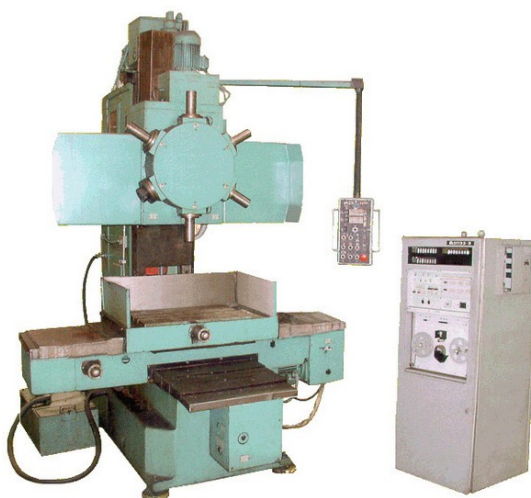


Рисунок 2.4 – Вертикально-свердильний верстат з ЧПУ моделі 2P135Ф2

Таблиця 2.5 – Характеристики верстата моделі 2P135Ф2

Клас точності верстата	Н
Найбільший діаметр свердління у сталі 45, мм	35
Найменша та найбільша відстань від торця шпинделя до поверхні столу, мм	40...600
Відстань від осі вертикального шпинделя до напрямних стійки (виліт), мм	450
Поздовжнє переміщення столу по напрямних санчат (Вісь X), мм	630
Поперечне переміщення санок по напрямних станини за програмою (Вісь Y), мм	360
Найбільше переміщення шпиндельної бабки за програмою (вісь Z), мм	560
Частота обертання шпинделя, об/хв	45..2000
Подачі супорта, мм/хв	10..500
Розміри робочої поверхні столу, мм	400 710
Потужність, кВт	3,7
Габарити, мм	1800 2170 2700
Маса, кг	5390



Рисунок 2.5 – Внутрішліфувальний верстат моделі 3К227В

Верстат 3К227В призначений для шліфування отворів - циліндричних і конічних, наскрізних та глухих, а також внутрішніх і зовнішніх торців в умовах дрібно- та середнесерійного виробництва.

Таблиця 2.6 - Характеристики верстата моделі 3К228А

Клас точності верстата	А
Найбільший діаметр обертання встановлюваного виробу, мм	400
Найбільша довжина встановлюваного виробу, мм	320
Найменший і найбільший діаметр отвору, що шліфується., мм	50...300
Найбільша довжина шліфування при діаметрі шліфування не	320

менше ніж 100 мм, мм	
Відстань від осі шпинделя передньої бабки до підшви станини, мм	1225
Відстань від осі шпинделя передньої бабки до дзеркала столу (висота центрів), мм	340
Найбільша довжина переміщення столу, мм	800
Швидкість переміщення столу під час шліфування, м/хв	1...7
Частота обертання торцевого шпинделя, 1/хв	4000
Поздовжнє переміщення торцевого шліфувального кола найбільше налагоджувальне, мм	250
Частота обертання внутрішньошліфувальних головок, 1/хв	4500,5300,8 200,12000
Найбільший діаметр шліфувального круга, мм	200 x 76 x 63
Найбільша окружна швидкість шліфувального круга, м/с	35
Частота обертання виробу (безступінчасте регулювання), об/хв	60...600
Електродвигун шпинделя шліфувальної бабки, кВт	7,5
Електродвигун приводу торцешліфувального пристрою, кВт	2,2
Габаритні розміри верстата, мм	3535 x 1460 x 1870
Маса верстата з електрообладнанням та охолодженням, кг	6400

2.4 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режиму різання при зенкуванні отвору $\varnothing 80$ на довжину 83 мм.

Глибина різання $t=0,5$ ($v-v_0$)= $0,5(80-74)=3$ мм

Величина подачі $S=S_0 \cdot K_{0S}=2,2 \cdot 0,7=1,54$ мм/об

Визначаємо розрахункову швидкість різання:

$$v_p = \frac{C_v \cdot v^g}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{18,8 \cdot 80^{0,2}}{100^{0,125} \cdot 3^{0,1} \cdot 1,54^{0,4}} \cdot 1 = 19 \text{ м / хв} \quad (2.4)$$

Загальний коефіцієнт поправки:

$$K_V = K_{\mu V} \cdot K_{UV} \cdot K_{IV} \cdot K_{nv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$K_{\mu V} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{TM} = \left(\frac{190}{190} \right)^{1,3} = 1$$

$$K_{UV} = 1,0 \tag{2.5}$$

$$K_{IV} = 1,0$$

$$K_{nv} = 1,0$$

Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi v} = \frac{1000 \cdot 19,04}{3,14 \cdot 80} = 75,8 \text{ хв}^{-1} \tag{2.6}$$

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$g = \frac{\pi v m}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 76}{1000} = 19,1 \text{ м / хв} \tag{2.7}$$

Перевіряємо обраний режим різання за потужністю на шпинделі та міцності механізму подачі, для чого визначаємо крутний момент та осьову силу сил різання:

$$M_{KP} = 10 \cdot v^g \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 0,085 \cdot 80 \cdot 3^{0,75} \cdot 1,54^{0,8} \cdot 1 = 219 \text{ Нм} \tag{2.8}$$

$$\text{Коефіцієнти } K_p = K_{\mu p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{0,6} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,6} = 1 \tag{2.9}$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 23,5 \cdot 3^{1,2} \cdot 1,54^{0,4} \cdot 1 = 1043 \text{ Н} \tag{2.10}$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_p = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} = \frac{219 \cdot 76}{9750} = 1,71 \text{ кВт} \tag{2.11}$$

Потужність, що стосується різання $N_p = 1,71 \text{ кВт}$, менше потужності на шпинделі верстата $N_{um} = N_p \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт}$ (2.12)

Осьова сила від сил різача $P_0 = 1043 \text{ Н}$, що набагато менше $P_{одон} = 15000 \text{ Н}$

Основний час дорівнює:

$$T_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{n_\phi \cdot S_\phi} = \frac{2 + 83 + 6,16}{76 \cdot 1,54} = 0,78 \text{ хв} \tag{2.13}$$

$$l_1 = t \cdot ctgy = 3 \cdot ctg 60^\circ = 2 \text{ мм} \tag{2.14}$$

$$l_3 = (3 \dots 5) \cdot S_\phi = 4 \cdot 1,54 = 6,16 \text{ мм} \tag{2.15}$$

Розрахунок режиму різання при точінні поверхні $\varnothing 120$ мм.

$$\text{Глибина різання: } t = \frac{h}{2} - t_2 = 2,5 \text{ мм} \quad (2.16)$$

Величина подачі $S_1=0,9 \dots 1,4$ мм/об. Приймаючи $S_1=1,3$ мм/об
Для чистових $S_2=0,42$ мм/об.

$$\text{Швидкість різання } \mathcal{G} = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K / \text{хв} \quad (2.17)$$

- для чорнової обробки: $C_v=243$; $X=0$; $Y=0,4$; $m=0,2$

- для чистової обробки: $C_v=243$; $X=0$; $Y=0,4$; $m=0,2$

Поправочний коефіцієнт

$$K_{\mu\nu} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{m\nu} = 1 \quad (2.18)$$

Загальний коефіцієнт поправки K_v дорівнює:

$$K_{v1}=0,55; K_{v2}=0,85$$

Швидкість різання при чорновій та чистовій обробці дорівнює:

$$\mathcal{G}_1 = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 2,5^0 \cdot 1,3^{0,4}} \cdot 0,55 = 53,1 \text{ м / хв}$$

$$\mathcal{G}_2 = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 2,5^0 \cdot 0,42^{0,4}} \cdot 0,85 = 128,85 \text{ м / хв}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

- для чорнової обробки

$$n_1 = \frac{1000 \cdot V_1}{\pi v} = \frac{1000 \cdot 53,1}{3,14 \cdot 113} = 149,6 \text{ хв}^{-1} \quad (2.19)$$

- для чистової обробки

$$n_2 = \frac{1000 \cdot V_2}{\pi v'} = \frac{1000 \cdot 128,85}{3,14 \cdot 118} = 347,7 \text{ хв}^{-1} \quad (2.20)$$

$$v' = 113 + 5 = 118 \text{ мм}$$

Потужність різання:

$$N_p \leq N_{um} = N_s \cdot \eta \quad (2.21)$$

$$N_p = \frac{P_z \cdot \mathcal{G}}{60 \cdot 1020} \quad (2.22)$$

Сила різання P_z , розраховуємо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p \cdot \mathcal{G}^n \quad (2.23)$$

$C_p=92$; $X=1,0$; $Y=0,75$; $n=0$

Поправочний коефіцієнт

$$K_{\mu p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n = 1 \quad (2.24)$$

Потужність на шпинделі дорівнює:

$$N_{um} = N_p \cdot \eta = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кВт} \quad (2.25)$$

Тобто обраний режим задовольняє умову міцності верстата.

Розрахунок режиму різання при свердлінні отвору $\varnothing 10$ мм на глибину 20мм.

Глибина різання $t=0,5v=0,5 \cdot 10=5$ мм

Величина подачі $S=S_0 \cdot K_{0S} \cdot K_{iS} \cdot K_{neS} \cdot K_{iis} = 0,18$ мм/об, $S_1=1,3$, $S_{\phi}=0,28$ мм/об для верстата 2P135Ф2

Визначаємо розрахункову швидкість різання:

$$v_p = \frac{C_v \cdot v^g}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v = \frac{14,7 \cdot 10^{0,15}}{35^{0,125} \cdot 0,18^{0,55}} \cdot 0,84 = 29,6 \text{ м / хв} \quad (2.26)$$

Загальний поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{\mu v} \cdot K_{UV} \cdot K_{IV} \cdot K_{nv} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 = 0,84$$

$$K_{\mu v} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{nv} = \left(\frac{190}{190} \right)^{1,3} = 1$$

$$K_{UV} = 1,0 \quad (2.27)$$

$$K_{IV} = 1,0$$

$$K_{nv} = 0,8 - 0,85_{\text{Приймаємо } K_n} v = 0,84$$

Визначаємо розрахункову частоту обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi v} = \frac{1000 \cdot 29,6}{3,14 \cdot 10} = 942,7 \text{ хв}^{-1} \quad (2.28)$$

$$n_{\phi} \leq n_p = 942,7 \text{ хв}^{-1}$$

$$\text{Приймаємо: } n_{\phi} = 700 \text{ хв}^{-1}$$

Визначаємо фактичну швидкість різання:

$$g = \frac{\pi v n_{\phi}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 700}{1000} = 21,98 \text{ м / хв} \quad (2.29)$$

Перевіряємо обраний режим різання за потужністю приводу шпинделя і міцності механізму подачі, для чого визначаємо крутний момент і осьову силу сил різання:

$$M_{kp} = 10 \cdot v^g \cdot C_n \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 10^{2,2} \cdot 0,012 \cdot 3^{0,75} \cdot 1,54^{0,8} \cdot 1 = 6,85 \text{ Нм} \quad (2.30)$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot v^g \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 42 \cdot 10^{1,2} \cdot 0,18^{0,75} \cdot 1 = 2562,9 \text{ Н} \quad (2.31)$$

$$\text{Коефіцієнти } K_p = K_{\mu p} = \left(\frac{HB}{190} \right)^{0,6} = \left(\frac{190}{190} \right)^{0,6} = 1 \quad (2.32)$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_p = \frac{M_{kp} \cdot n}{9750} = \frac{6,85 \cdot 700}{9750} = 0,49 \text{ кВт} \quad (2.33)$$

Потужність, що стосується різання $N_p = 0,49 \text{ кВт}$, менша за потужність на шпинделі верстата $N_{um} = N_p \cdot \eta = 1,5 \cdot 0,85 = 1,2 \text{ кВт}$ (2.34)

Осьова сила від сил різача $P_0 = 2562,9 \text{ Н}$, що набагато менше $P_{дон} = 5600 \text{ Н}$ Отже, вибраний режим різання може бути здійснений.

Основний час дорівнює:

$$T_o = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{n_{\phi} \cdot S_{\phi}} = \frac{4 + 20 + 1,12}{700 \cdot 0,28} = 0,13 \text{ хв} \quad (2.35)$$

де $l_1 = 0,4 \cdot \gamma = 0,4 \cdot 10 = 4 \text{ мм}$, $l_3 = (3 \dots 5) \cdot S_{\phi} = 4 \cdot 0,28 = 1,12 \text{ мм}$

2.5 Технічне нормування операцій

Технічним нормуванням називають визначення норм часу (або норм виробітку в одиницю часу) на окремі операції.

Технічна норма на операцію — мінімально-необхідний час виконання цієї операції за всіх нормальних умов роботи.

Технічні норми часу використовують із розрахунку виробничої потужності робочого місця, ділянки, цеху, а як і визначення витрат за зарплату робочим й у калькуляції собівартості обробки.

Час, що витрачається на цю операцію, називають штучним.

Технологічний час T_o – час, що витрачається безпосередньо на обробку заготовки, тобто зміну її форми, розмірів, властивостей тощо; при складанні машин це час безпосереднього складання.

Допоміжний час T_d – час, що стосується допоміжних дій робітника, безпосередньо пов'язаний з основною роботою (установка, закріплення і зняття оброблюваної заготовки, управління верстатом, вимірювання деталі).

Час обслуговування робочого місця $T_{об}$ — час, що витрачається робітником на догляд за своїм робочим місцем, віднесений до цієї операції.

Час перерв у роботі $T_{пер}$ — час, що стосується відпочинок (якщо він потрібен за умовами роботи) і природної потреби.

Суму основного та допоміжного часу показують до оперативного часу $T_{оп}$.
Приймаємо $K_1+K_2=10\%$

Тоді:

$$T_{ш}=(T_o+T_d)\cdot(1+(K_1+K_2)/100)=(3,14+2)(1+0,1)=5,65 \text{ хв} \quad (2.36)$$

При обробці партій деталей вводять поняття штучно-калькуляційного часу T_k , яке, крім штучного часу, містить ще підготовчо-заключний час, що припадає на одну деталь:

$$T_k=T_{ш}+(T_{пз}/n)=5,65+0=5,65 \text{ хв} \quad (2.37)$$

Підготовчо-заключний час $T_{пз}$ — час, що витрачається на отримання наряду, ознайомлення з роботою, отримання пристосувань, що відсутні, переналагодження верстата та ін. в калькуляційному часі цей час береться на 1 деталь, тобто деталь на число деталей в партії. Норма виробітку N представляє кількість продукції, вироблену в одиницю часу. При 8-годинному робочому дні норма виробітку за зміну, шт., дорівнює:

$$H=(480/T_k)=480/5,65=84,96 \text{ хв}^{-1} \quad (2.38)$$

Нині є шість розрядів кваліфікації робочих. Визначення розряду робіт проводиться за тарифно-кваліфікаційними довідниками.

2.6 Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК за допомогою САМ програми

Далі, у ході дипломної роботи була проведена розробка програми для токарної обробки корпусу на верстаті з ЧПК Doosan PUMA 2100S. Основним інструментом для створення програми в G-M коді був використаний програмний продукт САМ Esprit. Першим кроком у механічній обробці шпинделя було виконано токарну обробку.

В ході дипломної роботи була розроблена 3D-модель шків за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Ця модель була імпортована в середовище Esprit для подальшої обробки. (рис. 2.6).

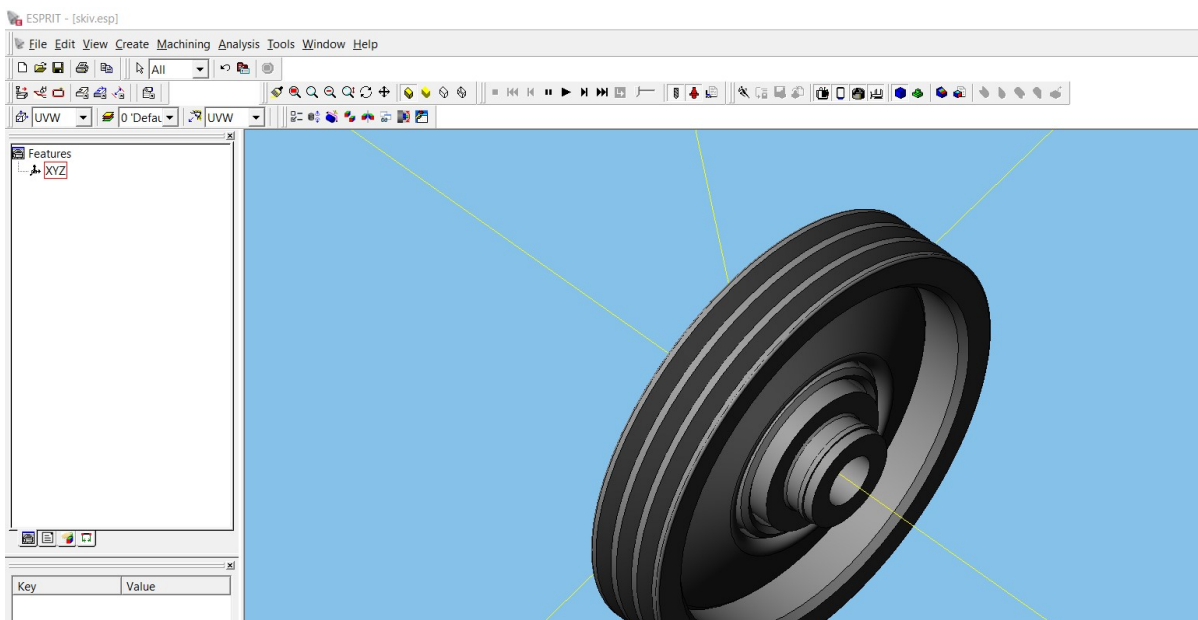


Рисунок 2.6 – 3D модель шків у середовищі Esprit

1. Створено заготовку

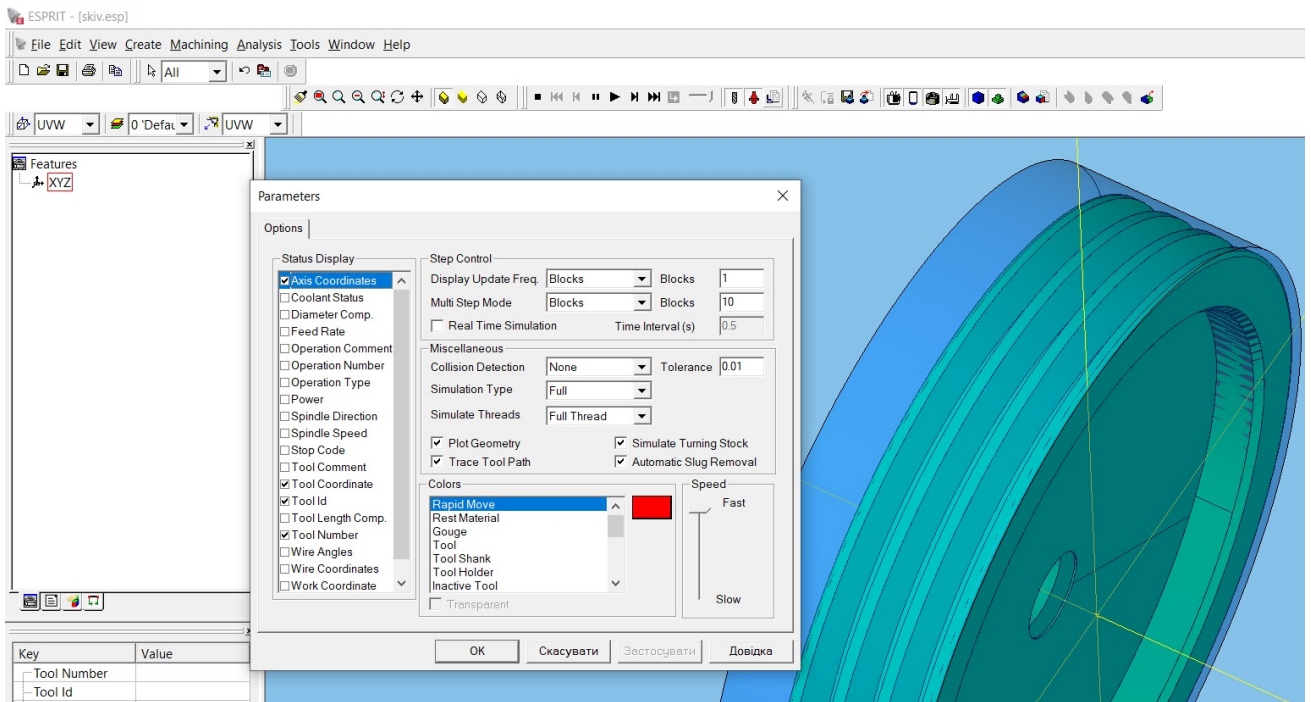


Рисунок 2.7 – Створення заготовки у САМ Esprit

2. Виконано розпізнання елементів профілю рис 2.8.

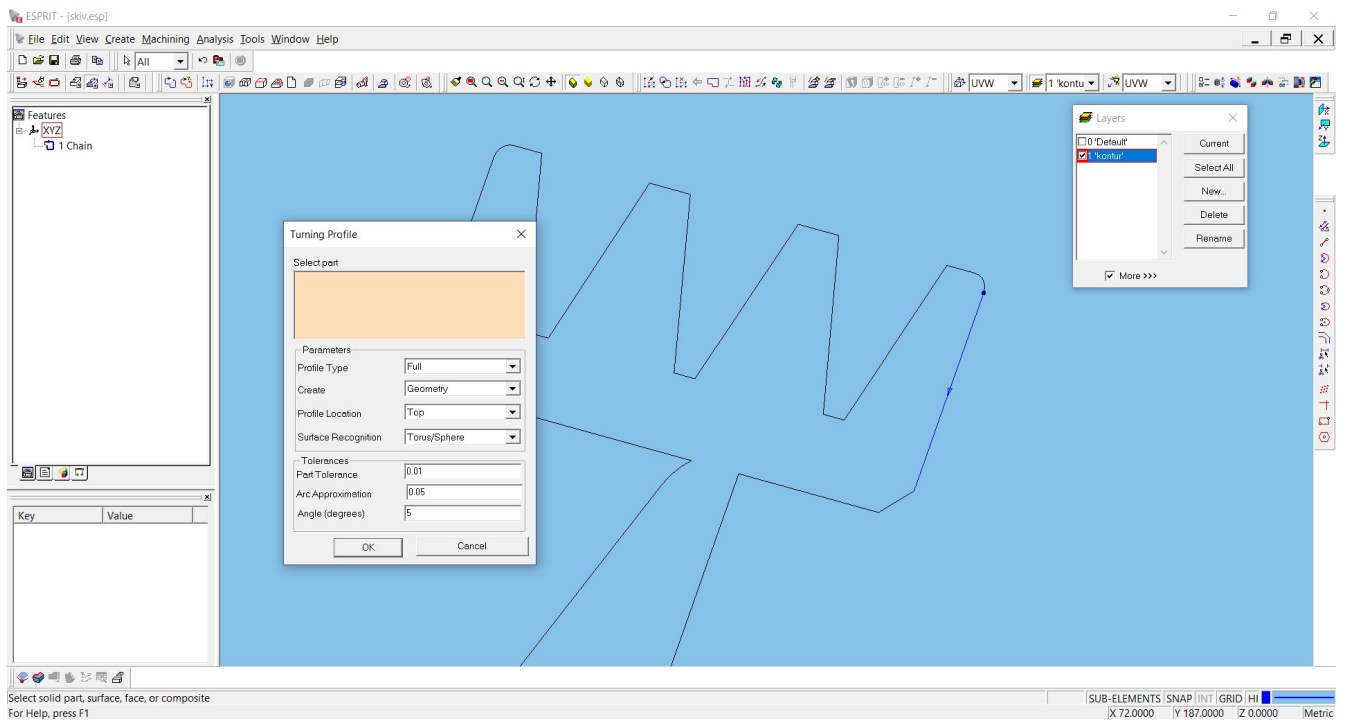


Рисунок 2.8 – Розпізнання у САМ Esprit елементів профілю

3. Вибрано вид оброблення – «Roughing» (рис. 2.9).

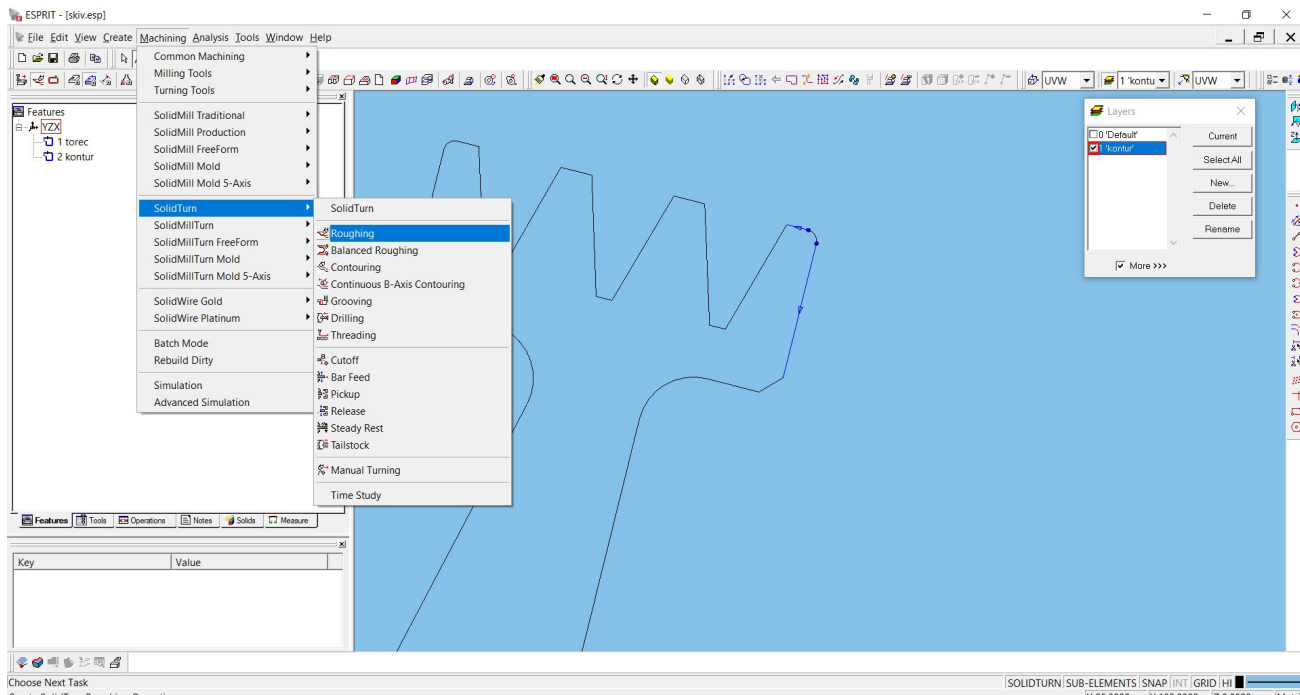


Рисунок 2.9 – Вибір виду оброблення

4. Вибрано металообробний інструмент та його параметри (рис. 2.10).

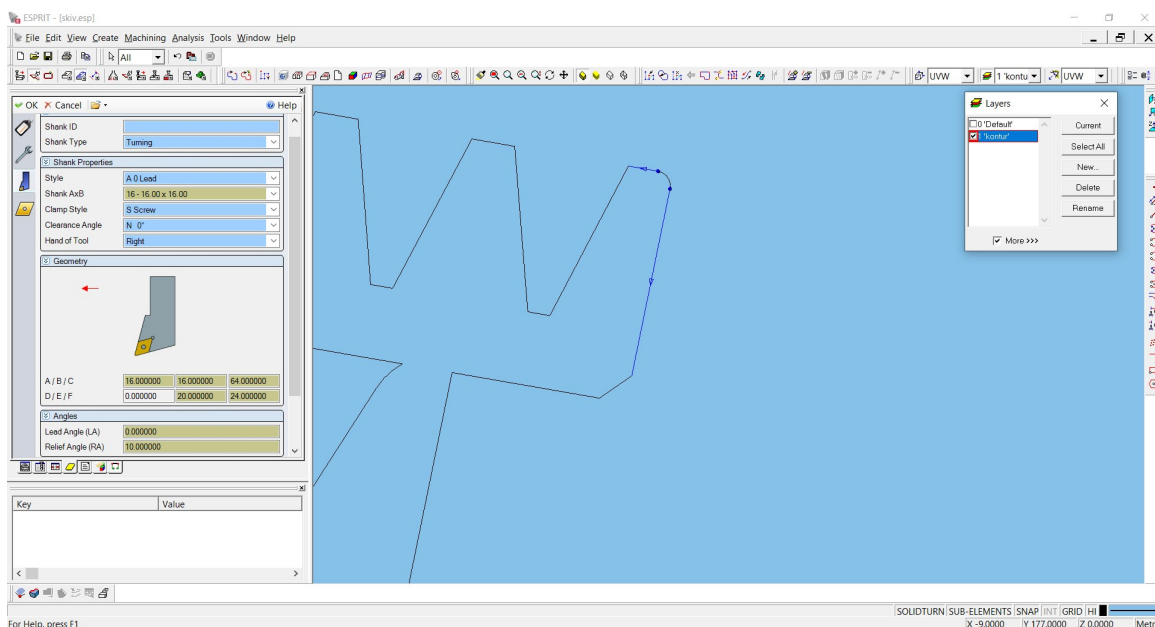


Рисунок 2.10 – Вибір ріжучого інструменту

5. Вибрано режими різання (рис 2.11).

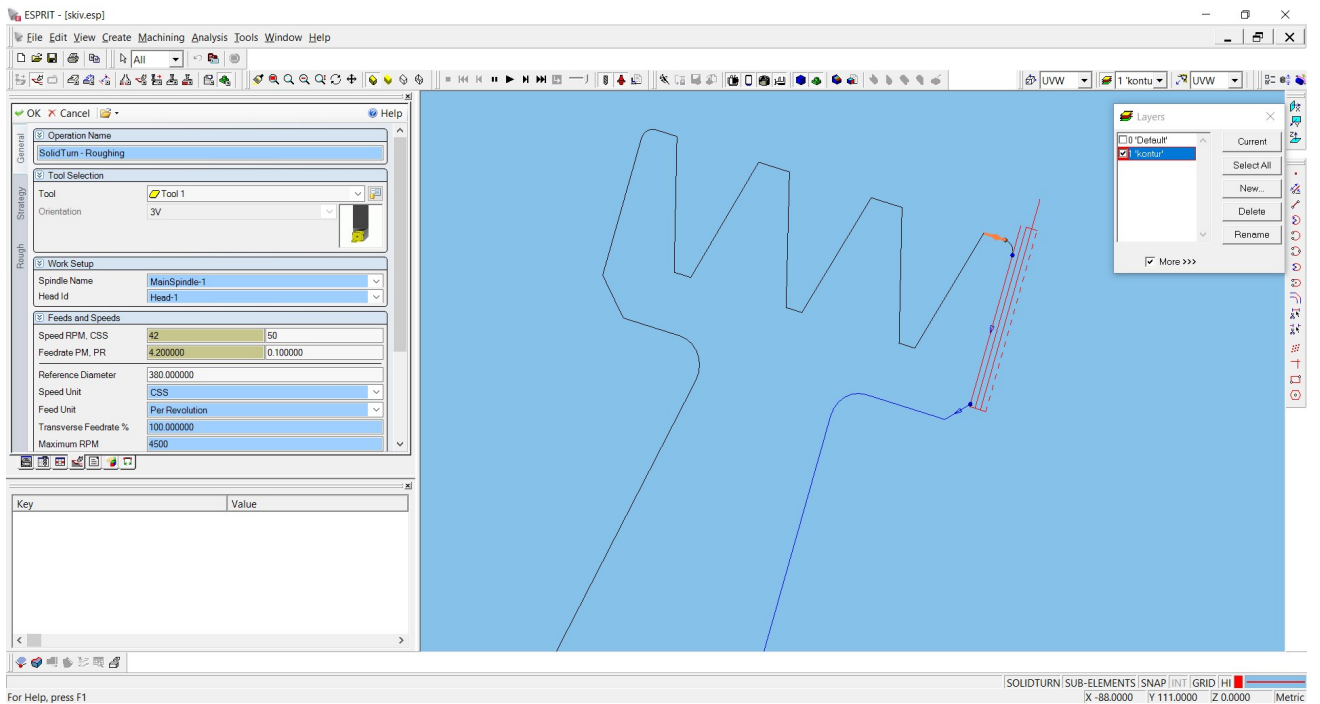


Рисунок 2.11 – Вибір режимів оброблення

6. Згенеровано траєкторію руху металорізального інструменту при обробленні корпусу (рис 2.12).

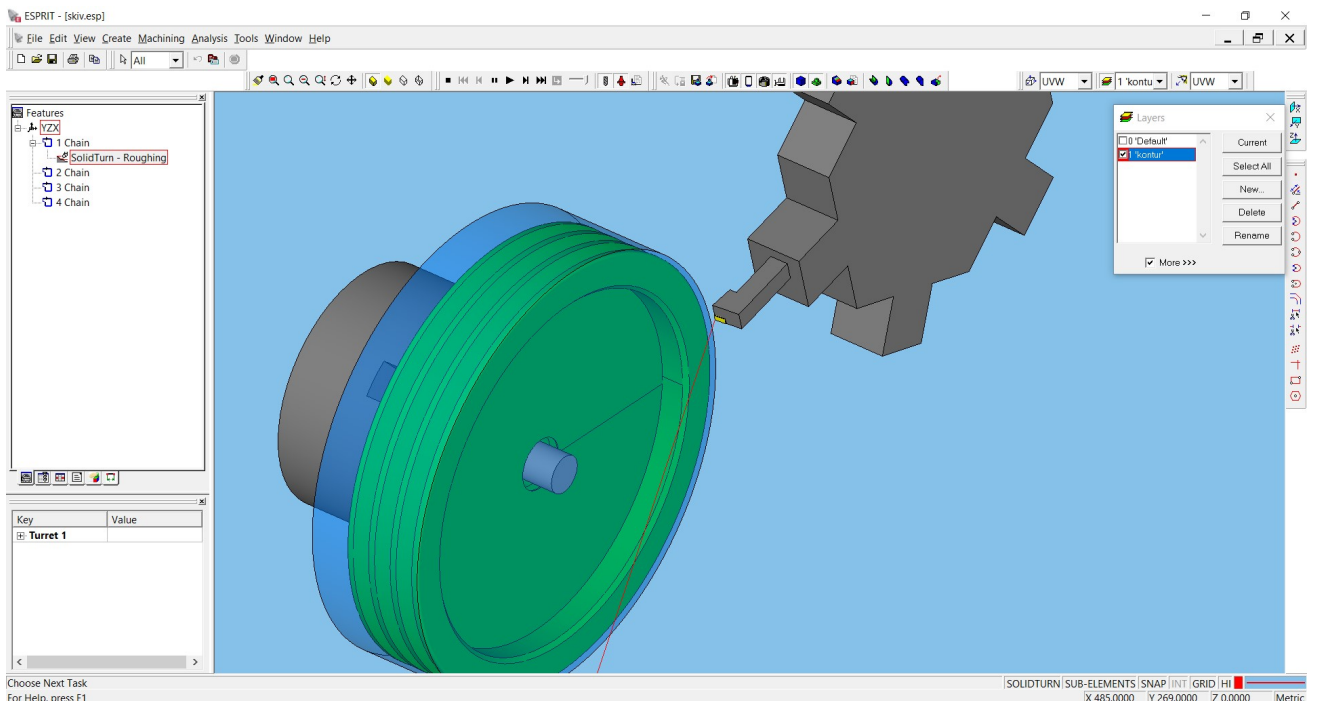


Рисунок 2.12 – Траєкторія руху металорізального інструменту при обробленні кришки

7. Виконано автоматичне генерування програми оброблення в G-M коді для оброблення на токарному верстаті з ЧПК Doosan PUMA 2100S за допомогою постпроцесора (рис. 2.13).

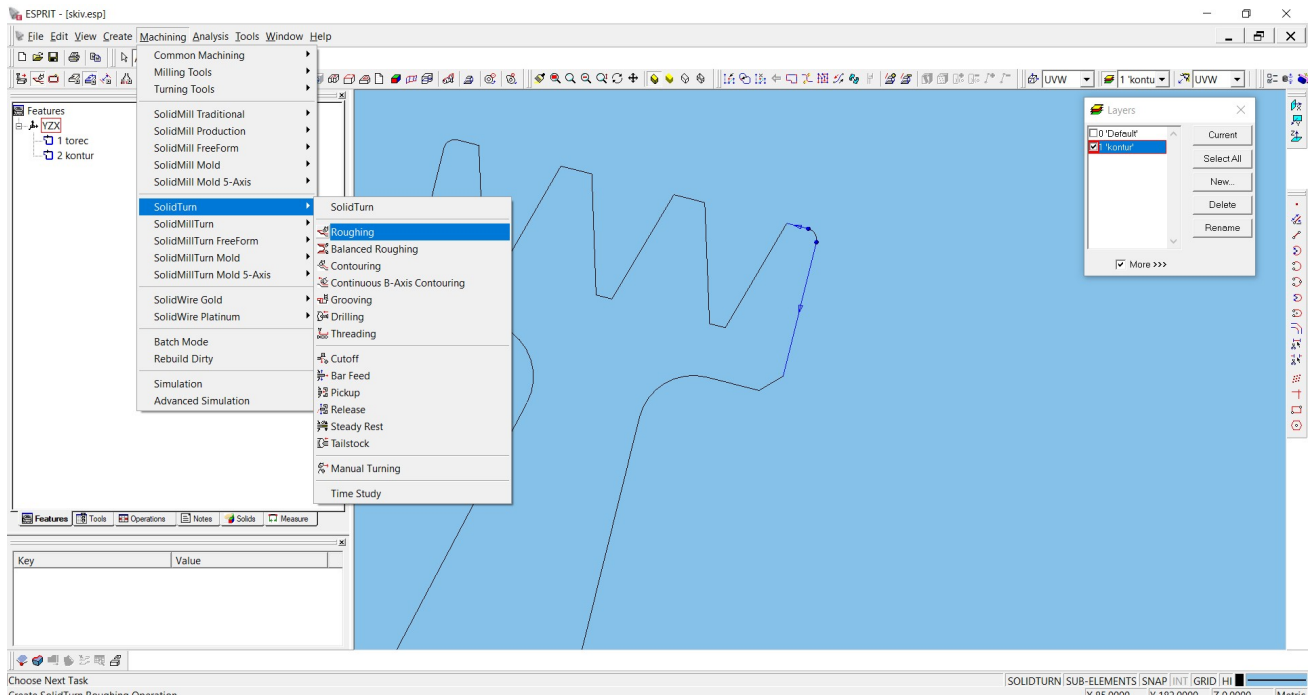


Рисунок 2.13 – Автоматичне генерування програми оброблення в G-M коді

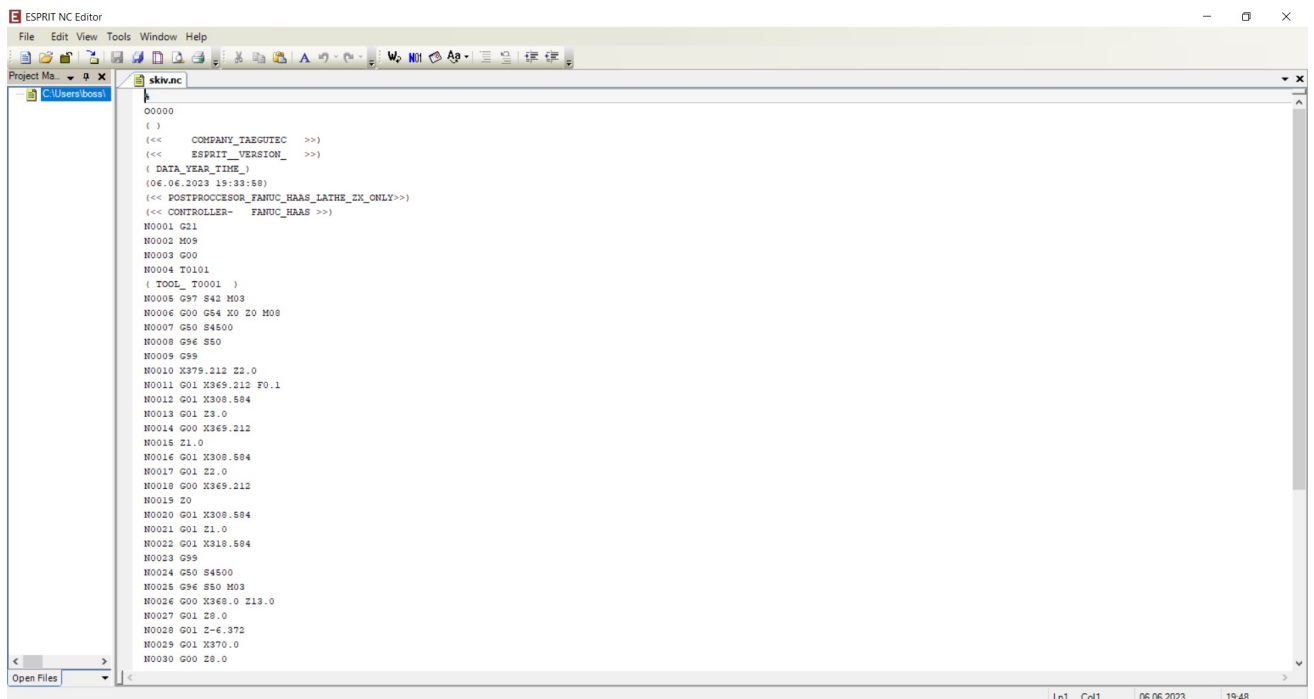


Рисунок 2.14 – Скрін програми оброблення корпусу на токарному верстаті з ЧПК Doosan PUMA 2100S.

Програма оброблення деталі шків наведена у додатку В.

2.7 Оформлення технологічної документації

Текстовий матеріал пояснювальної записки до дипломної роботи оформлено відповідно до чинного стандарту щодо оформлення текстових документів ДСТУ 2.612:2014. Пояснювальна записка написана з використанням комп'ютерних засобів.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проєтування верстатного пристрою

Для розрахунку затискної системи трикулачкового токарного патрона з пневмоприводом необхідно мати наступні вихідні дані:

1. Конструкторський документ на деталь і відповідну їй заготовку: Це дозволяє отримати інформацію про геометрію деталі та розміри заготовки.

2. Технологічні документи на попередню операцію та операцію, для якої проєктується пристрій: Ці документи надають інформацію про тип обробки, використовуваний інструмент, параметри різання та необхідні точності обробки.

3. Річна програма випуску деталей: Ця інформація дає уявлення про обсяги виробництва та кількість деталей, які потрібно виготовити.

4. Альбом типових конструкцій верстатних пристроїв: Цей альбом містить опис і креслення типових пристроїв, які можуть бути використані для розробки затискної системи.

5. Паспортні дані металорізальних верстатів: Ці дані містять технічні характеристики верстатів, такі як максимальна сила затиску, діаметр патрона та інші параметри, які впливають на розрахунок затискної системи.

6. Визначення можливості обробки деталі в одномісному пристрої: Це дозволяє оцінити можливості та обмеження верстату щодо обробки даної деталі.

Враховуючи ці вихідні дані, можна розробити ефективну затискну систему для трикулачкового токарного патрона з пневмоприводом, враховуючи вимоги до точності, надійності та продуктивності обробки.

Для розрахунку затискної системи трикулачкового токарного патрона з пневмоприводом необхідно врахувати вплив сил різання на циліндричну заготовку, яка встановлена в патроні. Під дією цих сил заготовка може викрутитися навколо своєї осі, зміститися вздовж осі (якщо відсутній осьовий упір) і вийти із кулачків патрона.

Для ефективної роботи патрона і забезпечення надійного фіксування заготовки рекомендується використовувати пневмопривід, який дозволяє контролювати силу затиску та забезпечити потрібну жорсткість системи.

Проектування пристосування проведемо для 005 токарної чорнової операції згідно з даними [19, 20, 21]. На цій операції виконується точіння контуру деталі. Відповідний операційний ескіз представлений на рисунку 3.1. Для забезпечення прийнятої схеми базування та забезпечення стабільності сил затиску як пристосування вибираємо трикулачковий самоцентруючий патрон та проводимо його проектування.

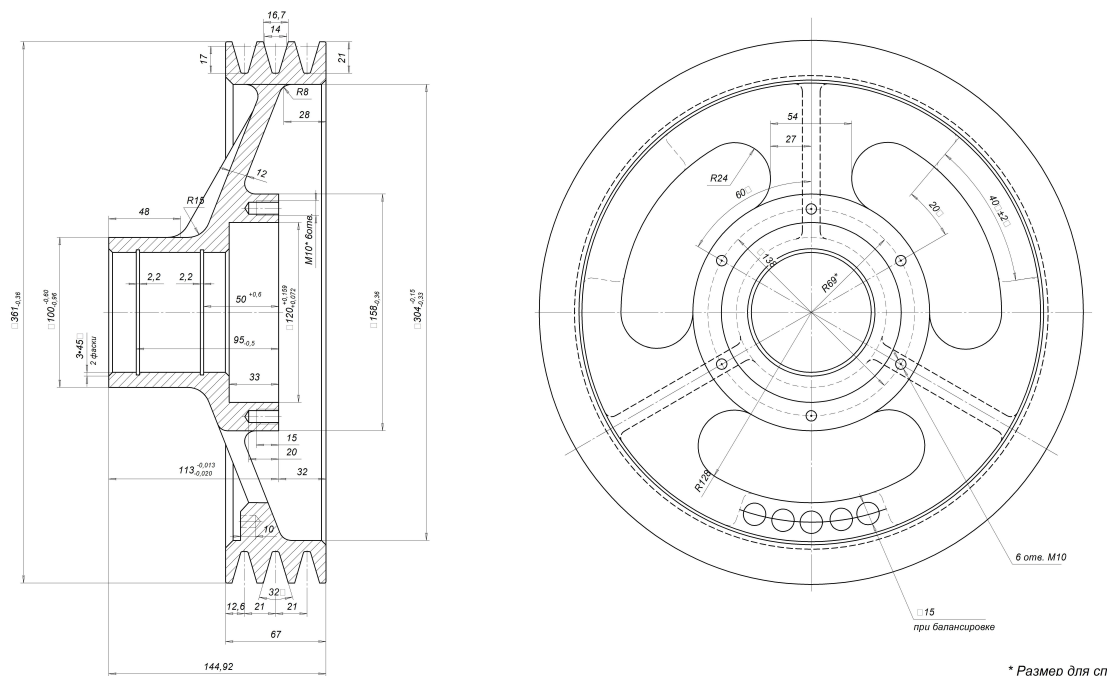


Рисунок 3.1 – Операційний ескіз

Для визначення необхідних затискних та вихідних зусиль складемо схему закріплення заготовки, представлену на рисунку 3.2. Виходячи з цієї схеми, визначаємо рівняння моментів від відповідних складових сил різання та сил затиску. З умови рівноваги моментів даних сил та з урахуванням коефіцієнта запасу визначаємо необхідне зусилля затискача.

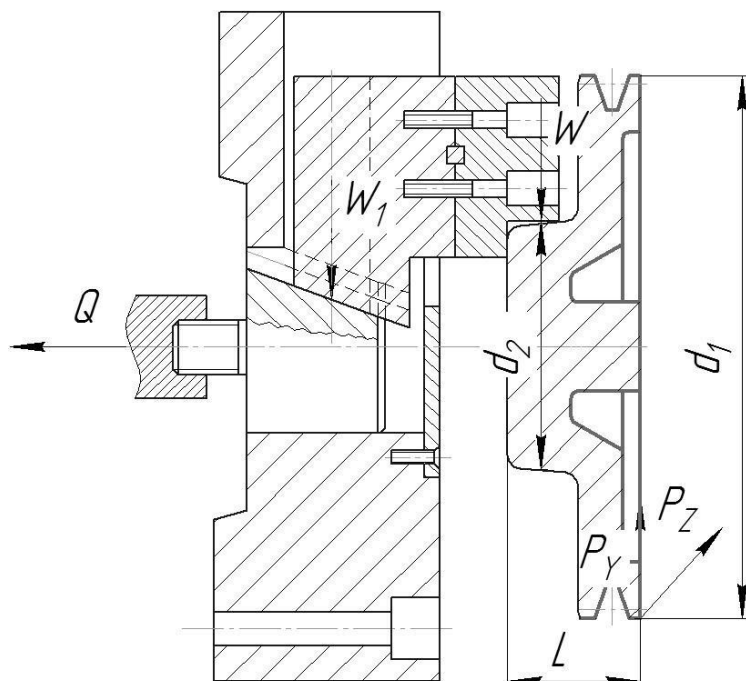


Рисунок 3.2 – Схема закріплення заготовки

Відповідно до представленої схеми, крутний момент від складової сили різання P_z дорівнює:

$$M_p = P_z \cdot d_1 \quad (3.1)$$

Отримаємо: $M_p = 4210 \cdot 160 \cdot 10^{-3} = 674 \text{ Н м}$

Момент від сил затиску:

$$M_3 = \frac{W f d_2}{2} \quad (3.2)$$

де W – зусилля затиску;

f – коефіцієнт тертя на робочій поверхні змінного кулачка.

Тоді з рівності моментів необхідне зусилля затиску дорівнює:

$$w = \frac{2KM_p}{fd_2} = \frac{2KP_z d_1}{fd_2} \quad (3.3)$$

Коефіцієнт запасу дорівнює:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (3.4)$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу;

K_1 – коефіцієнт, який враховує збільшення сил;

K_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при затупленні ріжучого інструменту;

K_3 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при безперервному різанні;

K_4 – коефіцієнт, що характеризує сталість сили, що розвивається затискним механізмом;

K_5 – коефіцієнт, що характеризує ергономіку;

K_6 – коефіцієнт, що враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку, встановлену плоскою технологічною базою на опори – штирі.

Для нашого випадку:

$$W = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 4210 \cdot 160}{0,4 \cdot 70} = 72172 \text{ Н.}$$

Момент від сили затиску дорівнює:

$$M_3 = \frac{72172 \cdot 0,4 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{2} = 1010 \text{ Н м.}$$

Визначаємо зусилля затиску W_1 , яке прикладається до постійних кулачків:

$$W_1 = \frac{W}{1 - \left(\frac{3l_k}{H_k} \cdot f_1 \right)} \quad (3.5)$$

де l_k – виліт кулачка;

H_k – довжина напрямної постійного кулачка;

f - коефіцієнт тертя в напрямних постійного кулачка та корпусу.

$$W_1 = \frac{72172}{1 - \left(\frac{3 \cdot 51}{80} \cdot 0,1 \right)} = 89101 \text{ Н}$$

Визначаємо зовнішній діаметр патрона:

$$D_{\Pi} \cong d_2 + 2H_k \quad (3.6)$$

Отримуємо:

$$D_{\Pi} = 70 + 2 \cdot 62 = 195 \text{ мм.}$$

Так як $D_{\Pi} > 200$ мм, то приймаємо клиновий механізм.

Розраховуємо передатне число клинового механізму:

$$i_{\text{с.кл.}} = \frac{1}{\tan(\alpha + \varphi) + \tan \varphi_1} \quad (3.7)$$

де α – кут нахилу клина;

φ і φ_1 – кути тертя на поверхнях кулачка і втулки.

Отримаємо:

$$i_{\text{с.кл.}} = \frac{1}{\tan(20 + 6) + \tan 6} = 1,1 \quad (3.8)$$

Зусилля, що створюється силовим приводом:

$$Q = \frac{W_1}{i_c} \quad (3.9)$$

Отримаємо:

$$Q = \frac{89101}{1,1} 81000 \text{ Н}$$

Розрахункову схему похибок патрона з клиновим затискним механізмом показано рисунку 3.3.

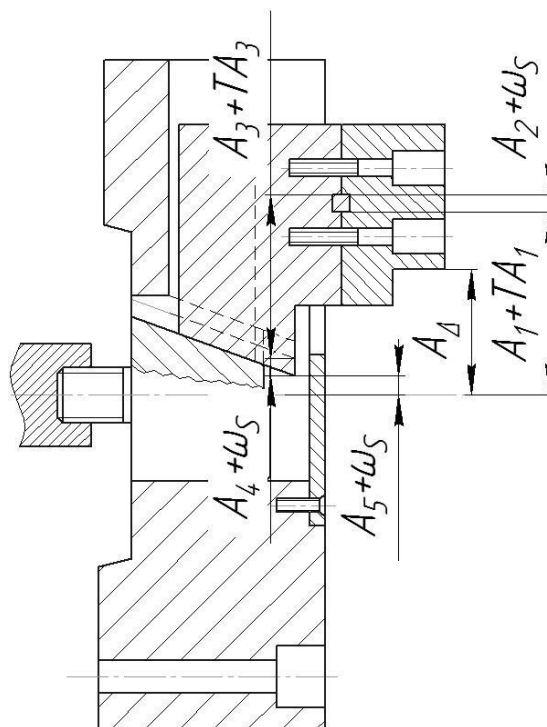


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема похибок патрона

Похибка установки визначається за формулою:

$$E_y = \sqrt{E_6^2 + E_3^2 + E_{\text{ПР}}^2} \quad (3.10)$$

де E_6 – похибка базування;

E_3 – похибка закріплення;

$E_{ПР}$ – похибка елементів пристосування. Яка залежить від точності їх виготовлення.

$$E_y = \frac{\omega_{A\Delta}}{2} = 0,5\sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} \quad (3.11)$$

де $\omega_{A\Delta}$ – коливання замикаючої ланки A_{Δ} ;

Δ_1 - похибка, що виникає внаслідок неточності виготовлення розміру A_1 ;

$\Delta_2, \Delta_4, \Delta_5$ - похибки через коливання зазорів у сполученнях;

Допуск на замикаючий розмір не повинен перевищувати:

$$E_y^{\text{дод}} = Z_{\text{min}}^{\text{чист}}$$

де $Z_{\text{min}}^{\text{чист}}$ – мінімальний припуск на чистову обробку.

$$Z_{\text{min}}^{\text{чист}} = 296 \text{ мкм.}$$

$$E_y^{\text{розрах}} = 0,5 \cdot \sqrt{25^2 + 30^2 + 15^2 + 10^2} = 21 \text{ мкм.}$$

Умова $E_y^{\text{дод}} > E_y^{\text{розрах}}$ виконується, отже, приймаємо точність ланок, що становлять розмірний ланцюг, за 7 кваліфікацією.

У конструкцію патрона входять змінні кулачки 10 (три), які жорстко кріпляться до постійних кулачків 8. Для точної установки змінних кулачків застосовується призматична шпонка 23, а для їх закріплення – гвинти розміром М10 з потопаючою головкою. Для радіального переміщення кулачків застосовується клиновий затискний механізм 7, який через центральну втулку 9 і тягу пов'язаний із силовим приводом. Кулачки, затискний механізм та інші деталі патрона монтуються в корпусі 1, що встановлюється на передньому кінці шпинделя.

Силовий привід складається з силової частини, що створює вихідну силу для закріплення заготовки, та муфти для підведення робочої рідини (масло).

Силова частина приводу обертається разом із шпинделем та патроном, а муфта залишається нерухомою.

Пристрій працює наступним чином: олія під тиском подається через отвір у корпусі муфти у ліву кришку. Каналами отворів воно потрапляє в штокову

порожнину і переміщає поршень вліво. За допомогою тяги та клинового затискного механізму відбувається переміщення кулачків у радіальному напрямку до осі патрона та здійснюється центрування та закріплення заготовки. Для розтискання заготовки масло подається у поршневу порожнину.

3.2 Проектування спеціального інструменту

Ріжучий інструмент – різець фасонний. Застосовується в токарній операції (015) для проточування канавок під клинові ремені 38° . Матеріал робочої частини різця — (пластинка BK8) — ДСТУ 25412-92. Матеріал стрижня різця — сталь 45 ДСТУ 7809:2015.

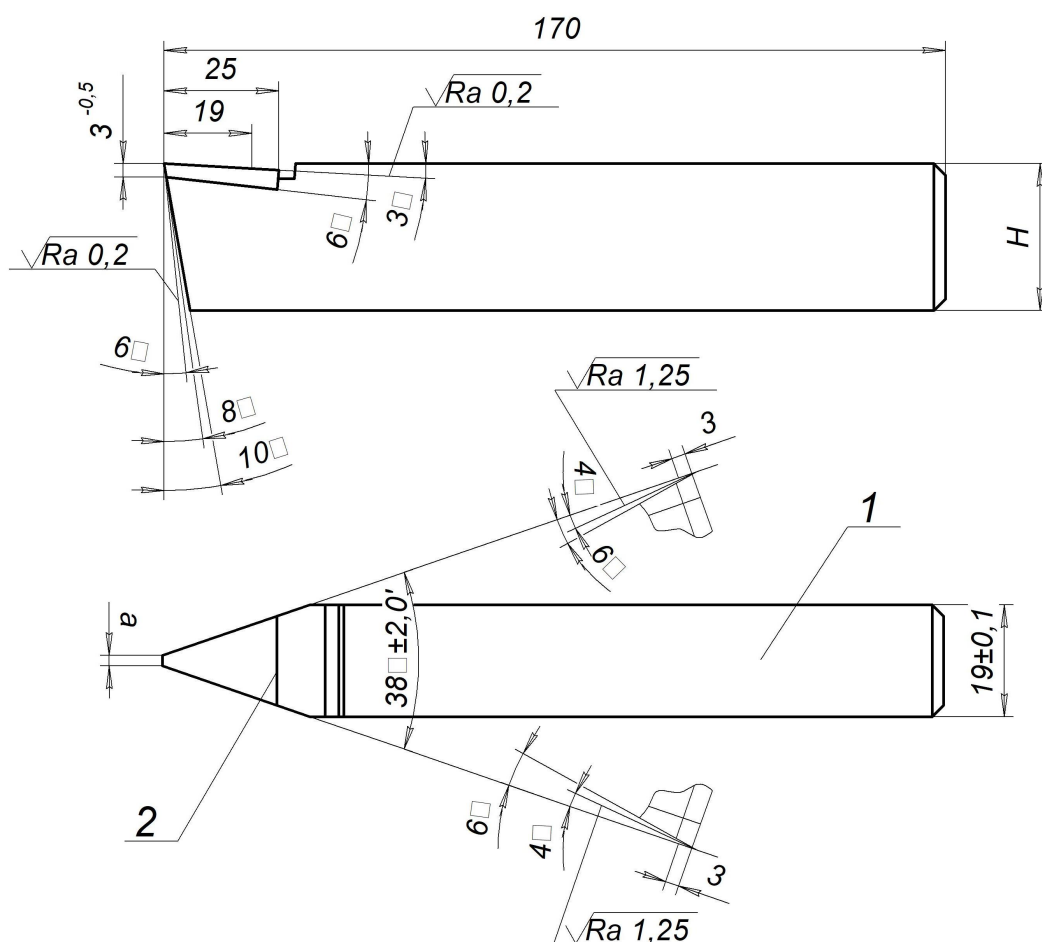


Рисунок 3.4 – Фасонний канавковий різець 5

3.3 Розрахунок різьбового калібра

Завдання. Розрахувати виконавчі розміри калібр-пробки різьбової ПР і НЕ, для контролю різьбового отвору М10-7Н.

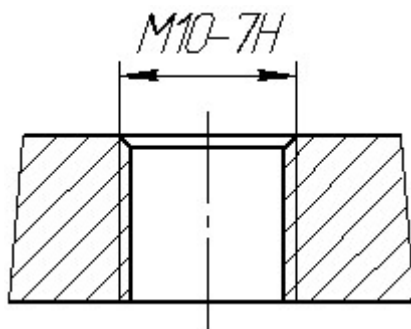


Рисунок 3.5 – Ескіз різьбового отвору

1. Визначаємо номінальні розміри заданої різьби.

$$D = 10 \text{ мм}$$

$$P = 1,5 \text{ мм} \quad /3/, \text{табл.4.22, с.141, додаток А табл. А1}$$

$$\alpha = 60^\circ,$$

$$D_2 = D - 1 + 0,026 = 9,026 \text{ мм, додаток А табл. А2}$$

$$D_1 = D - 2 + 0,376 = 8,376 \text{ мм} \quad /3/, \text{табл.4.24, с.144}$$

2. Визначаємо граничні відхилення діаметрів різьби /2/, с.230 ; /3/,табл.4.29, с.162 додаток Б:

$$\text{По } D \quad ES - \text{не обмежено} \quad EI = 0$$

$$\text{По } D_1 \quad ES = + 0,375 \text{ мм} \quad EI = 0$$

$$\text{По } D_2 \quad ES = + 0,224 \text{ мм} \quad EI = 0$$

3. Визначаємо граничні розміри різьби:

$$D_{\max} = \text{не обмежено} \quad D_{\min} = 10 \text{ мм,}$$

$$D_{1\max} = D_1 + ES = 8,376 + 0,375 = 8,751 \text{ мм} \quad (3.12),$$

$$D_{1\min} = D_1 + EI = 8,376 + 0 = 8,376 \text{ мм} \quad (3.13),$$

$$D_{2\max} = D_2 + ES = 9,026 + 0,224 = 9,250 \text{ мм} \quad (3.14),$$

$$D_{2\min} = D_2 + EI = 9,026 + 0 = 9,026 \text{ мм} \quad (3.15).$$

3. Визначаємо допуски по середньому діаметру різьби отвору:

$$T_{D2} = ES - EI = 0,224 - 0 = 0,224 \text{ мм} \quad (3.16).$$

5. Визначаємо розміри діаметрів різьби калібру за формулами табл. 11, с.24-25 ДСТУ ГОСТ 16093:2018.

5.1 Калібр-пробка різьбова ПР:

- зовнішній діаметр номінал, мм

$$d_k = D + EI_D + Z_{PL}, \text{ граничне відхилення } \pm T_{PL}/2 \quad (3.17),$$

- середній діаметр номінал, мм

$$d_{2k} = D_2 + EI_{D2} + Z_{PL}, \text{ граничне відхилення } \pm T_{PL}/2 \quad (3.18).$$

Границя зношення по $d_{2ПР}$, мм

$$d_{2k \text{ знош}} = D_2 + EI_{D2} + Z_{PL} + W_{GO} \quad (3.19),$$

- внутрішній діаметр номінал, мм

$$d_{1k} = D_1 + EI_{D1} - H/6 \quad (3.20),$$

де $Z_{PL} = 0,016$ мм – відстань від середнього поля допуску T_{PL} різьбового прохідного калібру-пробки до прохідної границі середнього діаметру внутрішньої різьби. Додаток В таблиця В1 або табл. 5, с.14 ДСТУ ГОСТ 16093:2018;

$T_{PL} = 0,014$ мм – допуск зовнішнього і середнього діаметру різьбової прохідного і непрохідного калібру-пробки. Додаток В таблиця В1 або табл. 5, с.14 ДСТУ ГОСТ 16093:2018;

$W_{GO} = 0,021$ мм – величина середньо допустимого зношення різьбових прохідних калібрів-пробок. Додаток В таблиця В1 або табл. 5, с.14 ДСТУ ГОСТ 16093:2018;

$H=0,866 \cdot P = 1,299$ мм – висота вихідного трикутника.

Тоді

$$d_k = 10+0+0,016 = 10,016 \pm 0,007 \text{ мм},$$

$$d_{2k} = 9,026 + 0 + 0,016 = 9,042 \pm 0,007 \text{ мм},$$

$$d_{2k \text{ знош}} = 9,026 + 0 + 0,016 + 0,021 = 9,063 \text{ мм},$$

$$d_{1k} = 8,376 + 0 - 1,299/6 = 8,160 \text{ мм}.$$

5.2 Калібр-пробка різьбова непрохідна НЕ :

- зовнішній діаметр номінал, мм

$$d_k = D_2 + EI_{D2} + T_{D2} + T_{PL}/2 + 2F_1, \text{ граничне відхилення } \pm T_{PL} \quad (3.21) ,$$

- середній діаметр номінал, мм

$$d_{2k} = D_2 + EI_{D2} + T_{D2} + T_{PL}/2, \text{ граничне відхилення } \pm T_{PL} \quad (3.22),$$

- границя зношення, мм

$$d_{2к\text{ знош}} = D_2 + EI_{D2} + T_{D2} + T_{PL}/2 + W_{NG} \quad (3.23),$$

- внутрішній діаметр номінал, мм

$$d_{1к} = D_1 + EI_{D1} - H/6 \quad (3.24),$$

де $F_1 = 0,1 \cdot P = 0,1 \cdot 1,5 = 0,150$ мм – відстань між лінією середнього діаметру і вершиною укороченого профілю різьби;

$W_{NG} = 0,015$ мм – величина середнього допустимого зношення різьбових непрохідних калібрів-пробок, Додаток В таблиця В1 (табл.5, с.14 ДСТУ ГОСТ 16093:2018).

Тоді

$$d_k = 9,026 + 0 + 0,224 + 0,014/2 + 2 \cdot 0,15 = 9,557 \pm 0,007 \text{ мм}$$

$$d_{2к} = 9,026 + 0 + 0,224 + 0,014/2 = 9,257 \pm 0,007 \text{ мм}$$

$$d_{2к\text{ знош}} = 9,026 + 0 + 0,224 + 0,014/2 - 0,015 = 9,242 \text{ мм}$$

$$d_{1к} = 8,376 + 0 - 1,299/6 = 8,160 \text{ мм.}$$

Виконавчі розміри:

$$d_k = 9,557 \pm 0,007 \text{ мм,}$$

$$d_{2к} = 9,257 \pm 0,007 \text{ мм,}$$

$$d_{1к} = 8,160 \text{ мм,}$$

$$d_{2к\text{ знош}} = 9,242 \text{ мм.}$$

6. Визначаємо граничні відхилення кута бокової сторони профілю різьби калібр-пробки Додаток В таблиця В2 (табл. 6, с.15 ДСТУ ГОСТ 16093:2018):

$$T\alpha/2 = 12' , \text{ тобто } 30^\circ \pm 12'.$$

7. Визначаємо допуск кроку різьби калібрів Додаток В таблиця В3 (табл. 7, с.16 ДСТУ ГОСТ 16093:2018).

$$T_P = 0,005 \text{ мм.}$$

8. Будуємо схему розміщення полів допусків різьбових калібрів по середньому діаметру в масштабі (див. Додаток В рис.В1).

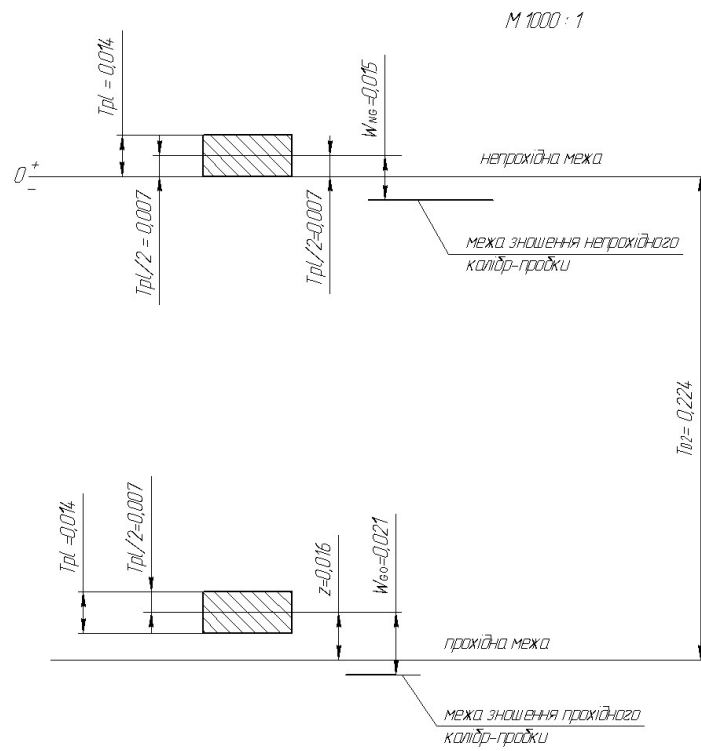


Рисунок 3.6 -

9. Розміри калібрів визначаються по ДСТУ ГОСТ 16093:2018.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці на виробничому підприємстві

Служба охорони праці на підприємстві має наступні завдання і функції:

1. Аналізувати стан виробничого травматизму і професійних захворювань, виявляти їх причини і спільно з відповідними службами розробляти заходи для їх запобігання і контролювати їх виконання.

2. Організувати паспортизацію санітарно-технічного стану робочих місць на підрозділах підприємства.

3. Спільно з іншими службами підприємства розробляти і виконувати комплексний план поліпшення умов праці, охорони праці та санітарно-оздоровчих заходів. Також брати участь у розробці угод по праці.

4. Підготовляти та вносити пропозиції керівництву підприємства щодо розробки та впровадження покращених конструкцій, запобіжних пристроїв і інших засобів захисту від небезпечних виробничих чинників.

5. Брати участь у впровадженні стандартів безпеки праці та наукових розробок в галузі охорони праці.

6. Проводити разом з іншими службами підприємства та з участю профспілкового активу перевірки технічного стану будівель, устаткування, вентиляційних систем, санітарно-технічних пристроїв та приміщень.

7. Контролювати правильність та своєчасність надання заявок на придбання спецодягу, спецобладнання, засобів індивідуального захисту, а також устаткування і матеріалів для охорони праці.

8. Надавати допомогу підрозділам підприємства у контролі стану навколишнього виробничого середовища.

9. Брати участь у роботі комісій з приймання в експлуатацію нових або реконструйованих об'єктів, устаткування та машин для забезпечення здорових умов праці.

10. Проводити ввідний інструктаж та допомагати в організації навчання працівників з питань охорони праці.

11. Брати участь у роботі атестаційних комісій та комісій з перевірки знань фахівців з правил і норм охорони праці та техніки безпеки.

Основні причини виробничих травм на свердлильно-розточувальних верстатах включають:

1. Недотримання техніки безпеки при використанні різальних інструментів, приводних і передавальних механізмів.

2. небезпечні виробничі елементи, такі як кінці гладких і повільно обертових валів і гвинтів, відкриті передачі, обертаючі деталі та борштанги з різцями.

3. Ризик поранення від спіральної стружки під час свердління на велику глибину грузлих металів.

4. Невідповідне огороження обертових різальних інструментів, зон різання та приводних механізмів, які підлягають огороженню.

5. Неправильний стан спецодягу, такий як порваний одяг, не застебнуті гудзики, волосся, косинки, хустки та краватки, які можуть потрапити в зону різання.

6. Випадки порізів рук і ніг працівників зливною стружкою.

Для зменшення виробничого травматизму на свердлильно-розточувальних верстатах рекомендується:

1. Дотримання техніки безпеки при використанні інструментів і механізмів.

2. Ефективне огороження обертових різальних інструментів, зон різання та приводних механізмів.

3. Використання належного спецодягу та дотримання правил щодо одягу та аксесуарів.

4. Дроблення зливної стружки для зменшення ризику порізів.

5. Регулярне навчання працівників щодо безпеки роботи з верстатами та правильного використання інструментів.

Щоб зменшити виробничий травматизм, рекомендується дробити зливну стружку під час процесу різання. Існують різні методи дроблення стружки, які можна застосовувати:

1. Безупинний різальний режим: Цей метод використовується для простого дроблення стружки шляхом налаштування режимів різання. Він полягає у встановленні оптимальних параметрів різання, щоб забезпечити дроблення стружки під час різання.

2. Дроблення за допомогою перетинів: Цей метод використовується для більш складного дроблення стружки шляхом встановлення перетинів на шляху виходу стружки. Це може бути досягнуто шляхом застосування спеціальних інструментів або налаштування форми різального інструменту.

3. Переривчастий метод дроблення: Цей метод є найбільш надійним і ефективним способом дроблення стружки. Він полягає у періодичному виведенні різального інструменту з зони різання для забезпечення дроблення стружки. Існують різні способи реалізації цього методу, такі як дискретний, вібраційний і релаксаційний.

Кожен з цих методів має свої переваги та особливості, і вибір методу залежить від конкретних умов та потреб робочого процесу. Важливо розуміти, що належне дроблення стружки допомагає зменшити ризик виробничих травм та забезпечує безпеку праці при роботі з верстатами свердлильної групи.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даного курсового проекту було досягнуто поставлену мету - розроблено технологічний процес виготовлення деталі "шків" в серійному виробництві, а також були вирішені наступні завдання:

1. Розроблено креслення деталі "шків" у CAD-редакторі SolidWorks згідно з вимогами ДСТУ. На кресленні наведено всі необхідні розміри, відхилення та якості для виготовлення деталі, а також враховано всі поверхневі характеристики, необхідні для роботи даної деталі у сполученні з іншими деталями для забезпечення нормативного терміну служби.

2. Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі "шків" шляхом вибору технологічних операцій, які є доцільними для виготовлення даної деталі в серійному виробництві, а також етапів виконання цих операцій. Були підібрані всі верстати для кожної технологічної операції з ЧПУ для більш продуктивної та автоматизованої роботи з виготовлення деталі "шків".

3. Розроблено операційні ескізи технологічного процесу у CAD-редакторі SolidWorks. Це завдання було вирішено шляхом поетапного розгляду процесу обробки від заготовки до готової деталі. На ескізах містяться необхідні розміри для обробки на кожній операції, символи базування, закріплення та необхідні спеціальні вимоги.

Отже, метою курсового проекту було розроблення технологічного процесу виготовлення деталі "Шків". У роботі було вивчено призначення та умови роботи деталі в збірній одиниці, де основними навантаженнями на деталь були: навантаження від сил тиску ременів і сил тиску від підшипника, що призводили до появи контактних напружень, зносу поверхонь та вібрацій. Тому було вибрано матеріал СЧ15, який добре витримує ці навантаження.

Також в результаті роботи було відзначено, що деталь в цілому є технологічною, і з урахуванням форми та вибраного матеріалу оптимальним методом для отримання заготовки стало лиття в пісчано-глинясті форми.

Маршрут технологічного процесу складатиметься з 8 операцій, більшість з яких - токарні роботи. Після розрахунків режимів різання було визначено основний, допоміжний і штучний час для всіх операцій, а потім розраховано основні техніко-економічні показники технологічного процесу.

У підсумку встановлено, що цей технологічний процес належатиме до великосерійного типу з груповою формою організації виробництва.

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник - Львів: "Новий Світ-2000", 2012.-358 с.
2. Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносів А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.
3. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009 528 с.
4. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
5. Гевко Б.М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б.М., Матвійчук А.В. Тернопіль: ТДТУ, 2004 .131 с.
6. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
7. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. Київ: НТУУ «КПІ», 2014 353 с., іл.
8. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
9. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

10. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // www.sandvik.coromant.com. 2021.
Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>
11. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залоги. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371 с.
12. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131. «Прикладна механіка» інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. / Добрянський С.С., к.т.н., доц., Малафеев Ю.М., к.т.н., доц., Фролов В.К. к.т.н., доц., Гриценко В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 112 с.
13. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів. Афіша 2004. 248 с.
14. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми: Університетська книга, 2001. 345 с.