

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

Машинобудівний факультет  
 (повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Технологія машинобудування  
 (повне найменування кафедри)

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)  
другий (магістерський)  
 (ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення технологічного процесу виготовлення тонкостінних  
 поверхонь деталі «Зовнішній корпус»»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-110m

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»  
 (код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)  
Технології машинобудування

Стещенко Б.О.  
 (прізвище та ініціали)

Керівник Кондратюк Е.В.  
 (прізвище та ініціали)

Рецензент Широкобоков В.В.  
 (прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**  
(повне найменування закладу вищої освіти)

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Завідувач кафедри С.І. Дядя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Стещенко Богдана Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення тонкостінних поверхонь деталі «Зовнішній корпус»

керівник проекту (роботи) Кондратюк Е.В., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «16»11 2021року №443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 6.12.2021

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Використання 3д сканерів для метрологічного контролю; 4 Розрахунок деталі на міцність; 5 Застосування систем сапр для оптимізації обробки на верстатах з чпу; 6 Оцінка очікуваної ефективності заходів; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ та лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання

**6. Консультанти розділів проекту (роботи)**

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|               |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-5           | доцент Кондратюк Е.В.                     |                |                           |
| 6             | доцент Пухальська Г.В.                    |                |                           |
| 7             | доцент Шмирко В.І.                        |                |                           |
| нормоконтроль | доцент Дядя С.І.                          |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2021 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)          | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Технологічна частина                              | 24.09.2021                              |          |
| 2     | Конструкторська частина                           | 08.10.21                                |          |
| 3     | Автоматизація                                     | 15.10.21                                |          |
| 4     | Розрахунок деталі на міцність                     | 22.10.21                                |          |
| 5     | Спеціальне завдання                               | 05.11.21                                |          |
| 6     | Оцінка очікуваної економічної ефективності        | 12.11.21                                |          |
| 7     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 19.11.21                                |          |
| 8     | Оформлення пояснювальної записки                  | 26.11.21                                |          |
| 9     | Нормоконтроль і рецензія                          | 29.11.21                                |          |
| 10    | Оформлення креслень та технологічної документації | 30.11.21                                |          |
|       |                                                   |                                         |          |
|       |                                                   |                                         |          |
|       |                                                   |                                         |          |

Студент(ка)

( підпис )

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

( підпис )

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 110 с., 46 рисунків, 8 таблиць, 2 додатків, 26 посилань.

ВЕРСТАТ, ДЕТАЛЬ, ЗАГОТОВКА, ОПЕРАЦІЙНИЙ ЧАС, ОПЕРАЦІЯ,  
ПРОГРАМА УПРАВЛЯЮЧА, РІЖУЧИЙ ІНСТРУМЕНТ, ТРАЄКТОРІЯ.

Об'єкт дослідження – корпус зовнішній.

Мета магістерської роботи – проектування технологічного процесу виготовлення деталей типу корпус зовнішній; вивчення загальної конструкції, технологічної схеми процесу, обладнання та оснащення, а також проектування технологічного процесу обробки корпусу зовнішнього.

Метод дослідження - розрахунково-аналітичний, із застосуванням спеціальних систем САПР.

Детально розроблено технологічний процес виготовлення корпусу зовнішнього. Обрано і економічно обґрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості.

Виконуючи роботу, закріпили і поглибили отримані знання, поповнили їх навичками прогресивних технологій, застосували нове обладнання, вивчили системи автоматизації та механізації технологічного процесу, накопичили досвід ведення самостійної інженерної діяльності, за технологією виробництва заготовок, механічної обробки деталей підвищеної точності, конструювання оснащення і ріжучого інструменту, вимірювальної та контрольної апаратури.

## ЗМІСТ

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Перелік умовних скорочень                                                                                   | 7  |
| Вступ                                                                                                       | 8  |
| 1 Технологічна частина                                                                                      | 9  |
| 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі                                                        | 9  |
| 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт                                                        | 11 |
| 1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням                                   | 12 |
| 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі                                                     | 18 |
| 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність                                                          | 18 |
| 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь                                                               | 20 |
| 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі                                                                           | 25 |
| 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів (1 - розрахунково-аналітичний метод, 2 - табличний метод) | 26 |
| 1.6 Розрахунок режимів різання                                                                              | 32 |
| 1.7 Розрахунок технічної норми часу                                                                         | 42 |
| 1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM            | 48 |
| 1.8.1 Розробка токарної операції                                                                            | 48 |
| 1.8.2 Розробка свердлильної операції                                                                        | 50 |
| 1.8.3 Розробка фрезерної операції                                                                           | 51 |
| 2 Конструкторська частина                                                                                   | 54 |
| 2.1 Проектування робочого пристосування                                                                     | 54 |
| 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування                                                            | 54 |
| 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність                                                                  | 55 |
| 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску                                                                    | 57 |
| 2.2 Проектування контрольного пристосування                                                                 | 60 |
| 3 Використання 3д сканерів для метрологічного контролю                                                      | 62 |

|   |                                                                         |     |
|---|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4 | Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі | 72  |
| 5 | Застосування систем сапр для оптимізації обробки на верстатах з чпу     | 76  |
| 6 | Оцінка очікуваної ефективності розробки                                 | 89  |
| 7 | Охорона праці                                                           | 92  |
|   | Висновок                                                                | 104 |
|   | Перелік джерел посилання                                                | 105 |
|   | Додаток А. Специфікація на робоче пристосування                         | 108 |
|   | Додаток Б. Специфікація на контрольне пристосування                     | 109 |

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

|      |                                             |
|------|---------------------------------------------|
| ЗВ   | Засоби вимірювання                          |
| ЗОР  | Змазуючо-охолоджуюча рідина                 |
| МВД  | Маршрут виготовлення деталі                 |
| МОП  | Маршрут обробки поверхні                    |
| ОК   | Об'єкт контролю                             |
| ППТЯ | Послідовність показників точності та якості |
| РСЗ  | Робочий стандартний зразок                  |
| СНтП | Система норм та правил                      |
| ТО   | Термічна обробка                            |
| ТП   | Технологічний процес                        |

## ВСТУП

Підвищення експлуатаційних характеристик авіаційних двигунів: енергоозброєності, ресурсу, надійності і економічності при одночасному забезпечення ефективності їх серійного виробництва, є однією з найважливіших задач розвитку і конкурентоспроможності авіаційної техніки під час переходу до ринкової економіки.

Реалізація поставленого завдання супроводжується ускладненням конструкції виробів, посиленням норм точності, оптимізацією запасів міцності деталей, застосуванням нових матеріалів, що в свою чергу вимагає вишукування технічних рішень, спрямованих на зниження собівартості виготовлення як деталей і вузлів, так і всього виробу в цілому. Необхідно також підвищувати надійність найбільш навантажених деталей двигуна, що в свою чергу дозволить підвищити надійність всього двигуна. З метою зниження собівартості виготовлення двигунів, доцільно проводити автоматизацію окремих технологічних операцій і економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Пріоритетними напрямками при вирішенні поставленого завдання в даний час і в найближчому майбутньому є:

- підвищення технологічності конструкції створюваних виробів;
- розробка безвідходних і малоенергоємних технологій;
- застосування без припускних та збірних заготовок;
- розробка і впровадження прогресивних методів механічної, електричної та світлопроменевої обробки важкооброблюваних сталей і сплавів;
- використання високопродуктивного і точного обладнання;
- механізація ручної праці;
- автоматизація трудомісткого контролю.

З урахуванням викладеного, був розроблений технологічний процес виготовлення корпусу зовнішнього сучасного газотурбінного двигуна в серійному виробництві.

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь корпус зовнішній авіаційного двигуну має складну геометричну форму. Призначена для монтування в ньому відповідного вузла. Він має велику кількість отворів деякі з котрих має малий діаметр та розташовані всередині деталі, їх отримання супроводжується значними технологічними складнощами. Зовнішній контур має складну форму, яку отримують фрезеруванням. Деталь є тонкостінною та має велику кількість конструктивних концентраторів напружень. Більшість елементів деталі є добре оброблюваними, виключаючи отвори розташовані всередині деталі. Креслення деталі показано на рис. 1.1.

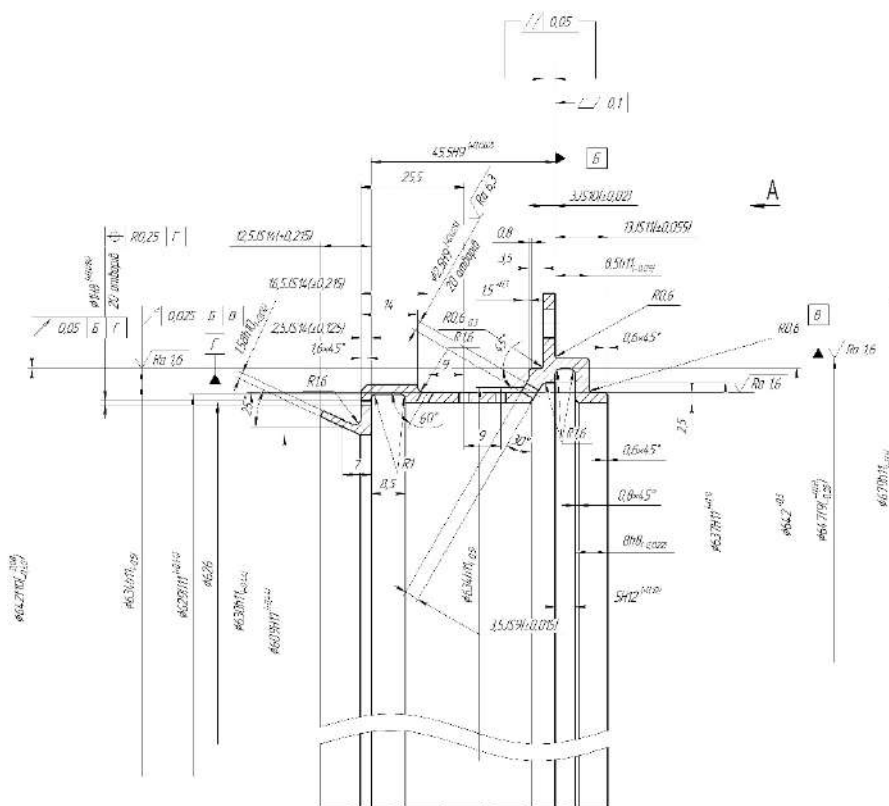


Рисунок 1.1 – Креслення деталі корпус зовнішній

Тривимірна модель деталі показана на рис. 1.2. Деталь має велику кількість

концентраторів напружень, є тонкостінною, її обробку буде супроводжуватися технологічними складнощами.

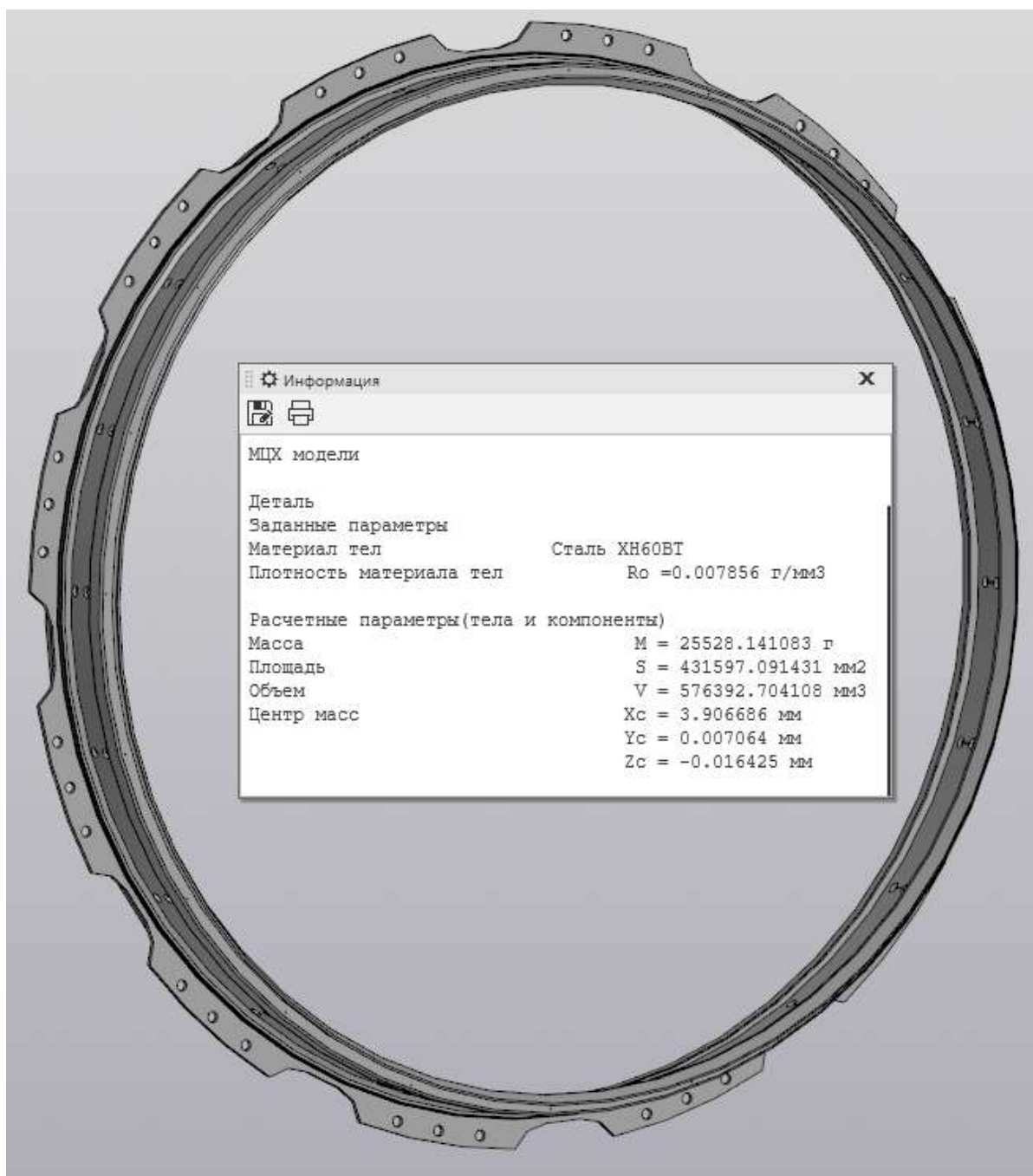


Рисунок 1.2 – Тривимірна модель деталі корпус зовнішній

Хімічний склад сплаву показано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сплаву ХН60В, % [1]

| Fe   | C      | Si     | Mn     | Ni            | S        | P        | Cr          | W       | Ti        | Al     |
|------|--------|--------|--------|---------------|----------|----------|-------------|---------|-----------|--------|
| до 4 | до 0.1 | до 0.8 | до 0.5 | 50.874 - 63.2 | до 0.013 | до 0.013 | 23.5 - 26.5 | 13 - 16 | 0.3 - 0.7 | до 0.5 |

Механічні властивості сплаву ХН60ВТ показано в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Механічні властивості сплаву ХН60ВТ [1]

| $\sigma_B$<br>МПа | $\sigma_T$<br>МПа | $\delta_5$<br>% | $\psi$<br>% | KCU<br>кДж / м <sup>2</sup> | Термообр.               |
|-------------------|-------------------|-----------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|
| 750               | -                 | 40              | -           | -                           | Закалка 1200°C, воздух, |

Деталь підлягає наступній термічній обробці [1]. Штампування деталей авіаційної техніки (дисків, дефлекторів, лабіринтів). Загартування на повітрі з 1100-1120 °С, (витримка 8 ч), охолодження на повітрі. Загартування на повітрі з 990-1010 °С (витримка 4 ч), охолодження на повітрі. Старіння при 765-785 °С протягом 16 ч., охолодження на повітрі. Старіння при 690-710 °С протягом 16-24 ч., охолодження на повітрі (або Старіння при 740-760 °С протягом 8-16 ч., охолодження на повітрі) [1].

## 1.2 Вибір типу та форми організації виробництва

Вихідні дані: річна програма випуску.....N = 1000 шт; маса деталі.....q = 25,52кг; вихідний технологічний процес [2]

Розробка технологічного процесу обробки залежить від типу виробництва і форми його організації.

Тип виробництва визначають за широтою номенклатури, регулярності і стабільності випуску виробів. Попередньо, враховуючи масу деталі і програму випуску приймаємо серійний тип виробництва.

Кількість деталей в партії можна визначити за формулою (1.1) [1]:

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

де  $a$  – періодичність запуску (2 рази на тиждень);

$\Phi$  – кількість робочих днів на рік (250 днів).

$$n = \frac{2 \cdot 1000}{250} = 8 \text{ шт.}$$

Операції на робочих місцях виконуються рівномірно та повністю завантажені одними й тими ж операціями та виробництво поточне.

### 1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для деталі «зовнішній корпус» виконуємо економічне обґрунтування доцільності застосування обраного варіанту отримання заготовки. В даному випадку обираю серед:

- заготовки штамповка на молотах (рис. 1.3).
- заготовки штамповка у закритих штампах (рис. 1.4);

Гаряче штампування на молотах - один з найбільш поширених способів отримання різних за масою і формою поковок.

У сучасному виробництві штампуванням на молотах виготовляють поковки з вуглецевих і легованих сталей, алюмінієвих, титанових і жароміцних сплавів. На молотах можна здійснювати штампування як у відкритих, так і в закритих штампах. Вона є більш універсальною по відношенню до штампування на молотах.

До недоліків штампування на молотах відносяться необхідність призначати великі штампувальні ухили і радіуси заокруглень на поковках, що призводить до

збільшеного витраті металу, а також ударна робота молотів, що викликає підвищені вібрації.

Штампування в закритих штампах (закрита) характеризується тим, що штамп в процесі деформування заготовки залишається закритим, а зазор між рухомою і нерухомою частинами штампа в кінці штампування є постійною величиною, рівною  $\sim 0,1 \dots 0,5$  мм на сторону.

У закритих штампах відсутні облойні канавки, тому при закритому штампуванні необхідно строго дотримуватися рівність обсягів заготовки і порожнини струмка штампа. В іншому випадку частина металу буде затікати в зазор  $\Delta$ , утворюючи торцевий задирок і викликаючи при цьому прискорений знос порожнини штампа в зоні задирки.

Штампування в закритих штампах - прогресивний і економічний спосіб гарячого штампування. При цьому внаслідок реалізації схеми всебічного нерівномірного стиснення металу в обсязі штампувало заготовки закритою штампуванням деформують стали і сплави, що мають в звичайних умовах знижену пластичність, забезпечуючи при цьому високі механічні властивості деталей в експлуатації.

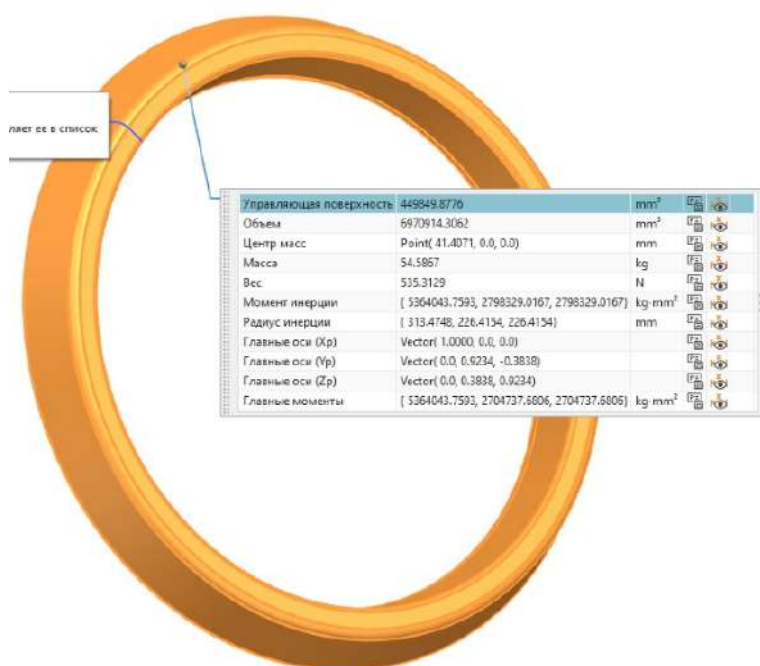


Рисунок 1.3 – 3D модель заготовки отриманої штамповкою на молотах

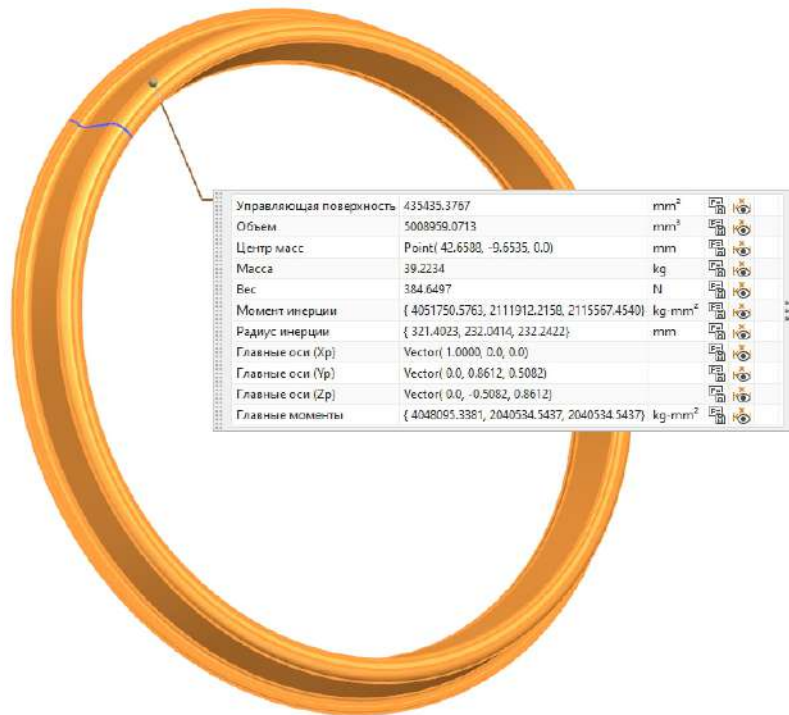


Рисунок 1.4 – 3D модель заготовки отриманої штамповкою у закритих штампах

Вихідні дані:

- маса деталі:  $Q = 25,53$  кг;
- програма випуску:  $N = 1000$  од.

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2):

$$\eta = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (1.2)$$

де  $Q_{\text{дет}}$ ,  $Q_{\text{заг}}$  – маса деталі та заготовки відповідно.

Для заготовки штамповка на молотах та штамповкою у закритих штампах:

$$\eta_1 = \frac{25,53}{54,59} = 0,47.$$

$$\eta_2 = \frac{25,53}{39,22} = 0,65.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою (1.3):

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.3)$$

де  $C_B$  – базова вартість 1 т заготовок, які отримані цим методом, грн;

$Q_{\text{заг}}$  – маса заготовки, кг;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує точність заготовки [4];

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує матеріал [4];

$K_C$  – коефіцієнт, що враховує складність заготовки [4];

$K_B$  – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4];

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт, що враховує програму випуску [4];

$S$  – вартість 1 т стружки, грн [4].

Для штамповки на молотах та у закритих штампах матимемо:

$$C_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 54,59 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,75 \cdot 1 - \frac{(54,59 - 25,53)}{1000} \cdot 140 = 196,05 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{3000}{1000} \cdot 39,22 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1 - \frac{(39,22 - 25,53)}{1000} \cdot 140 = 114,69 \text{ грн.}$$

Економічний ефект розраховуємо за формулою (1.4):

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.4)$$

$$E_B = (196,05 - 114,69) \cdot 1000 = 81360 \text{ грн.}$$

Економія метала визначається за формулою (1.5):

$$M_1 = \frac{Q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \quad (1.5)$$

$$M_1 = \frac{25,53 \cdot (0,65 - 0,47)}{0,65 \cdot 0,47} \cdot 1000 = 15042 \text{ кг.}$$

Таблиця 1.3 – Порівняльні показники за варіантами заготовок

| Показник                          | Позначення     | Одиниці вимірювання | Варіант заготовки    |                              |
|-----------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|------------------------------|
|                                   |                |                     | штамповка на молотах | штамповка у закритих штампах |
| Маса                              | Q              | кг                  | 25,53                | 25,53                        |
| Припуск                           | Z              | мм                  | 3,5                  | 3,0                          |
| Баз. ціна 1 т заготовок           | C <sub>Б</sub> | грн.                | 3500                 | 3000                         |
| Поправочні коефіцієнти            | K <sub>Т</sub> | -                   | 1,05                 | 1                            |
|                                   | K <sub>М</sub> | -                   | 1                    | 1                            |
|                                   | K <sub>В</sub> | -                   | 1,33                 | 1                            |
|                                   | K <sub>З</sub> | -                   | 0,75                 | 1                            |
|                                   | K <sub>П</sub> | -                   | 1                    | 1                            |
| Вартість 1 т стружки              | S              | грн.                | 140                  | 140                          |
| Собівартість 1 т заготовок        | C              | грн.                | 196,05               | 114,69                       |
| Коефіцієнт використання матеріалу | η              | -                   | 0,47                 | 0,65                         |

Оскільки  $C_1 = 196,05$  грн більше, ніж  $C_2 = 114,690$  грн та  $\eta_1 = 0,47$  менше за  $\eta_2 = 0,65$  обираємо більш раціональний метод отримання заготовки а саме: штамповка у закритих штампах.

Креслення заготовки, отриманої за більш економічним варіантом показано на рис 1.5.

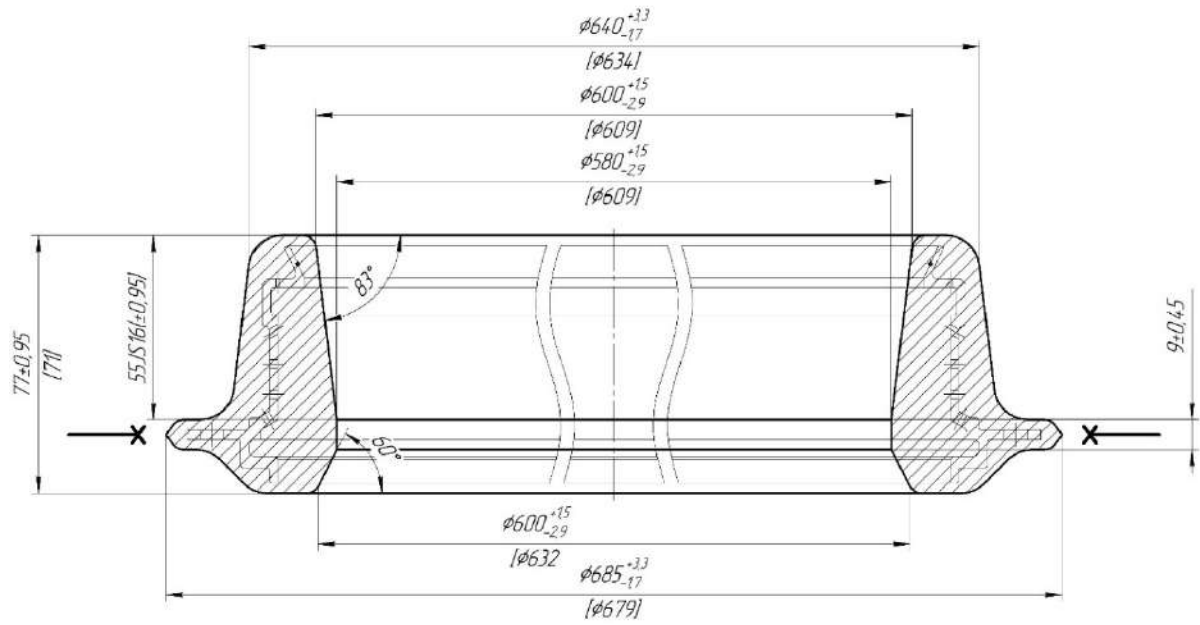


Рисунок 1.5 – Креслення заготовки отриманої штамповкою у закритих штампах

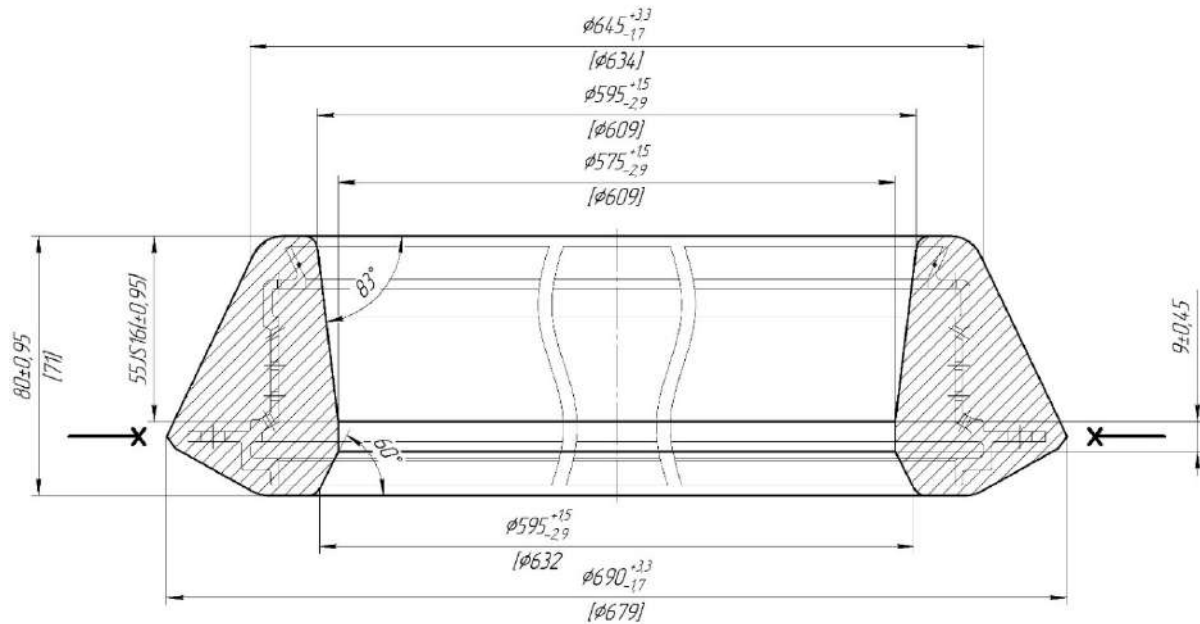


Рисунок 1.6 - Креслення заготовки отриманої штамповкою на молотах

## 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

### 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Матеріал відноситься до жароміцних сталей. Жароміцні сплави на зберігаючи свої фізико-механічні властивості при високій температурі і маючи низьку теплопровідність і температуропровідність, не дозволяють успішно проводити обробку їх різанням.

Розвивається висока контактна температура на поверхнях різального інструменту при великому питомому тиску сприяє «злипання» (схоплюванню) сходить стружки з передньою поверхнею ріжучого інструменту, що вельми обмежує застосування інструменту, оснащеного твердим сплавом, і зовсім виключає його застосування при переривчастому різанні.

На першому етапі виконуємо аналіз якісних показників.

Вал компресору високого тиску має складну геометричну форму, низьку жорсткість, геометричні розміри мають середню точність, достатню кількість уніфікованих елементів, для більшості поверхонь можна застосовувати стандартизований інструмент, більшість поверхонь доступна для обробки.

Коефіцієнт використання деталі було визначено в попередньому пункті за формулою (1.2) [1]:

$$0,65 < 0,8$$

За цим показником деталь не технологічна.

$K_{y.э}$  визначається за формулою (1.6) [1]:

$$K_{y.э} = \frac{Q_{y.э}}{Q_э} > 0,6, \quad (1.6)$$

де  $Q_{y.э}$ ,  $Q_э$  – обсяг уніфікованих елементів та загальний обсяг елементів.

$$K_{y.э.} = \frac{22}{35} = 0,62 > 0,6$$

За даним показником деталь є технологічною.

$K_{TO}$  визначається за формулою (1.7) [1]:

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} > 0,8 \quad (1.7)$$

де  $A_{cp}$  – середній квалітет точності, що знаходиться за формулою (1.8) [1]:

$$A_{cp} = \frac{14 \cdot \pi_1 + 13 \cdot \pi_2 + \dots + 6 \cdot \pi_{\pi}}{\sum n}, \quad (1.8)$$

де  $\pi_1 \dots \pi_{\pi}$  – кількість розмірів, котрі мають відповідний квалітет;

$\sum n$  – кількість усіх розмірів.

$$A_{cp} = \frac{14 \cdot 24 + 10 \cdot 3 + 9 \cdot 5 + 8 \cdot 3}{35} = 12,42$$

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{12,42} = 0,92 > 0,8$$

За даним показником деталь є технологічною.

$K_{ш}$  знаходиться за формулою (1.9) [1]:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32, \quad (1.9)$$

де  $B_{cp}$  – середній квалітет шорсткості, який визначається за формулою (1.10):

$$B_{cp} = \frac{K_5 \cdot n_1 + K_4 \cdot n_2 + \dots + K_8 \cdot n_n}{\sum \pi}, \quad (1.10)$$

де  $K_{5...8}$  - клас шорсткості;

$n_1 \dots n_n$  - кількість розмірів, котрі мають відповідний клас шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{4 \cdot 5 + 5 \cdot 26 + 6 \cdot 4}{35} = 4,97$$

$$K_{ш} = \frac{1}{4,97} = 0,2 < 0,32$$

За даним показником деталь є технологічною.

Так як за одним з кількісних показників є нетехнологічною то і взагалі можна зробити висновок, що вона не технологічна.

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

При розробці маршруту обробки поверхні (МОП) дається загальний план обробки поверхні і намічається зміст операцій на основі раніше проаналізованих і відібраних до виконання маршрутів обробки окремих поверхонь. Це завдання тим складніше, чим більше у деталі точно оброблюваних поверхонь. При цьому завжди існують кілька прийнятних варіантів технологічного процесу.

При виборі оптимального варіанту керуються наступними рекомендаціями:

1) перш за все, обробляють технологічні бази. Базові поверхні повинні бути спеціально підготовлені на попередніх операціях;

2) потім обробляють інші поверхні в порядку сходження від вихідної точності заготовки до необхідної точності поверхонь, представлених найбільш високими квалітетами точності. Ними є виконавчі поверхні, за допомогою яких деталь виконує своє службове призначення.

Таким чином, побудова МОП має бути підпорядковано одному з головних принципів - забезпечення службового призначення деталі. З цієї причини значний вплив на послідовність операцій технологічного процесу надає прийнятий маршрут обробки виконавчих поверхонь деталей. Обробка інших поверхонь повинна вестися паралельно з обробкою виконавчих поверхонь на тих же етапах, на яких

обробляються виконавчі поверхні. У якості основи для проектування беремо базовий технологічний процес [2].

Для поверхні Ø647f9 шорсткість заготовки  $R_a = 25$  мкм, [1], допуск  $Td_3 = 5$  мм, шорсткість деталі  $R_a = 3,2$  мкм, допуск  $Td = 0,20$  мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.11), (1.12) [1]:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_d = \frac{5}{0,20} = 25$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{3,2} = 7,81$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник точності геометричного розміру, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо  $k$  переходів [1]:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon_d \quad (1.13)$$

$$k = 2 \cdot \lg 25 = 2,79$$

Приймаємо  $k = 3$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл  $IT = IT_{16} - IT_9 = 7 = 3 + 2 + 2$

Встановлюємо послідовність показників точності:  $IT_{16} - IT_{13} - IT_{11} - IT_9$

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – точіння чорнове – точіння напівчистове – шліфування чорнове.

За [1] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл .1.4.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [1]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{5}{1,52} = 3,29$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.4.

Для поверхні Ø609H11 шорсткість заготовки  $R_a = 25$  мкм, [1], допуск  $Td_3 = 4,4$  мм, шорсткість деталі  $R_a = 3,2$  мкм, допуск  $Td = 0,44$  мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.11), (1.12) [1]:

$$\varepsilon_d = \frac{4,4}{0,44} = 10$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{3,2} = 7,81$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник точності геометричного розміру, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо  $k$  переходів за формулою (1.13) [1]:

$$k = 2 \cdot \lg 10 = 2$$

Приймаємо  $k = 2$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл  $IT = IT16 - IT11 = 5 = 3 + 2$

Встановлюємо послідовність показників точності:  $IT16 - IT13 - IT11$ . Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – розточування чорнове – розточування напівчистове.

За [1] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл. 1.4. Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [1]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{4,4}{1,12} = 3,93$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.4.



### 1.4.3 План виготовлення деталі.

При встановленні послідовності обробки (для виготовлення деталей нормальної геометричної точності) потрібно керуватися такими міркуваннями:

- слід обробляти поверхні, прийняті за чисті (оброблені) технологічні бази;
- послідовність обробки залежить від системи проставлення розмірів. На початок маршруту виносять обробку тієї поверхні, щодо якої на кресленні координовано більше число інших поверхонь;

- при невисокій точності вихідної заготовки спочатку слід обробляти поверхні, що мають найбільшу товщину видаляється матеріалу (для раннього виявлення ливарних і інших дефектів, наприклад раковин, включень, тріщин, волосовин і т.п., і відсіювання шлюбу). Далі послідовність операцій необхідно встановлювати в залежності від необхідної точності поверхні: чим точніше повинна бути поверхня, тим пізніше її необхідно обробляти, так як обробка кожної наступної поверхні може викликати спотворення раніше обробленої (зняття кожного шару металу з поверхні заготовки призводить до перерозподілу залишкових напружень, що і викликає деформацію заготовки). Останньою потрібно обробляти ту поверхню, яка є найбільш точною і відповідальною для роботи деталі в машині;

- операції обробки поверхонь, що мають другорядне значення і не впливають на точність основних параметрів деталі (свердління дрібних отворів, зняття фасок, прорізання канавок, видалення задирок і т.п.), слід виконувати в кінці ТП, але до операцій остаточної обробки відповідальних поверхонь. В кінець маршруту бажано також виносити обробку легкоповреждаємих поверхонь, до яких відносять, наприклад, зовнішні різьби, зовнішні зубчасті поверхні, зовнішні шліцеві поверхні і т.п. .;

- в разі, коли заготовку піддають термічній обробці, для усунення можливих деформацій потрібно передбачати правку заготовок або повторну обробку окремих поверхонь для забезпечення заданих точності і шорсткості. Однак деякі види термічної, хіміко-термічної та гальванічної обробок ускладнюють ТП. Наприклад,

при цементації потрібно науглеродити окремі ділянки заготовки. Решта ділянок захищають обміднений або залишають на них припуск, який видаляють при механічній обробці після цементації, але до гарту.

Принцип поділу маршруту на стадії чорнової, чистової і обробної обробок певною мірою суперечить принципу концентрації технологічних переходів в одній операції, коли можна поєднати чорнову і чистову обробки (наприклад, при виготовленні корпусних деталей з виливків і штамповок на агрегатних верстатах, на верстатах з ЧПУ типу «обробний центр»). Правильне складання маршруту виготовлення деталі певного класу (конфігурації) і рівня точності може бути успішно виконано на базі типового маршрутного ТП.

### 1.5 Розрахунок припусків та технологічних розмірів

Припуски на одну поверхню визначають розрахунково-аналітичним методом так як він є більш точним та має меншу похибку тому його і будемо використовувати.

Розрахунково-аналітичний метод:

Зовнішня діаметральна поверхня  $\emptyset 647f9 \begin{pmatrix} -0,08 \\ -0,28 \end{pmatrix}$

Прийняті позначення:  $h_{i-1}$  – глибина дефектного слою матеріалу від попередньої операції;  $\rho_i$  – похибки форми та взаємного розташування поверхонь на попередній операції;  $\varepsilon_i$  – похибки установки на переході, який виконується [3].

Для заготовки нормативні значення  $R_z=200\text{мкм}$  и  $h=400\text{мкм}$  приймаємо приймаючи до уваги масу заготовки [3]. Для штамповки нормальної точності (серійне виробництво):  $\rho_{\text{см}}=1025\text{мкм}$ ,  $\rho_{\text{кор}}=\Delta_k \times l=53 \times 8,5=450,5\text{мкм}=0,451\text{мм}$  [3].

Сумарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою (1.14) [3]:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2} = \sqrt{1025^2 + 451^2} = 1119,83 \text{ мкм} = 1,119 \text{ мм} \quad (1.14)$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.5.

Точіння чорнове нормативні значення  $R_z$ ,  $h$ :  $R_{z2}=150 \text{ мкм}$ ,  $h_2=200 \text{ мкм}$ ,  $\rho_2=k_y \times \rho_1=0,06 \times 1119=67,19 \text{ мкм}=0,067 \text{ мм}$ ,  $k=0,06$  – коефіцієнт уточнення [3].

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.15) [3]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} = 0,25 \sqrt{5,0^2 + 1} = 1,274 \text{ мм} = 1274 \text{ мкм} \quad (1.15)$$

де  $Td_{\text{заг}}=5,0 \text{ мм}$  – допуск бази заготовки.

Точіння напівчистове нормативні значення  $R_z$ ,  $h$ , приймаємо [3]:  $R_{z3}=75 \text{ мкм}$ ,  $h_3=100 \text{ мкм}$ ,  $\rho_3=3,35 \text{ мкм}$ ,  $\varepsilon_3=76,44 \text{ мкм}$ .

Шліфування чорнове нормативні значення  $R_z$ ,  $h$ , приймаємо [3]:  $R_{z4}=25 \text{ мкм}$ ,  $h_4=50 \text{ мкм}$ ,  $\rho_4=0,16 \text{ мкм}$ ,  $\varepsilon_4=3,82 \text{ мкм}$ .

Точіння чорнове:

$$2Z_{1\text{min}} = 2 \cdot [200 + 400 + \sqrt{(1119^2 + 1274^2)}] = 4591 \text{ мкм} = 4,591 \text{ мм}$$

Точіння напівчистове:

$$2Z_{2\text{min}} = 2 \cdot [150 + 200 + \sqrt{(67,19^2 + 76,44^2)}] = 903,5 \text{ мкм} = 0,904 \text{ мм}$$

Шліфування чорнове:

$$2Z_{3\text{min}} = 2 \cdot [75 + 100 + \sqrt{(3,35^2 + 3,82^2)}] = 360,2 \text{ мкм} = 0,36 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.16) [3]:

$$d_4^{\min} = d_4^{\text{НОМ}} + e_{id_4} \quad (1.16)$$

$$d_4^{\min} = 647 + (-0,28) = 646,72\text{мм} \quad (1.16)$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.17) [3]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min} \quad (1.17)$$

$$d_3^{\min} = 646,72 + 0,36 = 647,08\text{мм};$$

$$d_2^{\min} = 647,08 + 0,903 = 647,983\text{мм};$$

$$d_1^{\min} = 647,983 + 4,591 = 652,574\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.18) [3]:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.18)$$

$$d_4^{\max} = 646,72 + 0,2 = 646,92\text{мм};$$

$$d_3^{\max} = 647,08 + 0,73 = 647,81\text{мм};$$

$$d_2^{\max} = 647,983 + 1,52 = 649,503\text{мм};$$

$$d_1^{\max} = 654,574 + 5,0 = 659,574\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.19) [3]:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \quad (1.19)$$

$$2z_2^{\max} = 659,574 - 649,503 = 10,071\text{мм};$$

$$2z_3^{\max} = 649,503 - 647,81 = 1,693\text{мм};$$

$$2z_4^{\max} = 647,81 - 646,92 = 0,89\text{мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.20) [3]:

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \quad (1.20)$$

$$12854 - 7654 = 5000 + 200$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.21) [3]:

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 = 654,574 + 1,5 = 656,1\text{мм} \quad (1.21)$$

Виконавчий розмір заготовки дорівнює:  $\varnothing 656,1_{-1,5}^{+3,5}$  виконавчі розміри за наступними переходами виконуються в системі «вала», тому за номінальний розмір приймаємо максимальні значення розміру поверхні, всі данні заносимо у таблицю 1.5.

Розрахунок технологічних розмірів на поверхню  $\varnothing 609\text{H}11$  виконується методом розмірних ланцюгів [3].

Розрахунок виконуємо табличним методом. За [4, табл. 27, с. 186] знаходимо мінімальні припуски механічної обробки:

Розточування чорнове  $2Z_{2\text{min}}=4,0\text{мм};$

Розточування напівчистове  $2Z_{3\text{min}}=2,5\text{мм};$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.22) [4]:

$$d_4^{\min} = d_4^{\text{НОМ}} + ei d_4 \quad (1.22)$$

$$d_4^{\min} = 609 + 0 = 609\text{мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо за формулою (1.23) [4]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} - z_{i+1}^{\min} - Td_i \quad (1.23)$$

$$d_3^{\min} = 609 - 2,5 - 0,72 = 605,78\text{мм};$$

$$d_1^{\min} = 605,78 - 4,0 - 4,4 = 597,38\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхонь для переходів за формулою (1.24) [4]:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.24)$$

$$d_1^{\max} = 597,38 + 4,4 = 601,78\text{мм};$$

$$d_3^{\max} = 605,78 + 0,72 = 606,5\text{мм};$$

$$d_4^{\max} = 609 + 0,44 = 609,44\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.25) [4]:

$$2Z_{i\max} = d_i^{\max} - d_{i+1}^{\min} \quad (1.25)$$

$$2Z_{\min1} = 606,5 - 597,38 = 9,12\text{мм};$$

$$2Z_{\min3} = 609,44 - 605,78 = 3,66\text{мм};$$

Перевіряємо розрахунки за формулою (1.26) [4]:

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \quad (1.26)$$

$$12,06 - 7,22 = 4,4 + 0,44$$

Виконавчий розмір заготовки буде дорівнювати:  $\varnothing 598,9_{-2,9}^{+1,5}$  виконавчі розміри по іншим переходам виконуємо в системі «отвору», тому за номінальний розмір приймаємо мінімальне значення розміру поверхні плюс допуск на обробку, як верхнє відхилення, всі данні заносимо у таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок припусків

| № Пов.  | Перехід         | Елементи припуску, мкм |     |       |       | Розрахунковий           |               | Допуск,<br>мм | Макс.<br>розмір,<br>мм | Мінім.<br>розмір,<br>мм | Припуск на обробку,<br>мкм |                   | Виконавчий<br>розмер,<br>мм       |
|---------|-----------------|------------------------|-----|-------|-------|-------------------------|---------------|---------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------------|
|         |                 | Rz                     | h   | ρ     | ε     | Мін.<br>припуск,<br>мкм | Розмір,<br>мм |               |                        |                         | 2Z <sub>max</sub>          | 2Z <sub>min</sub> |                                   |
|         |                 |                        |     |       |       |                         |               |               |                        |                         |                            |                   |                                   |
| Ø647/9  | Заготовка       | 200                    | 400 | 1119  | -     | -                       | 654,574       | 5,0           | 659,574                | 654,574                 | -                          | -                 | Ø656,1 <sup>+3,5<br/>-1,5</sup>   |
|         | Т/О             | -                      | -   | -     | -     | -                       | -             | -             | -                      | -                       | -                          | -                 | -                                 |
|         | Точ.чорн.       | 150                    | 200 | 67,19 | 1274  | 4591                    | 647,983       | 1,52          | 649,503                | 647,983                 | 10071                      | 4591              | Ø649,5 <sup>-1,52</sup>           |
|         | Точ. напів/чист | 75                     | 100 | 3,35  | 76,44 | 903                     | 647,08        | 0,73          | 647,81                 | 647,08                  | 1693                       | 903               | Ø647,8 <sup>-0,74</sup>           |
|         | Шліф. Чорн.     | 25                     | 50  | 0,16  | 3,82  | 360                     | 646,72        | 0,2           | 646,92                 | 646,72                  | 890                        | 360               | Ø646,9 <sup>-0,08<br/>-0,28</sup> |
| Ø609Н11 | Заготовка       |                        |     |       |       | -                       | 597,38        | 4,4           | 601,78                 | 597,38                  | -                          | -                 | Ø598,9 <sup>+1,5<br/>-2,9</sup>   |
|         | Т/О             |                        |     |       |       | -                       | -             | -             | -                      | -                       | -                          | -                 | -                                 |
|         | Розточ.чорн.    |                        |     |       |       | 4000                    | 605,78        | 0,72          | 606,5                  | 605,78                  | 9120                       | 4000              | Ø605,8 <sup>+0,72</sup>           |
|         | Розточ. п/чист  |                        |     |       |       | 2500                    | 609           | 0,44          | 609,44                 | 609                     | 3660                       | 2500              | Ø609 <sup>+0,44</sup>             |

## 1.6 Розрахунок режимів різання

Операція 015 Токарна з ЧПК. Операційний ескіз показано на рис. 1.7.

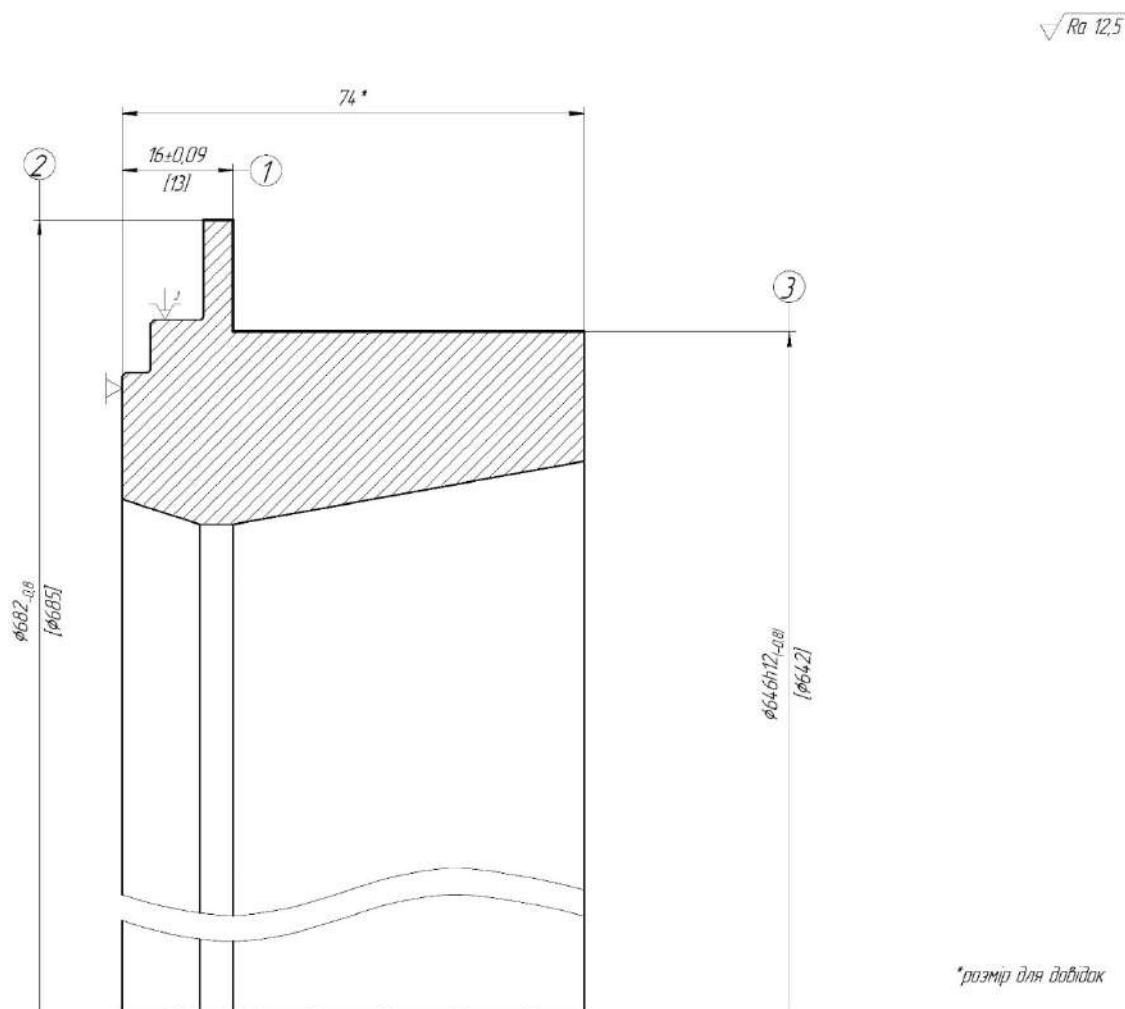


Рисунок 1.7 – Ескіз операції №015 Токарна з ЧПУ

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПУ АТПр 800. Заготовка затискається в спеціальному пристрої.

Точити поверхні 1,2,3

Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву ВК10

Глибина різання  $t_1=2,0$  мм

Подача визначається за формулами (1.27), (1.28):

$$S_o = S_{o_T} \times K_{S_o} \quad (1.27)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{II}} \times K_{S_{II}} \times K_{S_{\phi}} \times K_{S_3} \times K_{S_{Ж}} \times K_{S_M} \quad (1.28)$$

де  $S_{o_T} = 0,2 \text{ мм/об}$  [3];

$K_{S_{II}}$  – коефіцієнт, що враховує стан обраблюваної поверхні,  $K_{S_{II}}=1,0$ ;

$K_{S_{II}}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту,  $K_{S_{II}}=1,0$ ;

$K_{S_{\phi}}$  – коефіцієнт, що враховує форму обраблюваної поверхні,  $K_{S_{\phi}}=0,7$ ;

$K_{S_3}$  – коефіцієнт, що враховує вплив заправки,  $K_{S_3}=0,8$ ;

$K_{S_{Ж}}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи,  $K_{S_{Ж}}=0,83$ ;

$K_{S_M}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал обраблюваної поверхні,  $K_{S_M}=1,0$ .

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

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

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.29), (1.30):

$$V = V_T \times K_V \quad (1.29)$$

$$K_V = K_{V_M} \times K_{V_{II}} \times K_{V_{\phi}} \times K_{V_T} \times K_{V_{Ж}} \times K_{V_{II}} \times K_{V_O} \quad (1.30)$$

де,  $V_T$  – табличне значення швидкості різання,  $V_T=144 \text{ м/хв}$ , [2];

$K_V$  – узагальнений швидкісний коефіцієнт;

$K_{V_M}$  – коефіцієнт обробляемого матеріалу,  $K_{V_M}=0,8$ ;

$K_{V_{II}}$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу інструменту,  $K_{V_{II}}=1,0$ ;

$K_{V_{\phi}}$  – коефіцієнт, що враховує вплив головного куту в плані,  $K_{V_{\phi}}=1,0$ ;

$K_{V_T}$  – коефіцієнт, що враховує вид обробки,  $K_{V_T}=0,85$ ;

$K_{V_{Ж}}$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи,  
 $K_{V_{Ж}}=0,82$ ;

$K_{V_{II}}$  – коефіцієнт, що враховує стан обробляваної поверхні,  $K_{V_{II}}=1,0$ ;

$K_{V_O}$  – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОР,  $K_{V_O}=1,0$ .

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

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

Визначаємо частоту обертів шпинделю за формулою (1.31):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.31)$$

де,  $V$  - швидкість різання, м/хв

$D$  - діаметр обробки, мм

$$n = \frac{1000 \times 80,64}{3,14 \times 684} = 37,55 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо за паспортом верстату  $n=40 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 684 \times 40}{1000} = 85,91 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.32):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.32)$$

де,  $C_p$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки,  $C_p=204$  [2];

$x, y, n$  – показники степені, що враховують умови обробки  $n=0$ ;  $x=1,0$ ;

$y=0,75$ ; [2];

$k_p$  – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою 1.33:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\varphi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.33)$$

де,  $k_{MP}$  - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблююмого матеріалу визначаємо за формулою (1.34):

$$k_{MP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.34)$$

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

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$  - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту  $k_{\phi p}=1,08$ ,  $k_{\gamma p}=1,15$ ,  $k_{\lambda p}=1,0$ ,  $k_{rp}=0.93$ , [2];

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

$$P_z = 10 \times 204 \times 2,0^{1,0} \times 0,1^{0,75} \times 4,72^0 \times 1,51 = 547,78 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.35):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.35)$$

де,  $P_z$  - сила різання, Н

$V$  - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{547,78 \times 4,72}{1020 \times 60} = 0,04 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

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

Визначаємо машинний час за формулою (1.36):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.36)$$

де,  $l$ - довжина оброблюємої поверхні,  $l=36$  мм;

$y$ - величина врізання, мм  $y=3$  мм;

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

$$T_o = \frac{73 + 3 + 3}{40 \times 0,1} = 19,75 \text{хв}$$

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.8.

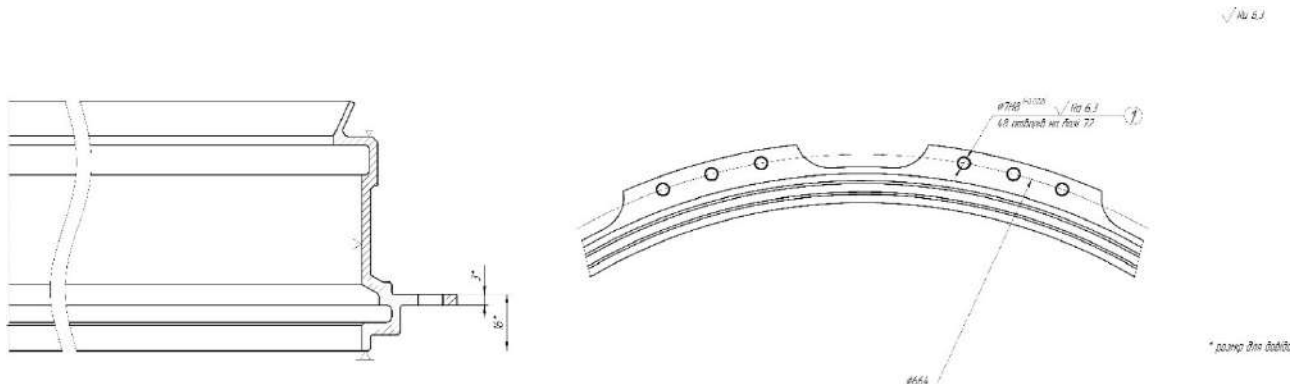


Рисунок 1.8 - Операційний ескіз – операція № 065

Верстат: Свердлильний з ЧПК 2P135Ф2

Поверхня Ø7 L=4мм Ra=6,3мкм;

Інструмент: Свердло спіральне Ø7мм, L=3мм, P6M5, ГОСТ12121-77

Свердлить відповідно ескізу два отвори (рис. 1.8):

Довжина робочого ходу визначається за формулою (1.37):

$$L_p = 2 \cdot (l + y) \quad (1.37)$$

де l-довжина свердління l=3мм;

y=0,6d<sub>св</sub> –врізання, мм;

де d<sub>св</sub>-діаметр свердла, мм;

$$L_p = 2 \cdot (3,0 + 4,2) = 14,4 \text{мм}$$

Глибина різання:  $t = \frac{d_{св}}{2} = \frac{7}{2} = 3,5 \text{мм}.$

Визначаємо подачу за формулою:

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

По паспорту верстата приймаємо  $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.38):

$$v_0 = v_m \times k_{mv} \times k_{nv} \times k_{uv} \times k_{\phi v} \times k_{\phi 1v} \times k_r \quad (1.38)$$

де,  $k_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки визначається за формулою (1.39):

$$k_{mv} = k_r \cdot \left( \frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (1.39)$$

$k_r$  – коефіцієнт, що характеризує групу сталі.  $k_r=0.8$  [4];

$\sigma_b$  - тимчасовий опір розриву, МПа.  $\sigma_b=1061$  МПа;

$n_v$  - показник степені,  $n_v=1.0$  [4];

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

$k_{nv}$  – коефіцієнт, що характеризує стан поверхні  $k_{nv}=0.8$ ;

$k_{uv}$  – коефіцієнт, що характеризує матеріал інструменту  $k_{uv}=1.0$  [4];

$k_{\phi v}$ ,  $k_{\phi 1v}$ ,  $k_{rv}$ , - коефіцієнти, що характеризують геометричні параметри інструменту  $k_{\phi v}=1,0$ ,  $k_{\phi 1v}=0,94$ ,  $k_{rv}=1,03$  [4].

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

Частота обертання деталі визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 1,6}{3,14 \times 7} = 72,8 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання  $n=75$  об/хв.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \times 7 \times 75}{1000} = 1,65 \text{ м/хв}$$

Крутячий момент, визначається за формулою (1.40):

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.40)$$

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

$$M_{KP} = 10 \times 0,041 \times 7^2 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 3,42 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, Н визначається за формулою (1.41):

$$P_O = 10 \times C_P \times D^q \times S^y \times K_P \quad (1.41)$$

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

$$P_O = 10 \times 87 \times 7^1 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 1173,4 \text{ Н}$$

Потужність різання, кВт

$$N_s = \frac{3,42 \times 75}{9750} = 0,03 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.42):

$$t_{O2} = \frac{l+l_1}{n \times S} \times i \quad (1.42)$$

де  $l$  – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору),  $l=3$  мм;

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

$i$  – кількість проходів,  $i = 48$ ;

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

$S$  – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left( \frac{6,5}{75 \times 0,1} \right) \times 48 = 41,6 \text{ хв}$$

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.9.

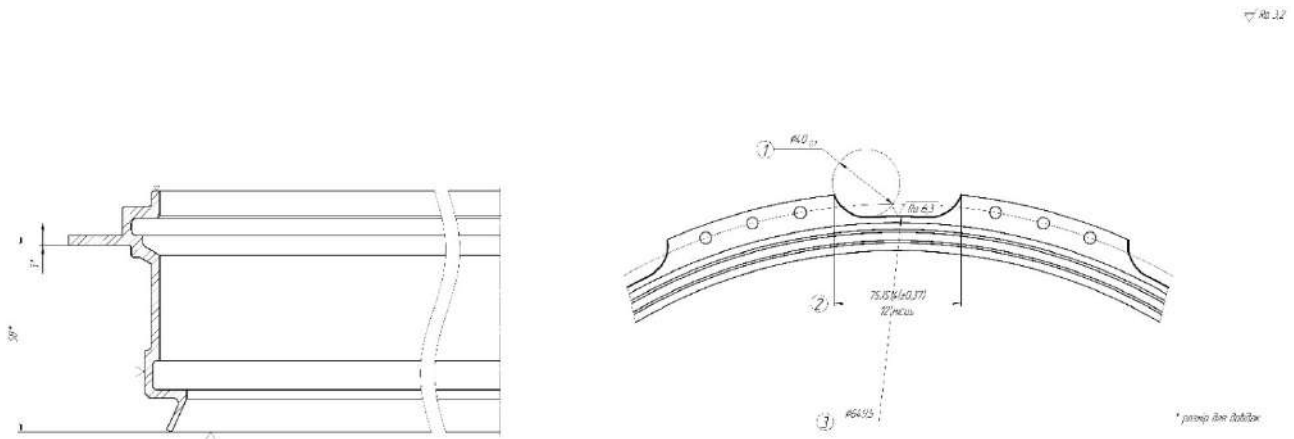


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз на фрезерну операцію 075

Ріжучий інструмент:

Фреза кінцева Ø40 ВК10 ГОСТ 17026-71

Визначаємо подачу за формулою (1.43):

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{SZ} \quad (1.43)$$

де  $S_Z=0,055$  мм/зуб – табличне значення подачі;

$K_{so}$  – коефіцієнт, що враховує ряд конструктивних особливостей технологічної системи визначається за формулою (1.44);

$$K_{SZ} = K_{SZH} \cdot K_{SZ\Phi} \cdot K_{SZR} \quad (1.44)$$

де  $K_{SZH}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту,  $K_{SZH} = 1$ ;

$K_{SZ\Phi}$  – коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні,  $K_{SZ\Phi} = 1$ ;

$K_{SzR}$  – коефіцієнт, що враховує клас чистоти,  $K_{SzR} = 0,5$ ;

$$S_z = 0,055 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,0275 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.45):

$$V = V_T \cdot K_V \quad (1.45)$$

де  $V_m$  – табличне значення швидкості різання  $V_m = 8,3$  м/хв;

$K_v$  – коефіцієнт, що враховує ряд конкретних умов обробки визначається за формулою (1.46):

$$K_v = K_{V_M} \cdot K_{V_n} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_{\Pi}} \cdot K_{V_{\Phi}} \cdot K_{V_B} \quad (1.46)$$

де  $K_{V_M}$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваність матеріалу,  $K_{V_M} = 0,81$ ;

$K_{V_n}$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні,  $K_{V_n} = 1$ ;

$K_{V_o}$  – коефіцієнт, що враховує умови обробки,  $K_{V_o} = 1$ ;

$K_{V_{\Phi}}$  – коефіцієнт, що враховує вид обробки,  $K_{V_{\Phi}} = 1$ ;

$K_{V_{\Pi}}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту,  $K_{V_{\Pi}} = 1$ ;

$K_{V_B}$  – коефіцієнт, що враховує ширину фрезерування,  $K_{V_B} = 1$ .

$$V = 8,3 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6,72 \text{ м/хв}$$

Обороти визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 6,72}{3,14 \times 40} = 53,5 \text{ об/хв}$$

Коригуємо обертання шпинделя по паспорту верстата  $n = 55$  об/хв.

Знаходимо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \times 40 \times 55}{1000} = 6,91 \text{ м/хв}$$

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.47):

$$S_{\text{хв}} = S_z \times z \times n_d, \text{ мм/хв} \quad (1.47)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,0275 \times 4 \times 55 = 6,05 \text{ мм/хв}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.48):

$$N_{\text{рез}} = N_{\text{н}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{w}} \cdot K_{\beta} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (1.48)$$

де  $N_{\text{н}}=0,8 \text{ кВт}$  потужність необхідна на різання [6];

$K_{\text{м}}=1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від оброблюваного матеріалу;

$K_{\text{w}}=1,64$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості осьових переміщень;

$K_{\text{к}}=1,1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості заходів фрези;

$K_{\beta}=1$  – поправочний коефіцієнт, залежний від кута нахилу зубів коліс;

$$N_{\text{рез}} = 1,44 \text{ кВт} < N_{\text{ст}} = 7 \text{ кВт}.$$

Ефективна потужність, потрібна на різання, нижче потужності електродвигуна, що задовольняє умовам різання.

Визначаємо машинний час за формулою (1.49):

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.49)$$

де,  $l$  – довжина оброблюваної поверхні,  $l=113,5$  мм;

$y$  – величина врізання, мм  $y=3$  мм;

$Z$  – число зубів фрези,  $z=4$ .

$$T_o = \frac{113,5 + 3}{55 \times 0,0275 \times 4} = 19,26 \text{ хв}$$

Режими за іншими операціями показані в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Сводна таблиця режимів резання

| N<br>Опер. | Найменування<br>операції   |   | t,<br>мм | S <sub>o</sub> ,<br>мм/об | V <sub>д</sub> ,<br>м/хв | n <sub>д</sub> ,<br>хв <sup>-1</sup> | T <sub>о</sub> ,<br>хв |
|------------|----------------------------|---|----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 015        | Токарна з ЧПУ              |   | 2,0      | 0,1                       | 85,5                     | 40                                   | 19,75                  |
| 020        | Токарна з ЧПУ              |   | 1,5      | 0,15                      | 102,1                    | 60                                   | 24,53                  |
| 025        | Токарна з ЧПУ              |   | 1,5      | 0,1                       | 102,1                    | 70                                   | 9,98                   |
| 030        | Токарна з ЧПУ              | 1 | 2        | 0,1                       | 88,1                     | 70                                   | 8,25                   |
|            |                            | 2 | 2        | 0,1                       | 88,1                     | 70                                   |                        |
|            |                            | 3 | 1,5      | 0,1                       | 137,2                    | 70                                   |                        |
| 035        | Токарна з ЧПУ              |   | 0,8      | 0,1                       | 118,2                    | 70                                   | 11,23                  |
| 040        | Токарна з ЧПУ              |   | 0,5      | 0,08                      | 118,2                    | 70                                   | 15,1                   |
| 045        | Токарна з ЧПУ              | 1 | 0,3      | 0,08                      | 101,3                    | 70                                   | 22,1                   |
|            |                            | 2 | 0,5      | 0,08                      | 101,3                    | 200                                  |                        |
|            |                            | 3 | 0,5      | 0,08                      | 81,4                     | 80                                   |                        |
| 050        | Токарна з ЧПУ              |   | 0,5      | 0,18                      | 25,1                     | 1300                                 | 9,12                   |
| 055        | Свердлильна з ЧПУ          |   | 3,5      | 0,1мм/хв                  | 1,65                     | 75                                   | 41,6                   |
| 060        | Електроерозійна<br>обробка |   | -        | -                         | -                        | -                                    | -                      |
| 065        | Свердлильна з ЧПУ          |   | 3        | 0,18                      | 25,17                    | 1300                                 | 18,24                  |
| 070        | Лазерна обробка            |   | -        | -                         | -                        | -                                    | -                      |
| 075        | Фрезерна з ЧПУ             |   | -        | 0,0275мм/зуб              | 6,91                     | 55                                   | 19,28                  |
| 080        | Шліфувальна                |   | 0,05     | 0,12                      | 135,17                   | 90                                   | 6,57                   |

## 1.7 Розрахунок технічної норми часу

Розрахунок нормування на операцію токарна з ЧПУ 015

Машинний час T<sub>о</sub>=19,75хв

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.50):

$$t_{\text{всп.}} = t_{\text{в.у}} + t_{\text{м.в.}} \quad (1.50)$$

де,  $t_{\text{з.у.}} = 0,2$  хв – час на установку і зняття деталі в патроні з ручним затиском [5];

$t_{\text{м.в.}} = 0,29$  хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [5]

$$t_{\text{всп}} = 0,2 + 0,29 = 0,49 \text{ хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначається за формулою (1.51):

$$t_{\text{п.у.}} = t_{\text{о.}} + t_{\text{м.в.}} \quad (1.51)$$

$$t_{\text{п.у.}} = 19,75 + 0,49 = 20,24 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою (1.52):

$$t_{\text{обс}} = 10\% \cdot t_{\text{п.у.}} \quad (1.52)$$

$$t_{\text{обс}} = 0,1 \cdot 20,24 = 2,02 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначається за формулою (1.53):

$$t_{\text{п}} = 10\% \cdot t_{\text{п.у.}} \quad (1.53)$$

$$t_{\text{п}} = 0,1 \cdot 20,24 = 2,02 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 20,24 + 2,02 + 2,02 = 24,28 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію (6, стор.604) за формулою (1.54):

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з1}} + T_{\text{п-з2}} \quad (1.54)$$

де,  $T_{п-31} = 5$  хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [6]

$T_{п-32} = 7$  хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [6]

$$T_{п-3} = 5 + 7 = 12 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{12}{8} + 24,28 = 25,78 \text{ хв.}$$

Розрахунок нормування на операцію свердлильна з ЧПУ 055

Машинний час  $T_0 = 41,6$  хв

Допоміжний час:

$t_{в.у.} = 0,25$  хв – час на установку і зняття деталі [6];

$t_{м.в.} = 0,26$  хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [6]

$$t_{всп} = 0,26 + 0,25 = 0,51 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління  $t_{п.у.}$  дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою:

$$t_{п.у.} = 41,6 + 0,51 = 42,11 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.55):

$$t_{обс} = 8\% \times t_{п.у.} \quad (1.55)$$

$$t_{обс} = 0,08 \times 42,11 = 3,37 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.56):

$$t_{\pi} = 8\% \times t_{\pi,у.} \quad (1.56)$$

$$t_{\pi} = 0,08 \times 42,11 = 3,37 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 42,11 + 3,37 + 3,37 = 48,85 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [6] за формулою:

$$T_{\pi-3} = 5 + 3 = 8 \text{хв.}$$

де,  $T_{\pi-31} = 5$  хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [6];

$T_{\pi-32} = 3$  хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [6].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{8}{8} + 48,85 = 49,85 \text{хв.}$$

Розрахунок нормування на операцію фрезерна з ЧПУ 075

Машинний час  $T_0 = 19,26$  хв

Допоміжний час:

$t_{"0"} = 0,05$  хв - переміщення інструменту в «0» інструменту [5];

$t_{с.б.} = 0,05$  хв - час пов'язаний зі зміною блоку [5];

$t_{с.б.} = 0,05$  хв - час пов'язаний зі зміною блоку [5];

$t_{в.у.} = 1,2$  хв - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском [5];

$t_{м.в.} = 0,15$  хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [5]

$$t_{всп} = 0,05 + 0,05 + 1,2 + 0,15 = 1,45 \text{хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління  $t_{п.у}$  рівно неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою:

$$t_{п.у.} = 19,26 + 1,45 = 20,71 \text{хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою:

$$t_{обс} = 0,08 \times 20,71 = 1,66 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою:

$$t_{п} = 0,08 \times 20,71 = 1,66 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{шт.} = 20,71 + 1,66 + 1,66 = 24,03 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою:

$$T_{п-з} = 3 + 8 = 11 \text{хв.}$$

де,  $T_{п-з1} = 3$  хв - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [5];

$T_{п-з2} = 8$  хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, [5]:

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{шт.-к.} = \frac{11}{8} + 24,03 = 25,41 \text{хв.}$$

Нормування за іншими технологічними операціями показано в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічна норма часу за операціями

| Номер операції | Найменування операції | Складові $T_{шт-к}$ |       |          |            |         |           |            |
|----------------|-----------------------|---------------------|-------|----------|------------|---------|-----------|------------|
|                |                       | $t_o$               | $t_v$ | $t_{оп}$ | $t_{обсл}$ | $t_{п}$ | $t_{п-з}$ | $t_{шт-к}$ |
| 015            | Токарна з ЧПУ         | 19,75               | 0,49  | 20,24    | 2,02       | 2,02    | 12        | 25,78      |
| 020            | Токарна з ЧПУ         | 24,53               | 2,33  | 26,86    | 2,67       | 2,67    | 18        | 34,65      |
| 025            | Токарна з ЧПУ         | 9,98                | 3,66  | 13,64    | 1,36       | 1,36    | 18        | 16,81      |
| 030            | Токарна з ЧПУ         | 8,25                | 2,13  | 10,38    | 1,04       | 1,04    | 18        | 12,91      |
| 035            | Токарна з ЧПУ         | 11,23               | 1,33  | 12,56    | 1,26       | 1,26    | 18        | 15,53      |
| 040            | Токарна з ЧПУ         | 15,1                | 2,7   | 17,8     | 1,78       | 1,78    | 18        | 21,81      |
| 045            | Токарна з ЧПУ         | 22,1                | 3,33  | 25,43    | 2,54       | 2,54    | 18        | 30,96      |
| 050            | Свердлильна з ЧПУ     | 41,6                | 0,51  | 42,11    | 3,37       | 3,37    | 8         | 49,85      |
| 055            | Свердлильна з ЧПУ     | 6,27                | 1,31  | 7,58     | 0,61       | 0,61    | 14        | 9,15       |
| 065            | Свердлильна з ЧПУ     | 18,24               | 1,52  | 19,76    | 1,58       | 1,58    | 15        | 23,29      |
| 075            | Фрезерна с ЧПУ        | 19,28               | 2,96  | 22,24    | 1,78       | 1,78    | 14        | 26,15      |
| 080            | Шліфувальна           | 6,57                | 3,24  | 9,81     | 0,98       | 0,98    | 10        | 12,02      |

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має САМ-модуль

### 1.8.1 Розробка токарної операції

Для виконання операції використовується токарний верстат з ЧПУ SLANT TURN 800. Заготовка затискається в спеціальному пристосуванні.

Інструмент для обробки заданих поверхонь – різець контурний з пластиною з твердого сплаву BK10.

Програмування обробки виконується у програмному забезпеченні Siemens NX, етапи виконання показано на рисунках 1.11 -1.13.

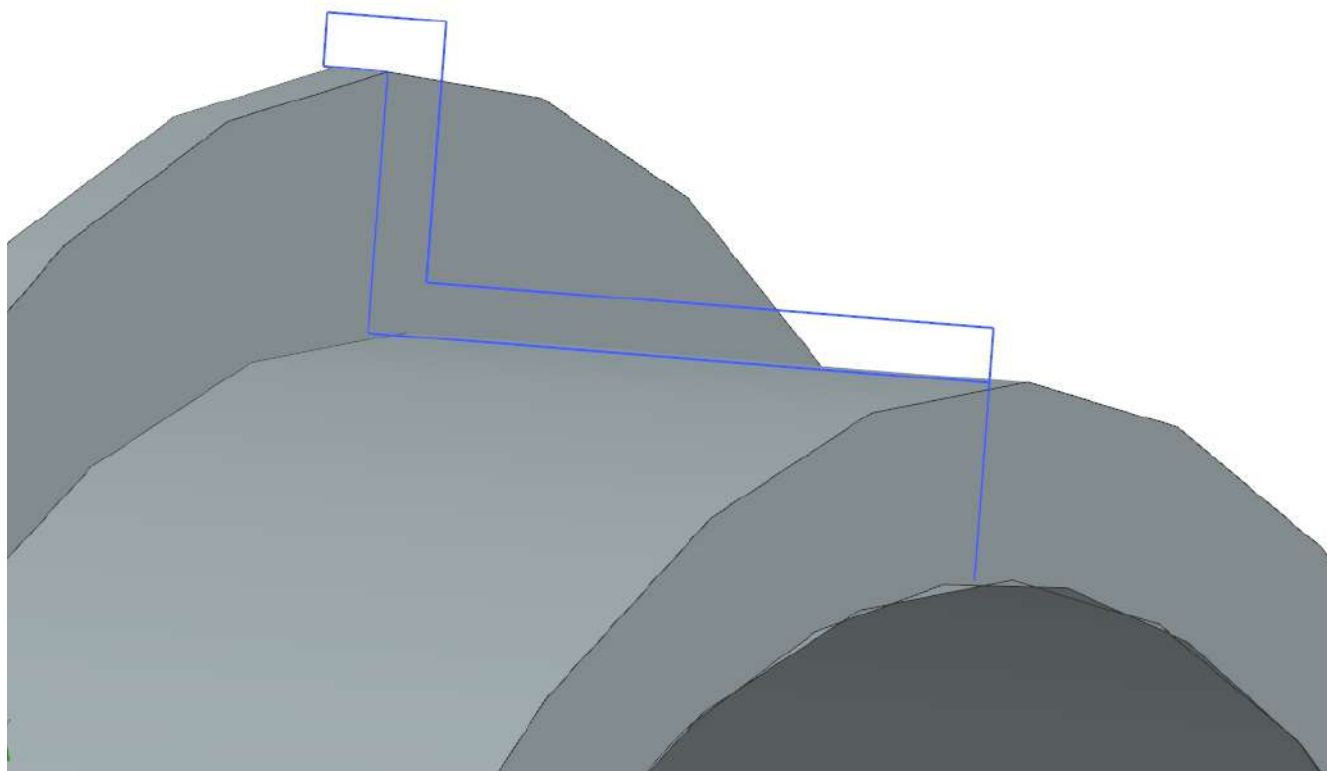


Рисунок 1.11 – Комп’ютерна модель операційного ескізу на токарну операцію з ЧПУ

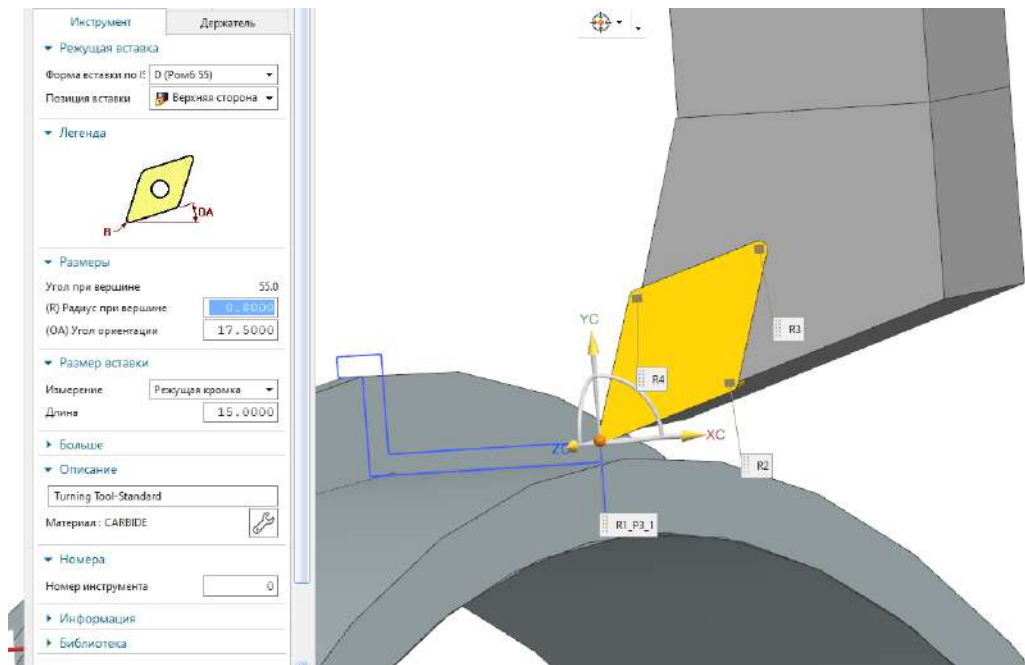


Рисунок 1.12 – Розташування інструменту відносно заданої поверхні обробки

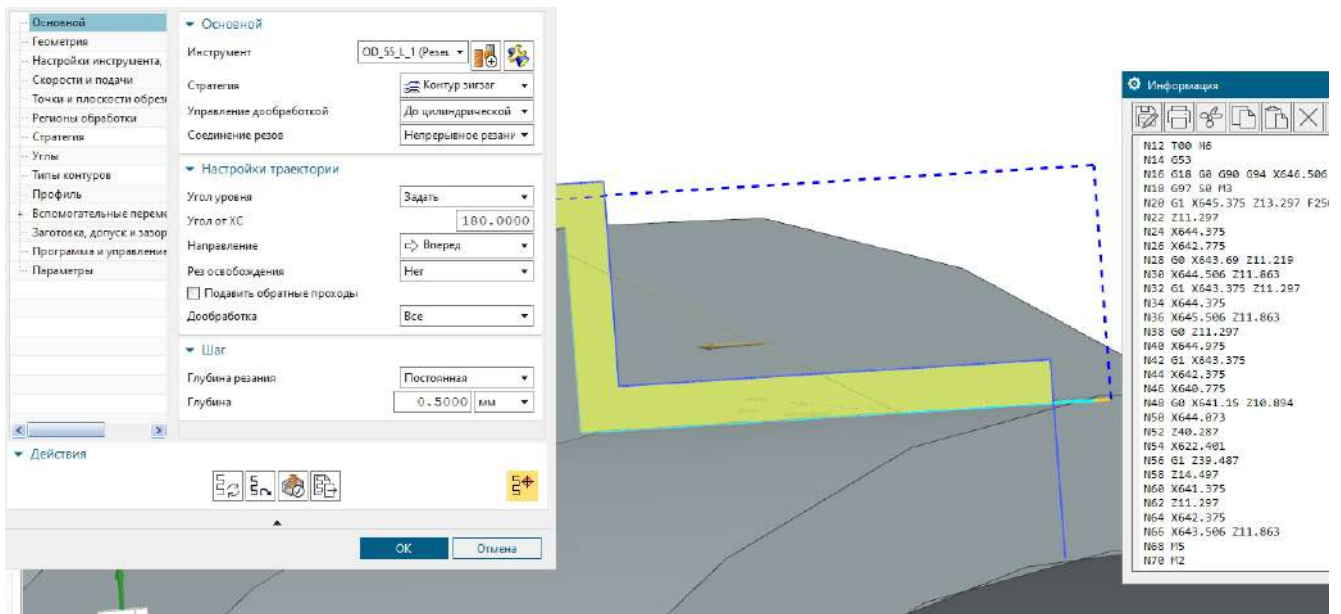


Рисунок 1.13 – Програма обробки в G кодах

## 1.8.2 Розробка свердильної операції

Етапи розробки свердильної операції показано на рисунках 1.14 – 1.16.

Верстат: Свердильний з ЧПК DOSAN DVF 8000

Свердлить отвори відповідно ескізу (рис. 1.14):

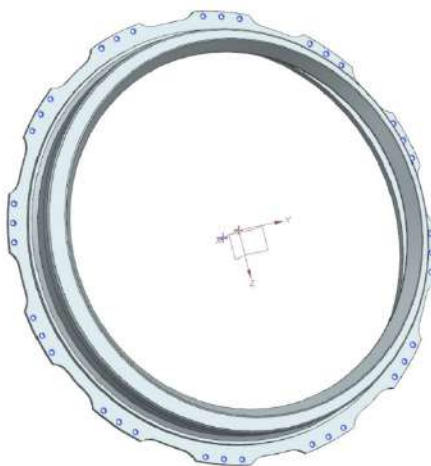


Рисунок 1.14 – Віртуальний операційний ескіз на свердильну операцію

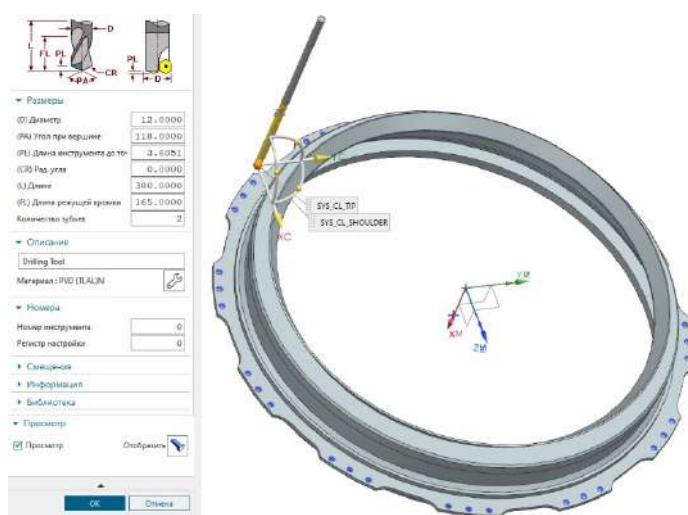


Рисунок 1.15 – Розташування інструменту відносно заданої поверхні обробки

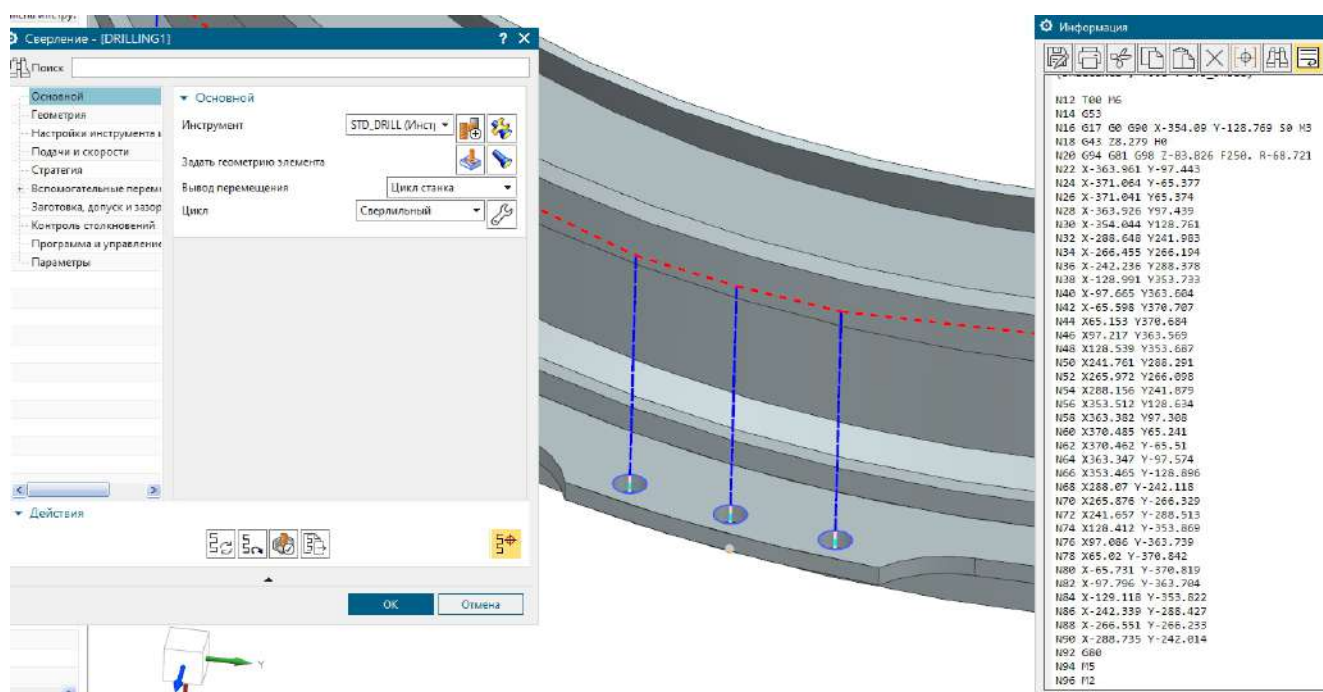


Рисунок 1.16 – Траектория обработки с программой в G кодах

### 1.8.3 Розробка фрезерної операції

Етапи розробки фрезерної операції показано на рисунках 1.17 – 1.19.

Для виконання завданої операції обрано обробляючий центр DOSAN DVF 8000 та ріжучий інструмент: фреза кінцева Ø10 з матеріалу BK10.



Рисунок 1.17 – Віртуальний операційний ескіз на фрезерну операцію з ЧПУ

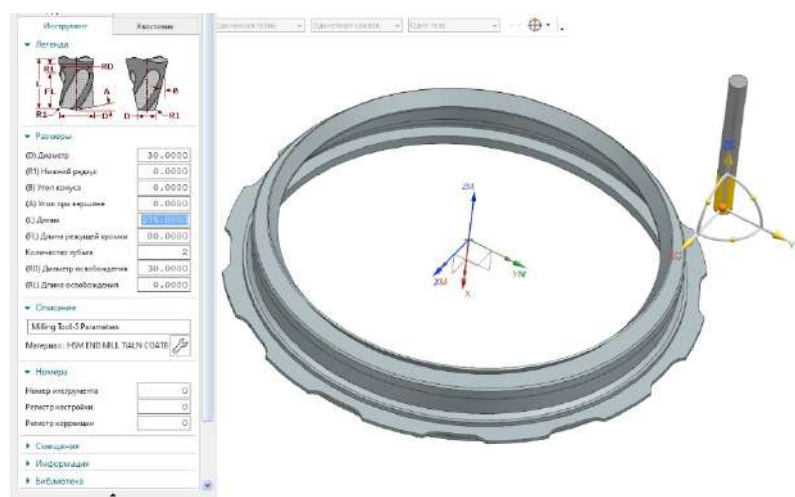


Рисунок 1.18 – Розташування інструменту відносно заданої поверхні обробки

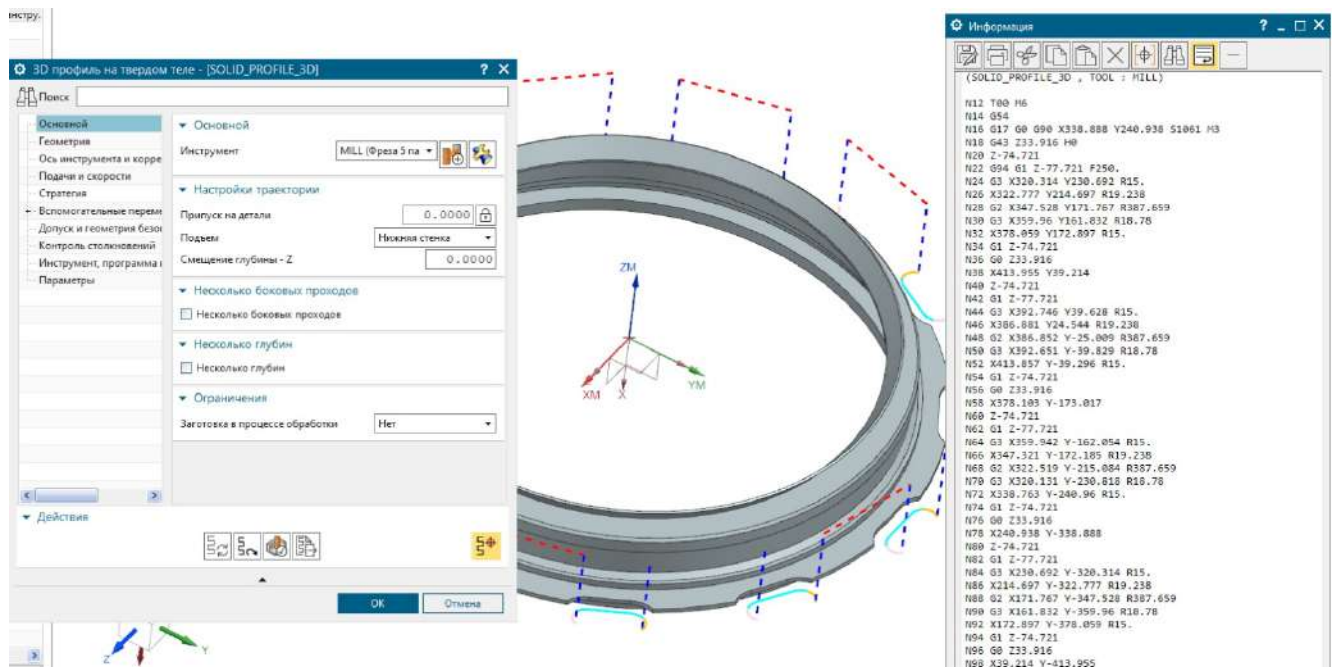


Рисунок 1.19 – Траектория обработки з програмою в G кодах

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Проектування робочого пристосування

#### 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Фрезерне обладнання, показане на рисунку 2.1, використовується для фрезерування виборок. Конструкційні можливості дозволяють використовувати його при фрезеруванні різних деталей. Обробка деталей виконується на обробляючому центрі DOSAN DVF 8000.

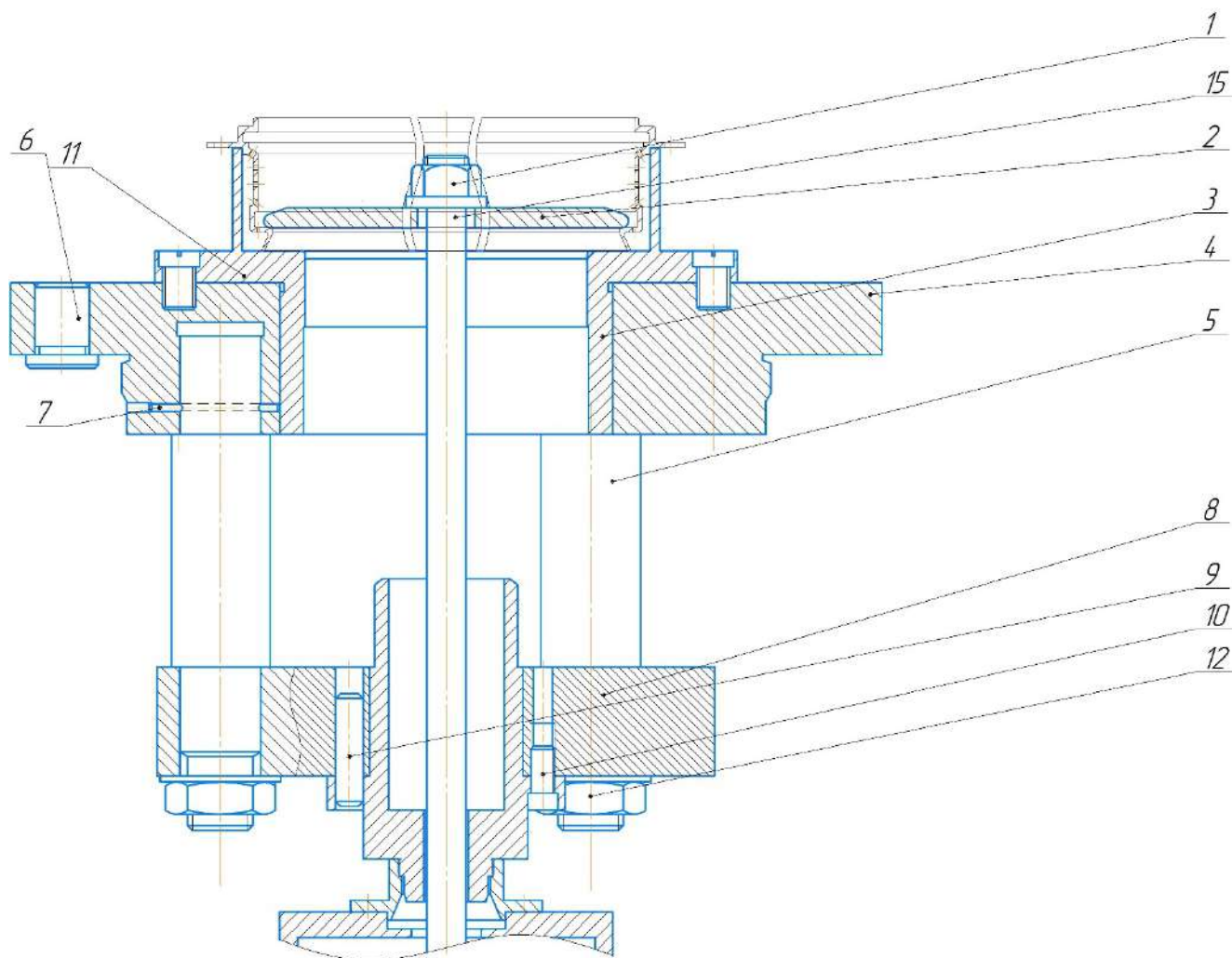


Рисунок 2.1 – Пристосування для фрезерування

При встановленні деталі в пристосуванні гайка 11 і кільце 2 зняті, деталь зміщується в повну пристосованість і базується на в стакані 3, який знаходиться на опорах 5, які пальцями 7 базується на столі. При закріпленні на тягу надівається кільце 2 і гайка 11 під дією пневмоциліндра тяга перемещує вниз кільце 2 яке тисне на деталь, відбувається закріплення.

В столі станка встановлений пневмоциліндр. Закріплення деталей виконується за рахунок переміщення затискачів від поршня. Закріплення забезпечується в вертикальному напрямленні.

### 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Так як виконується обробка торцевої поверхні тіла обертання погрішності базування і погрішність закріплення будуть скалярними величинами, що лежать на одній прямій, і формула визначення погрішності установки  $\varepsilon$  буде мати вид:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_{зак} \quad (2.1)$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування деталі в пристосуванні ,

$\varepsilon_z$  – похибка закріплення деталі в пристосуванні.

Похибкою базування називається різноманіття граничних розмірів вимірювальної бази щодо встановленого розміру інструменту. Похибка базування має місце при не суміщенні вимірювальної та установчої бази заготовки. У цьому випадку положення окремих заготовок у партії буде різними щодо обробляється поверхні.

Як похибка положень, похибка базування впливає на точність виконання розмірів, на точність взаємного положення поверхонь і не впливає на точність їх форм. Для зменшення погрішності базування слід суміщати установчі та вимірювальні бази, вибирати раціональні розміри та розташування установчих

елементів, а також усунути чи зменшити зазори при посадці заготовки на охоплювані чи охоплюючі установчі елементи. Для уніфікації схем установок за всіма операціями технологічного процесу обробки даних деталей слід витримувати також принцип постійності бази, що має велике значення при роботі на автоматичних лініях.

Похибка базування на розмір  $\varnothing 642$  дорівнює

$$\varepsilon_{\bar{o}} = S_{\max 1} = d_{\max n} - d_{\min o} \quad (2.2)$$

де,  $d_{\max n}$  – максимальний діаметр базової поверхні заготовки дорівнює  $\varnothing 641,92$  мм;

$d_{\min n}$  – мінімальний діаметр поверхні, по якій встановлюється деталь  $\varnothing 641,6$  мм.

Тоді похибка базування буде дорівнювати:

$$\varepsilon_{\bar{o}} = S_{\max 1} = 641,92 - 641,6 = 0,32 \text{ мм}$$

Так як виконуваний розмір не збігається з напрямком дії сили затиску, то похибка закріплення дорівнюватиме нулю.

В результаті похибка установки:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_{\bar{o}} + \varepsilon_{\text{зак}} = 0,32 + 0 = 0,32 \text{ мм}$$

Операція виконується на фрезерному верстаті. Точність обробки залежить від точності позиціонування ріжучого інструменту щодо поверхні, що обробляється, наявності люфтів в механічних передачах верстата.

Перевіримо умову забезпечення точності проектного пристрою:

$$S_{\max} \leq T_d - k \sqrt{(k_1 \times \varepsilon_{\bar{o}})^2 + \varepsilon_z + (k_2 \times \omega)^2} \quad (2.3)$$

де,  $\varepsilon_z = 0$  т.к. напрямок сили затиску перпендикулярно вивчаємому розміру.

$\omega = 0,07$  мм – середня економічна точність обробки на цю операцію.

У зв'язку з недостатністю довідкових даних прирівняємо середню економічну точність обробки середньої економічної точності обробці в кондукторі (10. Таб. 5.3, стор 64).  $k_l = 0,8$ ;  $k_2 = 0,65$ ;  $k_p = 1,0$ ;

Тоді

$$S_{max} \leq 0,32 - 1,0\sqrt{(0,8 \times 0,32)^2 + 0 + (0,65 \times 0,07)^2} = 0,06\text{мм}$$

Виходячи з отриманих значень можна брати досить грубу посадку, але так як передбачається обробка в даному пристосуванні і точніших деталей, приймаємо посадку H7/g6 між пальцем пристосування та отвором робочого стола верстата.

### 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

На відміну від звичайних випадків розрахунку сил закріплення, коли застосовується принцип передачі сил різання на затискні пристрої, конструкція пристосування передбачає розподіл сил закріплення заготовки між опорною і затискною поверхнею пристосування.

Виведемо формулу визначення необхідного зусилля закріплення.

$$k \times \sum My = \sum Mz$$

$$\sum Mz = Pz \times R$$

$$k \times Pz \times R = f \times W \times \frac{D^3 - d^3}{3 \times (D^2 - d^2)}$$

Виходячи з умови рівноваги, розрахунок необхідного зусилля затиску розраховуємо за формулою (2.4):

$$W = \frac{k \times Py \times R \times 3 \times (D^2 - d^2)}{f \times (D^3 - d^3)} \quad (2.4)$$

де  $D, d$  – зовнішні та внутрішні опорні діаметри деталі,  $D=640\text{мм}$ ,  $d=620,5\text{мм}$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя,  $f=0,16$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times k_6 \quad (2.5)$$

$k_0$  – гарантований коефіцієнт запасу при всіх випадках обробки  $k_0=1,85$  [6];

$k_1$  – враховує зміну сил різання в процесі обробки із-за нерівномірності допусків на заготовці  $k_1=1,2$ , [6];

$k_2$  – коефіцієнт, який залежить від виду обробляемого матеріалу та нерівномірного зносу ріжучого інструменту,  $k_2=1,7$ , [6];

$k_3$  – коефіцієнт який враховує переривчасте фрезерування  $k_3=1,0$  [6];

$k_4$  – характеризує затискне пристосування з точки зору сталості затиску  $k_4=1,0$  [6];

$k_5$  – коефіцієнт який враховує наявність моментів які намагаються повернути заготовку яка встановлено плоскою поверхнею на постійні опори  $k_6=1,0$ , [6];

$$k = 1,85 \times 1,2 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 3,77$$

$P$  – сила різання  $P=1000\text{ Н}$ ;

$$W = \frac{3,77 \times 1000 \times 0,03 \times 3 \times (0,64^2 - 0,62^2)}{0,16 \times (0,64^3 - 0,62^3)} = 3,181 \text{ Кн}$$

Проводимо перевірочний розрахунок на міцність навантажених деталей пристосування.

Міцність одна з основних вимог, що пред'являються до деталей та пристроїв загалом. У конструкціях пристроїв використовуються деталі, які зазнають різноманітних видів навантажень.

Сила закріплення  $W$  дорівнює зусилля на штоку  $Q$ .

Пристрій гідравлічного типу (гідроциліндр). Діаметр цього гідроциліндра розраховується за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times W}{\pi \times \rho \times \eta_{\text{гц}}}} \quad (2.6)$$

де  $\eta_{\text{гц}}$  – ККД гідроциліндра  $\eta_{\text{гц}} = 0,9$ ;  $P_{\text{жидк}} = 8$  МПа

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 3181}{3,14 \times 80 \times 10^5 \times 0,9}} = 0,075 \text{ м}$$

Зі стандартного ряду приймаємо мм.

В результаті вибираємо гідроциліндр – ГЦ 75.50×90.55[59]

Найбільш слабкою частиною пристосування є різьблення.

Зробимо розрахунок різьблення на зріз і зминання.

Визначаємо величину напруги зрізу в різьбленні тяги за формулою:

$$\tau = \frac{P}{\pi \times d_1 \times k \times H \times k_m} \quad (2.7)$$

де  $P$  – сила, яка діє на витки різі, Н;

$d_1$  – внутрішній діаметр різі, м;

$k=0,87$  – коефіцієнт повноти різі;

$H$  – довжина різі в проушині, м;

$k_m=0,75$  – коефіцієнт нерівномірності навантаження за витками різі, з врахуванням пластичної деформації.

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{3181}{3,14 \times 14,05 \times 10^{-3} \times 0,87 \times 16 \times 10^{-3} \times 0,75} = 69,12 \text{ МПа}$$

Гранично допустима напруга зрізу для даного матеріалу дорівнює  $[\tau]_{\text{ср}} = 105$  МПа. Відповідно:  $\tau_{\text{ср}} < [\tau]_{\text{ср}}$ .

Розрахунок різьблення на зминання робимо, враховуючи, що  $P=3,181 \text{ Н}$ :

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \times 3,181}{3,14 \times (0,132^2 - 0,114^2) \times 0,75 \times 10} = 0,318 \text{ МПа}$$

Допустима напруга зминання для матеріалу тяги дорівнює  $[\sigma]_{cm}=280 \text{ МПа}$ .

Отже:  $\sigma_{cm} < [\sigma]_{cm}$ .

За результатами розрахунків робимо висновок - різьблення тяги витримає навантаження пристосування, що виникають при роботі.

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

Даний контрольний пристрій призначений для перевірки відхилення від паралельності. Деталь яку необхідно про контролювати встановлюють у основу 2, яка розташована на опорі 3 з якою вони центрується на оправці 1. Биття перевіряють індикаторним годинником 9, які розташовані у втулці 8 і закріплюється затискачем 11. Індикаторний годинник 9 через вісь 12 може за потреби переміщуватися у вертикальному напрямку. Вісь 12 розташована на опорі 13 з натягом для зменшення похибок при вимірюванні. Для запобігання можливого повороту вісі 12 відносно опори 13 використовується спеціальний гвинт 14. Опора 13 гвинтом 16 фіксується на опорі 15.

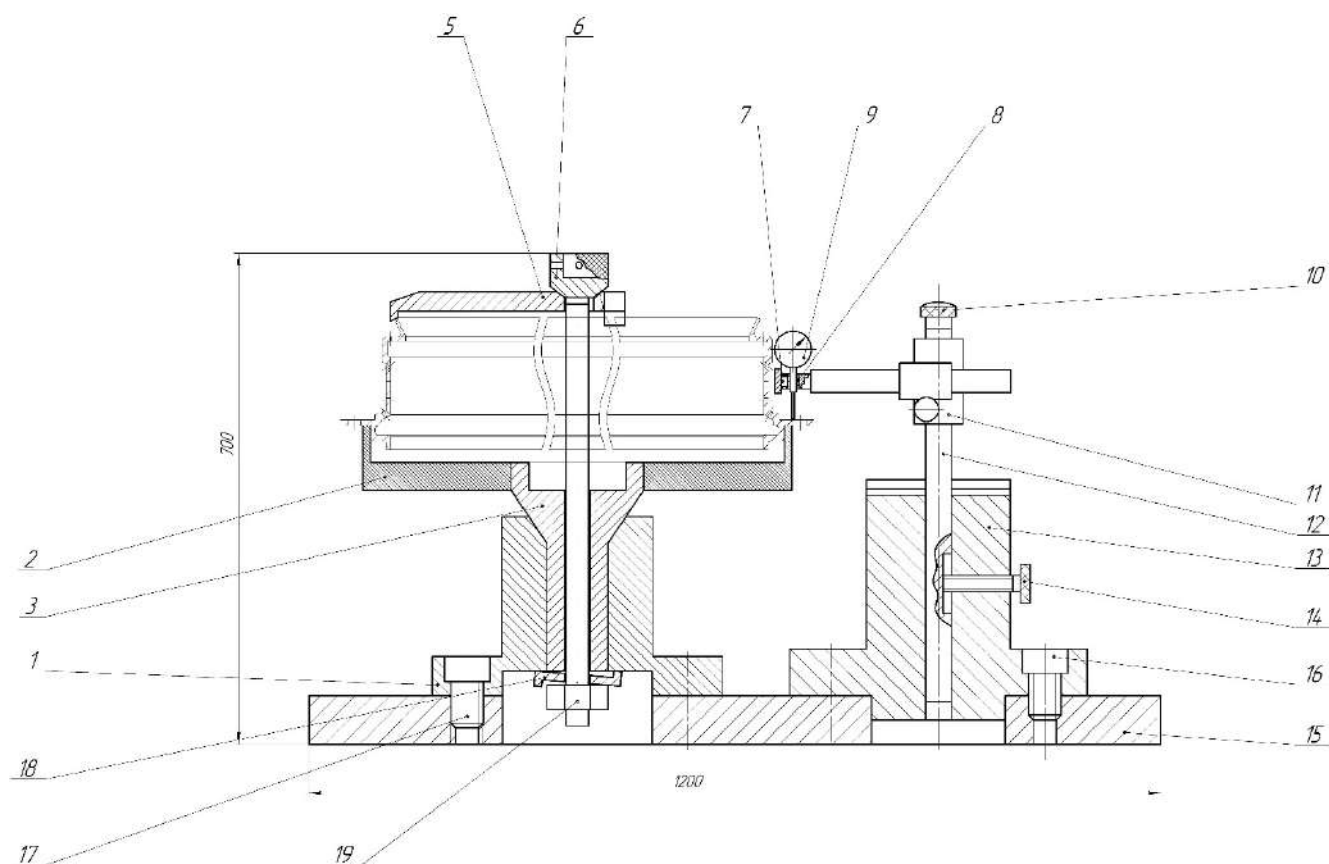


Рисунок 2.4 – Схема контрольного пристрою

При даній схемі базування похибка базування дорівнює максимальному зазор між внутрішньою поверхнею деталі і зовнішньої пальця. У цьому випадку деталь сідає на легкоконусну оправку з натягом. Зазор відсутня і, отже, похибка базування дорівнює нулю. Похибка закріплення дорівнює нулю, оскільки деталь сідає на виправлення з натягом.

## З ВИКОРИСТАННЯ 3D СКАНЕРІВ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ

З кожним роком промисловість випускає досконаліші прилади та пристрої. Деталі машин часто мають складну геометричну форму, перебувають у тісній взаємодії між собою. Для того щоб забезпечити злагоджену роботу механізмів, необхідна відповідність форм, розмірів, точність складання та інших параметрів. Контроль якості у машинобудуванні здійснювався з використанням різних технологій, у тому числі за допомогою координатно-вимірювальних машин. Однак, сканування на сьогоднішній день є найефективнішим способом з точки зору можливості захоплення даних для вимірювання та швидкості обробки інформації [13].

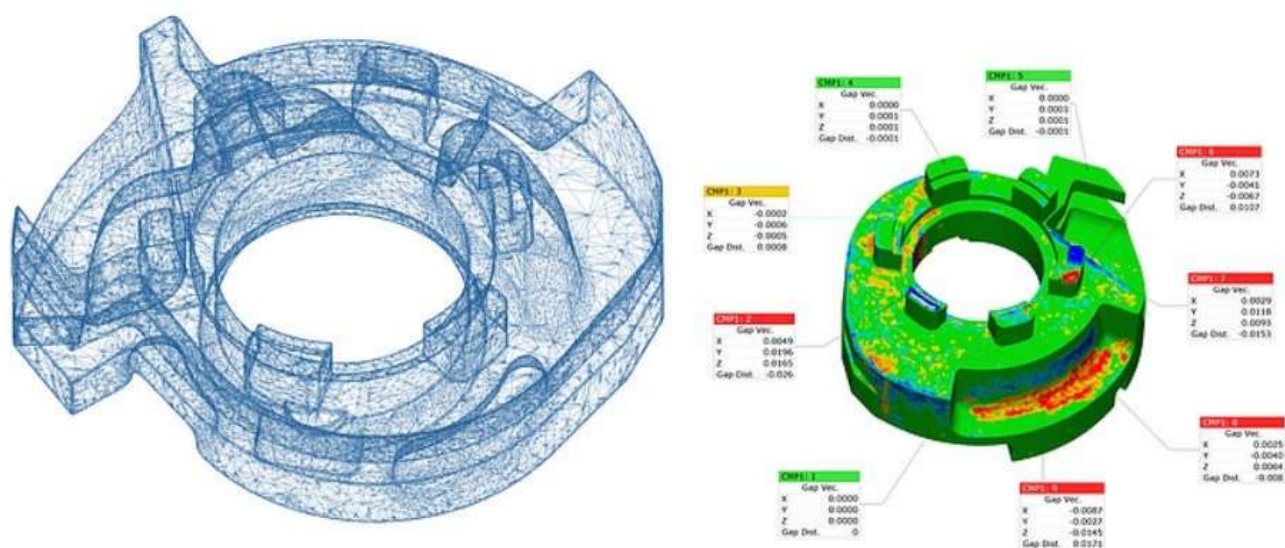


Рисунок 3.1 – Результат 3D сканування деталі

3D-сканери справляються не тільки з рівними поверхнями, а й зі складними ділянками: кутами між ребрами та гранями, заглибленнями, отворами. Важлива перевага пристроїв – безконтактний спосіб роботи, що дозволяє сканувати на відстані у важкодоступних місцях [13].

Після проведення змін інформація в режимі on-line передається на комп'ютер, де програмне забезпечення зіставляє отримані дані та задані параметри та демонструє відхилення: невідповідність розмірів, тріщини, сліди деформації та корозії та інші зміни [13].

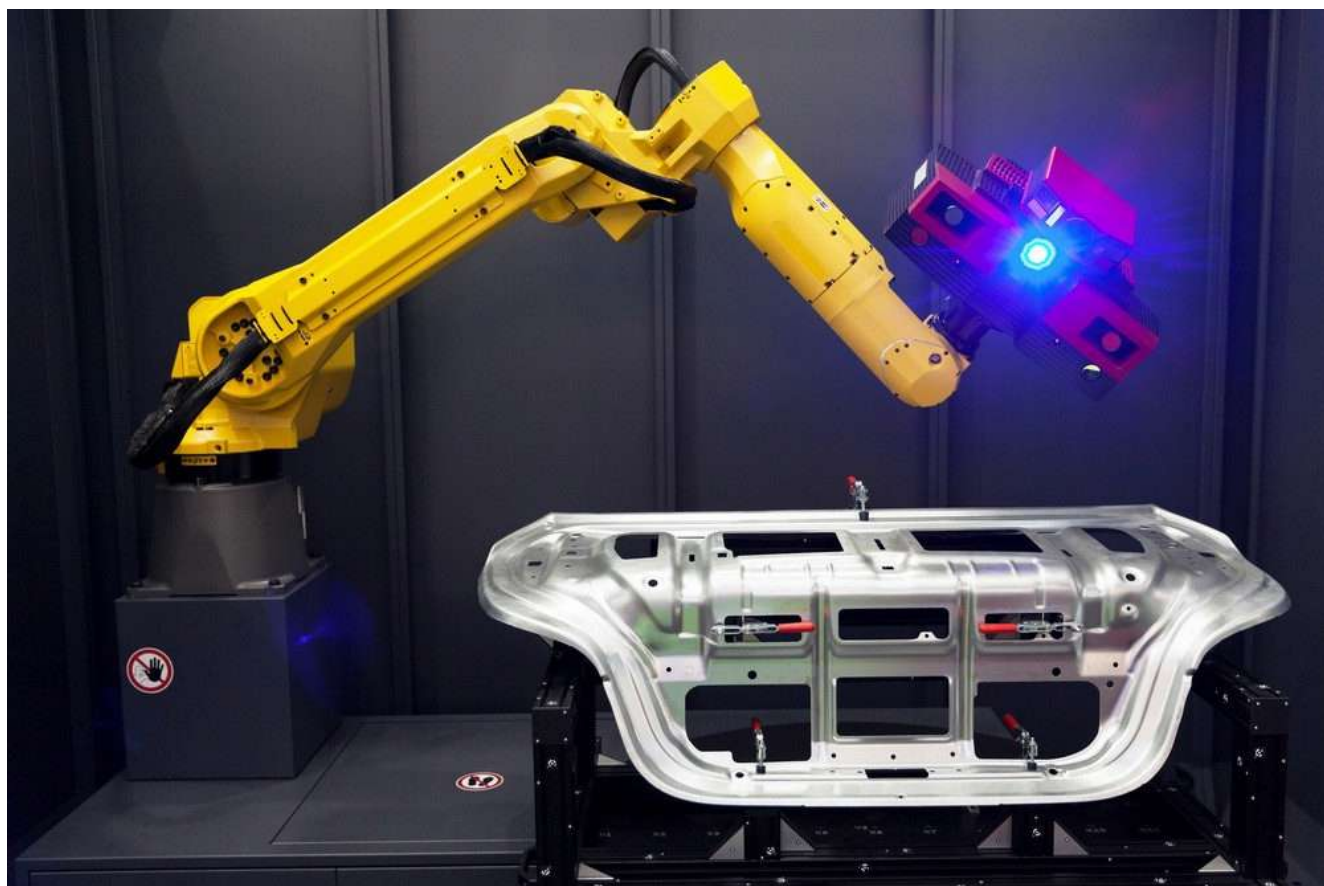


Рисунок 3.2 – Приклад застосування 3D сканування для контролю автомобільних деталей [13]

Цифрові вимірювання - високотехнологічний процес, що має низку важливих переваг у порівнянні з іншими способами перевірки. Єдиний мінус технології – у високій ціні обладнання. На великих виробництвах, за швидкої окупності, використання 3D-сканерів економічно виправдане. Розглянемо приклади: великосерійне виготовлення деталей та приладів з обов'язковою вхідною та вихідною інспекцією якості; дрібносерійне виготовлення об'єктів складної геометрії, неможливе без постійного контролю якості [13].

Ситуації, коли інші технології застосувати неможливо: робота з об'єктами із специфічних матеріалів, що деформуються при контактному способі визначення параметрів; вимірювання електронних деталей, схильних до ризику пошкодження статичною електрикою; повторні виміри об'єктів, які фізично відсутні, також можна зробити на попередньо знятій цифровій копії [13].



Рисунок 3.3 – Використання сканування у авіаційній галузі [13]

#### Контроль на різних виробничих етапах

Вхідний контроль матеріалів та деталей необхідний на будь-якому підприємстві. За великосерійного випуску продукції перевіряють вибіркові партії. Однак для цього потрібна велика кількість контролерів, що спричиняє подорожчання продукту [13].

Використання 3D-сканерів автоматизує робочий процес, виключає помилки, пов'язані з “людським фактором”, дозволяє перейти від вибіркового контролю якості до постійного, збільшує швидкість перевірки у кілька разів, порівняно з ручною працею [13].

Аналіз розташування деталей щодо один одного

У виробі, що складається з декількох деталей, важливо стежити за правильним розташуванням елементів один до одного. Технологія сканування легко фіксує положення об'єктів у просторі і передає інформацію на монітор комп'ютера [13].

Перевірка геометрії великих об'єктів [13].



Рисунок 3.4 – Використання 3D сканерів для контролю малих складнопрофільних деталей [13]

Ряд об'єктів великого розміру, таких як будівельна техніка, морський та повітряний транспорт потребують регулярного тестування геометрії корпусу. Процес тривалий і потребує пошуку фахівців із необхідною кваліфікацією та досвідом. Метрологічні 3D-сканери з легкістю справляються з оцифруванням великогабаритних об'єктів, гарантують високу точність вимірювань та економлять тимчасові та фінансові ресурси компаній [13].

Перевірка геометрії невеликих предметів [13].

Часом вимір дрібних об'єктів становить більше складності, ніж великих. 3D-сканери успішно проводять вимірювання з точністю до декількох мікронів, незалежно від розміру деталей. Відхилення форми та розмірів від базової моделі підсвічуються у програмі, що дозволяє легко помітити та усунути їх [13].

На сучасному ринку цифрового обладнання представлено десятки моделей метрологічних сканерів. Вибір пристрою починається з виявлення кола завдань, поставлених виробництвом. Перерахуємо деякі параметри, на які необхідно звернути увагу та порівняти з ключовими цілями [13]:

#### 1. Робоча область

Цілком зрозуміло, що великогабаритні об'єкти вимагають пристроїв із великою робочою областю. Звертаємо увагу, що розмір робочої області знаходиться у зворотній пропорції до дозволу. Вибираючи прилад із надмірною областю сканування, користувач може виявити недостатню точність та роздільну здатність [13].

#### 2. Точність даних

Очевидно, що у літакобудуванні та виробництві інших відповідальних деталей необхідна максимально доступна точність [13].

У реверс-інжинірингу товарів народного споживання, виробів без складної механіки, а також при використанні у створенні творів мистецтва, сувенірів, у розробці комп'ютерних ігор така точність не знайде застосування, для цих цілей немає сенсу переплачувати за сканер у десятки та сотні разів [13].

#### 3. Швидкість роботи

Цей параметр включає час калібрування і безпосереднього сканування. Для великосерійного виробництва, де 3D-сканування застосовується контролю якості, що передбачає десятки вимірів на хвилину, висока швидкість роботи є значною характеристикою. Виготовлення невеликих партій виробів та зворотна технологія менш вимогливі до швидкості роботи приладу [13].

#### 4. ПЗ

Ми рекомендуємо віддавати перевагу сканерам, які працюють з фірмовим вузькоспеціалізованим програмним забезпеченням. Необхідне для обробки сканів, якщо його немає в комплекті, може вимагати значних додаткових фінансових вкладень [13].

#### 5. Ціна

Вибираючи 3D-сканер, необхідно самостійно або за допомогою кваліфікованого фахівця співвіднести завдання користувача та можливості приладу. Немає рації переплачувати за непотрібні функції. При цьому важливо, щоб пристрій мав необхідний набір параметрів, які дадуть необхідний результат. Важливо спрогнозувати термін окупності обладнання [13].

#### Приклади 3D-сканерів для метрологічного контролю якості

Почнемо знайомство з уявленням зразка – RangeVision Pro. Пристрій офіційно схвалено як вимірювальний прилад Федеральним агентством з технічного регулювання та метрології [13].

#### Основні представники сучасних 3D сканерів.

Прилад розроблений як універсальний вимірювальний пристрій для невеликих та великих об'єктів з розміром від 30 до 1000 мм. Три робочі зони та набір змінних об'єктивів дозволяють сканеру однаково точно оцифровувати ювелірну продукцію та деталі кузовів авто [13].

Точність вимірювань забезпечується технологією структурованого підсвічування, 6-мегапіксельними камерами та оригінальними програмними рішеннями [13].



Рисунок 3.5 – Сучасний 3D сканер RangeVision Pro

ПЗ RangeVision дає можливість зшивати елементи зображення, заповнювати порожні області та вирівнювати картинки. До програми включені базові функції перевірки геометрії та проведення вимірювань. Формат вихідних файлів підтримується всіма популярними системами автоматизованого проектування та віртуального моделювання. Оновлення програмного забезпечення знаходяться у вільному доступі [13].



Рисунок 3.6 – Використання 3D сканування на IVECO

Італійський партнер Iveco та Porsche, компанія Dolsatech отримувала базові деталі з КНР, якість яких потрібно перевіряти. Звична система входного контролю

не справлялася з великим потоком виробів і мала можливості тестувати об'єкти нестандартної геометрії [13].

Для оптимізації процесу використовували 3D-сканер RangeVision PRO. Поточні технології вимірювань передбачали транспортування та складування контрольних зразків на спеціально відведених площах. Мобільність російського сканера дозволила скоротити логістичні витрати [13].

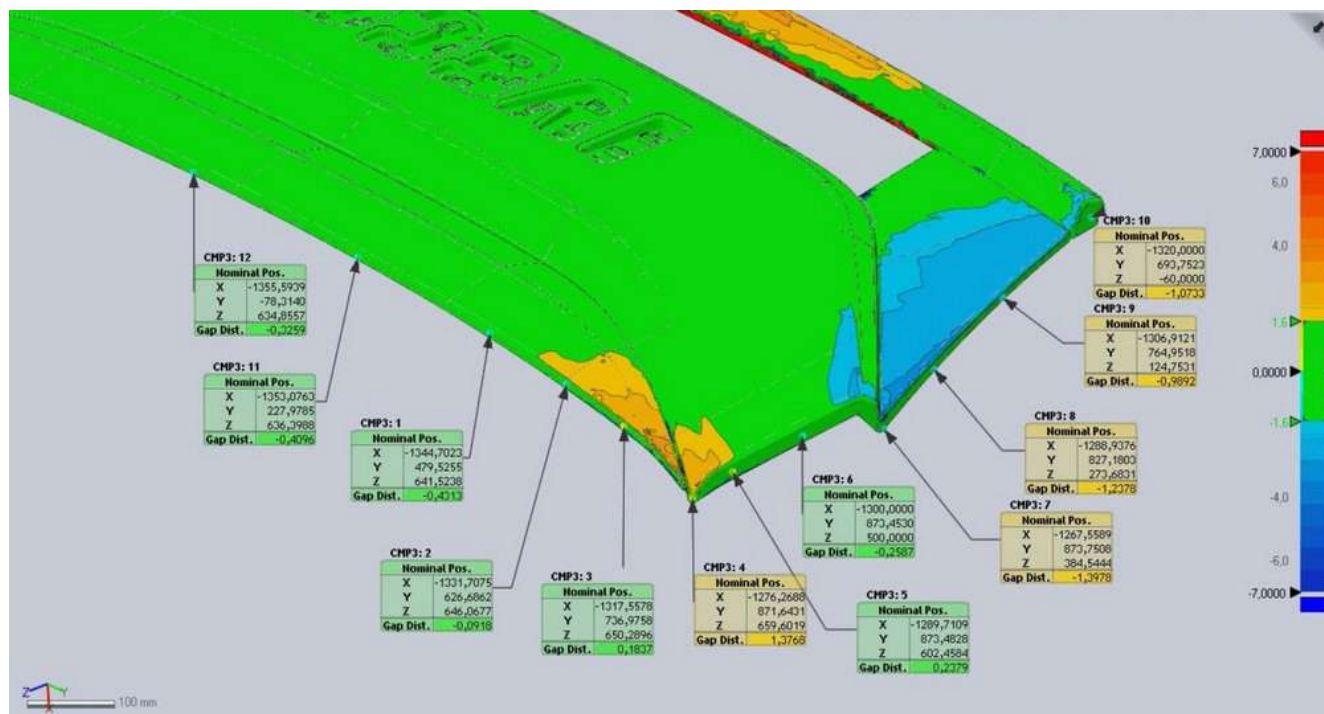


Рисунок 3.7 – Результат вимірювання

З використанням сканера зникла необхідність переміщати партії товару щодо вимірювань. RangeVision PRO працює в цехах та на складах – у будь-якому зручному місці [13].

У цьому кейсі створювали тривимірну модель деталі розміром 1700 мм - 720 мм. На деталь наклеїли стікери, які дозволили автоматично зібрати окремі зображення на єдину 3D-модель. Інформацію обробляло фірмове програмне забезпечення ScanCenter, що постачається в комплекті зі сканером [13].

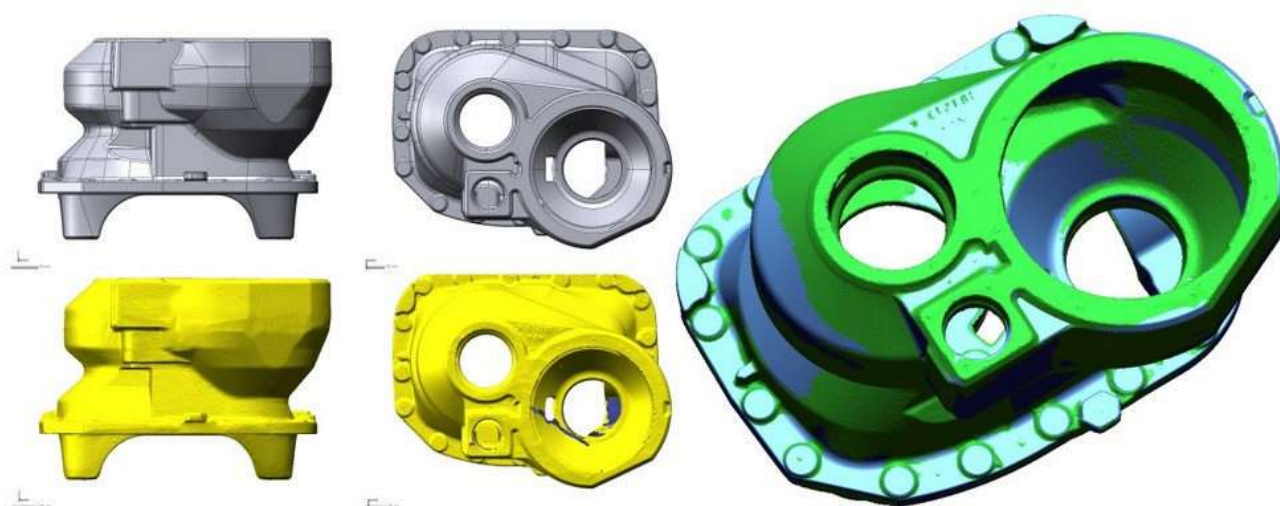


Рисунок 3.8 – Приклад використання сканування в компанії INKAY TECHNOLOGY SRL

Перед компанією INKAY TECHNOLOGY SRL з Італії стояло завдання перевірити відповідність розмірів литої деталі корпусу базової моделі, збереженої у файлі CAD. Враховуючи нестандартну геометрію об'єкта, було ухвалено рішення відмовитися від звичних технологій та використовувати 3D-сканер RangeVision [13].

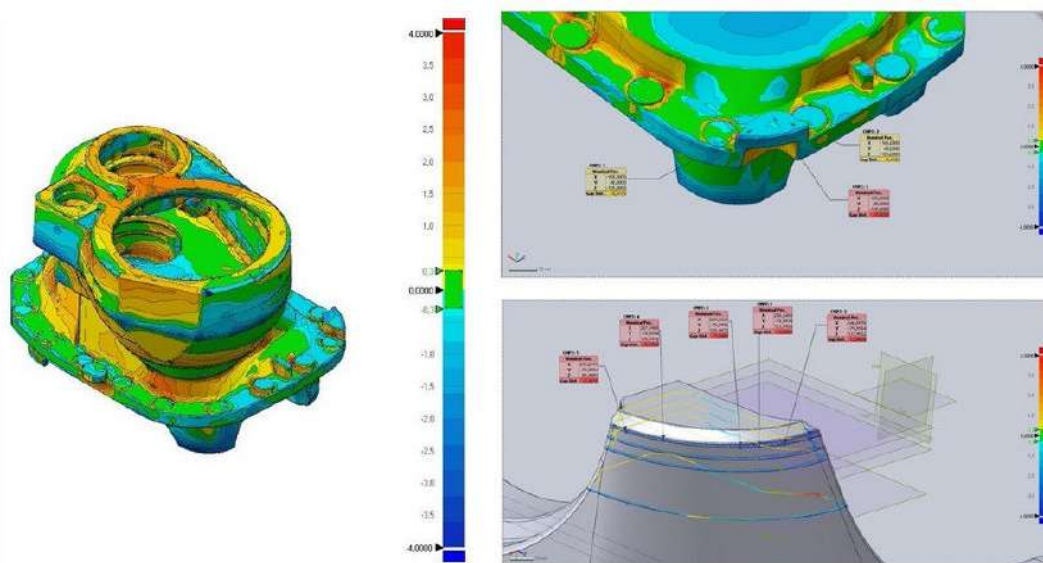


Рисунок 3.9 – Результат сканування

Роботу виконали у 3 етапи:

Створили скани зовнішньої частини корпусу з використанням маркерів для автоматичного зшивання зображення. Для сканування внутрішньої частини розділили корпус на 2 частини, кожен з яких оцифрували окремо. Пошили всі зображення у єдину модель [13].

Використання метрологічних 3D-сканерів підвищує якість продукції і знижує її собівартість за рахунок економії часу та ресурсів, мінімізації шлюбу. Автоматизація виробничих процесів шляхом включення технології 3D-сканування підвищує ефективність підприємства та його конкурентні позиції на ринку [13].

#### 4. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION. Тривимірна модель показана на рисунку 4.1.

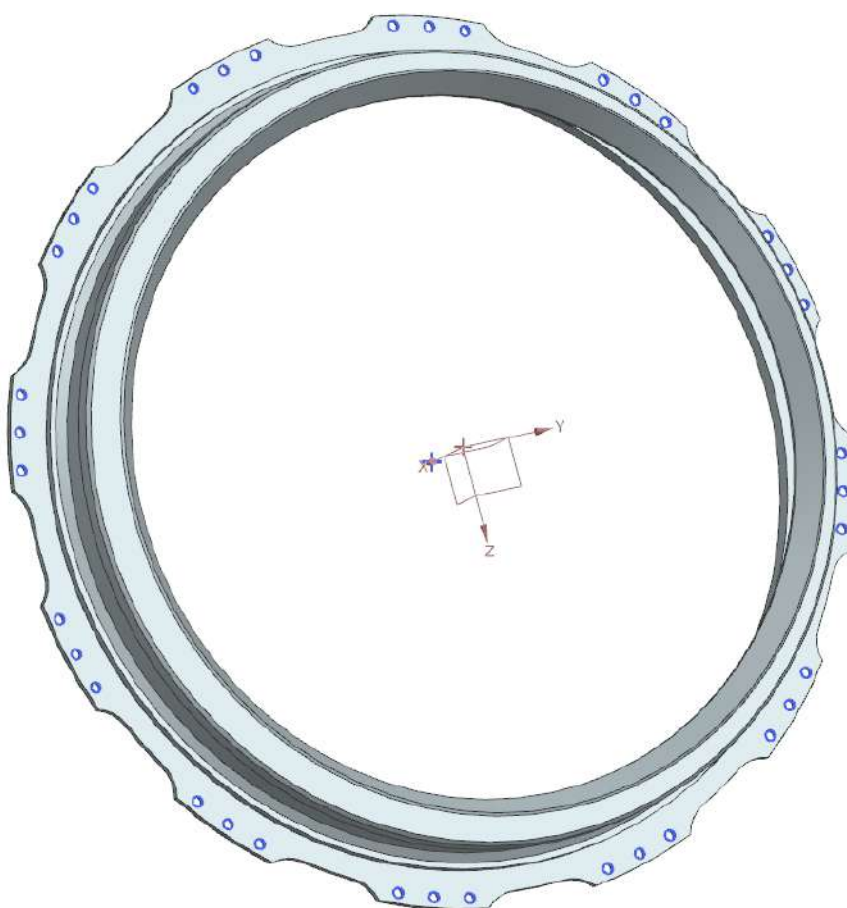


Рисунок 4.1 – Тривимірна модель завданої деталі

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі сіткою кінцевих елементів, результат показано на рисунку 4.2.

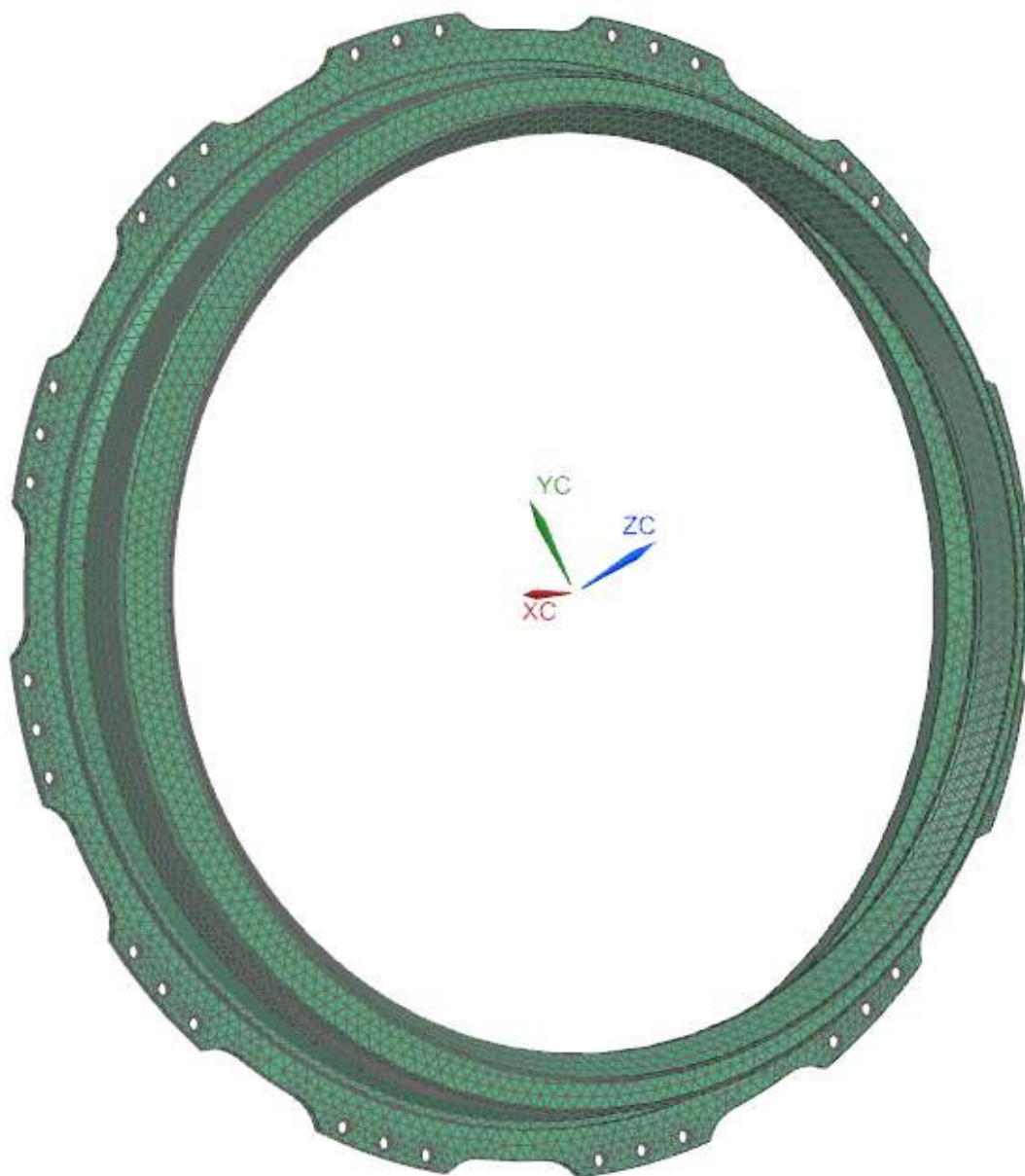


Рисунок 4.2 – Модель прохідника розбита на сітку кінцевих елементів

Другий етап виконуємо прикладення обмежень, що унеможливляють переміщення деталі у окремих напрямках (рисунок 4.3).

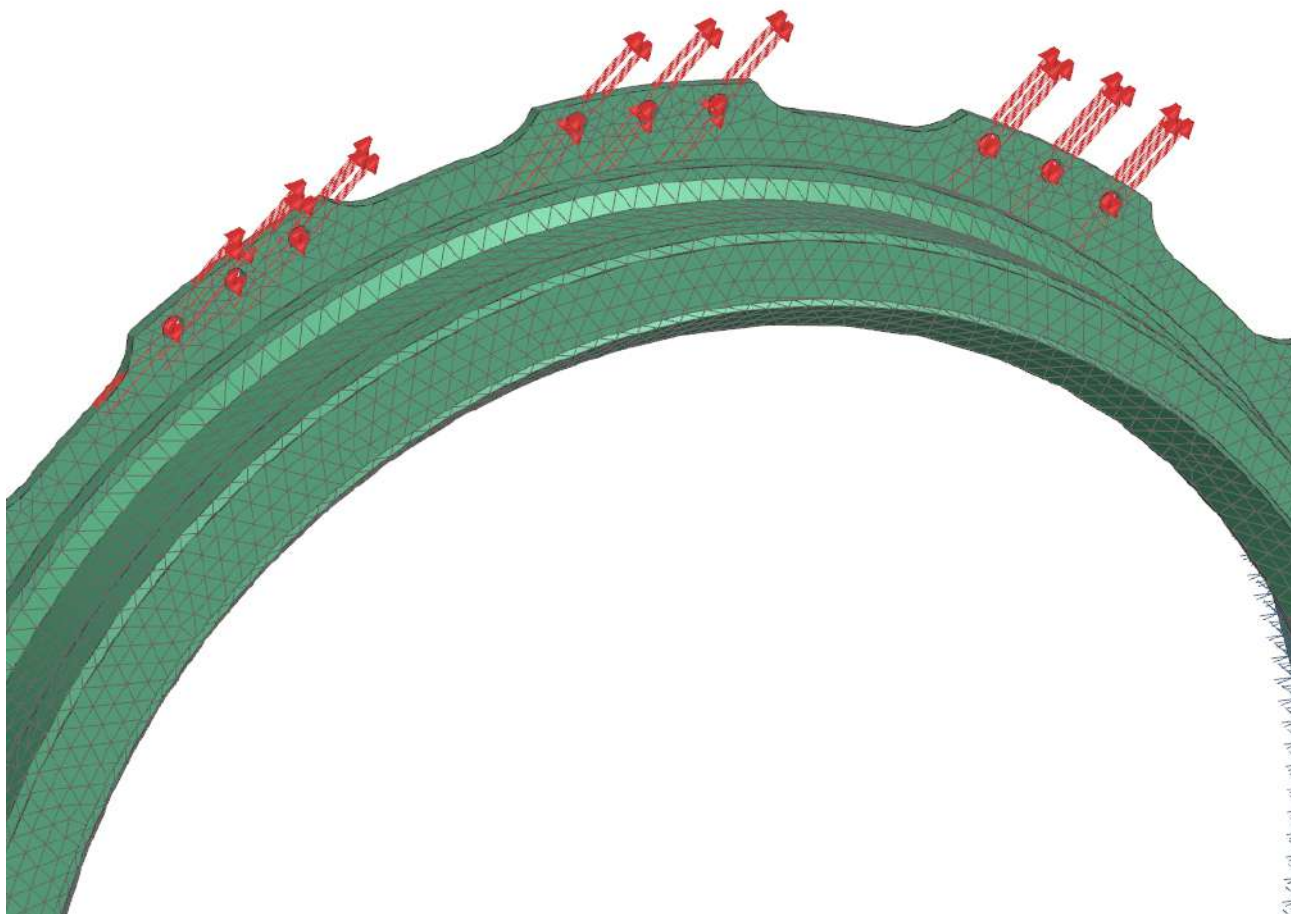


Рисунок 4.3 – Схема прикладення обмежень та навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану (рисунок 4.4).

1\_sim1 : Solution 1 Результат  
 Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1  
 Перемещение - По узлам, Величина  
 Мин. : 0.000E+00, Макс. : 3.843E-03, Единицы = mm  
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

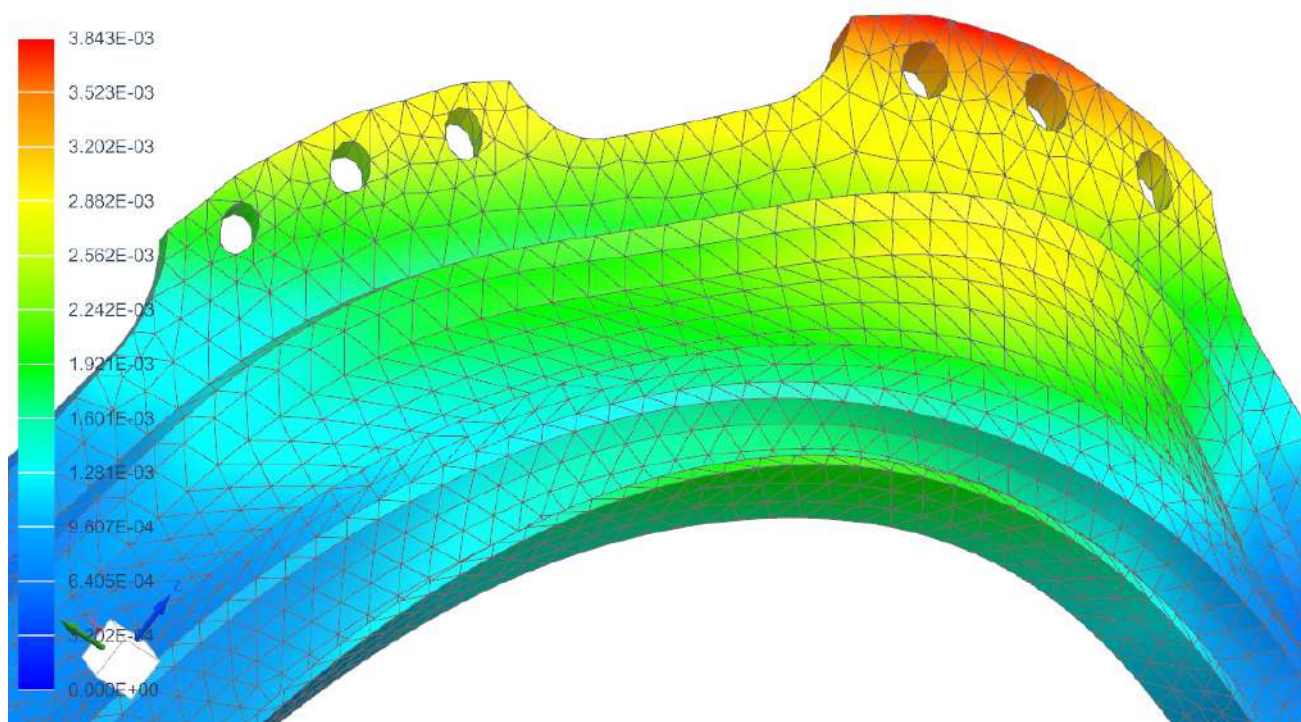


Рисунок 4.4 – Результат розрахунку напружено деформованого стану

У результаті виконаного розрахунку можна зробити висновок, що найбільш небезпечним перерізом буде гостра кромка отвору для того щоби підвищити міцність деталі необхідно виконувати її зміцнення.

## 5 ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ САПР ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Для оптимізації програм обробки на верстатах з ЧПУ доцільно використовувати програмне забезпечення VERICUT.

VERICUT – це програмний комплекс, який дозволяє виявити та усунути помилки ще на етапі проектування обробки деталі та виключити пошкодження деталі або заготовки, поломки інструменту або верстата [14].

З VERICUT оптимізує процес обробки не лише втрачаючи помилки, але й роблячи програми швидшими та ефективними. VERICUT пропонує найкращий інструментарій для аналізу та контролю даних про реальну геометрію деталі на будь-якому етапі її опрацювання [14].

Проста помилка в програмі може призвести до пошкодження деталі, інструменту, верстата або заподіяти шкоду здоров'ю оператора. Якщо ви застосовуєте верстати з ЧПУ, необхідно всерйоз задуматися про використання VERICUT [14].

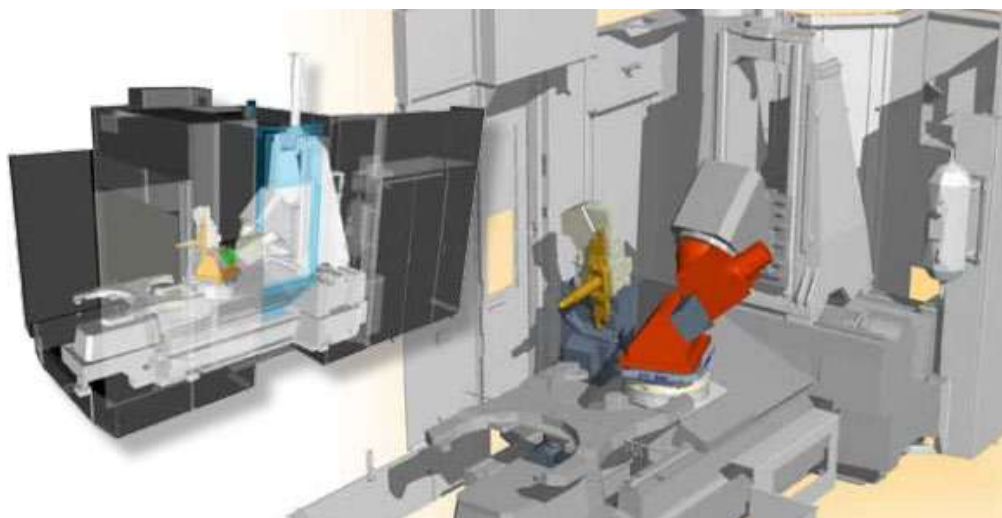


Рисунок 5.1 – Приклад виявлення дорогої помилки перед тим, як вона призвела до реальної проблеми [14].

Модульна система VERICUT дозволяє придбати тільки ті модулі, які необхідні сьогодні. Додати нові модулі просто достатньо оновити ліцензію. VERICUT підтримує платформи Windows та UNIX, 32- та 64-бітові системи та забезпечує перевірку програм у G-кодах та у форматі APT [14].

Імітуючи роботу верстата з ЧПУ на комп'ютері в повній відповідності до вашого обладнання, ви виявите помилки та приховані проблеми задовго до початку роботи безпосередньо на верстаті. Це допоможе уникнути дорогих сюрпризів [14].

Імітація роботи верстата засобами системи VERICUT дозволяє виявити зіткнення та небезпечні зближення з будь-якими компонентами обладнання, такими як напрямні, інструментальні шпинделі, револьверні головки, поворотні столи, пристрої зміни інструменту, кріпильні пристрої, заготовки, різальний інструмент, інші визначені користувачем об'єкти. Ви зможете задати межі зон небезпечного зближення з елементами, а переміщення верстатних елементів можна переглядати в покроковому режимі [14].

Бібліотека VERICUT містить численні моделі верстатів та систем ЧПУ різних виробників. Верстатні елементи можуть бути спроектовані в CAD-системі або безпосередньо у VERICUT. Для спрощення компонування вузлів та управління кінематичними схемами верстата передбачено “дерево компонентів” [14].

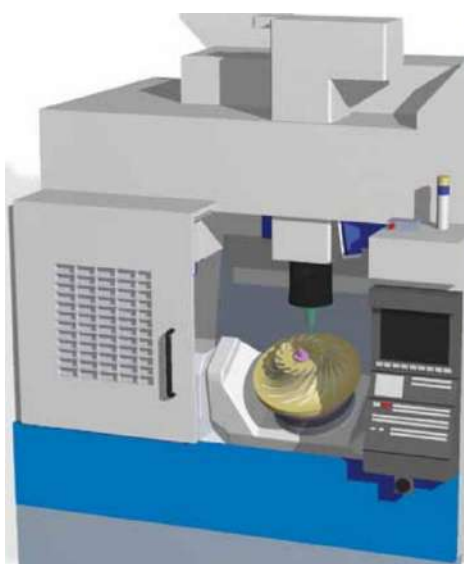


Рисунок 5.2 – Симуляція роботи верстата [14]

VERICUT дозволить вам запобігти аваріям та простоям верстатів ЧПУ, скоротити терміни впровадження нового обладнання, наочно уявити результат роботи програми, що управляє, підвищити ефективність процесу обробки, безпека роботи на верстаті, якість створюваної документації, навчити програміста та оператора, не займаючи верстат та виключивши ризик аварії [14].

Можливості модуля Machine Simulation: Багатоосьова фрезерна, токарна, токарно-фрезерна, електроерозійна обробка. Одночасна обробка кількома шпинделями (Різним інструментом). Підтримка багатоканальних синхронізованих програм ЧПУ. Завдання бабки, люнета, уловлювача деталей, пристрої подачі дроту, автоматичної зміни палет та і т.д. Автоматична подача деталі в протишпиндель або захоплююче пристрій. Підтримка форматів IGES, STL та ін [14].

Виключає небезпеку пошкодження верстата, різального інструменту або шліфувального круга. Інтерфейс модуля розроблений спеціально для візуалізації багатоосьового заточування ріжучого інструмент. VERICUT виявляє виходи за межі робочої зони, зіткнення та небезпечні зближення [14].

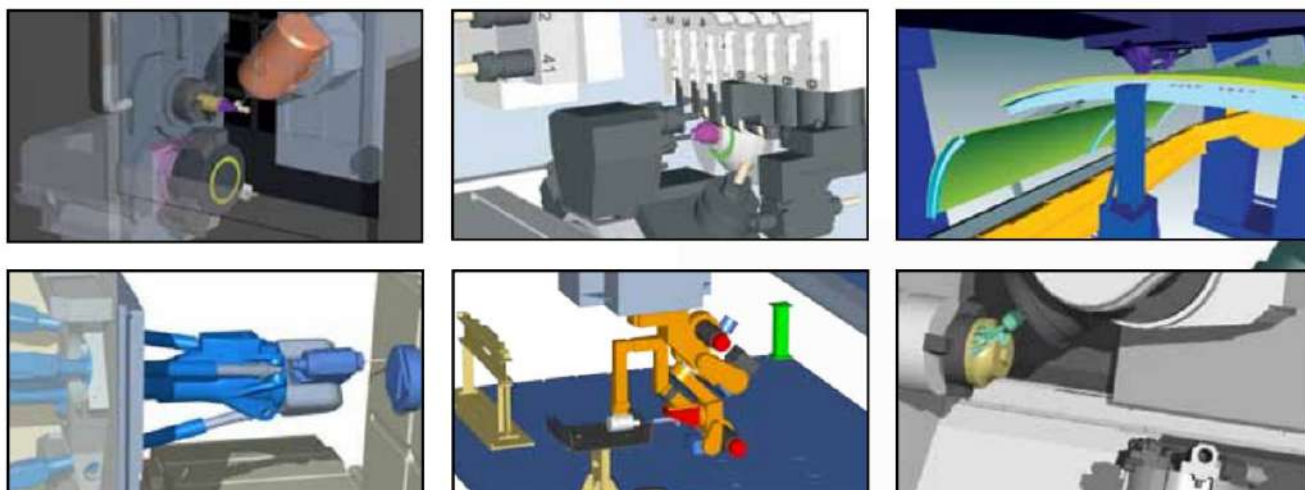


Рисунок 5.3 – Інструменти для візуалізації складних операцій [14]

Нові методи механообробки та складні функції систем управління вимагають ширших можливостей імітації. VERICUT підтримує автоматичну

передачу деталі між кріпильними пристроями, токарно-фрезерні центри з багатоканальною обробкою, системи ЧПУ з програмуванням орієнтації осей інструменту за векторами I,J,K, токарні операції зі змінною віссю обертання, верстати з паралельною кінематичною схемою типу Tricsept, багатоосьові верстати для гідроабразивного різання та ін [14].

Бази знань з обробки VERICUT дозволяє створювати та використовувати бази знань з механообробки. При моделюванні обробки система вибирає з бази необхідні значення глибини, ширини та кута різання. Розбивши траєкторію різання на сегменти та враховуючи кількість матеріалу, віддаленого на кожному з них модуль OptiPath призначає оптимальну подачу. У результаті VERICUT формує нову програму, геометрично ідентичну початковій, але з зміненими значеннями подач [14].

Простота налаштування та використання Для встановлення режиму обробки використовується Майстер налаштування інструмента. При першому введенні даних вони зберігаються у бібліотеці оптимізація. Надалі при використанні цього ж інструменту з бібліотеки буде взято оптимальні для нього режими. Для створення бібліотеки оптимізації також існує «режим навчання» без введення параметрів. Для кожного інструменту OptiPath вибирає максимальне значення об'єму матеріалу, що видаляється, і товщини стружки, використовуючи їх у як критерії оптимізації. Оптимізація чорнової обробки [14].

Ціль чорнової обробки – видалити якомога більше матеріалу за менший час. OptiPath підтримує максимально безпечний режим роботи інструменту для різних умов різання. Наприклад, при площинний чорновий обробці конструктивного авіаційного елемента з алюмінію матеріал можна видалити з постійною глибиною різання, а ширина різання може при цьому суттєво змінюватися від проходу до проходу. OptiPath змінює подачі, щоб підтримувати постійний об'єм матеріалу, що видаляється [14].

Оптимізація чистової обробки. При чистовій обробці товщина стружки зазвичай залежить від геометрії, що залишилася після чорнових проходів. OptiPath дозволяє оптимізувати швидкість подачі таким чином, щоб забезпечити постійну

товщину стружки. В результаті підвищуються ресурс ріжучого інструменту та чистота обробки. Це особливо важливо при обробці сферичними фрезами або контурної обробки з малим припуском - наприклад, при напівчистовій чи чистовій обробці формотворних. Постійна товщина стружки, що знімається, рекомендована і виробником ріжучого інструменту для уникнення ефекту "chip thinning" [14].



Рисунок 5.4 – OptiPath пропонує «режим навчання» для легкого створення оптимізованих програм ЧПУ без введення даних [14].

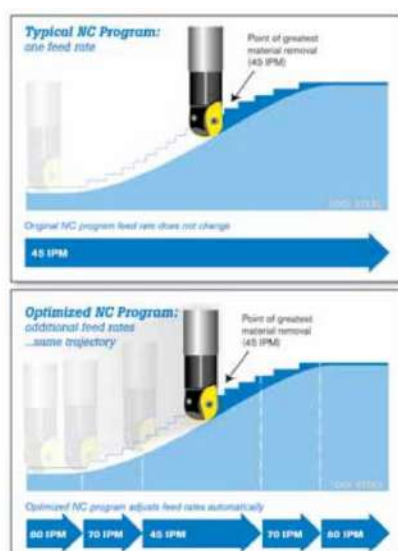


Рисунок 5.5 – Приклад застосування модуля OptiPath [14]

Якщо при видаленні інструментом великого обсягу матеріалу швидкість подачі потрібно зменшити, то при видаленні меншого обсягу її відповідно можна збільшити. Виходячи з кількості матеріалу, віддаленого на кожній ділянці різання, OptiPath автоматично обчислює та задає нові швидкості подачі там, де це необхідно. Модуль записує у нову програму ЧПУ оптимальні значення подач, не змінюючи вихідну інструменти траєкторії [14].

Переваги OptiPath. Більш ефективна обробка, більша кількість деталей за один і той самий час! Скорочення машинного часу збільшує продуктивність та прискорює вихід продукції ринку. Економія – підвищення продуктивності за рахунок зменшення часу обробки може заощадити значні кошти. Поліпшення якості обробки постійне зусилля різання сприяє меншому віджиму інструменту або призводить до постійного віджиму. Тим самим забезпечується найкраща якість чистової обробки в кутах, на ребрах та на ділянках сполучення поверхонь. У свою чергу це скорочує обсяги ручного доопрацювання деталей. Збільшення ресурсу інструменту. Оптимальні режими різання збільшують термін служби інструменту. В результаті різальний інструмент або пластини змінюються рідше [14].

Зменшення зносу верстата. Постійне зусилля різання зменшує змінні навантаження на двигуни приводів та забезпечує м'якшу роботу верстата. Оптимальне використання часу. Оператори можуть працювати з кількома верстатами одночасно: вони не прив'язані до одного верстату, де вручну коригують подання [14].

Високошвидкісна механообробка характеризується великими подачами, малою глибиною та шириною різання та дозволяє значно скоротити машинний час. Велика глибина різання дозволяє видалити матеріал більш ефективно, але супроводжується значними навантаженнями на інструмент, що може призвести до перевищення допустимої потужності різання та поломки інструмент [14].

OptiPath відстежує кількість матеріалу, що видаляється, та коригує подачі, підтримуючи постійну товщину стружки. Це дозволяє не тільки забезпечити більше ефективну механічну обробку, але й захистити верстат та інструмент від поломки [14].

У VERICUT Verification пошук програмних помилок та перевірка точності виготовлення деталей здійснюються легко та просто! Чудова швидкодія. Завдяки унікальним алгоритмам VERICUT забезпечуються швидкі та точні результати, при цьому зі збільшенням числа проходів продуктивність системи не знижується. Таким чином, VERICUT дозволяє працювати з керуючою програмою, що містить мільйони кадрів обробки та практично будь-які типи [14].

Дерево проекту дозволяє здійснювати перегляд та налаштування всіх установ деталі. Кожному з них відповідає свій верстат, кріпильні пристосування, інструменти, УП та параметри імітації. Деталь автоматично орієнтується за її подання від установ до установи [14].



Рисунок 5.6 – Дерево побудови модуля VERICUT Verification [14]

Контроль та вимірювання Масштабування, поворот, поперечне переріз заготівлі. Вимірювання товщин, обсягів, глибин, зазорів, відстаней, кутів, діаметрів отворів, кутових радіусів, висот гребінців тощо. Підтримка систем ЧПУ VERICUT Verification підтримує більшість стандартних функцій систем ЧПУ і може легко їх

модифікувати: Функції роботи з поворотними осями; Корекція на радіус інструменту; Підтримка різних методів компенсації довжини інструменту; верстатні цикли та реєстри прив'язки деталі на верстаті; Змінні, підпрограми, макрокоманди, програмні цикли, умовні чи безумовні переходи [14].

Типи, що підтримуються обробки Тріхосіве фрезерування; П'ятиосьове фрезерування; Токарна обробка; Інструменти з кількома ріжучими кромками; Обробка з декількома установками та операціями [14].

Модуль Vericut Reviewer Модуль Vericut Reviewer включає всі можливості режиму NC Reviewer в автономному браузері керуючих програм. Цей модуль не вимагає ліцензії. Модуль дозволяє переглядати керуючу програму у прямому та зворотному напрямку з видаленням та відновленням матеріалу. Ви можете крутити, зміщувати та збільшувати заготовку, як у звичайному Vericut. Крім того, у модулі можна виробляти вимірювання, використовуючи все стандартні інструменти X-каліпер. Файл "Reviewer" можна зберегти у будь-який момент симуляції керуючої програми у Vericut [14] .

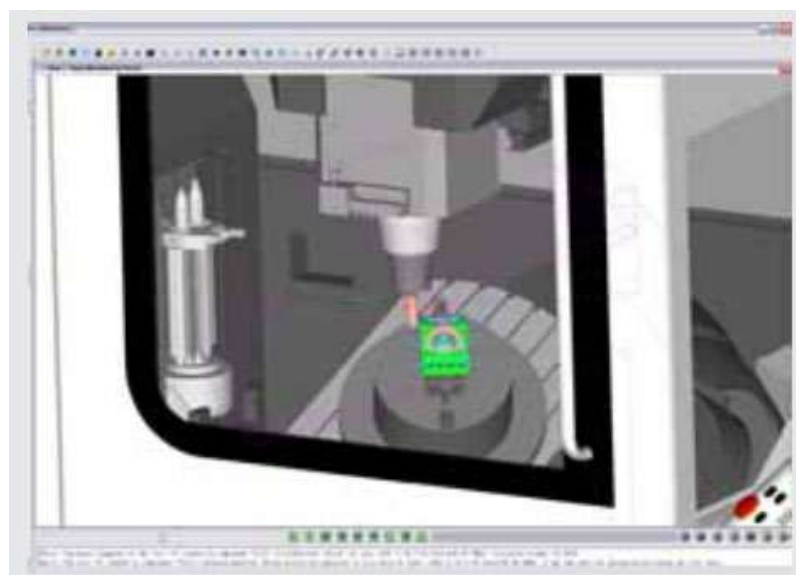


Рисунок 5.7 – Приклад використання модуля Модуль Vericut Reviewer[14]

Через складність деталей та збільшення числа одночасно керованих осей, збільшується ризик виникнення помилок програмування. Модуль Multi-Axis

дозволяє перевірити програму та імітувати видалення матеріалу при: багатоосьовому фрезеруванні (то є із зміною орієнтації осі інструменту); VERICUT є ідеальним середовищем для створення вимірювальних циклів у програмах ЧПУ, оскільки тільки він працює з реальною геометрією деталі у процесі обробки [14].

Завдяки візуалізації програмування вимірювальних операцій перестає бути головним болем. VERICUT може відтворювати логіку вимірювального циклу, показати незапрограмований дотик вимірювальної головки та оброблюваної деталі - це дозволить своєчасно виявити зіткнення, захистити вимірювальний датчик і головку від пошкоджень через помилок програмування [14].

VERICUT візуалізує вимірювальні цикли чи підпрограми зі складною логікою, у тому числі у форматі Type II, для подальшої корекції та прийняття рішень за результатами вимірів. синхронізації переміщень кількох незалежних різальних головок або пристроїв багатоосьових токарно-фрезерних або багатошпиндельних верстатів [14].

VERICUT дозволяє формувати карти контрольних вимірів та іншу документацію на основі даних про реальну геометрію деталі в процесі обробки. У результаті це забезпечує економію часу та підвищує точність обробки.

При формуванні документів у VERICUT можна використовувати шаблон, що гнучко налаштовується під Вимоги підприємства. Крім того, створювати документи в VERICUT легко та зручно завдяки використанню 3D-моделі заготовлі/деталі для інтерактивного вибору вимірюваних елементів При формуванні звітів VERICUT визначає ці елементи та оцінює їх розміри за заданими допусками [14].

Існує можливість вибрати тип вимірювального інструменту зі списку та додати будь-які команди. Зображення в картах вимірів, створених у VERICUT, можна супроводжувати розмірами та позначками, які також можуть бути внесені до звітів. Усі документи, створені у VERICUT, можна зберегти у форматах HTML та PDF [14].

Застосовуючи VERICUT CNC Machine Probing, ви будете впевнені, що при виконанні всіх робіт, наведених нижче, не станеться пошкодження вимірювального

датчика та верстата: Визначення положення заготівлі або кріпильного пристрою; Вимірювання та коригування відхилень від геометрії заготівлі; Ідентифікація заготівлі або кріпильних пристроїв; Виміри для визначення коректорів для інструменту та кріпильного пристосування; Візуалізація циклів вимірювань для інструментів; Контроль оброблених елементів [14].

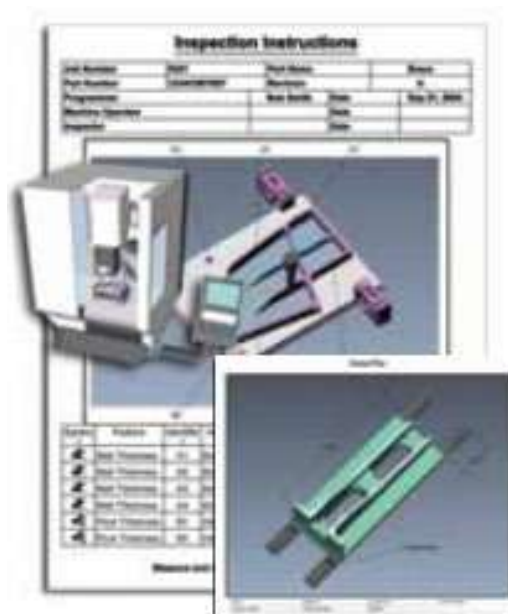


Рисунок 5.8 – Формування карти вимірів [14]

Модуль AUTO-DIFF. Модуль AUTO-DIFF дозволяє виявити зарізи та зайвий матеріал шляхом порівняння конструкторської моделі з моделлю обробленої деталі [14].

До передачі деталі у виробництво її конструкторська модель проходить різні служби та відділи, а також різні CAD/CAM-системи [14].

В результаті виникають сумніви, що деталь, що вийшла з-під верстата, точно відповідатиме задуму конструктора. З AUTO-DIFF можна бути на 100% впевненим у абсолютній відповідності. VERICUT дозволяє порівняти конструкторську модель (твердотільний, поверхневий або в хмарі точок) з моделлю обробленої деталі щодо розбіжностей у геометрії [14].

Якщо інструмент зробив заріз, VERICUT підсвітить це місце на деталі та зробить запис про помилку. Для наочності можна призначити різні кольори для конструкторської моделі, заготовлі або необроблених місць, а також задати свій колір для різних значень відхилень геометрії обробленої деталі від вихідний [14].

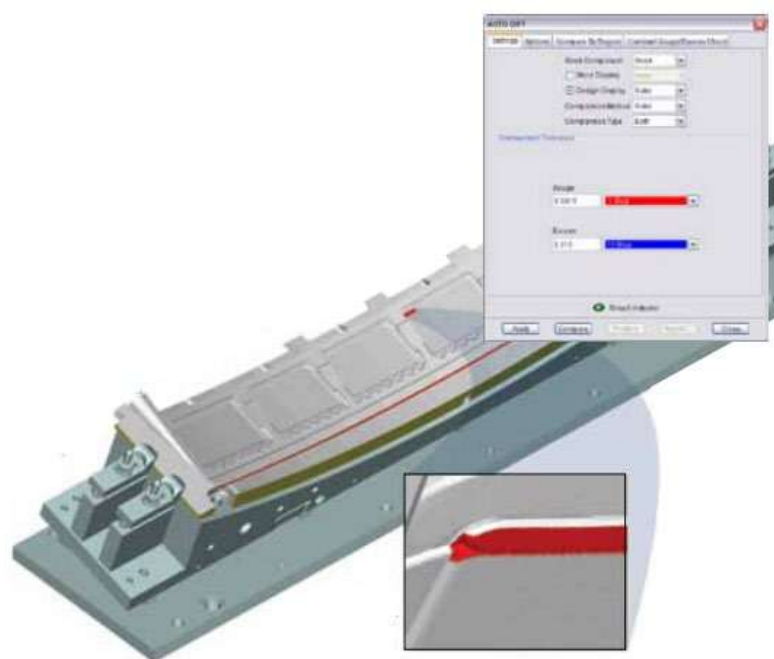


Рисунок 5.9 – Модуль AUTO-DIFF показує наявність зарізів [14]

Інструменти аналізу Базовий модуль Verification забезпечує можливість перегляду та аналізу геометрії обробленої деталей. При цьому можна створити необмежену кількість розрізів з будь-якою орієнтацією. Це дозволяє перевірити області, які неможливо побачити на твердотільній моделі (наприклад, перетин отворів) [14].

Існуючий VERICUT інструмент X-Caliper™ дозволяє виконувати вимірювання товщин, об'ємів, глибин, зазорів, відстаней, кутів, діаметрів отворів, радіусів у кутах, висоту гребінця. X-Caliper™ також забезпечує можливість підсвічування геометричних елементів, вибраних користувачем. Можна переглянути і виміряти всі зіткнення інструменту - навіть після того, як операція обробки видалено з екрану [14].

VCP (рішення для програмування намотування композитних матеріалів) читає CAD-поверхні, межі шару та додає матеріал для заповнення шарів відповідно до заданих користувачів виробничими стандартами та вимогами [14].

Траєкторії викладки пов'язані між собою спеціальними послідовностями розміщення та виводяться у вигляді програм ЧПУ для автоматизованої машинної розкладки [14].

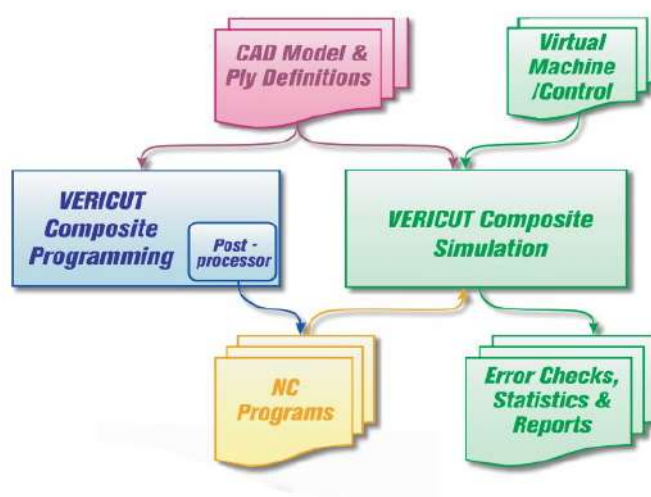


Рисунок 5.10 – Структура модуля VERICUT Composite Programming (VCP) [14]

VCS (програма для стимуляції процесу намотування композитних матеріалів) читає CAD-моделі та керуючі програми та імітує на віртуальній машині послідовність програм ЧПУ. Матеріал викладається на форму за керуючою програмою у віртуальному середовищі моделювання з ЧПУ. Викладений матеріал можна виміряти та перевірити відповідно до вимог виробничих стандартів, а звіти із зазначенням результатів моделювання та статистичною інформацією можуть формуватись в автоматичному режимі [14].

VERICUT читає моделі CATIA V5 та ACIS: Інші формати – за запитом. Підтримується імпорт у форматах FiberSim, CATIA V5 та інших таких даних: Кордонів геометрії; Напрямків шарів; Початкових точок. Поеднання траєкторій викладки дозволяє створювати послідовні технологічні процеси: Автоматично та

вручну зв'язати шляхи на основі найкоротшої відстані; Винести безпечні рухи відходу та підходу [14].

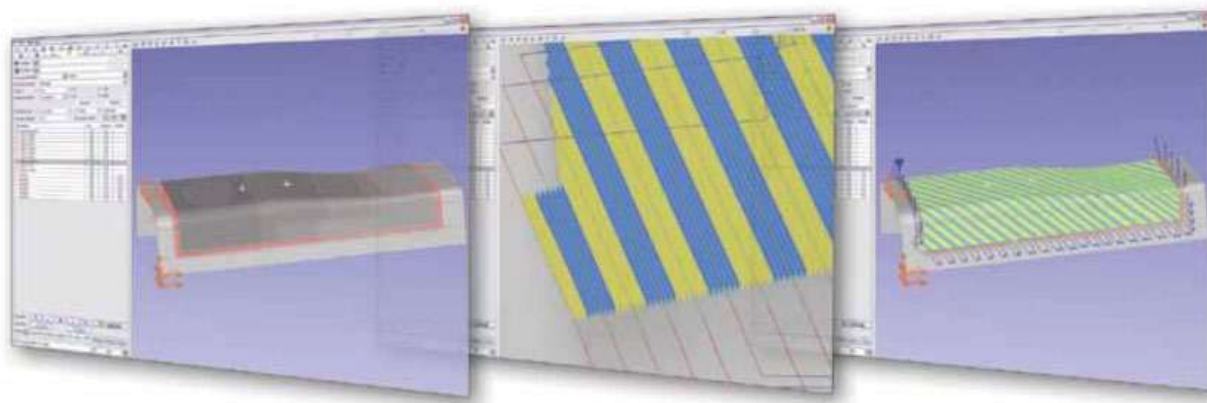


Рисунок 5.11 – Приклад використання файлів з інших програм [14]

Програма читає CAD-розкладку геометрії: це використовується для виявлення зіткнень та композитного матеріалу [14].

VERICUT містить численні моделі верстатів та систем ЧПУ різних виробників: Розкладка може бути налаштована для практично будь-якого верстата з ЧПУ з будь-якою кінематикою та конфігурацією [14].

Читаються керуючі програми та симулюється процес викладення матеріалу: перевіряється фактична програма, яка буде працювати на устаткуванні; матеріал розкладається у формі на основі команд з керуючої програми і при цьому додається дискретно, формуючи виріб як і, як у реального фізичного процесу [14].

## 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

При проектуванні технологічного процесу виготовлення зовнішнього корпусу було застосовано заміну застарілого обладнання токарного верстату АТПр800 на більш високопродуктивний токарний верстат з ЧПК SLANT TURN 800.

Визначимо такт випуску [14]:

$$\tau = \frac{F_d \cdot 60}{\Pi} = \frac{4015 \cdot 60}{1000} = 240,9_{\text{хв}};$$

Визначимо необхідну кількість обладнання за обома варіантами:

$$\eta_{\text{АТПр800}} = \frac{t_{\text{шт.к}}}{\tau} = \frac{41,4}{240,9} = 0,17 \approx 1$$

$$\eta_{\text{SLANT TURN 800}} = \frac{t_{\text{шт.к}}}{\tau} = \frac{35,2}{240,9} = 0,15 \approx 1$$

Визначимо норми витрат по статтях собівартості. Приймаєм розряд робочого 5-й  $Z_T=1,293$ . Приймем коефіцієнт перевиконання норми  $K=1,2$  грн/хв і одержимо  $Z_p=Z_T \times K_n=1,293 \times 1,2=1,36$  грн/хв [15].

Витрати на електроенергію АТПр800  $N=30$ кВт, SLANT TURN 800  $N=20$ кВт. Для серійного виробництва коефіцієнт з потужності  $K_1=0,7$  та по часу роботи  $K_2=0,7$ . Вартість 1 кВт електроенергії приймаємо  $C_e=1,68$ грн [16].

$$E_{\text{АТПр800}} = \frac{30 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,41 \text{грн};$$

$$E_{\text{SLANT TURN 800}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,27 \text{грн}$$

Витрати на амортизацію обладнання, ціна верстату АТПр800 Ц=10000грн,  
ціна верстату SLANT TURN 800 Ц=8000грн.

$$\begin{aligned}\sum A_{\text{АТПр800}} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 10000}{100} = 1725 \text{грн} \\ A_{\text{АТПр800}} &= \frac{1725 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,72 \text{грн} \\ \sum A_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 8000}{100} = 1381 \text{грн} \\ A_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{1381 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,57 \text{грн}\end{aligned}$$

Витрати на обслуговування

$$\begin{aligned}\sum O_{\text{АТПр800}} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 10000}{100} = 57,5 \text{грн} \\ O_{\text{АТПр800}} &= \frac{57,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,02 \text{грн} \\ \sum O_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 8000}{100} = 46 \text{грн} \\ O_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{46 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,019 \text{грн}\end{aligned}$$

Витрати на ремонт обладнання

$$\begin{aligned}\sum P_{\text{АТПр800}} &= \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 10000}{100} = 5175 \text{грн} \\ P_{\text{АТПр800}} &= \frac{5175 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 2,15 \text{грн} \\ \sum P_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 8000}{100} = 4140 \text{грн} \\ P_{\text{SLANT TURN 800}} &= \frac{4140 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 1,72 \text{грн}\end{aligned}$$

Визначимо технологічну собівартість для кожного з варіантів

$$C_{\text{АТПр800}} = 1,36 + 0,41 + 0,72 + 0,02 + 2,15 = 4,66 \text{ грн}$$

$$C_{\text{SLANT TURN 800}} = 1,36 + 0,27 + 0,57 + 0,019 + 1,72 = 3,94 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект

$$E = (C_{\text{АТПр800}} - C_{\text{SLANT TURN 800}}) \cdot \Pi = (4,66 - 3,94) \cdot 1000 = 720 \text{ грн}$$

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.1 Аналіз потенційних небезпек

Метою даного розділу є розробка попереджувальних заходів запобігання виробничого травматизму, професійних захворювань, шкідливого впливу на навколишнє середовище, які є потенційно можливими в механічного цеху. Під час роботи можливі наступні потенційні небезпеки [17]:

1. травмування частиною верстатів які рухаються при необережності чи низькій кваліфікації робітника [17]
2. механічне травмування яке є наслідком порушення правил інструкцій, які зазначені в правилах експлуатації на кожний верстат [17];
3. Механічні травми внаслідок організаційних причин:
  - а) нераціонального планування робочого місця; в наслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам;
  - б) захащення заготовками і деталями робочого місця;
  - в) травми та пошкодження шкіряного покриву при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей;
  - г) пошкодження шкіряного покриву рук гострити кромками, шорохатістю на поверхні заготовок, інструменту, обладнання, відходів при роботі без рукавиць [17].
4. різноманітні порізи та травми можливі при порушенні правил безпеки при виконанні операцій точіння без спеціального захисного одягу.
5. ураження електричним струмом може призвести до електротравм або летального наслідку, крім того стати причиною возгорання. Причиною небезпеки може стати порушення правил поведінки з електроприладами.
6. під час токарної обробки деталей без захисних окулярів або щитків для захисту обличчя можливе травмування очей пиловими частками або стружкою, що відлітає .
7. неувважність персоналу під час ходьби по території цеху та заводу також може привести до травм різного ступеню важкості.

8. нервово-психічні навантаження в наслідок монотонного виконання однотипної роботи, призводить до захворювань загального характеру [17].

9. постійне навантаження на зір під час обробки деталей, читання креслень та іншої документації призводить до погіршення зору [17];

10. Підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу значної кількості верстатів, призведе до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках - до погіршення слуху [17].

11 Вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

12. Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей [17].

## 7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для попередження виникнення травм в механічному цеху найголовнішим є постійне дотримання нормативно-правових актів України та розроблених згідно їх вимог організаційних заходів безпеки. Для концентрації уваги усіх осіб, що перебувають на території цеху передбачені надписи і плакати відповідно «Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118) [17].

Для виключення механічних травм в цеху передбачено раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення». Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5метри, що дає можливість безпечно та комфортно перемішувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі – гарантує швидку евакуацію людей. Розміру верстатів та технологічні особливості

визначають розмір простору навколо верстатів, але раціональним є відстань не менше – 0,9...1,5 м [18].

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м, яке відповідає вимогам ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні». На ділянці, що проектується, передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. Вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається, це відповідає правилам безпеки при переміщенні вантажу.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ПУЕ («Правила устрою електроустановок») [19].

НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» визначено, що електробезпека можлива лише у випадку застосування електрообладнання, що має захисне заземлення, а величина опору захисного заземлення приміщення – 4 Ом.

Категорія приміщення, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови электроустановок. Электрообладнання специальных установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога) [20].

Для всіх працівників необхідним є проходження навчання відповідно вимог, що зазначено в НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці з усіма працівниками, які приймаються на постійну або тимчасову роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи та посади; первинний - перед початком роботи безпосередньо на робочому місці з працівником його безпосереднім керівником. Повторний інструктаж проводиться на робочому місці індивідуально з окремим працівником або групою

працівників, які виконують однотипні роботи, 1 разу на 3 місяці на роботах з підвищеною небезпекою та 1 раз на 6 місяців для інших робіт [21].

Обслуговування універсальних верстатів з елементами ручного керування пов'язане з тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі, статичним навантаженням, напруженням уваги, що в свою чергу, призводить до підвищеної втоми та нервово-емоційного напруження. Тобто під час роботи людина постійно відчуває енергетичне та інформаційне напруження.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

### 7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці») [22].

Метеорологічні умови на дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії Па – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату: [23].

- у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%;

швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с;

- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%;

швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5% [24].

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочій поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітленні на дільниці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин [25].

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що створює рівень шуму, більший за нормативно допустимий (понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників. [26].

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги». [26].

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту ( НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

#### 7.4 Проектування адміністративного приміщення

Для комфортної роботи з високим рівнем працездатності робочі місця повинні бути організовані з урахуванням нормативних документів та рекомендацій промислового дизайну. На самперед враховано, що є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи інженерно-технічного складу у підвалах та цокольних поверхах. План виробничого приміщення з робочими місцями технологів наведений на рис. 7.1.

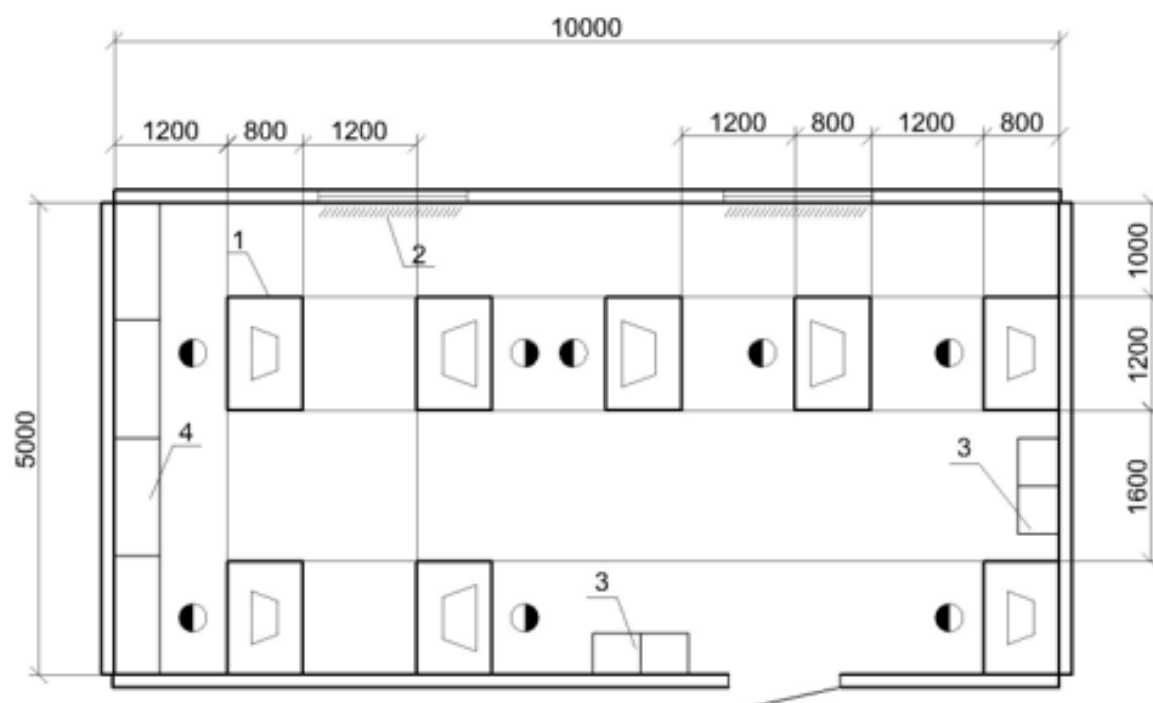


Рисунок 7.1 - План технологічного бюро з комп'ютеризованими робочими місцями: 1- робоче місце; 2- сонцезахисні жалюзі; 3- шафи для зберігання технічної документації; 4- шафи для зберігання фахової літератури.

Оскільки площа приміщення становить  $S_{ДР} = 50,0 \text{ м}^2$ , а площа, на якій розташовується одне робоче місце, яке оснащено персональним комп'ютером, повинна становити не менше  $6,0 \text{ м}^2$ , згідно вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями», то в даному приміщенні можна розмістити щонайбільше вісім робочих місця, що оснащені комп'ютерами для виконання технологічного завдання. Такої кількості достатньо для технічного переоснащення виробництва та ефективної роботи фахівців.

Проаналізуємо, чи відповідають такі умови нормативу щодо мінімального об'єму приміщення на одне робоче місце з ПК, згідно якого мінімальний об'єм становить  $20 \text{ м}^3$ . Якщо висота приміщення 4 метра, об'єм приміщення становить  $200 \text{ м}^3$ , а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце -  $V_{P.M} = 25 \text{ м}^3$ . Таким чином норматив щодо об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ виконується.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м і становить 1,6 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м для більш комфортних умов становить 1,6 метра.

Робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкраще розмістити робочі місця в два ряди вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу за рахунок природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору працівників зменшити навантаження на зір та покращити загальні умови праці.

### 7.5 Заходи з пожежної безпеки

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, ломы, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння.

Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів[9].

Заходи з пожежної безпеки для приміщення дослідницької лабораторії обладнаного ПК з ВДТ розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.)

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної небезпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення дослідницької лабораторії – II.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці . Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85\* «Производственные здания» становить 70 метрів.

Для механічних цехів та адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне

виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

Враховуючи пожежну небезпеку в приміщеннях та на ділянці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3).

### 7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Єдина державна система цивільного захисту - це сукупність органів управління, сил і засобів центральних та місцевих органів виконавчої влади, виконавчих органів рад, підприємств, установ та організацій, які забезпечують реалізацію державної політики у сфері цивільного захисту.

Вона включає в себе центральні та місцеві органи виконавчої влади, виконавчі органи рад, державні підприємства, установи та організації з відповідними силами і засобами, які здійснюють нагляд за забезпеченням техногенної та природної безпеки, організовують проведення роботи із запобігання надзвичайній ситуації (НС) техногенного та природного походження і реагування у разі їх виникнення з метою захисту населення і довкілля, зменшення матеріальних втрат.

Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту, яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок.

Положення про єдину державну систему цивільного захисту, типові положення про функціональну і територіальну підсистеми затверджуються Кабінетом Міністрів України.

Основними завданнями єдиної державної системи цивільного захисту є:

- забезпечення готовності міністерств та інших центральних та місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів до дій, спрямованих на запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- забезпечення реалізації заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;
- навчання населення щодо поведінки та дій у разі виникнення надзвичайної ситуації;
- виконання державних цільових програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям, забезпечення сталого функціонування підприємств, установ та організацій, зменшення можливих матеріальних втрат;
- опрацювання інформації про надзвичайні ситуації, видання інформаційних матеріалів з питань захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- прогнозування і оцінка соціально-економічних наслідків надзвичайних ситуацій, визначення на основі прогнозу потреби в силах, засобах, матеріальних та фінансових ресурсах;
- створення, раціональне збереження і використання резерву матеріальних та фінансових ресурсів, необхідних для запобігання і реагування на надзвичайні ситуації;
- оповіщення населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасне та достовірне інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи;
- захист населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- пом'якшення можливих наслідків надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту постраждалого населення;

- реалізація визначених законом прав у сфері захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій, в тому числі осіб (чи їх сімей), що брали безпосередню участь у ліквідації цих ситуацій;

- інші завдання, визначені законом.

Залежно від масштабів і особливостей НС, що прогнозується або виникла, може існувати один з таких режимів функціонування:

- режим повсякденної діяльності - при нормальній виробничо-промисловій, радіаційній, хімічній, біологічній (бактеріологічній), сейсмічній, гідрогеологічній і гідрометеорологічній обстановці;

- режим підвищеної готовності - при істотному погіршенні виробничо-промислової, радіаційної, хімічної, біологічної, сейсмічної, гідрогеологічної і гідрометеорологічної обстановки (з одержанням прогнозової інформації щодо можливості виникнення надзвичайної ситуації);

- режим діяльності у надзвичайній ситуації - при реальній загрозі виникнення НС і реагування на них;

- режим діяльності у надзвичайному стані - запроваджується в Україні або на окремих її територіях у порядку, визначеному Конституцією України та Законом України «Про надзвичайний стан».

Положенням про єдину державну систему цивільного захисту визначається перелік заходів, що здійснюються у відповідному режимі, завдання та порядок взаємодії суб'єктів забезпечення цивільного захисту під час функціонування зазначеної системи у відповідному режимі.

В особливий період єдина державна система цивільного захисту функціонує відповідно до цього Кодексу та з урахуванням особливостей, що визначаються згідно з вимогами законів України «Про правовий режим воєнного стану».

Таким чином, ознайомлення, глибоке засвоєння та постійне дотримання нормативно-правових документів гарантує збереження здоров'я протягом усієї трудової діяльності.

## ВИСНОВОК

Детально розроблений технологічний процес виготовлення корпусу зовнішнього. Обрано і економічно обґрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості. Розроблено розрахунково-технологічні карти обробки деталі на верстатах з ЧПУ.

Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій. Спроектвані верстатні пристосування дозволяють швидко і надійно закріплювати заготовку під час обробки, що в умовах великосерійного виробництва дуже важливо.

Виконано спеціальне завдання на тему застосування систем САПР для оптимізації обробки на верстатах з ЧПУ.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки деталей з точки зору безпеки проведення робіт, наведені методика дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення корпусу зовнішнього.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <http://www.lasmet.ru/steel/mark.php?s=71>
2. Справочник технолога - машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985.
3. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением.-Л., 1977г.
4. Стандарты предприятия: Система качества, Положения о цехе основного производства ОАО "Мотор Сич", 1998. -45с.
5. Должностная инструкция. СТП 549.00.200.1 – 2004 г.
6. Горохов В.А. «Проектирование и расчет приспособлений»: Учебное пособие для студентов вузов. – Минск: «Вышэйшая школа», 1986г. – 237с.
7. Иванов И.И. «Детали машин» Учебник для вузов. – 2-е издание. – М.: Машиностроение 1983г. – 277с.
8. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін “ Технологія машинобудування» (розділ проектування зубообробних операцій) для студентів спеціальностей: 8.090202, 8.090203, 7.090260, усіх форм навчання./Укл. В.Д. Хорошков.-Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. - 93 с.
9. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/ А.А. Гаков., В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Гакова.- М.: Машиностроение.1988.-736 с., ил.
10. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
11. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.
12. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.: ил.

13. <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/510810/>
14. <https://www.cadmaster.ru/magazin/products/vericut.html>
15. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.090260) усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К., Ципак В.І., Коренєвський Є.Я., Хорошков В.Д., Кононов В.В., Смирнов О.С., Сахно О.Г., Зінкевич К.В., Гончар Н.В. Пухальська Г.В., Алексеєнко О.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. 245с.
16. <https://buhgalter.com.ua/dovidnik/posadovi-okladi-za-ets/posadovi-okladi-za-yets-2020-2021-2022/>
17. <https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/>
17. Технічного регламенту знаків безпеки і захисту здоров'я працівників» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262 (Офіційний вісник України, 2009 р., № 92, ст. 3118).
18. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.
19. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
20. НПАОП 0.00-4.12-05 Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці).
21. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила)

22. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

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

24. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>.

25. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 зл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3

26. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (Нормативно-правовий акт охорони праці).





