

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний інститут, машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Технології машинобудування»

(повне найменування кафедри )

**Пояснювальна записка**

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Застосування методів поверхнево-пластичного  
деформування в технологічному процесі виготовлення диска»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-119м

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Технології машинобудування»

Гришин О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Козлова О.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Широкобоков В.В.

(прізвище та ініціали)

2020

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

Інститут, факультет Машинобудівний  
 Кафедра Технології 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  
 « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 року

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

- Гришина Олександра Олександровича  
(прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема проєкту (роботи) Застосування методів поверхнево-пластичного деформування в технологічному процесі виготовлення диска
- керівник проєкту (роботи) Козлова О.Б., канд. техн. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом закладу вищої освіти від «03» 12 2020 року № 368
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2020 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі;  
річна програма випуску N=2200 дет.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація лазерне маркірування деталей; 4 Розрахунок деталі на міцність  
5 Спеціальне завдання. Підвищення експлуатаційних характеристик дисків газотурбінних двигунів методами поверхнево-пластичного деформування;  
6 Оцінка очікуваної економічної 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 заготовок; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ; лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку деталі на міцність; графічна частина до спецзавдання

## 6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|               |                                           | завдання видав | прийняв виконане завдання |
| 1-6           | доцент Козлова О.Б.                       |                |                           |
| 7             | доцент Шмирко В.І.                        |                |                           |
| нормоконтроль | доцент Гончар Н.В.                        |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |
|               |                                           |                |                           |

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2020 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи)                                                                                          | Строк виконання етапів проєкту (роботи) | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Технологічна частина                                                                                                              | 24.09.2020                              |          |
| 2     | Конструкторська частина                                                                                                           | 08.10.2020                              |          |
| 3     | Автоматизація лазерне маркірування деталей                                                                                        | 15.10.2020                              |          |
| 4     | Розрахунок деталі на міцність                                                                                                     | 22.10.2020                              |          |
| 5     | Спецзавдання. Підвищення експлуатаційних характеристик дисків газотурбінних двигунів методами поверхнево-пластичного деформування | 05.11.2020                              |          |
| 6     | Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів                                                                                | 12.11.2020                              |          |
| 7     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях                                                                                 | 19.11.2020                              |          |
| 8     | Оформлення пояснювальної записки.                                                                                                 | 26.11.2020                              |          |
| 9     | Нормоконтроль і рецензія.                                                                                                         | 30.12.2020                              |          |
| 10    | Захист дипломного проєкту.                                                                                                        | 10.12.2020                              |          |
|       |                                                                                                                                   |                                         |          |
|       |                                                                                                                                   |                                         |          |

Студент(ка)

\_\_\_\_\_ Гришин О.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

\_\_\_\_\_ Козлова О.Б.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 125 с., 38 рис., 10 табл., 1 додаток, 42 джерела.

ЗАГОТОВКА, ПЛАН ОБРОБКИ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, ОБЛАДНАННЯ, ЗАВАНТАЖЕННЯ, ВЕРСТАТНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, ДЕТАЛЬ, КОНТРОЛЬНЕ ПРИСТОСУВАННЯ, ПЛАНУВАННЯ, ОПЕРАЦІЙНА КАРТА, КАРТА ЕСКІЗІВ, КОНТРОЛЬ.

Об'єкт дослідження – диск VII ступени КВТ.

Мета роботи – застосування методів поверхнево-пластичного деформування в технологічному процесі виготовлення диска.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

В роботі спроектовано технологічний процес виготовлення деталі «Диск», вибрано сучасне обладнання, інструмент, розраховано розміри, режими різання, норми часу, спроектовано верстатне та контрольне пристосування. З використанням програми NX розраховано технологічну карту для обробки на верстаті з ЧПК. Розглянуто питання автоматизації процесу маркування деталей, виконані розрахунки на міцність. В спеціальній частині розглянуто питання поверхнево-пластичного деформування дисків. Передбачено заходи, спрямовані на зниження витрат і зменшення часу на виробництво. Виконано економічні розрахунки та розрахунки щодо охорони праці.

## ЗМІСТ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....                                                             | 7  |
| ВСТУП.....                                                                                     | 8  |
| 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....                                                                   | 9  |
| 1.1 Опис конструкції і умов роботи 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 .....                                                        | 27 |
| 1.5 Розрахунок міжопераційних припусків і технологічних розмірів .....                         | 27 |
| 1.6 Розрахунок режимів різання .....                                                           | 36 |
| 1.7 Технічне нормування .....                                                                  | 50 |
| 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....                                                                | 60 |
| 2.1 Проектування робочого пристосування.....                                                   | 60 |
| 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування .....                                         | 60 |
| 2.1.2 Обґрунтування способу базування оброблюваної деталі і розрахунок похибки установки ..... | 61 |
| 2.1.3 Розрахунок пристосування на точність.....                                                | 62 |
| 2.1.4 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки в пристосуванні .....                       | 64 |
| 2.2 Проектування контрольного пристосування .....                                              | 67 |
| 2.2.1 Опис контрольного пристосування .....                                                    | 67 |
| 2.2.2 Вибір і обґрунтування засобу вимірювання. Розрахунок сумарної похибки вимірювання.....   | 68 |
| 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ.....                                                                           | 69 |
| 4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ NX<br>SIMULATION ADVANTAGE.....          | 76 |
| 5 СПЕЦЗАВДАННЯ.....                                                                            | 80 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Підвищення експлуатаційних характеристик дисків газотурбінних двигунів<br>методами поверхнево–пластичного деформування..... | 80  |
| 5.1 Методи поверхневого пластичного деформування обробки дисків ГДТ .....                                                       | 82  |
| 5.1.1 Алмазне вигладжування .....                                                                                               | 83  |
| 5.1.2 Вібраційне накочення .....                                                                                                | 85  |
| 5.1.3 Віброгалтовка .....                                                                                                       | 86  |
| 5.1.4 Гідродробострумова обробка .....                                                                                          | 88  |
| 5.1.5 Обробка дротовим інструментом .....                                                                                       | 91  |
| 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....                                                                               | 94  |
| 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....                                                                        | 100 |
| 7.1 Аналіз потенційних небезпек.....                                                                                            | 100 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                   | 102 |
| ПЕРЕЛІК ДЖНРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....                                                                                                  | 103 |
| Додаток А.....                                                                                                                  | 106 |
| Додаток Б.....                                                                                                                  | 108 |

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

|       |                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------|
| ГТД   | – газотурбінний двигун                                |
| ЗВ    | – засіб вимірювання                                   |
| КВП   | – контрольно–вимірювальний прилад                     |
| КВТ   | – компресор високого тиску                            |
| ККД   | – коефіцієнт корисної дії                             |
| КП    | – керуюча програма                                    |
| МВД   | – маршрут виготовлення деталі                         |
| МОП   | – маршрут обробки поверхні                            |
| ППД   | – поверхнево–пластичне диформування                   |
| ППТЯ  | – послідовність показників точності і якості          |
| РАМВП | – розрахунково–аналітичний метод визначення припусків |
| ТМБ   | – технологія машинобудування                          |
| ЧПК   | – числове програмне керування                         |
| УЗЗ   | – ультразвукове зміцнення                             |

## ВСТУП

Зростаюча конкуренція серед виробників авіаційних двигунів, вимагає від виробника виготовлення продукції в мінімальні терміни з максимальною якістю і мінімальною собівартістю [1].

Собівартість виробів напряду залежить від використання сучасних технологічних процесів застосування технологічного обладнання та зменшення виробничого циклу виготовлення деталі у часі. Значно скорочується тривалість циклу конструкторської та технологічної підготовки виробництва при використанні новітніх засобів автоматизованої підготовки виробництва [1].

Якість виробу забезпечується на етапах підготовки та виробництва продукції і виконується в процесі експлуатації. Складовою забезпечення найякісної продукції є контроль виробів, як в ході виконання технологічного процесу, так і остаточний контроль деталі [1]. Для забезпечення найбільшого відсотка готових деталей і зменшення часу на контроль, зі збільшенням відсотка достовірності вимірювань необхідно застосовувати контрольні пристосування з автоматичним і напівавтоматичним циклом роботи [1].

Одне із завдань – підготовка виробництва, його технічне оснащення та аналіз техніко–економічних показників, з виготовлення диска КВТ буде вирішена в цьому проекті.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис конструкції і умов роботи деталі

Деталь – диск VII КВТ входить до складу двигуна AI-222. На рис. 1.1 показано загальний вигляд двигуна AI-222.

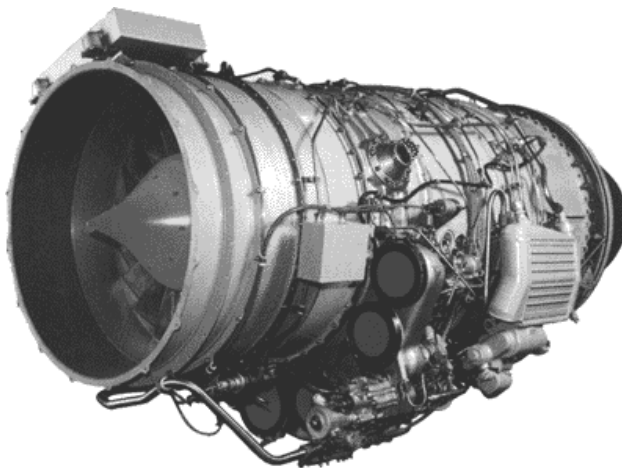


Рисунок 1.1 – Двигун AI-222

Турбореактивний двоконтурний двигун AI-222 призначений для встановлення на сучасних навчально-тренувальних та легких літаках. Двигун забезпечує максимальну безпеку виконання польотів і високу ефективність при більшому терміні служби і низьких експлуатаційних витратах [1].

Диск VII ступеню КВТ (рис. 1.2) є цільною конструкцією і призначений для створення окружної та осьової швидкості.

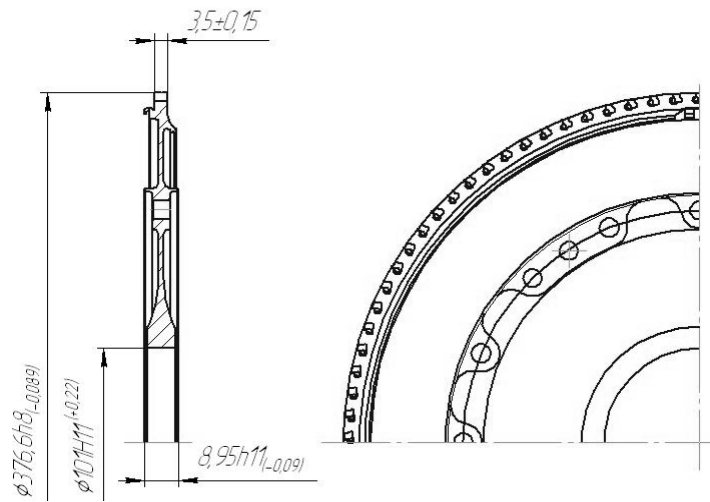


Рисунок 1.2 – Диск

Диск має складну форму з перепадами товщини. По ободу диска розташовані пази типу «ластівчин хвіст». В конструкції диски працюють в умовах високих окружних швидкостей і в широкому інтервалі температур, тому відносяться до одних з найбільш навантажених деталей. При роботі в дисках осьових компресорів виникають навантаження: напруження від відцентрових сил маси самих дисків і маси лопаток; температурні напруження, що викликають через нерівномірне нагрівання дисків по радіусу і товщині; напруження від сил газів, що викликають вигин дисків; напруження, що викликаються високочастотною вібрацією дисків.

Диск має групу контролю I. До неї можна віднести деталі і складальні одиниці, відмова або руйнування яких можуть призвести до небезпечних наслідків при експлуатації.

Деталь виготовляється з титанового сплаву BT8-1. Цей сплав є жароміцним, тріщиностійким, термічно стабільним при температурах до 450–500°C і низько чутливим до концентраторів напружень і рекомендований для двигунів цивільної авіації. Одним з основних переваг титанових сплавів є їх мала густина, що дозволяє створювати великогабаритні, але легкі деталі [2].

Хімічний склад сплаву BT8-1 в процентному співвідношенні наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад титанового сплаву BT8–1

| Алюміній      | Молибден      | Цирконій | Кремній       | Залізо | Кисень | Водень | Азот  | Вуглець | Ін. домішки |
|---------------|---------------|----------|---------------|--------|--------|--------|-------|---------|-------------|
| 5,8%–<br>7,0% | 2,8%–<br>3,8% | 0,5%     | 0,2%–<br>0,4% | 0,3%   | 0,15%  | 0,015% | 0,05% | 0,1%    | 0,3%        |

Механічні властивості матеріалу для деталей типу дисків і кілець після відпалу, наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості титанового сплаву BT8–1

| Температура<br>випробування,<br>$t$ , °C | Межа<br>міцності,<br>$\sigma_B$ , кГ/мм <sup>2</sup> | Відносне<br>подовження, $\delta$ , % | Відносне<br>звужування, $\psi$ , % |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 20                                       | 95                                                   | 6                                    | 14                                 |

Для отримання необхідної твердості заготовку з титанового сплаву термооброблюють [2].

Для всіх титанових сплавів проводиться відпал з метою завершення формування структури, вирівнювання структурної і концентраційної неоднорідності, а також механічних властивостей [2].

Після попередньої механічної обробки деталь піддають травленню [2].

Сплав має високу корозійну стійкість, задовільно деформується в гарячому стані. Добре зварюється контактним стиковим зварюванням. Задовільно обробляється різанням [2].

## 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Форма організації виробництва характеризується рівнем спеціалізації робочих місць і принципом розташування обладнання [3].

Попередньо тип виробництва визначемо за таблицею методичних вказівок [3, с. 22], виходячи з річної програми випуску  $N = 2200$  шт і маси оброблюваної деталі  $m = 2,6$  кг, як серійний.

Остаточно тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій.

Для обробки даної деталі вибираємо змінно–потоккову форму організації ТП.

Визначимо партію деталей, які запускаються в обробку одночасно за формулою (1.1):

$$n = \frac{aN}{250}, \quad (1.1)$$

де  $a = 6$  днів – періодичність запуску деталей у виробництво;

$N = 2200$  шт – річна програма випуску.

$$n = \frac{aN}{250} = \frac{6 \cdot 2200}{250} = 52 \text{ шт.}$$

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

При виборі заготовки для деталі вибирають метод отримання, визначають розміри, допуски, припуски на обробку і розробляють технічні умови на її виготовлення. Головним при виборі заготовки є забезпечення заданої якості готової деталі при її мінімальної собівартості. Собівартість деталі визначається підсумовуванням собівартості заготовки за калькуляцією заготівельного цеху і собівартості її подальшої обробки до досягнення заданих вимог якості за кресленням.

Заготовки деталей машин отримують різними методами: литтям, куванням, гарячим об'ємним штампуванням, холодною висадкою з прокату,

формоутворенням з порошкових матеріалів, виготовленням з прокату тощо. Різні методи отримання заготовок забезпечують однакову точність і шорсткість поверхонь, але, при цьому, економічність цих методів, при однаковій програмі випуску, може бути різною.

Виходячи з річної програми випуску деталі, вимог креслення, розмірів і конфігурації деталі приймаємо метод отримання заготовки – штампування у відкритих штампах на кривошипних гарячештамповочних пресах. Даний метод забезпечує виготовлення точних поковок без зсуву в площині роз'єму, з малими припусками і з досить високою продуктивністю [1].

З метою економічного обґрунтування доцільності застосування обраного методу порівняємо його економічність з іншим методом – штампуванням у відкритих штампах на молотах, для чого визначимо собівартість отримання заготовки за кожним із варіантів. Моделі заготовок, отриманих цими методами показані на рис. 1.3, 1.4.

Вартість однієї заготовки визначається за формулою (1.2):

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{заг} \cdot K_m \cdot K_{м} \cdot K_c \cdot K_{\epsilon} \cdot K_n - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.2)$$

де  $C_B$  – базова ціна 1 т заготовок, грн;

$Q_{заг}$  – маса заготовки, кг;

$K_m$  – коефіцієнт, щодо точності заготовки [4, табл. 1.24, с. 18];

$K_{м}$  – коефіцієнт, щодо матеріалу [4, табл. 1.25, с. 18];

$K_c$  – коефіцієнт, щодо складності заготовки [4, табл. 1.26, с. 19];

$K_{\epsilon}$  – коефіцієнт, щодо маси заготовки [4, табл. 1.27, с. 19];

$K_n$  – коефіцієнт, щодо програму випуску [4, табл. 1.28, с. 19];

$S$  – вартість 1 т стружки, грн [4, табл. 1.5, с. 13].

Розраховуємо розміри і масу заготовок за варіантами. результати заносимо в табл. 1.3.

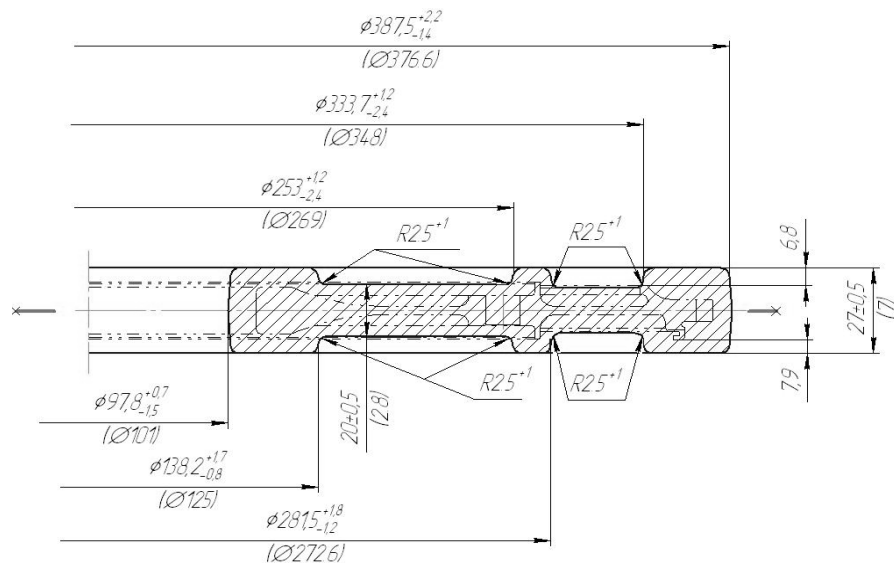


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки, отриманої штампуванням на КГШП

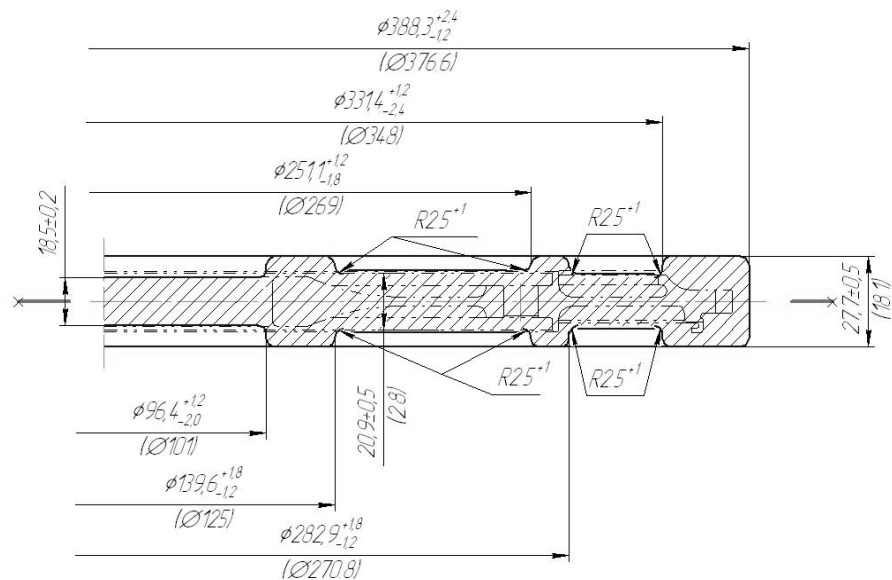


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки отриманої штампуванням у відкритих штампах на молотах

Маса заготовок визначається за допомогою пакета NX.

На рис. 1.5 - 1.7 представлені розрахунок мас деталі, заготовок на КГШП та молотах відповідно.

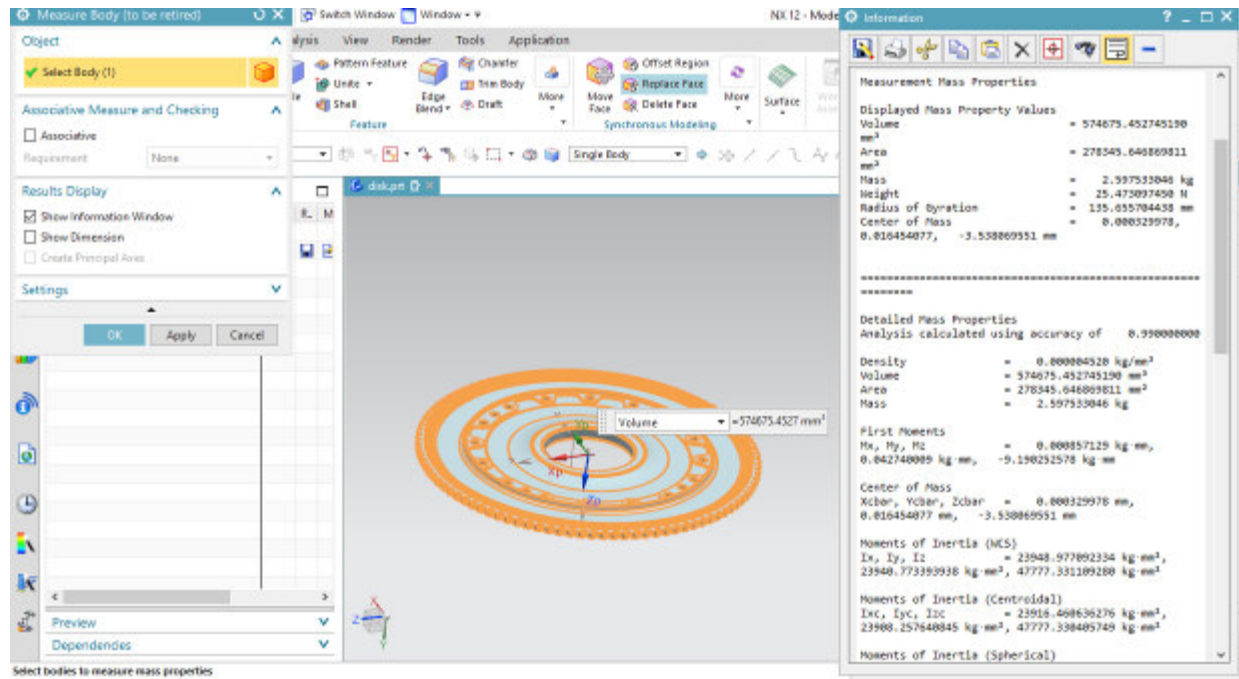


Рисунок 1.5 – Розрахунок маси деталі за допомогою пакету NX

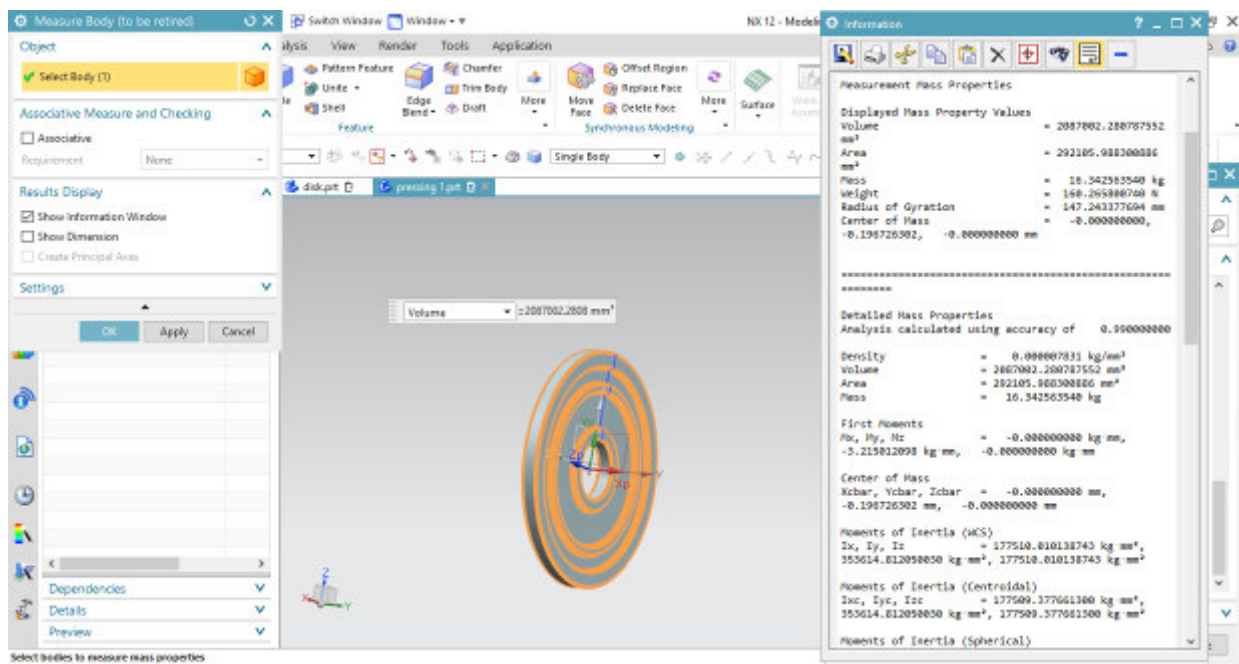


Рисунок 1.6 – Розрахунок маси першого варіанту заготовки (КТПП) за допомогою пакету NX

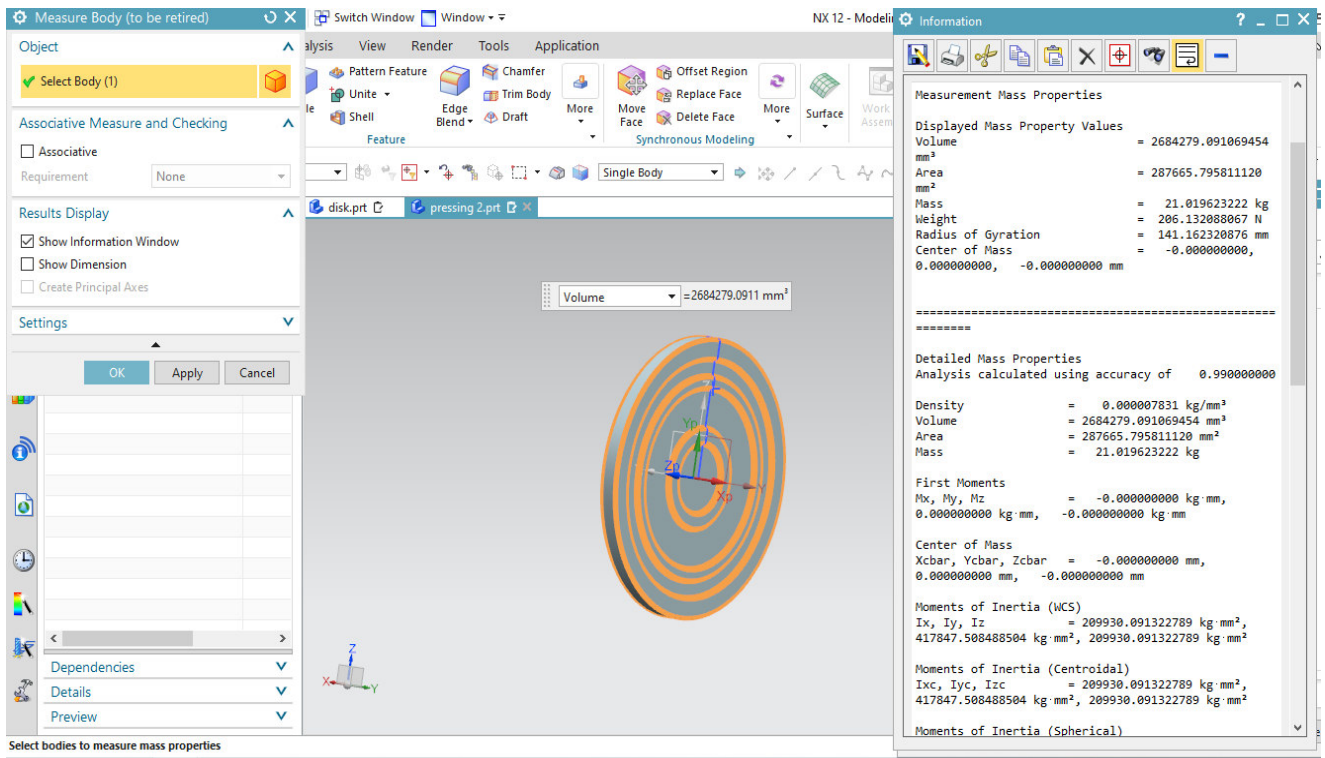


Рисунок 1.7 – Розрахунок маси заготовки, отриманої штамповкою на молотах, за допомогою пакету NX

Таблиця 1.3 – Результати розрахунку за варіантами

| Показник                                | Визначення | Одиниці<br>вимірювання | Варіанти |        |
|-----------------------------------------|------------|------------------------|----------|--------|
|                                         |            |                        | I        | II     |
| Маса заготовки                          | $Q$        | кг                     | 16,34    | 21     |
| Базова ціна 1 т<br>заготовки            | $C_b$      | грн                    | 3717     | 3650   |
| Коефіцієнти                             | $K_m$      | —                      | 1        | 1      |
|                                         | $K_M$      | —                      | 1,8      | 1,8    |
|                                         | $K_g$      | —                      | 0,89     | 0,89   |
|                                         | $K_c$      | —                      | 0,8      | 0,8    |
|                                         | $K_n$      | —                      | 1        | 1      |
| Вартість 1т стружки                     | $S_{omx}$  | грн                    | 3280     | 3280   |
| Вартість заготовки                      | $C$        | грн                    | 77,78    | 208,54 |
| Коефіцієнт<br>використання<br>матеріалу | $\eta$     | —                      | 0,16     | 0,12   |

Розраховуємо вартість заготовки за формулою (1.2) за варіантами:

$$C_1 = \frac{3717}{1000} \cdot 16,34 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 0,8 \cdot 1 - (16,34 - 2,6) \cdot \frac{3280}{1000} = 77,78 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{3650}{1000} \cdot 21 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 0,8 \cdot 1 - (21 - 2,6) \cdot \frac{3280}{1000} = 208,54 \text{ грн.}$$

Розраховуємо значення коефіцієнта використання матеріалу за формулою (1.3):

$$\eta = \frac{q}{Q_i}. \quad (1.3)$$

$$\eta_1 = \frac{2,6}{16,34} = 0,16.$$

$$\eta_2 = \frac{2,6}{21} = 0,12.$$

Аналізуючи отримані результати, порівнюємо вартості заготовки  $C_1 < C_2$  і коефіцієнти використання матеріалу  $\eta_1 > \eta_2$ .

За отриманими результатами видно, що виготовлення заготовки за другим способом дорожче, а коефіцієнт використання заготовки в цьому випадку нижче, ніж при використанні першого способу. Так як другий спосіб вимагає додаткових витрат на механічну обробку, то набагато вигідніше в якості способу отримання заготовки вибрати перший – штампування на КГШП.

Річна економія матеріалу в цьому випадку складе за формулою (1.4):

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N. \quad (1.4)$$

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N = (208,54 - 77,7)2200 = 287672 \text{ грн.}$$

## 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

### 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Технологічність конструкції деталі визначається, як сукупність властивостей конструкції, що характеризують пристосованість деталі до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості, обсягу випуску і умов виконання робіт [3]. Високий рівень технологічності деталі формується за рахунок того, що конструктор передбачив можливість використання при її виготовленні типових технологічних рішень. Стандартизація елементів конструкції канавок для виходу інструменту, радіусів заокруглення, фасок і тому подібних елементів призводить до зниження витрат на підготовку відповідного технологічного інструменту і оснастки [1].

Конструкція деталі вважається технологічною, якщо вона забезпечує просте і економічне виготовлення. Загальними критеріями технологічності є абсолютне значення трудомісткості і технологічної собівартості. Але оцінити їх на даному етапі неможливо, тому визначимо лише попередню оцінку технологічності даної деталі [3].

Деталь виготовляється з титанового сплаву BT8–1, який відноситься до V групи матеріалу, що говорить про його важку оброблюваність. Коефіцієнт оброблюваності матеріалу  $K_v < 0,5$ .

В якості настановних баз використовуємо прості циліндричні поверхні і площини. Принцип єдності і сталості баз виконується на більшості операцій, що зменшує величину похибки обробки.

Великі габаритні розміри деталі і маленька товщина її стінок дозволяють судити про низьку жорсткість деталі і про необхідність застосування додаткових опор при обробці на металорізальних верстатах, що не є технологічним.

Конструкція деталі дозволяє виконувати багато–інструментальну обробку, і забезпечує зручний доступ до всіх поверхонь.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою (1.3) [3]:

$$\eta_1 = \frac{2,6}{16,34} = 0,16.$$

Так как  $\eta_1 < 0,7$ , конструкцію деталі за даним коефіцієнтом вважаємо нетехнологічною.

Коефіцієнт точності обробки розраховуємо за формулами (1.5), (1.6) [3]:

$$K_{Tq} = 1 - \frac{1}{A_{CP}} > 0,8. \quad (1.5)$$

$$A_{CP} = \frac{\kappa_1 n_1 + \kappa_2 n_2 + \dots + \kappa_n n_n}{n_{\text{обц}}}, \quad (1.6)$$

де  $n$  – кількість розмірів, які мають відповідний квалітет;

$\kappa$  – квалітет точності. Основна маса поверхонь виконана за 12 квалітетом точності та грубіше;

$A_{CP}$  – середній квалітет точності.

$$A_{CP} = \frac{12 \cdot 8 + 11 \cdot 2 + 8 \cdot 3 + 6 + 7}{15} = 10,3.$$

$$K_{Tq} = 1 - \frac{1}{10,3} = 0,91 > 0,8.$$

Деталь можна вважати технологічною.

Коефіцієнт шорсткості.

Шорсткість поверхонь загального призначення –  $Ra$  0,8 мкм, поверхонь невідповідального призначення –  $Ra$  3,2 мкм. Коефіцієнт шорсткості визначаємо за формулами (1.7) та (1.8) [3]:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32, \quad (1.7)$$

$$B_{cp} = \frac{\kappa_1 n_1 + \kappa_2 n_2 + \dots + \kappa_n n_n}{n_{обц}}, \quad (1.8)$$

де  $k$  – клас шорсткості;

$n$  – кількість поверхонь, які мають відповідну шорсткість;

$B_{cp}$  – середній клас шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{1,6 \cdot 7 + 6,3 \cdot 6 + 3,2 \cdot 2}{15} = 3,7.$$

$$K_{ш} = \frac{1}{3,7} = 0,271 < 0,32.$$

За цим показником деталь є нетехнологічною.

Таким чином, за якісними і кількісними критеріями оцінювання технологічності, деталь є нетехнологічною.

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки – це послідовність переходів технологічної обробки поверхонь заготовки, які необхідні для досягнення параметрів якості, які задані для цієї поверхні. Там наведено характеристики якості поверхні деталі і заготовки, визначено уточнення, встановлено схеми досягнення заданої точності, визначено методи обробки [3].

Поняття уточнення заготовки при механічній обробці необхідно для того, що поверхні заготовки обробляють кілька разів, тобто поверхню заготовки при механічній обробці як би уточнюють до вимог креслення [3].

Уточнення – це відношення значень показників якості поверхні заготовки до показників якості поверхні деталі [3].

Розрізняють два види уточнень:

- загальне уточнення;
- уточнення за переходами (поточні уточнення).

Вивчаючи креслення деталі і технічні вимоги до неї, встановлюємо характеристики показників точності геометричних розмірів і якості основних поверхонь диска, які піддаються механічній обробці і заносимо їх в табл. 1.5.

Далі для кожної поверхні розраховуємо загальні уточнення за кожним показником точності і для найбільшого значення розраховуємо кількість переходів, необхідних для досягнення заданої кресленням якості поверхні.

Розрахуємо внутрішню циліндричну поверхню – Ø348 мм, діаметр заготовки – 333,7 мм, биття – 0,016 мкм, биття заготовки – 1,4 мкм.

Розраховуємо загальні уточнення за формулами (1.9) – (1.11):

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{Td_{заг}}{Td_{дет}} \quad (1.9)$$

де  $Td_{заг}$ ,  $Td_{дет}$  – допуск геометричного розміру відповідно заготовки і деталі, мм [4, с. 147, табл. 23];

$$\varepsilon_{d_0} = \frac{3,6}{0,057} = 63,2.$$

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{\Delta_{заг}}{\Delta_{дет}}, \quad (1.10)$$

де  $\Delta_{заг}$ ,  $\Delta_{дет}$  – похибка форми і взаємного розташування відповідно заготовки і деталі, мм.

$$\varepsilon_{\Delta_0} = \frac{1,4}{0,016} = 87,5.$$

$$\varepsilon_{Rz_0} = \frac{Ra_{заг}}{Ra_{дет}}, \quad (1.11)$$

де  $Ra_{заг}$ ,  $Ra_{дет}$  – шорсткість заготовки та деталі, мкм.

$$\varepsilon_{Rz_0} = \frac{40}{1,8} = 50.$$

За найбільшим значенням визначаємо кількість механічних переходів за формулою (1.12):

$$k = 2 \lg \varepsilon_{\Delta_0}. \quad (1.12)$$

$$k = 2 \lg 87,5 = 3,88.$$

Округляємо до цілого числа і отримуємо, що для досягнення якості поверхні за даним показником необхідно 4 механічних переходів.

Знаходимо різницю квалитетів точності заготовки і деталі:

$$IT = 16 - 7 = 9 = 3 + 3 + 2 + 1.$$

Отриману різницю розподіляю між  $k$  переходами:

$$IT16 \rightarrow H13 \rightarrow H10 \rightarrow H8 \rightarrow H7.$$

Складаємо план обробки поверхні.

Заготівельна операція.

1-й перехід – точіння попереднє H13.

2-й перехід – точіння чорнове H10.

3-й перехід – точіння напівчистове H8.

4-й перехід – точіння чистове H7.

Аналогічні розрахунки проводимо для всіх основних поверхонь диска, отримані значення вносимо в табл. 1.6.

Таблиця 1.5 – Показники точності та якості основних поверхонь диска

| Розмір<br>поверхні          | Харак-<br>теристика<br>поверхні |      | Показники точності і якості |      |                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |                        |                    |             |             |
|-----------------------------|---------------------------------|------|-----------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------|-------------|
|                             |                                 |      | Квалитет<br>точності        |      | Точність<br>взаємного<br>розташу-<br>вання                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | Шорсткість<br>поверхні |                    | Твердість   |             |
|                             | Вид                             | Тип  | Дет.<br>.                   | Заг. | Дет.                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Заг.                                                                                | Дет.,<br><i>Ra</i>     | Заг.,<br><i>Ra</i> | Дет.        | Заг.<br>.   |
| 17,9 <sub>-0,18</sub> мм    | Тор.                            | Зов. | 10                          | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 | HB 260..290 | HB 260..290 |
| 0,8 x 45° мм                | Фас-<br>ка                      | Зов. | —                           | —    | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 1,6                    | 40                 |             |             |
| Ø348 <sup>+0,057</sup> мм   | Цил.                            | Вн   | 7                           | 16   |                                                                                                                                                                                                             |    | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø356,5 <sup>+0,36</sup> мм  | Цил.                            | Вн.  | 11                          | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø353,5 <sup>+0,14</sup> мм  | Цил.                            | Вн.  | 9                           | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| 0,6x45° мм                  | Фас-<br>ка                      | Зов. | —                           | —    | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 1,6                    | 40                 |             |             |
| Ø359,5 <sub>-0,14</sub> мм  | Цил.                            | Зов. | 9                           | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø376,6 <sub>-0,089</sub> мм | Цил.                            | Зов. | 8                           | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø337,5 <sub>-0,36</sub> мм  | Цил.                            | Зов. | 11                          | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø332,5 <sup>+0,057</sup> мм | Цил.                            | Вн.  | 7                           | 16   |                                                                                                                                                                                                           |  | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø272,6 <sub>-0,36</sub> мм  | Цил.                            | Зов. | 13                          | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| 0,4x45° мм                  | Фаска                           | Зов. | —                           | —    | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 1,6                    | 40                 |             |             |
| Ø269 <sup>+0,032</sup> мм   | Цил.                            | Вн.  | 6                           | 16   | <br>0,016<br><br>0,025<br><br>0,016 |  | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø10,15 <sup>+0,018</sup> мм | Цил.                            | Вн.  | 7                           | 16   | <br>0,016<br>⊕R<br>0,03                                                                                                                                                                                   | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø229 <sup>+0,032</sup> мм   | Цил.                            | Вн.  | 13                          | 16   | —                                                                                                                                                                                                                                                                                            | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø101 <sup>+0,22</sup> мм    | Цил.                            | Вн.  | 11                          | 16   |                                                                                                                                                                                                           |  | 0,8                    | 40                 |             |             |
| Ø10 <sup>+0,058</sup> мм    | Цил.                            | Вн.  | 10                          | 16   | ⊕R0,<br>1                                                                                                                                                                                                                                                                                    | —                                                                                   | 0,8                    | 40                 |             |             |

Таблиця 1.6 – Маршрут обробки поверхонь диска

| Основні хар-ки<br>поверхні | Уточнення за<br>параметрами |                     | Кількість<br>переходів |        | Різниця<br>квалитетов<br>точності і їх<br>розподіл   | МОП, допуски і уточнення |                    |         |      |                     |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|--------|------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|---------|------|---------------------|
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | МОП                      |                    | Допуски |      | Уточ-<br>нення      |
|                            | $\epsilon_j$                | $\epsilon_{j0}$     | Розр.                  | Прийн. |                                                      | i                        | Метод обробки      | $Td$    | $Ra$ | $\epsilon_{Ra}$     |
| 1                          | 2                           | 3                   | 4                      | 5      | 6                                                    | 7                        | 8                  | 9       | 10   | 11                  |
| 17,9 <sub>-0,18</sub> мм   | $L$<br>$Ra$                 | 18,9<br>50          | 3,4                    | 3      | IT = 16 – 10 =<br>6 = 3+2+1<br>IT16→h13→h11→<br>h10  | 1                        | Заготівельна       | 1,1     | 25   | 2<br>6,25<br>4      |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 2                        | ТО                 |         |      |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 3                        | Точіння поп.       | 0,27    | 12,5 |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 4                        | Точінне чорнове    | 0,11    | 3,2  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 5                        | Точіння чистове    | 0,07    | 0,8  |                     |
| Ø348 <sup>+0,057</sup> мм  | $d$<br>$Ra$                 | 52,6<br>68,75<br>50 | 3,7                    | 4      | IT = 16–7 =<br>9 = 3+3+2+1<br>IT16→h13→h10→<br>h8→h7 | 1                        | Заготівельна       | 3,6     | 25   | 2<br>6,25<br>2<br>2 |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 2                        | ТО                 |         |      |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 3                        | Точіння поп.       | 0,89    | 12,5 |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 4                        | Точінне чорнове    | 0,23    | 3,2  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 5                        | Точіння напівчист. | 0,089   | 1,6  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 6                        | Точіння чистове    | 0,057   | 0,8  |                     |
| Ø356,5 <sup>+0,36</sup> мм | $d$<br>$Ra$                 | 8,8<br>50           | 3,4                    | 3      | IT=16–11=<br>6=2+2+1<br>IT16→h14→h12→<br>h11         | 1                        | Заготівельна       | 3,6     | 25   | 2<br>6,25<br>4      |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 2                        | ТО                 |         |      |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 3                        | Точіння поп.       | 1,4     | 12,5 |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 4                        | Точінне чорнове    | 0,57    | 3,2  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 5                        | Точіння чистове    | 0,36    | 0,8  |                     |
| Ø353,5 <sup>+0,14</sup> мм | $d$<br>$Ra$                 | 21,4<br>50          | 3,4                    | 3      | IT=16–9=<br>7=3+2+2<br>IT16→h13→h11→<br>h9           | 1                        | Заготівельна       | 3,6     | 25   | 2<br>6,25<br>4      |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 2                        | ТО                 |         |      |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 3                        | Точіння поп.       | 0,89    | 12,5 |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 4                        | Точінне чорнове    | 0,36    | 3,2  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 5                        | Точіння чистове    | 0,14    | 0,8  |                     |
| Ø359,5 <sub>-0,14</sub> мм | $d$<br>$Ra$                 | 22.8<br>50          | 3,4                    | 3      | IT=16–9=<br>7=3+2+2<br>IT16→h13→h11→<br>h9           | 1                        | Заготівельна       | 3,6     | 25   | 2<br>6,25<br>4      |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 2                        | ТО                 |         |      |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 3                        | Точіння поп.       | 0,89    | 12,5 |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 4                        | Точінне чорнове    | 0,36    | 3,2  |                     |
|                            |                             |                     |                        |        |                                                      | 5                        | Точіння чистове    | 0,14    | 0,8  |                     |

Продовження табл. 1.6

| 1                                        | 2       | 3                                        | 4   | 5 | 6                                                | 7                          | 8                                                                                                                         | 9                                         | 10                                  | 11                          |
|------------------------------------------|---------|------------------------------------------|-----|---|--------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| $\varnothing 376,6_{-0,089}^{+0,089}$ мм | d<br>Ra | 35,9<br>50                               | 3,4 | 3 | IT=16-8=<br>8=3+3+2<br>IT16→h13→h10→<br>h8       | 1<br>2<br>3<br>4<br>5      | Заготівельна<br>ТО<br>Точіння поп.<br>Точінне чорнове<br>Точія чистове                                                    | 3,6<br><br>0,89<br>0,23<br>0,089          | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>0,8        | <br><br>2<br>6,25<br>4      |
| $\varnothing 337,5_{-0,36}^{+0,36}$ мм   | d<br>Ra | 8,9<br>50                                | 3,4 | 3 | IT=16-11=<br>5=2+2+1<br>IT16→h14→h12→<br>h11     | 1<br>2<br>3<br>4<br>5      | Заготівельна<br>ТО<br>Точіння поп.<br>Точінне чорнове<br>Точія чистове                                                    | 3,6<br><br>1,4<br>0,57<br>0,36            | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>0,8        | <br><br>2<br>6,25<br>4      |
| $\varnothing 332,5_{-0,057}^{+0,057}$ мм | d<br>Ra | 52,6<br>68,75<br>50                      | 3,7 | 4 | IT=16-7=<br>9=3+3+2+1<br>IT16→h13→h10→<br>h8→h7  | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | Заготівельна<br>ТО<br>Точіння поп.<br>Точінне чорнове<br>Точіння напівчист.<br>Точія чистове                              | 3,6<br><br>0,89<br>0,23<br>0,89<br>0,57   | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>1,6<br>0,8 | <br><br>2<br>6,25<br>2<br>2 |
| $\varnothing 272,6_{-0,36}^{+0,36}$ мм   | d<br>Ra | 8,9<br>50                                | 3,4 | 3 | IT=16-13=<br>3=1+1+1<br>IT16→h15→h14→<br>h13     | 1<br>2<br>3<br>4<br>5      | Заготівельна<br>ТО<br>Точіння поп.<br>Точінне чорнове<br>Точія чистове                                                    | 3,2<br><br>2,1<br>1,3<br>0,81             | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>0,8        | <br><br>2<br>6,25<br>4      |
| $\varnothing 269_{-0,032}^{+0,032}$ мм   | d<br>Ra | 93,75<br>87,5<br>56<br>140<br>87,5<br>50 | 4,3 | 4 | IT=16-6=<br>10=3+3+2+2<br>IT16→h13→h10→<br>h8→h6 | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | Заготівельна<br>ТО<br>Точіння поп.<br>Точінне чорнове<br>Точіння напівчист.<br>Точія чистове                              | 3,2<br><br>0,81<br>0,21<br>0,081<br>0,052 | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>1,6<br>0,8 | <br><br>2<br>6,25<br>2<br>2 |
| $\varnothing 10,15_{-0,018}^{+0,018}$ мм | d<br>Ra | 87,5<br>23,3<br>50                       | 3,8 | 4 | IT=16-7=<br>9=3+3+2+1<br>IT16→h13→h10→<br>h8→h7  | 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | Заготівельна<br>ТО<br>Свердління ( $\varnothing 5$ мм)<br>Свердління ( $\varnothing 9,9$ мм)<br>Зенкування<br>Розгортання | 1,1<br><br>0,27<br>0,07<br>0,027<br>0,018 | 25<br><br>12,5<br>3,2<br>1,6<br>0,8 | <br><br>2<br>6,25<br>2<br>2 |

| Продовження табл. 1.6                   |              |                  |      |   |                                              |   |                                    |      |      |      |
|-----------------------------------------|--------------|------------------|------|---|----------------------------------------------|---|------------------------------------|------|------|------|
| 1                                       | 2            | 3                | 4    | 5 | 6                                            | 7 | 8                                  | 9    | 10   | 11   |
| $\varnothing 229^{+0,032}_{\text{ мм}}$ | d<br>Ra      | 8,9<br>50        | 3,4  | 3 | IT=16-13=<br>3=1+1+1<br>IT16→h15→h14→<br>h13 | 1 | Заготівельна                       | 2,9  | 25   |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 2 | ТО                                 |      |      |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 3 | Точіння поп.                       | 1,85 | 12,5 | 2    |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 4 | Точінне чорнове                    | 1,15 | 3,2  | 6,25 |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 5 | Точіння чистове                    | 0,72 | 0,8  | 4    |
| $\varnothing 101^{+0,22}_{\text{ мм}}$  | d<br>↗<br>Ra | 14,5<br>56<br>50 | 3,49 | 3 | IT=16-11=<br>5=2+2+1<br>IT16→h14→h12→<br>h11 | 1 | Заготівельна                       | 2,2  | 25   |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 2 | ТО                                 |      |      |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 3 | Точіння поп.                       | 0,87 | 12,5 | 2    |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 4 | Точінне чорнове                    | 0,35 | 3,2  | 6,25 |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 5 | Точіння чистове                    | 0,22 | 0,8  | 4    |
| $\varnothing 10^{+0,058}_{\text{ мм}}$  | Ra           | 50               | 3.4  | 3 | IT=16-11=<br>5=2+2+1<br>IT16→h14→h12→<br>h11 | 1 | Заготівельна                       | 1,1  | 25   |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 2 | ТО                                 |      |      |      |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 3 | Свердління ( $\varnothing 5$ мм)   | 0,43 | 12,5 | 2    |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 4 | Свердління ( $\varnothing 9,9$ мм) | 0,18 | 3,2  | 6,25 |
|                                         |              |                  |      |   |                                              | 5 | Розгортання                        | 0,11 | 0,8  | 4    |

### 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Для досягнення заданих форм, розмірів, взаємного розташування поверхонь, шорсткості і фізико–механічних властивостей деталі в сучасному машинобудуванні застосовують різні методи обробки: різання лезовим і абразивним інструментами, поверхневе пластичне деформування, електрофізичні і електрохімічні методи тощо [3].

При обробці заготовок припуск знімається частинами, на різних операціях, з постійним збільшенням точності оброблюваної заготовки і зменшенням величини припуску з наближенням розміру оброблюваної поверхні до заданого розміру за кресленням. У зв'язку з цим, обробка заготовки може бути декількох видів: обдирна попередня, чорнова, напівчистова, чистова, тонка тощо.

При проектуванні маршруту виготовлення деталі вирішують головне завдання: забезпечити максимальну продуктивність, необхідну якість, мінімальну собівартість і мінімальну кількість шкідливих відходів для навколишнього середовища.

### 1.5 Розрахунок міжопераційних припусків і технологічних розмірів

Припуск – це шар металу (матеріалу), що видаляється з поверхні заготовки при механічній обробці, метою досягнення необхідних властивостей оброблюваної поверхні деталі [3].

Припуск на обробку поверхонь деталей може бути призначений за відповідними довідковими таблицями, ГОСТами або на основі розрахунково–аналітичного методу визначення припусків.

ГОСТИ і таблиці дозволяють призначати припуски незалежно від технологічного процесу обробки деталі і умов його здійснення і тому, в загальному випадку, є дещо завищеними, містять резерви зниження витрат матеріалу і трудомісткості виготовлення деталі.

РАМВП базується на аналізі чинників, що впливають на припуски попереднього і виконуваного переходів технологічного процесу обробки поверхні. Значення припуску визначається методом диференційованого розрахунку за елементами, що становлять припуск [3, 4]. РАМВП передбачає розрахунок припусків по всіх послідовно виконуваним технологічним переходам обробки даної поверхні деталі, їх підсумовування для визначення загального припуску на обробку поверхні і розрахунок проміжних розмірів, що визначають положення поверхні і розмірів заготовки [3, 4]. Розрахунковою величиною є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході похибок обробки і дефектів поверхневого шару, отриманих на попередньому переході, і компенсації похибок, що виникають на виконуваному переході [1].

Розглянемо методику розрахунку припусків розрахунково–аналітичним методом на прикладі поверхні  $\varnothing 101 \text{ H}11 \left( \begin{smallmatrix} +0.22 \\ \end{smallmatrix} \right)$ .

Припуск визначаємо за формулою (1.13) [4, 5]:

$$2Z_{i\min} = 2(h_{i-1} + Rz_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (1.13)$$

де  $Rz_{i-1}$  – висота мікронерівностей профілю, мкм;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного шару матеріалу від попередньої операції, мкм;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – похибки форми і взаємного розташування поверхонь на попередній операції, мкм;

$\varepsilon_i$  – похибки установки на виконуваному переході, мкм.

Мінімальний припуск визначимо наступним чином:

1. Заготовка–штамповка:

$Rz_1 = 200 \text{ мкм}$ ,  $h_1 = 250 \text{ мкм}$  [5, табл. 24, с. 187].

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{екс}}^2} \quad (1.14)$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{экс}}^2} = \sqrt{350^2 + 800^2} = 870 \text{ мкм.}$$

2. Точіння попереднє:

$$Rz_2 = 100 \text{ мкм}, h_2 = 100 \text{ мкм} [4, \text{табл. 24, с. 187}].$$

Величину залишкової похибки просторових відхилень для наступних обробок обчислюємо за допомогою коефіцієнта уточнення [4, табл. 29, с. 190] (1.15):

$$\Delta_2 = K_y \cdot \Delta_1, \quad (1.15)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення,  $K_y = 0,06$ .

$$\Delta_2 = K_y \cdot \Delta_1 = 0,06 \cdot 870 = 52 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення в пристосуванні:  $\varepsilon_{\text{вст}2} = 420 \text{ мкм.}$

3. Точіння чорнове:

$$Rz_3 = 50 \text{ мкм}, h_3 = 50 \text{ мкм} [2, \text{табл. 25, с. 188}].$$

$$\Delta_3 = K_y \cdot \Delta_2 = 0,05 \cdot 52 = 2,6 \text{ мкм,}$$

де  $K_y = 0,05$ .

Похибка встановлення в пристосування:  $\varepsilon_{\text{вст}2} = 100 \text{ мкм.}$

4. Точіння чистове:

$$Rz_5 = 25 \text{ мкм}, h_5 = 25 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_5 = K_y \cdot \Delta_4 = 0,03 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ мкм,}$$

де  $K_y = 0,03$ .

Похибка встановлення в пристосування:  $\varepsilon_{\text{вст}5} = 30 \text{ мкм.}$

Визначаємо мінімальні припуски за переходами механічної обробки за формулою (1.13):

$$2Z_{2min} = 2(200 + 250 + \sqrt{870^2 + 420^2}) = 1200 \text{ мкм} = 1,2 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3min} = 2(100 + 100 + \sqrt{52^2 + 100^2}) = 439 \text{ мкм} = 0,4 \text{ мм.}$$

$$2Z_{5min} = 2(25 + 25 + \sqrt{2,6^2 + 30^2}) = 164 \text{ мкм} = 0,16 \text{ мм.}$$

Розраховуємо технологічні розміри за переходами механічної обробки методом розмірних ланцюгів, починаючи з останнього переходу.

Визначаємо мінімальні розміри за переходами МОП за формулою (1.16):

$$d_{i \min} = d_{i+1 \min} - 2Z_{i+1 \min} - Td_i \quad (1.16)$$

$$d_{4 \min} = d_{4 \text{ ном}} + E_{id4} = 101 \text{ мм.}$$

$$d_{3 \min} = d_{4 \min} - 2Z_{4 \min} - Td_3 = 101 - 0,16 - 0,35 = 100,49 \text{ мм.}$$

$$d_{2 \min} = d_{3 \min} - 2Z_{3 \min} - Td_2 = 100,49 - 0,4 - 0,87 = 99,22 \text{ мм.}$$

$$d_{1 \min} = d_{2 \min} - 2Z_{2 \min} - Td_1 = 99,22 - 1,2 - 2,2 = 95,82 \text{ мм.}$$

Визначаємо максимальні розміри за переходами МОП за формулою (1.17):

$$d_{i \max} = d_{i \min} + Td_i \quad (1.17)$$

$$d_{4 \max} = d_{4 \min} + Td_4 = 101 + 0,22 = 101,22 \text{ мм.}$$

$$d_{3 \max} = d_{3 \min} + Td_3 = 100,49 + 0,35 = 100,84 \text{ мм.}$$

$$d_{2 \max} = d_{2 \min} + Td_2 = 99,22 + 0,87 = 100,09 \text{ мм.}$$

$$d_{1 \max} = d_{1 \min} + Td_1 = 95,02 + 2,2 = 98,02 \text{ мм.}$$

Обчислимо граничні значення максимальних припусків за переходами механічної обробки за формулою (1.18):

$$2Z_{i \max} = d_{i \max} - d_{i-1 \min} \quad (1.18)$$

$$2Z_{4 \max} = d_{4 \max} - d_{3 \min} = 101,22 - 100,49 = 0,73 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3 \max} = d_{3 \max} - d_{2 \min} = 100,84 - 99,22 = 1,62 \text{ мм.}$$

$$2Z_{2 \max} = d_{2 \max} - d_{1 \min} = 100,09 - 95,82 = 4,27 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку за формулою (1.19):

$$TZ_o = 2Z_{o \max} - 2Z_{o \min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дем}} \quad (1.19)$$

$$2Z_{o \max} = d_{\text{дем} \max} - d_{\text{заг} \min} = 101,22 - 95,82 = 5,4 \text{ мм.}$$

$$2Z_{o \min} = d_{\text{дем} \min} - d_{\text{заг} \max} = 101 - 98,02 = 2,98 \text{ мм.}$$

$$TZ_o = 5,4 - 2,98 = 2,2 + 0,22$$

$$2,42 = 2,42$$

Розрахунок припусків табличним методом для зовнішньої поверхні  $\varnothing 376,6 \text{ h}8 \left( \begin{smallmatrix} \\ -0,089 \end{smallmatrix} \right)$ .

Загальний припуск розподіляємо між переходами механічної обробки, використовуючи коефіцієнт співвідношення припуску [4, 5]:

$$\gamma_{\text{предв}} = 0,65$$

$$\gamma_{\text{чер}} = 0,2 \quad ,$$

$$\gamma_{\text{чис}} = 0,15.$$

$$2Z_{2 \min} = 0,65 \cdot 8,7 = 5,47 \text{ мм.}$$

$$2Z_{3 \min} = 0,2 \cdot 8,7 = 1,4 \text{ мм.}$$

$$2Z_{4 \min} = 0,15 \cdot 8,7 = 0,8 \text{ мм.}$$

Розраховуємо технологічні розміри за переходами механічної обробки методом розмірних ланцюгів, починаючи з останнього переходу [4, 5].

Визначення максимального розміру за переходами МОП за формулами (1.20), (1.21) [4, 5]:

$$d_{imax} = d_{i+1max} + 2Z_{i+1min} + Td_i \quad (1.20)$$

$$d_{4max} = d_{4ном} + esd = 376,6 + 0 = 376,6 \text{ мм.}$$

$$d_{3max} = d_{4max} + 2Z_{4min} + Td_3 = 376,6 + 0,8 + 0,23 = 377,6 \text{ мм.}$$

$$d_{2max} = d_{3max} + 2Z_{3min} + Td_2 = 377,6 + 1,4 + 0,89 = 380 \text{ мм.}$$

$$d_{1max} = d_{2max} + 2Z_{2min} + Td_1 = 380 + 5,47 + 3,6 = 388,9 \text{ мм.}$$

$$d_{i min} = d_{i max} - Td_i \quad (1.21)$$

$$d_{4 min} = d_{4 max} - Td_4 = 377,6 - 3,6 = 374,0 \text{ мм.}$$

$$d_{3 min} = d_{3 max} - Td_3 = 380 - 0,89 = 379,11 \text{ мм.}$$

$$d_{2 min} = d_{2 max} - Td_2 = 377,6 - 0,23 = 377,37 \text{ мм.}$$

$$d_{1 min} = d_{1 max} - Td_1 = 388,9 - 3,6 = 385,3 \text{ мм.}$$

Розраховуємо граничні значення максимальних припусків за переходами механічної обробки за формулою (1.22) [4, 5].

$$2Z_{i max} = d_{i-1 max} - d_{i min} \quad (1.22)$$

$$2Z_{3 max} = d_{4 max} - d_{3 min} = 388,9 - 379,11 = 9,79 \text{ мм.}$$

$$2Z_{2 max} = d_{3 max} - d_{2 min} = 380 - 377,37 = 2,63 \text{ мм.}$$

$$2Z_{1 max} = d_{2 max} - d_{1 min} = 377,6 - 385,3 = -7,7 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку за формулою (1.19):

$$2Z_{o \max} = d_{\text{заг} \max} - d_{\text{дем} \min} = 388,9 - 376,511 = 12,4 \text{ мм.}$$

$$2Z_{o \min} = d_{\text{заг} \min} - d_{\text{дем} \max} = 385,3 - 376,6 = 8,7 \text{ мм.}$$

$$TZ_o = 12,4 - 8,7 = 3,6 + 0,089$$

$$3,7 = 3,689$$

Результати розрахунку цих та інших поверхонь вносимо в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунку припусків і технологічних розмірів

| Характеристика поверхні,<br>МОП                                                               | Елементи припуску |     |          |                 | Розр.                  |                      | До-<br>пуск<br>$Td_i$ | Граничні<br>значення розмірів |         | Граничні<br>значення<br>припуску |      | Вико-<br>навчий<br>технолог-<br>гічний<br>розмір |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----|----------|-----------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|---------|----------------------------------|------|--------------------------------------------------|
|                                                                                               | $Rz$              | $h$ | $\Delta$ | $\varepsilon_y$ | При-<br>пуск<br>$2Z_i$ | Роз-<br>мір<br>$d_i$ |                       | max                           | min     | max                              | min  |                                                  |
| 1                                                                                             | 2                 | 3   | 4        | 5               | 6                      | 7                    | 8                     | 9                             | 10      | 11                               | 12   | 13                                               |
| $\varnothing 101 \text{ H11} \left( \begin{smallmatrix} +0,22 \\ \end{smallmatrix} \right)$   |                   |     |          |                 |                        |                      |                       |                               |         |                                  |      |                                                  |
| 1. Заготовка– штамп.                                                                          | 200               | 250 | 870      | –               | –                      | 95,82                | 2,2                   | 98,02                         | 95,82   | –                                | –    | $\varnothing 97,8^{+0,7}_{-1,5}$                 |
| 2. ТО                                                                                         | –                 | –   | –        | –               | –                      | –                    | –                     | –                             | –       | –                                | –    | $\varnothing 99,2^{+0,87}$                       |
| 3. Точіння попереднє                                                                          | 100               | 100 | 52       | 420             | 1,2                    | 99,22                | 0,87                  | 100,09                        | 99,22   | 4,27                             | 1,2  | $\varnothing 100,5^{+0,35}$                      |
| 4. Точіння чорнове                                                                            | 50                | 50  | 2,6      | 100             | 0,4                    | 100,49               | 0,35                  | 100,84                        | 100,49  | 1,62                             | 0,4  | $\varnothing 101^{+0,22}$                        |
| 5. Точіння чистове                                                                            | 25                | 25  | 0,1      | 30              | 0,16                   | 101                  | 0,22                  | 101,22                        | 101     | 0,73                             | 0,16 |                                                  |
| $\varnothing 376,6 \text{ h8} \left( \begin{smallmatrix} -0,089 \\ \end{smallmatrix} \right)$ |                   |     |          |                 |                        |                      |                       |                               |         |                                  |      |                                                  |
| 1. Заготовка– штамп.                                                                          | 200               | 250 | 2510     | –               | –                      | 388,9                | 3,6                   | 388,9                         | 385,3   | –                                | –    | $\varnothing 387,5^{+2,2}_{-1,4}$                |
| 2. ТО                                                                                         | –                 | –   | –        | –               | –                      | –                    | –                     | –                             | –       | –                                | –    | –                                                |
| 3. Точіння попереднє                                                                          | 100               | 100 | 150      | 420             | 5,47                   | 380                  | 0,89                  | 380                           | 379,11  | 11,79                            | 5,3  | $\varnothing 379,1^{+0,89}_{-0,89}$              |
| 4. Точіння чорнове                                                                            | 25                | 50  | 75       | 50              | 1,4                    | 377,6                | 0,23                  | 377,6                         | 377,37  | 2,63                             | 1,51 | $\varnothing 377,6^{+0,23}_{-0,23}$              |
| 5. Точіння чистове                                                                            | 5                 | 10  | 6        | 25              | 0,8                    | 376,6                | 0,089                 | 376,6                         | 376,511 | 1,09                             | 0,77 | $\varnothing 376,6^{+0,089}_{-0,089}$            |

| Продовження табл. 1.7                                                                                                                                                                                                   |   |   |   |   |                                    |                                              |                                            |                                                  |                                              |                                    |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6                                  | 7                                            | 8                                          | 9                                                | 10                                           | 11                                 | 12                                 | 13                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| $\varnothing 269 \text{ H6} \left( \begin{smallmatrix} +0.032 \\ \end{smallmatrix} \right)$<br>1. Заготовка– штамп.<br>2. ТО<br>3.Точіння чорнове<br>4.Точіння напівчистове<br>5.Точіння чистове                        |   |   |   |   | –<br>–<br>10,9<br>3,4<br>1,7       | 257,2<br>–<br>264,5<br>267,4<br>269,03<br>2  | 3,6<br>–<br>0,52<br>0,081<br>0,032         | 257,2<br>–<br>264,5<br>267,4<br>269,032          | 253,6<br>–<br>264<br>267,3<br>269            | –<br>–<br>10,9<br>3,4<br>1,7       | –<br>–<br>6,8<br>2,8<br>1,6        | $\varnothing 253 \begin{smallmatrix} +1.2 \\ -2.4 \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 264 \begin{smallmatrix} +0.52 \\ \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 267,3 \begin{smallmatrix} +0.081 \\ \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 269 \begin{smallmatrix} +0.032 \\ \end{smallmatrix}$                                                                           |
| $\varnothing 348 \text{ H7} \left( \begin{smallmatrix} +0.037 \\ \end{smallmatrix} \right)$<br>1.Заготовка– штамп.<br>2. ТО<br>3. Точіння попереднє<br>4.Точіння чорнове<br>5.Точіння напівчистове<br>6.Точіння чистове |   |   |   |   | –<br>–<br>6,5<br>2,1<br>1,6<br>0,5 | 332,5<br>–<br>342,6<br>345,6<br>347,4<br>348 | 3,6<br>–<br>0,89<br>0,23<br>0,089<br>0,037 | 336,1<br>–<br>343,5<br>345,8<br>347,5<br>348,037 | 332,5<br>–<br>342,6<br>345,6<br>347,4<br>348 | –<br>–<br>11<br>3,2<br>1,9<br>0,64 | –<br>–<br>6,5<br>2,1<br>1,6<br>0,5 | $\varnothing 333,7 \begin{smallmatrix} +1.2 \\ -2.4 \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 342,6 \begin{smallmatrix} +0.89 \\ \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 345,6 \begin{smallmatrix} +0.23 \\ \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 347,4 \begin{smallmatrix} +0.089 \\ \end{smallmatrix}$<br>$\varnothing 348 \begin{smallmatrix} +0.037 \\ \end{smallmatrix}$ |
| $2,8 \text{ h13} \left( \begin{smallmatrix} -0.14 \\ \end{smallmatrix} \right)$<br>1. Заготовка– штамп.<br>2. Т/о<br>3.Точіння попереднє<br>4.Точіння чорнове<br>5.Точіння чистове                                      |   |   |   |   | –<br>–<br>12<br>3,5<br>1,7         | 9,2<br>–<br>7,2<br>4,1<br>2,66               | 1<br>–<br>0,4<br>0,25<br>0,14              | 20,2<br>–<br>7,6<br>4,35<br>2,8                  | 19,2<br>–<br>7,2<br>4,1<br>2,66              | –<br>–<br>12<br>3,5<br>1,7         | –<br>–<br>10,6<br>2,85<br>1,3      | $20 \pm 0,5$<br>$7,6 \begin{smallmatrix} -0.4 \\ \end{smallmatrix}$<br>$4,35 \begin{smallmatrix} -0.25 \\ \end{smallmatrix}$<br>$2,8 \begin{smallmatrix} -0.14 \\ \end{smallmatrix}$                                                                                                                                                                           |

## 1.6 Розрахунок режимів різання

Основними критеріями визначення режимів різання є:

- забезпечення заданої якості оброблення – точності геометричного розміру, форми і взаємного розташування поверхонь, шорсткості;
- забезпечення максимальної продуктивності;
- забезпечення мінімальної собівартості;
- забезпечення максимального використання технологічних можливостей верстата.

Нижче показано розрахунки режимів різання на основні механічні операції, основні параметри показано в табл. 1.8.

Операція токарна № 010.

Різальні інструменти:

1) Різець прохідний відігнутий лівий з напайними пластинами з твердого сплаву ВК8:  $\varphi = 45^\circ$ ,  $R = 1$  мм, 20 мм х 12 мм х 120 мм, ГОСТ 18868–73.

2) Різець підрізний з пластиною з швидкорізальної сталі,  $R = 1$  мм, 20 х 16 х 120, ГОСТ 18880–73.

3) Різець спеціальний.

Верстат: токарний з ЧПК АТПр–800.

Операційний ескіз показано на рис. 1.5.

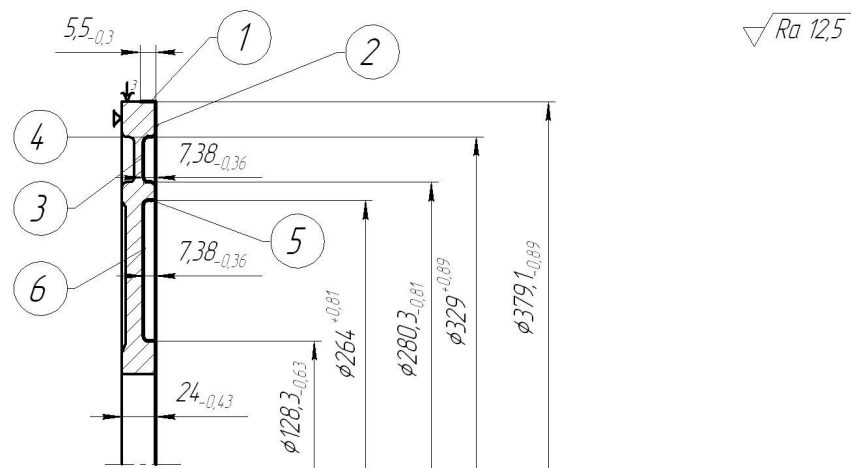


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Для першого інструменту.

На даній операції знімаємо шар товщиною 3 мм за 2 проходи, тобто, глибина різання складе 1,5 мм.

Визначаємо подачу за формулами (1.23), (1.24) [5, с. 67]:

$$S_o = S_{om} \cdot K_{so}. \quad (1.23)$$

$$K_{so} = K_{sn} \cdot K_{sm}, \quad (1.24)$$

де  $K_{sn}$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;  $K_{sn} = 1$ ;

$K_{sm}$  – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі;  $K_{sm} = 1$ ;

$S_{om}$  – табличне значення подачі,  $S_{om} = 0,24$  мм/об.

$$S = 0,24 \cdot 1 \cdot 1 = 0,24 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулами (1.25), (1.26) [5, с. 67]:

$$V = V_T \cdot K_v. \quad (1.25)$$

$$K_v = K_{vm} \cdot K_{vu} \cdot K_{vc} \cdot K_{vt} \cdot K_{vj} \cdot K_{vn} \cdot K_{vo} \quad (1.26)$$

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

$K_{vm}$  – коефіцієнт, щодо оброблюваності матеріалу;

$K_{vu}$  – коефіцієнт, щодо властивостей матеріалу інструменту;

$K_{vc}$  – коефіцієнт, щодо впливу кута в плані;

$K_{vt}$  – коефіцієнт, щодо виду обробки;

$K_{vj}$  – коефіцієнт, щодо жорсткості технологічної системи;

$K_{vn}$  – коефіцієнт, щодо стану оброблюваної поверхні;

$K_{vo}$  – коефіцієнт, щодо впливу ЗОТС.

$$V_T = 55,8 \text{ м/хв.}$$

$$K_{vm} = 1; K_{vu} = 1; K_{vc} = 1; K_{vt} = 1; K_{vj} = 1,07; K_{vn} = 1; K_{vo} = 1.$$

$$V = 55,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,07 = 59,7 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя за формулою (1.27) [4, 5]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.27)$$

де  $V$  – швидкість різання, м/хв;

$D$  – діаметр деталі, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 59,7}{3,14 \cdot 379,1} = 48,6 \text{ об/хв.}$$

За паспортом верстата приймаємо  $n_{верст.} = 45 \text{ об/хв.}$

Розраховуємо дійсну швидкість різання за формулою (1.28) [4, 5]:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (1.28)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 379,1 \cdot 45}{1000} = 52,2 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо основний час за формулами (1.29) та (1.30) [4, 5]:

$$t_o = \frac{L_{р.д.}}{Sn}, \quad (1.29)$$

де  $L_{р.х}$  – довжина робочого ходу, мм.

$$L_{р.х} = l_{рез} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.30)$$

де  $l_{рез}$  – довжина різання,  $l_{рез} = 48,45 \text{ мм}$ ;

$l_{вр}$  – довжина врізання,  $l_{вр} = 5,0 \text{ мм}$ ;

$l_{пер}$  – довжина перебігу,  $l_{пер} = 2,0 \text{ мм}$ .

$$t_o = \frac{48,45 + 5 + 2}{0,24 \cdot 45} \cdot 2 = 26 \text{ хв.}$$

Для другого інструменту режими різання розраховуємо за найбільшим діаметром оброблюваної поверхні, тобто для  $\varnothing 379_{-0,89}$ .

Припуск в розглянутому переході знімаємо за 3 проходи, тобто, глибина різання складе 1,5 мм.

Визначаємо подачу за формулою (1.23):

$$S = 0,18 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,16 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість головного руху за формулою (1.25) [5, с. 67]:

$$V = 55,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,07 = 59,7 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя за формулою (1.27):

$$n = \frac{1000 \cdot 59,7}{3,14 \cdot 342,6} = 55,9 \text{ об/хв.}$$

За паспортом верстата приймаємо  $n_{верст.} = 55 \text{ об/хв.}$

Розраховуємо дійсну швидкість різання.

$$V = \frac{3,14 \cdot 342,6 \cdot 55}{1000} = 59,2 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо основний час (1.29):

$$t_o = \frac{90,4 + 5 + 3}{0,16 \cdot 55} \cdot 3 = 20,5 \text{ хв.}$$

Для третього інструменту, який оброблює зовнішній діаметр деталі приймаємо ті ж значення подачі і частоти обертання шпинделя. Припуск дорівнює 4,2 мм, отже, для отримання планованої якості поверхні необхідно виконати три проходи з глибиною різання 1,5 мм кожен. Розраховуємо час на даний перехід:

$$t_o = \frac{13,5 + 5 + 5}{0,16 \cdot 55} \cdot 3 = 8 \text{ хв.}$$

Операція токарна № 065.

Верстат: токарний з ЧПК АТПР–800.

Різальні інструменти: різець підрізний з пластинами з твердого сплаву ВК8,  $R = 1,2$  мм, 32 мм х 20 мм х 170мм, ГОСТ 18880–73.

Ескіз операції показано на рис. 1.6.

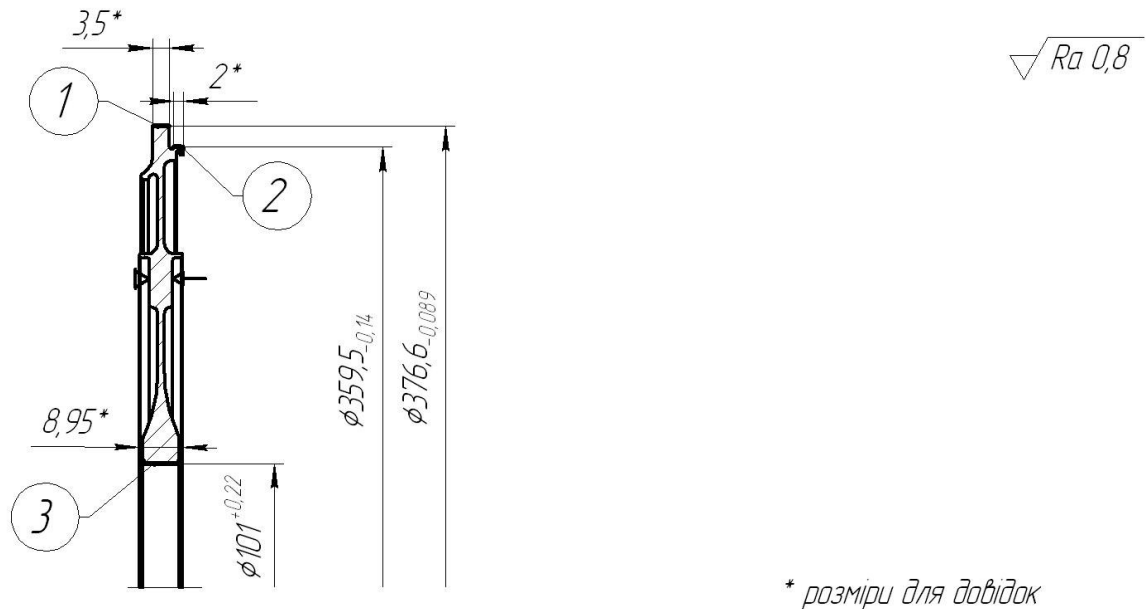


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Точити поверхні 10, 13, 32 начисто.

Режими різання вибираємо по найбільшому розміру  $\varnothing 376,6$  мм.

Глибина різання:

$$t = \frac{d_{\text{заг}}^{\text{max}} - d_{\text{дет}}^{\text{min}}}{2} = \frac{388 - 376,511}{2} = 5,7 \text{ мм.}$$

Знімаємо цей припуск за два проходи.

Визначаємо подачу за формулою (1.23):

$$S = 0,24 \cdot 1 \cdot 1 = 0,24 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість головного руху різання за формулою (1.25, 1.26):

$$V_T = 55,8 \text{ м/хв.}$$

$$V = 55,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,92 = 51,4 \text{ м/хв.}$$

Для другого проходу:

$$V = 55,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 55,8 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя за формулою (1.27):

$$n = \frac{1000 \cdot 51,4}{3,14 \cdot 376,6} = 43,5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата  $n_{cm} = 45 \text{ об/хв.}$

Розраховуємо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 376,6 \cdot 45}{1000} = 53,2 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо основний час за формулою (1.29):

$$l_{різ.} = 15 \text{ мм}; l_{вр.} = 2,0 \text{ мм}; l_{пер.} = 3,0 \text{ мм.}$$

$$t_o = \frac{15 + 2 + 3}{0,24 \cdot 45} \cdot 2 = 1,85 \text{ хв.}$$

Операція фрезерна № 085.

Верстат: свердлильно-фрезерно-розточний IP500МФ4 з ЧПК. Ескіз операції показано на рис. 1.7.

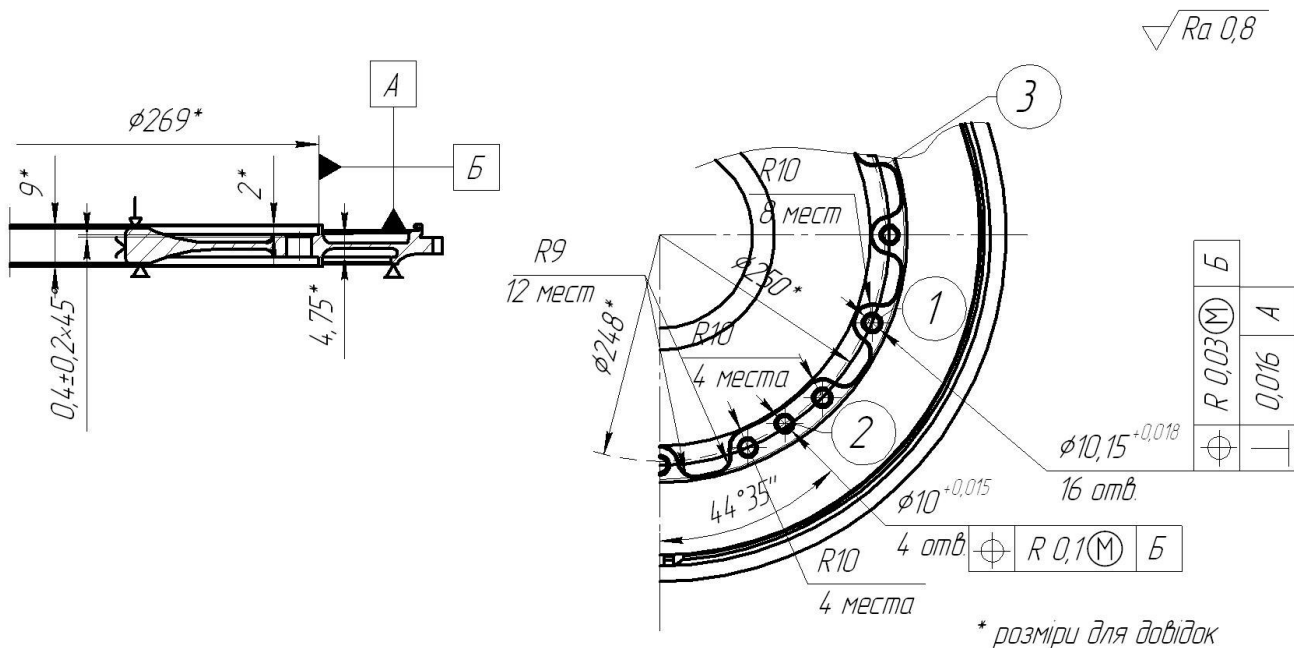


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

На даній операції виконується:

- свердління 16 отворів  $\varnothing 10, 15$  мм;
- свердління 4 отворів  $\varnothing 10$  мм;
- фрезерування контуру.

Вибираємо різальні інструменти, виходячи з умов обробки, враховуючи, перш за все, властивості оброблюваного матеріалу:

1) Свердло центрувальне з циліндричним хвостовиком для зацентровки під свердління  $\varnothing 5$  мм, ВК8 ОСТ 2 И20–5 – 80.

2) Свердло циліндричне  $\varnothing 9,9$  мм, ГОСТ

2) Зенкери, оснащені пластинами з твердого сплаву ВК8, з конічним хвостовиком  $\varnothing 10,05$  и  $\varnothing 10$  мм ГОСТ 3231–71.

3) Розвертки машинні, оснащені пластинами з твердого сплаву ВК8, з конічним хвостовиком,  $\varnothing 10,15$  мм,  $L = 140$  мм,  $l = 16$  мм ГОСТ 11175–80.

4) Фреза кінцева твердосплавна зі сплаву ВК8 з циліндричним хвостовиком,  $\varnothing 20$  мм,  $r = 2,5$  мм,  $L = 40$  мм,  $l = 8$  мм,  $z = 6$  за ГОСТ 17025–71.

Режими різання для центрування отворів.

Подача:  $S = 0,06$  об/хв приймаємо за нормативами [4].

Швидкість різання знаходимо за формулою (1.31):

$$V_I = V_{табл} \cdot K_{7v} K_{1v} K_{6v} K_{8v} K_{2v} K_{4v} K_{5v}, \quad (1.31)$$

де  $V_{табл} = 9,4$  м/хв – для обраного матеріалу ріжучої частини інструменту [4, с. 67].

$K_{7v} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує марку матеріалу інструменту;

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

$K_{6v} = 0,45$  – коефіцієнт, що враховує діаметр свердління;

$K_{8v} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС;

$K_{2v} = 1,41$  – коефіцієнт, що враховує стійкість інструменту;

$K_{4v} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

$K_{5v} = 1,47$  – коефіцієнт, що враховує величину подачі.

$$V_I = 9,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 \cdot 0,8 \cdot 1,41 \cdot 1,0 \cdot 1,47 = 7 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання розраховується за формулою (1.27):

$$n_I = \frac{1000 \cdot 7}{3,14 \cdot 5} = 445,9 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстата  $n_{cm} = 422 \text{ об/хв.}$

Тоді фактична швидкість різання:

$$V_{факт} = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 422}{1000} = 6,62 \text{ м/хв.}$$

Основний час:

$$L_{p.x} = 0,5 \text{ мм.}$$

$$l_{вр} + l_{пер} = 3 \text{ мм.}$$

$$t_o = 20 \cdot \frac{0,5 + 3}{0,06 \cdot 422} = 2,8 \text{ хв} - \text{основний час центрування 20 отворів.}$$

Розрахуємо режими для свердління.

Глибина різання:

$$t_1 = 2,5 \text{ мм} - \text{для отворів } \varnothing 5 \text{ мм;}$$

$$t_2 = 4,95 \text{ мм} - \text{для отворів } \varnothing 9,8 \text{ мм.}$$

Обираємо подачу на оберт [4, с. 67]:

$$S_{1табл} = 0,09 \text{ мм/об.}$$

$$S_{2табл} = 0,15 \text{ мм/об.}$$

Поправочні коефіцієнти на подачу:

$$K_{sl} = 1,0 - \text{коефіцієнт, що враховує глибину свердління;}$$

$$K_{sd} = 1,0 - \text{коефіцієнт, що враховує характер отвору (наскрізне);}$$

$$S_{розр1} = S_{табл} \cdot K_{sl} \cdot K_{sd} = 0,09 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,09 \text{ мм/об.}$$

$$S_{розр2} = S_{табл} \cdot K_{sl} \cdot K_{sd} = 0,15 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,15 \text{ мм/об.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$$V_{табл} = 9,4 \text{ м/хв} - \text{для обраного матеріалу різальної частини інструменту.}$$

Швидкість для свердління отворів  $\varnothing 5 \text{ мм}$ :

$$V_1 = 9,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,45 \cdot 1,0 \cdot 1,41 \cdot 1,0 \cdot 1,18 = 7 \text{ м/хв.}$$

Швидкість для свердління отворів  $\varnothing 9,9$  мм:

$$V_2 = 9,4 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,46 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 9,6 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделя:

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 7}{3,14 \cdot 5} = 445,9 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{cm} = 422$  об/хв.

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 9,6}{3,14 \cdot 9,9} = 305,7 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{верст} = 290$  об/хв;

Тоді фактична швидкість різання за формулою (1.28):

$$V_{1факт} = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 422}{1000} = 6,62 \text{ м/хв.}$$

$$V_{2факт} = \frac{3,14 \cdot 9,9 \cdot 290}{1000} = 9 \text{ м/хв.}$$

Розрахуємо основний машинний час за формулою (1.29).

$$L_{рез} = 9,5 \text{ мм.}$$

$$l_{вр} + l_{нер} = 5 \text{ мм.}$$

$$t_{1o} = 20 \cdot \frac{9,5 + 5}{0,09 \cdot 422} = 7,6 \text{ хв} - \text{основний час свердління 20 отворів } \varnothing 5 \text{ хв.}$$

$$t_{2o} = 20 \cdot \frac{9,5 + 5}{0,15 \cdot 290} = 6,7 \text{ хв} - \text{основний час свердління 20 отворів } \varnothing 9,9 \text{ хв.}$$

Визначаємо режими для подальшого зенкерування отворів.

Глибина різання [3, с. 276].

$$t_1 = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (10,15 - 9,9) = 0,125 \text{ мм.}$$

$$t_2 = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (10 - 9,9) = 0,05 \text{ мм.}$$

Подачу для розсвердлювання отворів призначаємо в 1,5 разів більшу, ніж під час свердління, тобто:  $S = 0,25$  мм/об.

Так як розсвердлювання отворів виконується з метою підвищення точності розміру і якості поверхні, то частоту обертання інструменту залишаю такою ж, як і під час свердління:

$$n_{верст} = 290 \text{ об/хв.}$$

Розраховуємо основний час:

$$L_{p.x} = 9,5 \text{ мм.}$$

$$l_{вр} + l_{нер} = 5 \text{ мм.}$$

$$to_1 = 16 \cdot \frac{9,5 + 5}{0,25 \cdot 290} = 3,2 \text{ хв} - \text{час розсвердлювання 16 отворів.}$$

$$to_2 = 4 \cdot \frac{9,5 + 5}{0,25 \cdot 290} = 0,8 \text{ хв} - \text{час розсвердлювання 4 отворів.}$$

Режими різання для розгортання розраховуємо аналогічно.

Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot (D - d) = 0,5 \cdot (10,15 - 9,8) = 0,175 \text{ мм.}$$

Подача на оберт:

$$S_{отабл} = 0,27 \text{ мм/об.}$$

Поправочний коефіцієнт на подачу:

$K_{sd} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує характер отвору (наскрізне):

$$S_{розр.} = S_{табл} \cdot K_{sl} = 0,27 \cdot 1,0 = 0,27 \text{ мм/об.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$$V_p = 5,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 0,68 \cdot 1,27 = 4,5 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделя за формулою (1.27):

$$n = \frac{1000 \cdot 4,5}{3,14 \cdot 10,15} = 141,2 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{см} = 150 \text{ об/хв.}$

Тоді фактична швидкість різання:

$$V_{факт} = \frac{3,14 \cdot 10,15 \cdot 150}{1000} = 4,8 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо основний час.

$$L_{p.x} = l_{рез} + l_{вр} + l_{нер.}$$

$$l_{вр} + l_{нер} = 4 \text{ мм.}$$

$$to = 16 \cdot \frac{9,5 + 4}{0,27 \cdot 150} = 5,7 \text{ мин} - \text{час зенкерування 16 отворів.}$$

Розрахуємо режими різання для фрезерування контуру з одного боку деталі.

Визначаємо ширину фрезерування [4, с. 281].

$$B = 0,5 \cdot (9,5 - 3,6) = 2,95 \text{ мм.}$$

Глибина різання:

$$t_1 = 16 \text{ мм;}$$

$$t_2 = 2,5 \text{ мм;}$$

Таблична подача на зуб для обробки сплаву ВТ8–1 становить 0,06 мм/зуб, коригується за допомогою поправочних коефіцієнтів [4, с. 32].

$K_{vD} = 1,0$ ; 0,44 – коефіцієнт, що враховує діаметр фрези;

$K_{vt} = 0,79$ ; 1,16 – коефіцієнт, що враховує глибину різання;

$K_{vz} = 1,15$  – коефіцієнт, що враховує ширину фрезерування;

$K_{vRa} = 0,5$ ; 0,3 – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні;

$K_{vm} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує матеріал різальної частини інструменту.

Тоді:

$$Sz_{расч1} = S_{табл} \cdot K_{vD} \cdot K_{vt} \cdot K_{vz} \cdot K_{vRa} \cdot K_{vm} = 0,06 \cdot 1,0 \cdot 0,79 \cdot 1,15 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,02 \text{ мм/зуб.}$$

$$Sz_{расч2} = S_{табл} \cdot K_{vD} \cdot K_{vt} \cdot K_{vz} \cdot K_{vRa} \cdot K_{vm} = 0,06 \cdot 0,44 \cdot 1,16 \cdot 1,15 \cdot 0,3 \cdot 0,8 = 0,01 \text{ мм/зуб.}$$

Подача на один оберт інструменту складе за формулою (1.32):

$$Sp = S_z \cdot z. \quad (1.32)$$

$$Sp_1 = 0,02 \cdot 4 = 0,08 \text{ мм/об.}$$

$$Sp_2 = 0,01 \cdot 6 = 0,06 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання:

$$V_{табл} = 21,85 \text{ м/хв.};$$

$K_{v\sigma} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу;

$K_{vc} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні (без корки);

$K_{vD} = 1,0$ ; 0,87 – коефіцієнт, що враховує вплив діаметра фрези, числа зубів і ширини фрезерування;

$K_{voxл} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС;

$K_{vt} = 0,79; 1,04$  – коефіцієнт, що враховує глибину фрезерування;

$K_{vn} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує характер оброблюваної поверхні;

$K_{vs} = 1,2; 1,33$  – коефіцієнт, що враховує величину подачі.

Тоді:

$$V_{pl} = 21,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,79 \cdot 1,0 \cdot 1,2 = 20,7 \text{ м/хв.}$$

$$V_{pl} = 21,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,87 \cdot 1,04 \cdot 0,79 \cdot 1,0 \cdot 1,33 = 20,8 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання фрези за формулою (1.27):

$$n_l = \frac{1000 \cdot 20,7}{3,14 \cdot 16} = 412 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{верст.} = 390 \text{ об/хв.}$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 20,8}{3,14 \cdot 20} = 331,2 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо  $n_{ст} = 315 \text{ об/хв.}$

Дійсна швидкість обертання фрези:

$$V_{факт1} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 390}{1000} = 19,6 \text{ м/хв.}$$

$$V_{факт2} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 315}{1000} = 19,8 \text{ м/хв.}$$

Основний час на виконання даної операції:

$$t_{o1} = \frac{240 + 5}{0,08 \cdot 390} = 37,8 \text{ хв} - \text{основний час чорнового фрезерування.}$$

$$t_{o2} = \frac{778,8 + 5}{0,06 \cdot 315} \cdot 2 = 80,4 \text{ хв} - \text{основний час напівчистового і чистового}$$

фрезерування.

Операція протяжна №115

Верстат: горизонтально–протяжний 7Б56.

Ескіз показано на рис. 1.8.

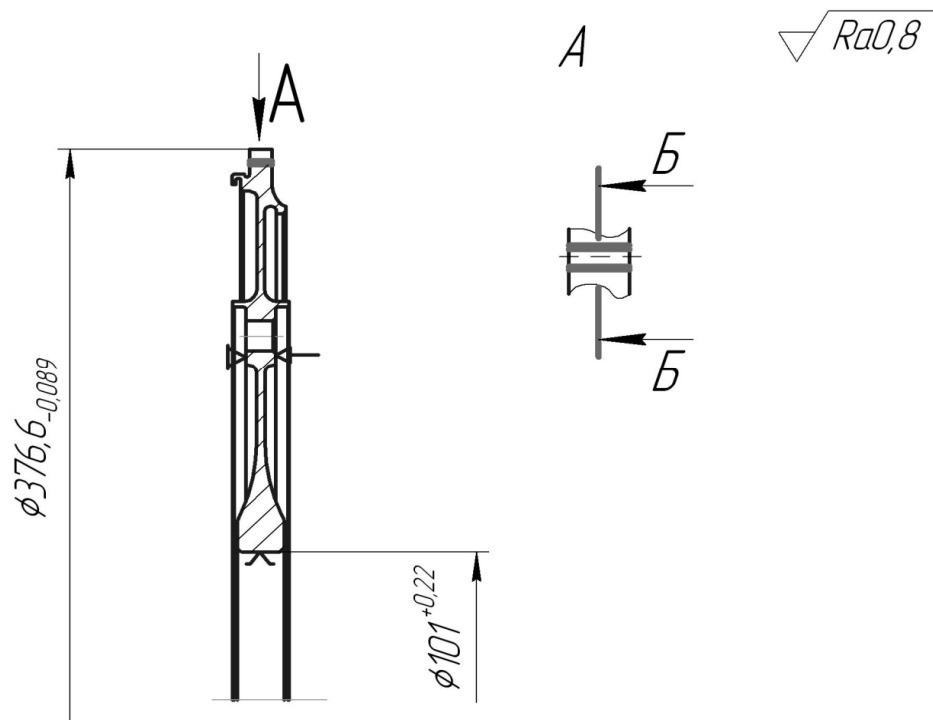


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз оп. 115

Формується поверхня паза трьома протяжками.

Подачу на зуб протяжки:

$S_{табл} = 0,06$  мм/зуб при ширині зуба протяжки  $B = 6,5$  мм.

Визначаємо поправочні коефіцієнти на подачу:

$K_{sf} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

$K_{sp} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує схему різання;

$K_{sz} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує якість поверхні.

Подача:

$$S_{расч} = S_{табл} \cdot K_{sf} \cdot K_{sp} \cdot K_{sz} = 0,06 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 0,04 \text{ мм/зуб.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$V_{табл} = 4$  м/хв – швидкість холостого ходу протягання.

Визначаємо поправочні коефіцієнти для швидкості різання:

$K_{vm} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує міцність оброблюваного матеріалу;

$K_{vp} = 0,8$  – коефіцієнт, що враховує схему різання;

$K_{vz} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує якість поверхні.

$$V = V_{\text{табл}} \cdot K_{\text{ум}} \cdot K_{\text{вр}} \cdot K_{\text{вз}} = 4 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 = 3,2 \text{ м/хв.}$$

Швидкість робочого ходу  $V_{\text{пред}} = 1 \text{ м/хв.}$

Основний машинний час:

$$t_o = \frac{L_{\text{д.д.}} \cdot i}{1000 \cdot V}, \quad (1.33)$$

де  $L_{\text{рх}} = l_n + l_u + l_{\text{доо}}$  – довжина робочого, мм;

$l_n$  – довжина робочої частини протяжки, мм.

Довжина робочої частини протяжки, мм:  $l_n = 1325 \text{ мм.}$

$l_{\text{доо}}$  – додаткова довжина ходу протяжки,  $l_{\text{доо}} = 30 - 50 \text{ мм.}$

$$t_o = \left( \frac{1325 + 50}{1000 \cdot 1} + 2 \cdot \frac{875 + 30}{1000 \cdot 1} \right) \cdot 96 = 266,75 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків по іншим поверхням заносимо в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Розрахунок режимів різання для механічних операцій обробки диска

| Номер операції | Номер переходу | Зміст переходу | Число проходів | Режими обробки      |               |                          |                               | Основний (технологічний) час, хв. |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|                |                |                |                | Глибина різання, мм | Подача, мм/об | Швидкість різання, м/хв. | Число обертів шпинделя об/хв. |                                   |
| 010            | 1              | Точіння        | 3              | 1,5                 | 0,24          | 55,2                     | 45                            | 54,5                              |
|                | 2              | Точіння        |                | 1,5                 | 0,16          | 59,2                     | 55                            |                                   |
|                | 3              | Точіння        |                | 1,2                 | 0,16          | 59,2                     | 55                            |                                   |
| 015            | 1              | Точіння        | 3              | 1,8                 | 0,24          | 55,2                     | 45                            | 54,5                              |
|                | 2              | Точіння        | 2              | 1,5                 |               |                          |                               |                                   |
| 025            | 1              | Точіння        | 2              | 1,8                 | 0,24          | 55,2                     | 45                            | 40,7                              |
|                | 2              | Точіння        | 2              |                     |               |                          |                               |                                   |
| 030            | 1              | Точіння        | 1              | 0,7                 | 0,24          | 55,2                     | 45                            | 42,1                              |
|                | 2              | Точіння        | 2              | 1                   |               |                          |                               |                                   |
| 055            | 1              | Точіння        | 2              | 0,8                 | 0,2           | 94,2                     | 100                           | 15,28                             |
| 060            | 1              | Точіння        | 2              | 0,8                 | 0,2           | 94,2                     | 100                           | 16,1                              |
| 065            | 1              | Точіння        | 1              | 0,1                 | 0,2           | 66,5                     | 210                           | 1,85                              |
| 085            | 1              | Свердління     | 4              | 5,075               | 0,09          | 6,62                     | 422                           | 308,9                             |
|                | 2              | Свердління     | 3              | 5                   | 0,15          | 9                        | 290                           |                                   |
|                | 3              | Фрезерування   | 3              | 16                  | 0,25          | 4,8                      | 150                           |                                   |
|                |                |                |                | 2,5                 | 0,02          | 20,7                     | 390                           |                                   |
| 090            | 1              | Фрезерування   | 3              | 16                  | 0,02          | 19,6                     | 390                           | 117,9                             |
|                |                |                |                | 2,5                 | 0,01          |                          | 2500                          |                                   |
| 115            | 1              | Протягування   | 3              | 6,5                 | 0,04 мм/зу б  | 3,2                      | –                             | 266,75                            |
| 120            | 1              | Протягування   | 3              | 1,5                 | 0,04 мм/зу б  | 3,2                      | –                             | 2,75                              |
| 135            | 1              | Фрезерування   | 1              | –                   | 0,01          | 15,7                     | 2000                          | 28                                |
|                | 2              | Точіння        | 1              | 0,1                 | 0,2           | 84,7                     | 450                           |                                   |

### 1.7 Технічне нормування

Технічна норма часу – обґрунтований проміжок часу, необхідний для виконання конкретної операції. У серійному виробництві нормою часу є штучно–калькуляційний час [6].

Штучний час для неавтоматизованого виробництва включає в себе за формулою (1.34):

$$t_{um} = t_o + t_{ecn} + t_{don} \quad (1.34)$$

Основний час визначається для кожної механічної операції окремо. У разі, якщо технологічні переходи виконуються послідовно, то загальний основний час розраховують як сумарний, за кожним технологічним переходом. У разі, якщо переходи операції виконуються паралельно, то в якості основного часу приймають найбільше значення. Основний час роботи інших позицій, головок, супортів, інструментів в такому випадку не враховують, тому що він перекривається.

Основна робота на металорізальних верстатах неможлива без витрат допоміжного часу, необхідних для установки, закріплення і зняття заготовки  $t_{вст.}$ , очищення базових поверхонь та інструменту від стружки, підведення і відведення інструменту, пуску і зупинки верстата, перемикання режимів обробки  $t_{упр.}$ , вимірювань деталі  $t_{контр.}$ , індексації на позиціях обробки агрегатних верстатів  $t_{ind}$  тощо.

Сума основного і допоміжного часу становить оперативний час, який є основною частиною технічних норм і визначається на кожну операцію окремо.

Додатковий час включає в себе час на технічне  $t_{tex}$  і організаційне  $t_{орг}$  обслуговування робочого місця, а також час на відпочинок і особисті потреби  $t_{відп.}$ . Додатковий час встановлюється у відсотковому відношенні  $\alpha$  від оперативного часу. [6]

Норма штучно–калькуляційного часу визначається за формулою (1.35):

$$t_{um-к} = t_{um} + \frac{t_{n.з}}{n}, \quad (1.35)$$

де  $t_{n.з}$  – підготовчо–заклучний час;

$n$  – кількість заготовок в партії.

Розрахуємо норму часу на токарну операцію № 010.

$t_o = 26,6$  хв – основний час.

Визначимо допоміжний час знаходимо за формулою (1.36):

$$t_{\text{дон}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{контр}} + t_{\text{інд}} \quad (1.36)$$

де  $t_{\text{вст}} = 0,28$  хв – час на встановлення, закріплення та зняття деталі [6].

$t_{\text{упр}} = 0,015$  мин – время на управление станком;

$t_{\text{контр}} = t_{\text{контр}} \cdot i \cdot k = 0,09 \cdot (2 \cdot 6) \cdot 0,3 = 0,32$  хв – час на контроль оброблюваних поверхонь скобою або шаблоном [6].

$t_{\text{контр}} = 0,09$  хв – нормативний час контролю;

$i = 2$  – кількість вимірювань;

$k = 0,3$  – коефіцієнт періодичності перевірки.

$t_{\text{ус.п.}} = t_{\text{уп}} \cdot i + t_{\text{см.и.}} \cdot i = 0,05 \cdot 2 + 0,02 \cdot 2 = 0,14$  хв – час прискорених переходів, включає час прискореного підведення і відведення інструменту і зміну режимів різання.

Тоді:

$$t_{\text{дон}} = 0,28 + 0,15 + 0,32 + 0,14 = 0,57 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{он}} = t_o + t_{\text{дон}} = 54,5 + 0,57 = 55,07 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{ум-к}} = 55,07 + \frac{25}{52} = 55,6 \text{ хв.}$$

Нормування інших операцій виконується аналогічно, результати розрахунку вносимо в табл. 1.9.

Таблиця 1.10 – Нормування механічних операцій виготовлення диска

| №<br>оп, | Найменування<br>операції   | $t_o$ , хВ | $t_6$ , хВ |                |                  |               | $t_{on}$ , хВ | $t_{don}$ , хВ | $t_{um}$ , хВ | $t_{n-3}$ ,<br>хВ | $t_{um-k}$ , хВ |
|----------|----------------------------|------------|------------|----------------|------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|
|          |                            |            | $t_y$ , хВ | $t_{ynp}$ , хВ | $t_{kontp}$ , хВ | $t_{yn}$ , хВ |               |                |               |                   |                 |
| 010      | Токарна з ЧПК              | 54,5       | 0,28       | 0,015          | 0,32             | 0,14          | 55,07         | 5,9            | 60,97         | 18                | 61,3            |
| 015      | Токарна з ЧПК              | 54,5       | 0,28       | 0,015          | 0,32             | 0,35          | 55,07         | 5,9            | 60,97         | 18                | 61,3            |
| 025      | Токарна з ЧПК              | 40,7       | 0,1        | 0,015          | 0,65             | 0,28          | 41,75         | 2,7            | 44,45         | 16                | 44,8            |
| 030      | Токарна з ЧПК              | 37,3       | 0,1        | 0,015          | 0,73             | 0,21          | 38,4          | 2,5            | 40,9          | 16                | 41,3            |
| 055      | Токарна з ЧПК              | 15,28      | 0,1        | 0,015          | 0,97             | 0,14          | 16,5          | 1,1            | 17,6          | 16                | 17,9            |
| 060      | Токарна з ЧПК              | 16,1       | 0,1        | 0,015          | 0,97             | 0,14          | 17,3          | 1,12           | 18,42         | 16                | 18,7            |
| 065      | Токарна з ЧПК              | 1,85       | 0,28       | 0,015          | 0,081            | 0,07          | 0,95          | 0,1            | 2,4           | 18                | 2,75            |
| 085      | Фрезерна з ЧПК             | 308,9      | 0,5        | 0,07           | 0,27             | 0,93          | 310,7         | 21,3           | 332           | 26                | 332,5           |
| 090      | Фрезерна з ЧПК             | 117,9      | 0,5        | 0,07           | 0,5              | 0,3           | —             | 19,2           | 279,2         | 26                | 279,7           |
| 115      | Горизонтально–<br>протяжна | 266,75     | 0,5        | 0,19           | 7,78             | 0,21          | 275,4         | 20,4           | 295,8         | 14                | 296,1           |
| 120      | Горизонтально–<br>протяжна | 2,75       | 0,5        | 0,19           | 0,081            | 0,21          | 3,73          | 0,3            | 4,03          | 14                | 4,3             |
| 135      | Комплексна с ЧПК           | 28         | 0,5        | 0,15           | 0,054            | 0,14          | 28,84         | 0,2            | 30,04         | 16                | 30,35           |

## 1.8 Розробка технологічних операцій для верстатів з ЧПУ з використанням пакету NX

### 1.8.1 Токарна операція 010

Операційний ескіз показано на рис. 1.5.

Верстат: токарний з ЧПК АТПр-800. Інструменти вказано в п. 1.6.

Візуалізація усіх переходів токарної операції за допомогою пакету Siemens NX представлено на рисунках 1.9 – 1.11.

На першому переході за 2 проходи підрізаємо торець (рис. 1.9), забезпечуючи розмір  $24_{-0,47}^{+0,47}$ .

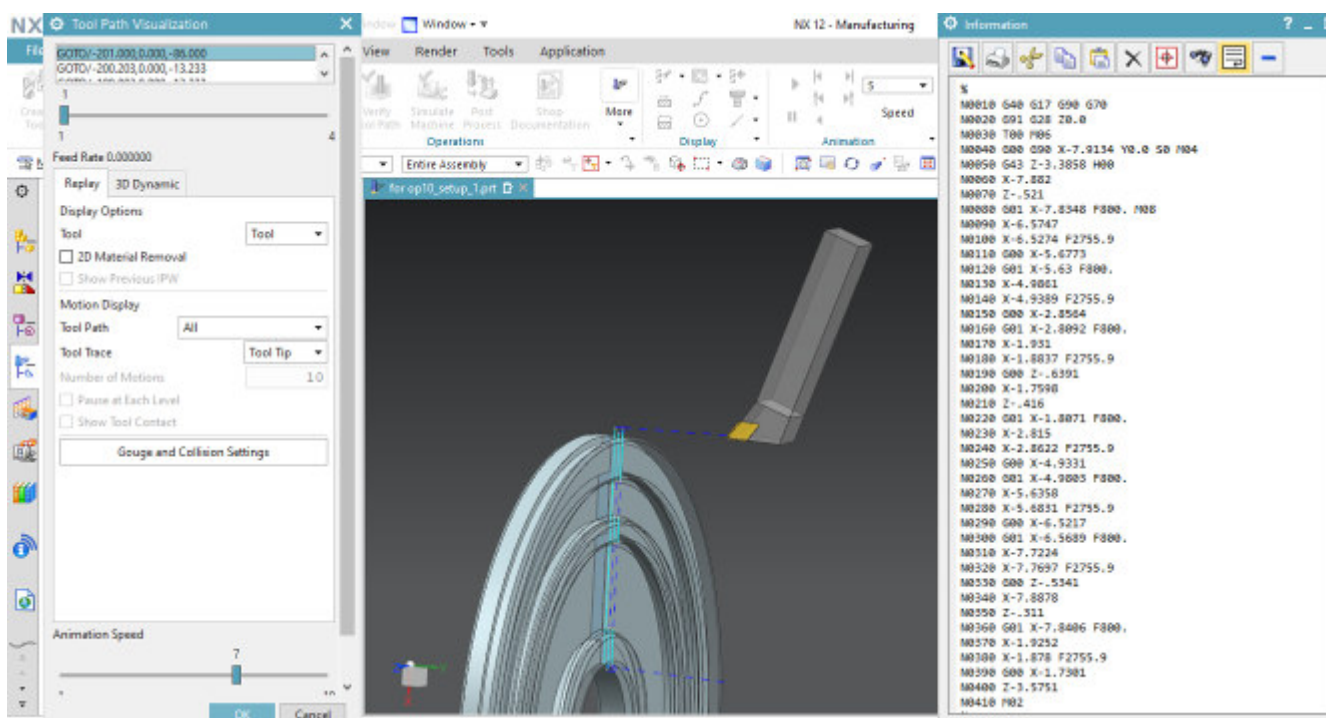
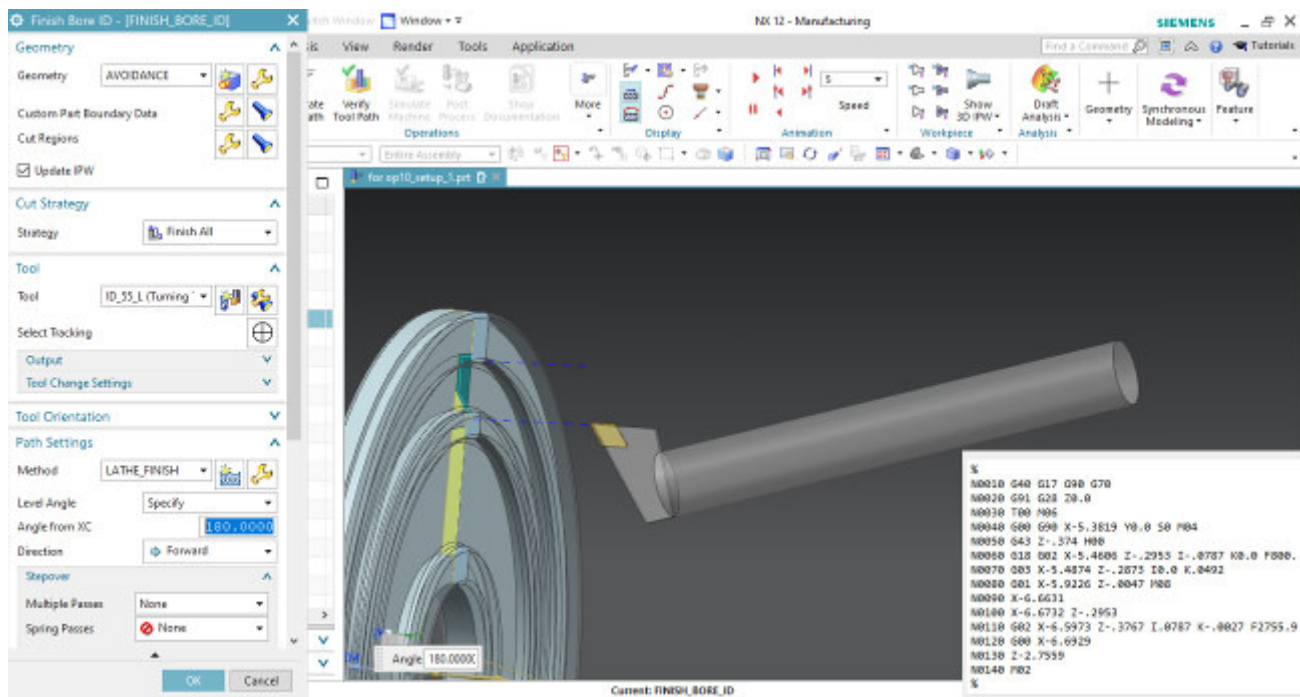
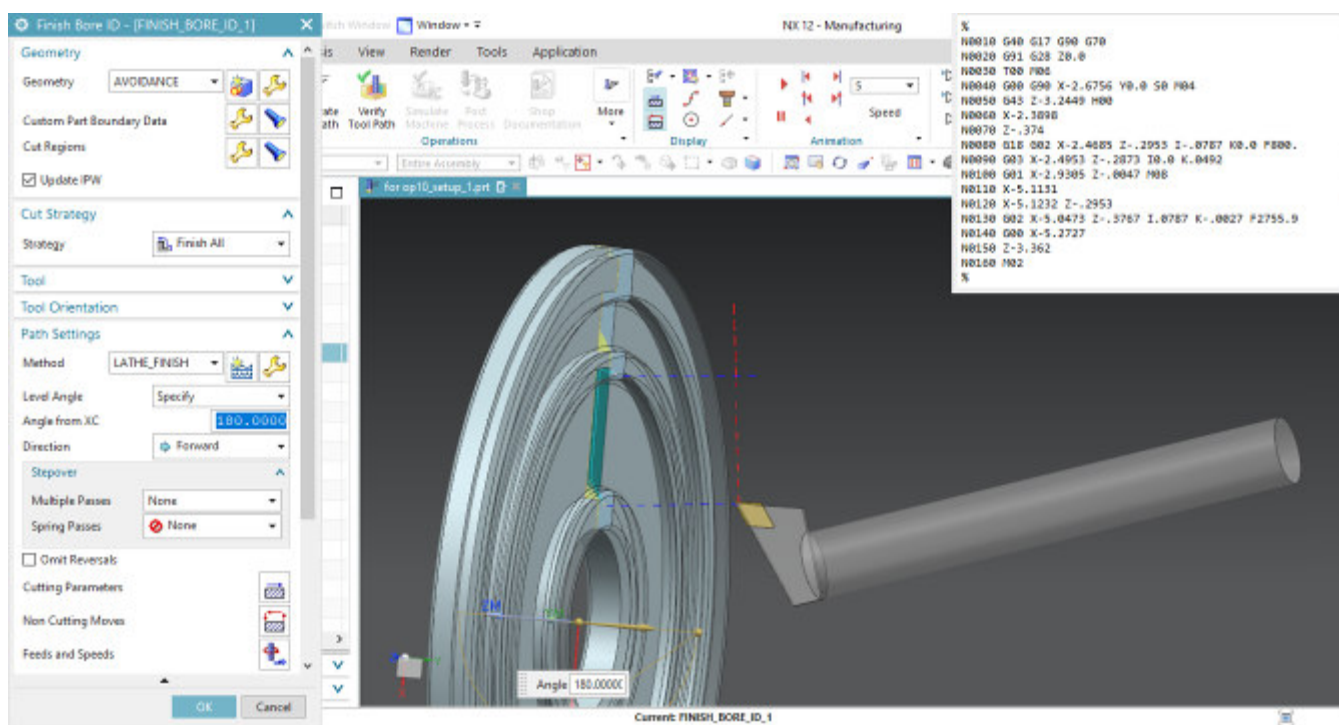


Рисунок 1.9 – Підрізання торця підрізним різцем (перший перехід)

Другий та третій переходи – обробляють дві кільцеві торцеві вибірки – спочатку центральна та верхня частина обох вибірок (рис. 1.10 а, б), за тим – нижня частина обох вибірок (рис. 1.11 а, б).

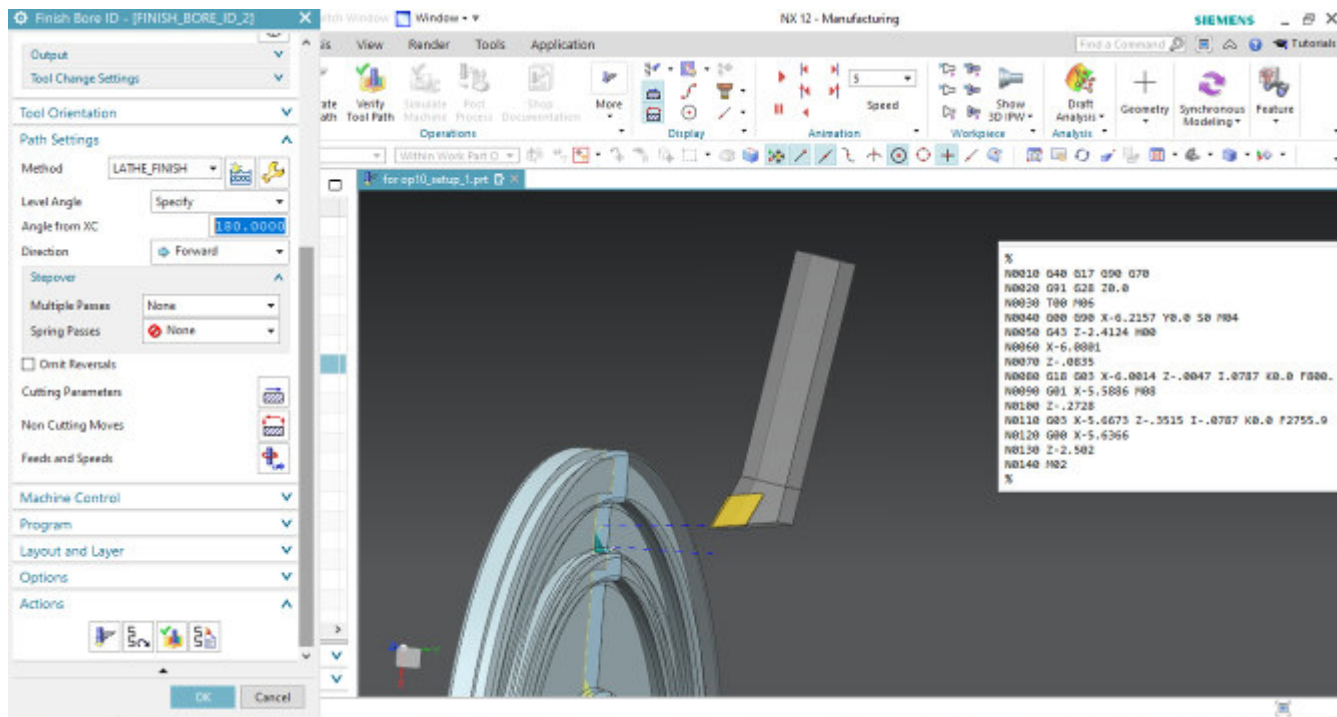


a)

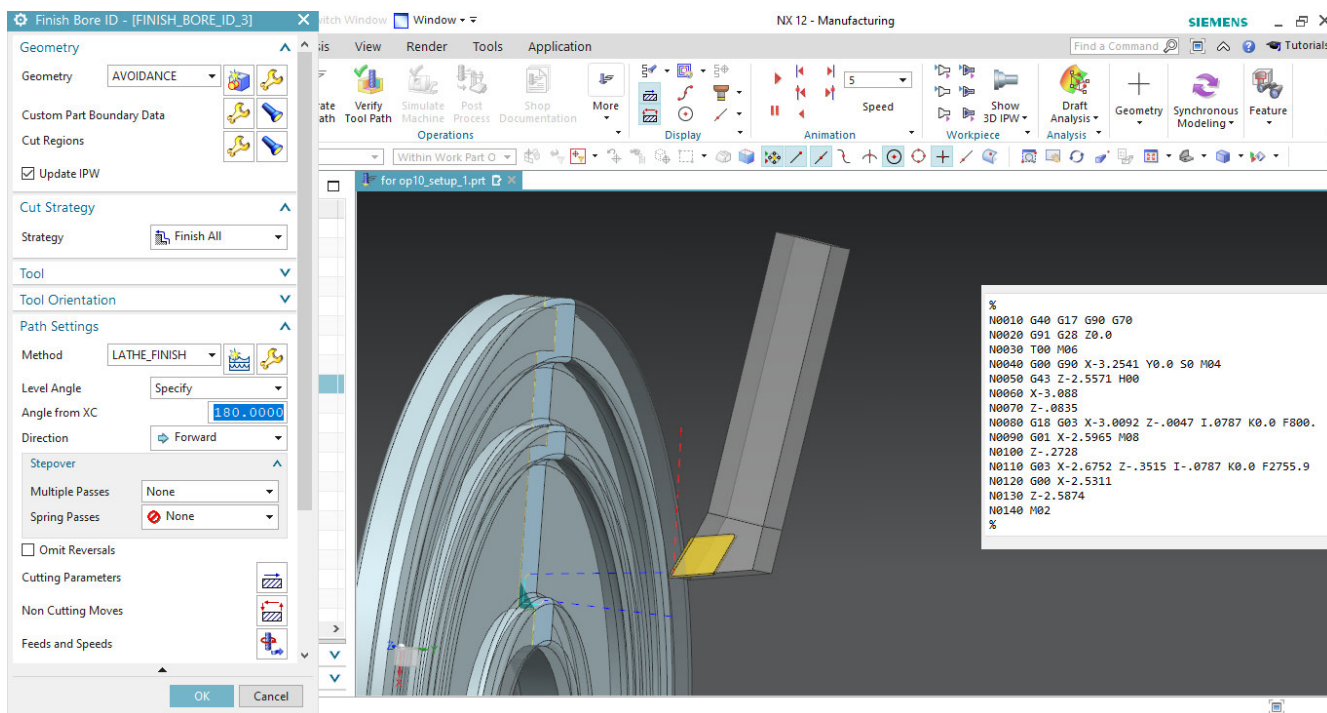


б)

Рисунок 1.10 – Обробка основної та верхньої частини двох кільцевих вибірок за три проходи (другий перехід) та керуюча програма



a)



б)

Рисунок 1.11 – Обработка нижнего внутреннего кута двух кольцевых выборок за три прохода (третий переход) та фрагменти керуючих програм

Четвертий перехід – багатопрохідна (три проходи) обробка зовнішньої циліндричної поверхні проходним різцем (рис. 1.12)

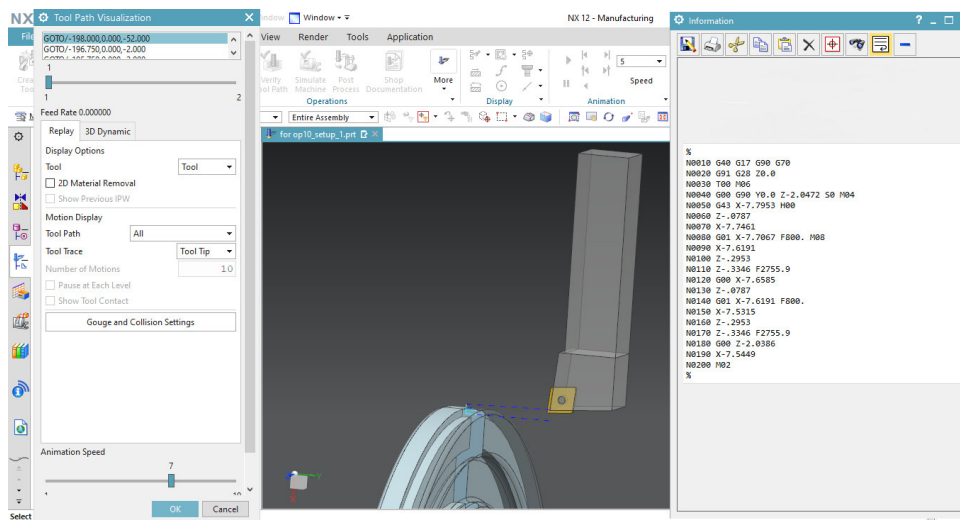


Рисунок 1.12 – Обробка зовнішньої циліндричної поверхні за три проходи (четвертий перехід) та керуюча програма

### 1.8.2 Розробка керуючої програми фрезерно-свердлильної операції 085

Верстат: свердлильно-фрезерно-розточувальний IP500МФ4 з ЧПК.

Ескіз цієї операції представлено на рис. 1.7.

На даній операції виконується:

- свердління, зенкерування та розгортання 16 отворів  $\varnothing 10,15$  мм;
- свердління зенкерування та розгортання 4 отворів  $\varnothing 10$  мм;
- фрезерування контуру.

Візуалізація свердлильної обробки (перші три інструменти – свердла) та частина розробленої керуючої програми за допомогою пакету Siemens NX представлена на рис. 1.13.

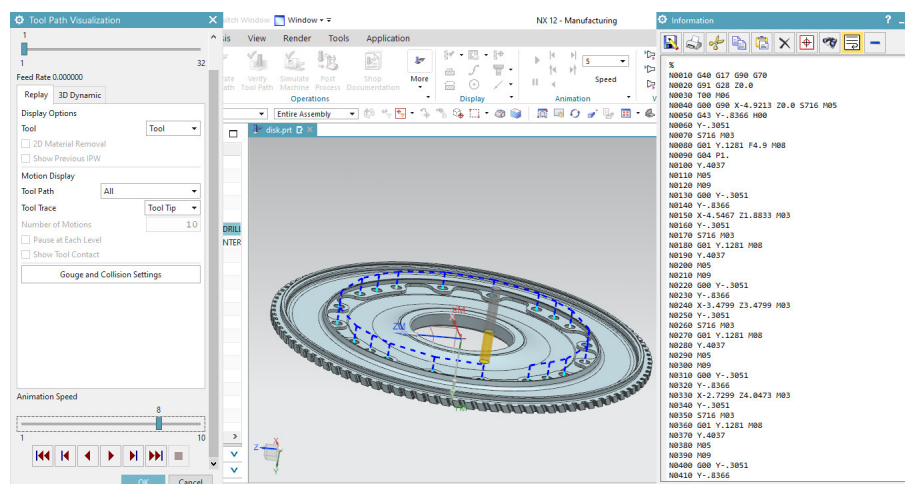


Рисунок 1.13 – Траєкторія, інструмент – свердло та фрагмент програми свердлення в G-кодах

Візуалізація переходів зенкування та розгортання цих отворів за допомогою пакету Siemens NX представлена на рис. 1.14, візуалізація фрезерного переходу показана на рис. 1.15.

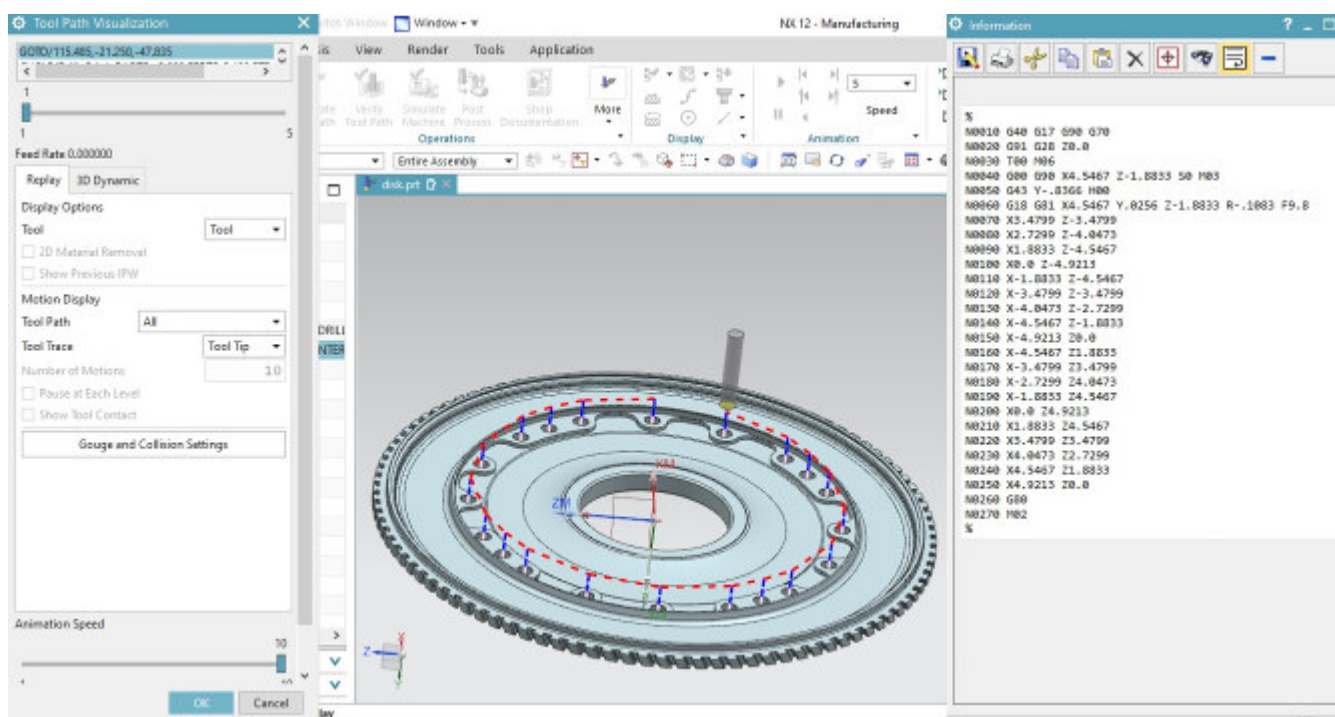


Рисунок 1.14 – Візуалізація та опис переходів зенкування та розгортання і керуюча програма в G-кодах

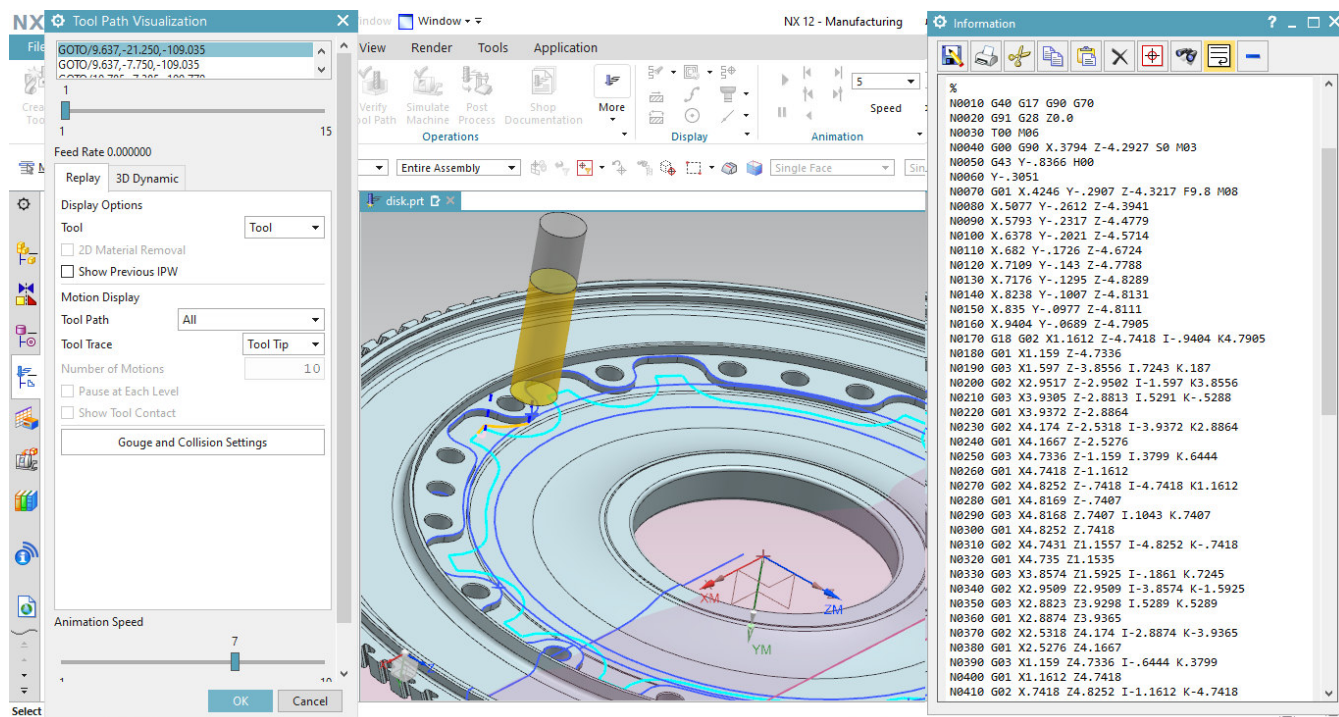


Рисунок 1.15 – Візуалізація траєкторії фрези та частина КП фрезерного переходу операції 085 в G-кодах

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Проектування робочого пристосування

#### 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Пристосування є важливим елементом технологічної системи, від нього залежить точність, продуктивність і собівартість механічної обробки, складання та технічного контролю виробів. Точність обробки, в свою чергу, залежить від точності установки в пристосуванні заготовки (деталі, вузла).

Необхідна точність обробки забезпечується певним розташуванням заготовки щодо різального інструменту. При повному орієнтуванні заготовка позбавляється всіх 6–ти ступенів свободи, тобто вибираються такі базуючі і затискні елементи, щоб досягти мінімальної похибки при установці і кріпленні заготовки (деталі) в пристосуванні. [7]

У багатосерійному виробництві економічним є застосування спеціальних пристосувань з вбудованим або прикріпленим силовим приводом (пневматичним або гідравлічним). Крім загальних вимог – точність, жорсткість, компактність – головне завдання при конструюванні зводиться до максимальної механізації та автоматизації пристосувань з метою підвищення точності обробки, продуктивності і полегшення умов праці. [7]

В основу розробки і удосконалення пристосувань покладено наступні основні принципи [7]:

- єдиний системний підхід у виборі і застосуванні методів і засобів технологічного оснащення, що дозволяє уніфікувати і раціонально використовувати технологічне оснащення;
- висока гнучкість і мобільність конструкції, що дає можливість швидко перебудувати виробництво на випуск нових виробів;
- високий рівень уніфікації і технологічності конструкції, що забезпечує мінімальні витрати на організацію виробництва і застосування.

Мембранні пристосування широко використовуються для затиску різних деталей, вони незамінні при обробці тонкостінних втулок і кілець великого діаметру, тому, що забезпечують отримання високої концентричності оброблюваного отвору щодо базової поверхні. Креслення спроектованого верстатного пристосування показано в графічній частині проекту. [7]

Пристосування є плитою з отворами для встановлення змінної мембрани (рис. 2.1). Плита попередньо центрується за  $\varnothing 554$  мм і остаточно вивіряється по поверхні *A*. Після перевірки пристосування закріплюється до планшайби верстата за трьома отворами M16.

З метою механізації пристосування для автоматизації процесу затиску мембрани використовуємо пневматичний привод двосторонньої дії, прямий і зворотний хід якого здійснюється за рахунок стисненого повітря. [7]

### 2.1.2 Обґрунтування способу базування оброблюваної деталі і розрахунок похибки установки

Похибка встановлення це різниця граничних відхилень вимірювальної бази щодо встановленого на розмір різального інструменту. [7] Візначається за формулою (2.1) [7]:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2}, \quad (2.1)$$

де  $\varepsilon_{\text{баз}}$  – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$  – похибка закріплення.

Похибка базування – частина похибки встановлення, викликана розбіжністю вимірювальної і настроювальної баз. [7]

Похибка закріплення виникає в тому випадку, коли напрям сили затиску або її складової збігається з розміром обробки. [7]

У нашому випадку похибка базування може виникнути при самоцентруванні мембрани пристосування. Ріжкові мембрани забезпечують точне центрування при базуванні по зовнішніх поверхнях, так як затиск здійснюється за рахунок пружної деформації. Точність центрування деталей з базовими поверхнями, виконаними по восьмому квалітету знаходиться в межах 0,04...0,06 мм. [7, стр. 279].

Отже, похибка базування складе  $\varepsilon_{баз} = 50$  мкм.

Похибка закріплення визначається табличним методом, який враховує рівень чистоти обробки базової поверхні, геометричні розміри заготовки, а також тип затискних пристроїв [7, с. 134–136] –  $\varepsilon_{зак} = 40$  мкм.

Тоді похибка встановлення становить:

$$\varepsilon_{вст} = \sqrt{50^2 + 40^2} = 64 \text{ мкм.}$$

### 2.1.3 Розрахунок пристосування на точність

Для забезпечення розміру оброблюваної поверхні  $\varnothing 267,3$  мм до поверхні клина мембрани доцільно вибрати параметр для розрахунку пристосування на точність виготовлення у вигляді допуску на цей розмір.

Виходячи з рис. 2.1 необхідно витримати розмір обробки  $\varnothing 134,5 \begin{smallmatrix} -0,043 \\ -0,106 \end{smallmatrix}$  мм.

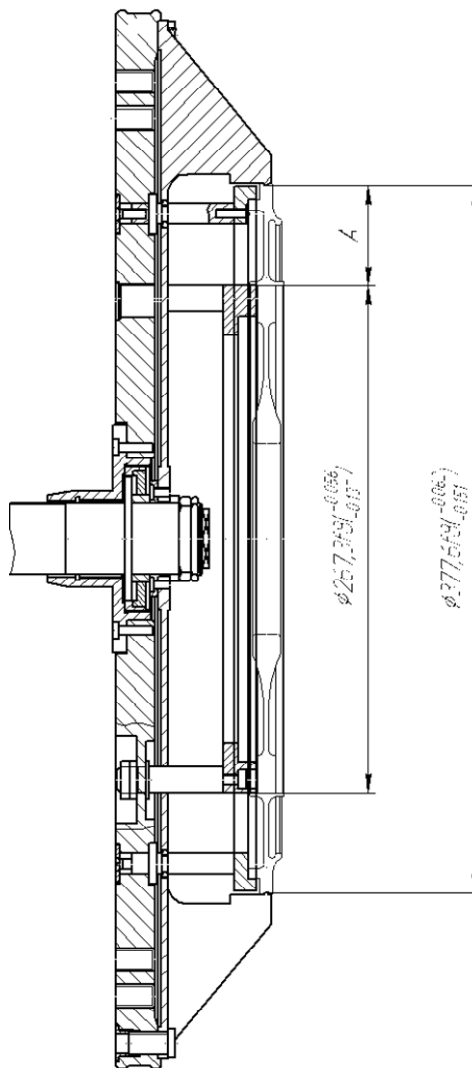


Рисунок 2.1 – Схема установки

Визначаємо середній розмір обробки за формулою (2.2) [7]:

$$A_{\text{сер}} = A - \frac{T_A}{2}, \quad (2.2)$$

де  $A$  – розмір обробки, мм;

$T_A$  – допуск на розмір обробки, мм.

$$A_{\text{сер}} = A - \frac{T_A}{2} = 267,3 - \frac{0,81}{2} = 266,8 \text{ мм.}$$

Розрахуємо допуск:

$$TH \leq T_{обр} - (k_1 \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_z + k_2 \omega) \quad , \quad (2.3)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт, щодо зменшення похибки базування в наслідок того, що установчий елемент в пристосуванні замінюється нечасто, а дійсні базові розміри заготовки рідко дорівнюють граничним;  $k_1 = 0,8 \dots 0,85$ ; [7]

$k_2$  – коефіцієнт, щодо частки похибки обробки в загальній похибці, спричиненої факторами, незалежними від конструкції пристосування;  $k_2 = 0,6 \dots 0,8$ ; [7]

$\omega$  – середня економічна точність обробки. [7]

$$TH \leq 810 - (0,85 \cdot 50 + 40 + 0,65 \cdot 25)$$

$$TH \leq 711,2$$

Приймаємо виконавчий розмір:  $\varnothing 377,1 \pm 0,1$ .

#### 2.1.4 Розрахунок необхідної сили затиску заготовки в пристосуванні

Вихідними даними для проведення розрахунків є: момент різання і діаметр базової поверхні деталі, рис. 2.2.

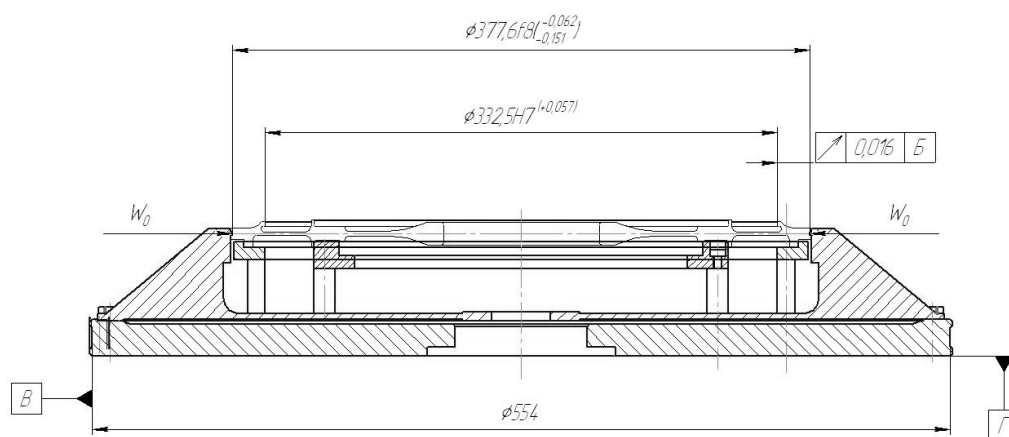


Рисунок 2.2 – Схема дії сил затиску в пристосуванні

Розрахуємо момент різання за формулою (2.4). [7]

$$M = P_x l, \quad (2.4)$$

де  $P_x$  – осьова сила різання, у напрямку, який збігається з силою затиску та визначається за формулою (2.5). [7]

$$P_x = 10C_p t^x S^y v^n K_p, \quad (2.5)$$

де  $K_p$  – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив геометрії різального інструменту і твердість оброблюваного матеріалу. Визначаємо за формулою (2.6) [7]:

$$K_p = K_{Mp} K_{\varphi p} K_{\lambda p} K_{rp}. \quad (2.6)$$

$$K_p = 1,8 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 1,19.$$

$$P_x = 10243 \cdot 0,8^{0,9} 0,2^{0,6} 94,2^{-0,3} 1,19 = 230 \text{ Н.}$$

Тоді, момент різання дорівнює:

$$M = 230,3 \cdot 9,5 = 2187,85 \text{ Н} \cdot \text{мм.}$$

Необхідне радіальне зусилля затиску деталі на одному кулачку мембрани для передачі заданого моменту визначаємо за формулою (2.7):

$$W_0 = \frac{kM}{2nfd} \quad (2.7)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу, наближено  $k = 2,5$ ;

$n$  – число кулачков;

$f$  – коефіцієнт тертя базової поверхні деталей і кулачка, застосовується дорівнює від 0,15 до 0,18.

$$W_0 = \frac{2,5 \cdot 2187,85}{2 \cdot 12 \cdot 0,16 \cdot 377,6} = 3,77 \text{ кН.}$$

За табл. 11.1 стр. 285 [7] в залежності від діаметра базової поверхні деталі визначаємо діаметр мембрани 390 мм, товщину мембрани – 8,5 мм.

Циліндричну жорсткість мембрани розраховуємо за формулою (2.8) [7]:

$$B = \frac{Es^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (2.8)$$

де  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа – модуль пружності;

$s$  – товщина мембрани, мм;

$\mu = 0,3$ .

$$B = \frac{2,1 \cdot 10^5 8,5^3}{12(1 - 0,3^2)} = 11810096 \text{ Н/мм.}$$

Кут розжиму кулачків при закріпленні деталі з найменшим діаметром визначаємо за формулою (2.9) [7]:

$$\varphi = \frac{M_3 d}{2B(1 + \mu)}, \quad (2.9)$$

де  $M_3 = 0,825$  кН·мм – момент закріплення по відношенню діаметра мембрани до діаметру заготовки.

$$\varphi = \frac{0,825 \cdot 10^3 377,6}{211810096(1 + 0,3)} = 0,01 \text{ рад.}$$

Зусилля на клині мембрани, що розвивається пневмоциліндром, визначається за формулою (2.10) [7]:

$$Q = W \frac{d}{Dn} \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.10)$$

де  $W$  – необхідне зусилля затиску, Н;

$d$  – діаметр, за яким базується заготовка, мм;

$D$  – діаметр мембрани, мм;

$\varphi$  – кути тертя в точках контакту клина з опорними роликами, град.

$$Q = 3,77 \cdot 10^3 \frac{377,6}{390 \cdot 12} \operatorname{tg} 8^\circ = 427 \text{ Н.}$$

Визначаємо діаметр пневмоциліндра за формулою (2.11) [7]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot \eta \quad (2.11)$$

де  $\rho = 0,5 \text{ МПа}$  – тиск в пневмоциліндрі;

$\eta = 0,9$  – ККД пневмоциліндра.

Тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 427}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 0,133 = 133 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр пневмоциліндра з стандартного ряду  $D = 160 \text{ мм}$ . [7, табл. 7.4, с. 141].

Згідно розрахованому діаметру, вибираємо інші параметри пневмоциліндра:

діаметр шпильок – М16;

кількість шпильок – 4;

діаметр штока – 40 мм;

діаметр різі на штоці – М36х2

товщина стінки циліндра – 7 мм.

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

### 2.2.1 Опис контрольного пристосування

Пристосування спроектовано для одночасної перевірки биття внутрішніх поверхонь диска щодо його торцевої частини. Деталь встановлюється на похилу плиту на поверхню роликів, які необхідні для провороту деталі в процесі контролю.

Чутливі щупи з'єднані з годинниками індикаторного типу і торкаються до контрольованих поверхонь. В конструкції даного пристосування врахована можливість переналагодження на інші деталі типу «Диск». У конструкції використовується оправка, зміна якої дає можливість встановити інші деталі. Таким чином спроектоване пристосування відповідає вимогам серійного проїзводства, а саме має можливість швидкого переналагодження на іншу партію деталей.

### 2.2.2 Вибір і обґрунтування засобу вимірювання. Розрахунок сумарної похибки вимірювання

Розрахунок на точність контрольного пристосування полягає у визначенні похибки вимірювань за формулою (2.12) [8]:

$$\Delta_{вим} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_7^2}, \quad (2.12)$$

де  $\Delta_{вим}$  – сумарна похибка вимірювання, мм;

$k$  – коефіцієнт відносного розсіювання,  $k = 0,85$ ;

$\Delta_1$  – похибка базування і закріплення виробу,  $\Delta_1 = 0,001$  мм;

$\Delta_2$  – складова похибки встановлення опорних елементів приладу,  $\Delta_2 = 0$ ;

$\Delta_3$  – складова похибки конструкції приладу,  $\Delta_3 = 0$ ;

$\Delta_4$  – похибка, що залежить від ціни поділення індикатора,  $\Delta_4 = 0,01$  мм;

$\Delta_5$  – похибка налагодження приладу по еталонній деталі,  $\Delta_5 = 0,02$  мм;

$\Delta_6$  – похибка від контактних деформацій,  $\Delta_6 = 0$ ;

$\Delta_7$  – похибка від температурних деформацій,  $\Delta_7 = 0,001$  мм.

$$\Delta_{вим} = \frac{1}{0,85} \cdot \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0,001^2} = 0,028 \text{ мм.}$$

### 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

З усіх сучасних ефективних методів нанесення інформації на поверхні, лазерне маркірування є найбільш перспективним напрямком [20].

Він об'єднує всі сучасні технології і відрізняється універсальністю та швидкістю виконання поставленого завдання. Маркування за допомогою лазера дозволяє в автоматичному режимі швидко і точно отримувати високоякісні зображення (рис. 3.1) [20]:

- на деталях і виробках – логотип, назву, нумерацію, штрих код, дату, час та інше;
- на матеріалах – тверді (метал чистий / з покриттям) і прозорі поверхні (скло і оргскло), пластик, кераміка, картон, дерево, шкіра, гума тощо.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд результату лазерного маркірування [20]

Причому, інформація, яка нанесена лазером – довговічна і стійка, її неможливо видалити без значного пошкодження поверхні, не схильна до впливу навколишнього середовища і хімічних рідин. При цьому виді маркування не руйнується структура матеріалу та відсутня корозія.

Нанесення маркування за допомогою лазера забезпечують широке поширення в промисловості і замінюють традиційні способи гравірування. [20]

Завдяки своїй швидкості виконання цей метод є незамінним в умовах масового виробництва серійних виробів, виробів зі штрих кодами, які використовують для захисту продукції від підробок.

Процес маркування відбувається під впливом лазерного випромінювання, яке, фокусуючись в вузький пучок, набуває високу концентрацію енергії, і викликає розігрів та наступне плавлення і деяке випаровування матеріалу в локальній області місця впливу. Керуючи випромінюванням, дозуючи енергію, частоту, досягається висока продуктивність процесу. [20]

Найбільш зручні і найчастіше використовуються маркіратори на базі твердотільних і газових лазерів. Також застосовуються активні матеріали у твердій, рідкій, газоподібній і плазмовій формах. [20]

Залежно від виду лазерних джерел, процес класифікується за застосуванням технологіям.

### **Волоконний лазер**

Належить до групи твердотільних лазерів, що працюють з довжиною хвилі 1064 нм та генерують енергію діодного накачування через активне середовище вбудованого оптичного волокна. Устаткування з порівняно маленьким діаметром променя за його інтенсивністю і потужністю випереджає газовий лазерний апарат CO<sub>2</sub> в кілька десятків разів. Останні сучасні наукові розробки дозволили значно зменшити габаритні розміри лазера. [20]

### **Волоконний лазер «FYBRA»**

Лазер «FYBRA» (рис. 3.2) генерує високу потужність лазерного променя від джерела до голівки за допомогою гнучкого волоконно-оптичного кабелю. Інноваційний блок і головка були розроблені й оптимізовані для роботи у важких умовах робочого середовища, де дуже поширені коливання, наявність пилу. «FYBRA» є надзвичайно зручною модульною системою: основна коробка містить джерело і плати з електронними компонентами в двох різних розділених областях. [20]

Волоконний лазер допускає значне збільшення потужності, і не ставить під загрозу розмір лазерної точки. Це обіцяє кращий результат маркування на більш високих потужностях і кращу ефективність системи. [20]

### **Твердотільні лазери «YVO4»**

Здатні працювати в імпульсному і безперервному режимах, генерувати високопотужну енергію випромінювання на довжині хвилі 1,06 мкм при номінальній потужності 10-50 Вт. [20] Побудовано на модулях DPSS (Diode-pumped solid-state laser), де джерелом накачування є напівпровідниковий лазерний діод, за допомогою якого накачується активне середовище – інтегрований в модуль кристал. Замість використовуваного раніше активного елементу – кристала YAG (алюмоітрієвий гранат, легований неодимом Nd:YAG), сьогодні компанія «Automator» виробляє обладнання для маркування з удосконаленням елементом - YVO4 (Ванадат легований неодимом Nd:YVO4). Лазер Ванадат забезпечує дуже точне виконання робіт тонким потужним променем при відносно невеликій потужності джерела, тобто має значно більший потенціал для нарощування вихідної потужності імпульсу, наприклад, в порівнянні з волоконним апаратом. [20]

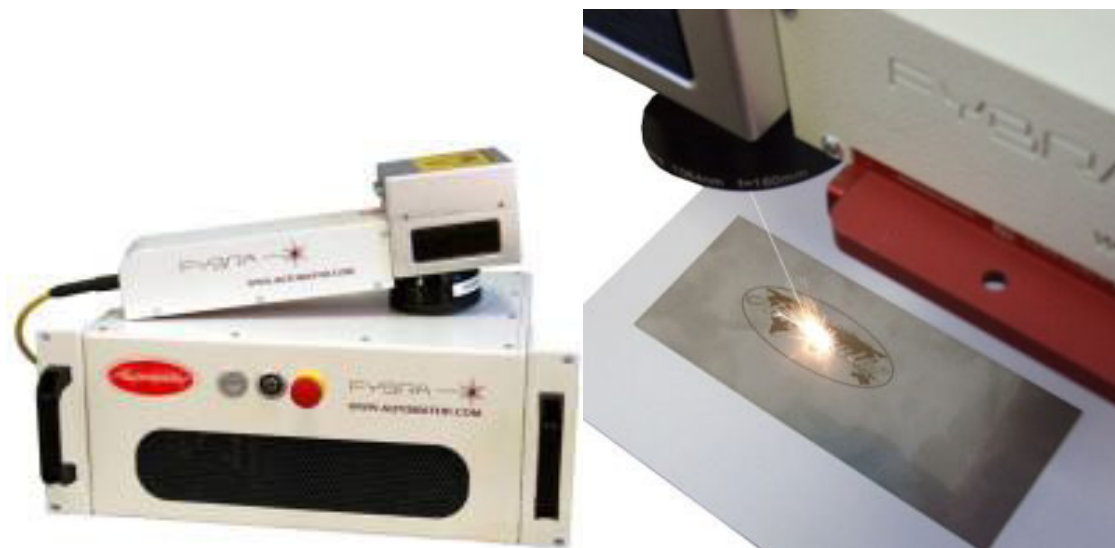


Рисунок 3.2 – Волоконний лазер «FYBRA» [20]

Якість випромінювання твердотільного маркувального обладнання з діодним накачуванням DPSS досить висока за фокусуванням і монохроматичності

променю. Лазери Nd:YAG і Nd:YVO4 (рис. 3.3) ідеально справляються з маркуванням матеріалів, чутливих до нагрівання – пластики, метали і фольга, спеціальні плівки, кремнієві пластини тощо.



Рисунок 3.3 – Твердотільний лазер «YVO4» [201]

Твердотільні лазери «AWave». [20]

Прикладом успішного розвитку методів маркування представлено компанією «Automator» технологія AWave, яка крім всіх переваг твердотільного Nd:YVO4 лазера, має оптимізовано скомпонованими активними елементами, вдосконаленою оптикою і функцією автоматичного регулювання частоти. [20]

Завдяки впровадженню цих передових розробок, виробником введений випуск суперкомпактної мультизадачної лазерної системи «nanoVIS», яка є унікальною і перевершує всі очікувані результати. [20]

AWave – нове слово в технологічних можливостях маркування, показує високий результат променю великої потужності при порівняно невеликій номінальній потужності і габаритах апарату (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 –Твердотільні лазери «AWave» [201]

Ідеально підходить для роботи з чорними і кольоровими металами, анодованим алюмінієм, ABS пластиком.

### **Газовий лазер CO<sub>2</sub>.**

Газові CO<sub>2</sub>-лазери (рис. 3.5), найбільш поширені серед маркувальної техніки завдяки універсальності застосування і роботі практично з усіма органічними матеріалами, пластиками, металами з неметалічним покриттям (пофарбовані, анодовані), а також здатності до більш глибокого лазерного гравіювання і різання.



Рисунок 3.5 – Газовий лазер CO<sub>2</sub> [201]

У такого обладнання, в якості активного тіла, виступає суміш азоту, вуглекислого газу і гелію в газоподібному стані, атоми яких при проходженні електричного струму збуджуються, виникаючи газовий розряд, і внаслідок переходу коливальної енергії в світлову, отримуємо монохроматичний і спрямований лазерний промінь необхідної потужності. [20] Охолодження активного середовища

проводиться гелієм, система охолодження обладнання може бути повітряною або водяною (для особливо потужних апаратів).

Газодінамічні CO<sub>2</sub> лазери генерують потужне ІК-випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм при номінальній потужності 10-100 Вт. [20]

Одним з недоліків їх експлуатації є застосування для фокусування променю лінз не з простого оптичного скла, а виконані зі спеціальної сировини, селенід цинку, германій; дзеркал з срібним або позолоченим покриттям. Але на відміну від лазерного обладнання з іншими джерелами, газові виробляються у вигляді планшетних лазерних систем з можливістю переміщення маркірувального променю за допомогою двох кареток за осями X і Y, що дає перевагу працювати на великому полі (близько 1 м × 1 м). Нарівні з доступною вартістю і великою потужністю (окремі машини для розкрою листового матеріалу забезпечують 250 і навіть 800 Вт), це і є головні переваги CO<sub>2</sub> лазера. [20]

### **«Green laser» (Зелений лазер)**

Це твердотільний лазер з діодним накачуванням (DPSS - Nd:Yag або YVO<sub>4</sub>), який використовує в два рази меншу довжину хвилі генерованого випромінювання, що відноситься до категорії зеленого спектра. При цьому не потрібні величини потужності, і променем з довжиною хвилі 532 нм ефективно обробляються матеріали, чутливі до температурного впливу, такі як пластики, пластмаси, надтонкі металеві об'єкти, кремнієві пластини, вироби з покриттям тонкою плівкою, електронні компоненти. [20]

Луч «Green laser» з удвічі меншим діаметром, ніж промінь стандартного інфрачервоного випромінювання (1064 нм) і дозволяє виконувати маркування більш тонкими лініями, наносити мікро-знаки. Головною особливістю «Зеленого лазера» є можливість наносити інформацію на матеріал без згоряння поверхні, а також здатність змінювати її колір.

### **«Intra» лазер**

Технологія «Intra laser» здатна генерувати зовсім короткі (гранично короткі) імпульси лазерного випромінювання і відома своїм застосуванням в фемтосекундних лазерах. Вони належать до категорії надшвидких лазерів з

тривалістю в часі ультракоротких імпульсів близько однієї фемтосекунди (тобто  $10^{-15}$  с), і генерація таких імпульсів дозволяє отримувати більшу енергію за допомогою технології пасивної синхронізації мод. [20]

Завдяки відсутності характерного імпульсу нагрівання і плавлення матеріалу, «Intra» лазери оптимально підходять для роботи з теплочутливі виробами і деталями, і маркування дуже твердих кристалів (наприклад, алмазів), і інших речовин, які проблематичні для інфрачервоних лазерів. [20]

### **UV laser (УФ лазери)**

Технологічно відносяться до твердо тільних лазерів і працюють в ультрафіолетовій області, і конструктивно аналогічні маркіраторам з діодним накачуванням. Випромінюючи в ультрафіолетовому діапазоні з довжиною хвилі 266 нм, 355 нм, 375 нм, лазер з технологією UV має тонший в три рази діаметр променю і нижчу генерацію, що дозволяє виробляти мікро-маркування більш тонко, з повною відсутністю механічної деформації виробів. [20] Такі сучасні прилади знаходять своє застосування в промисловості, і є єдиним рішенням для матеріалів через свою прозорість для лазерного випромінювання (наприклад, для створення написів на поліетилені). [20]

Загалом, сучасні технології лазерного маркування сьогодні активно і ефективно використовуються в промисловості нанесення інформації.

#### 4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМ NX SIMULATION ADVANTAGE

Умови задачі: деталь закріплюється нерухомо в отворі  $\varnothing 10$  мм (еквівалентно затиску стяжним болтом); на бокові грані в пазах диска (рис. 4.1) прикладається 1 МПа тиску (на кожну грань виступів – еквівалент експлуатаційному навантаженню – тиск від хвостовиків лопаток).

Перевіримо напружено-деформований стан (НДС) деталі під час навантаження та визначити оптимальне  $\sigma_{\text{опт}}$  і критичне  $\sigma_{\text{крит}}$  значення тиску.

Для матеріалу деталі VT8-1 допустиме значення напружень, при якому може початися руйнування деталі, є границя міцності  $[\sigma_b] = 950$  МПа.

Було взято геометричний фрагмент диска, який характеризує всі елементи, наявні в деталі (рис. 4.2).

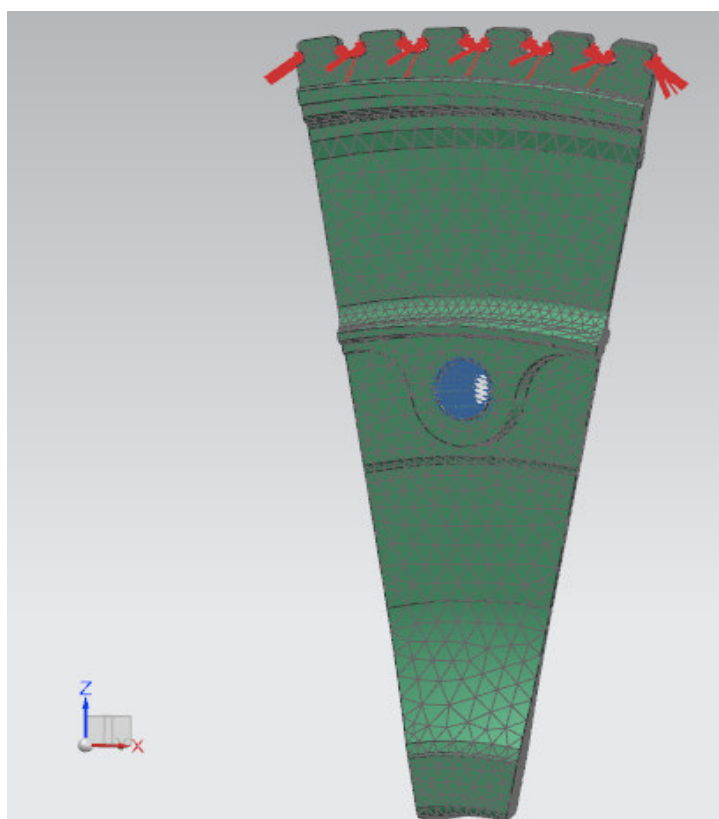


Рисунок 4.1 – Візуалізація поверхонь прикладення зусиль (червоні стрілки – напрямки прикладання тиску) та закріплення (синій кольор)

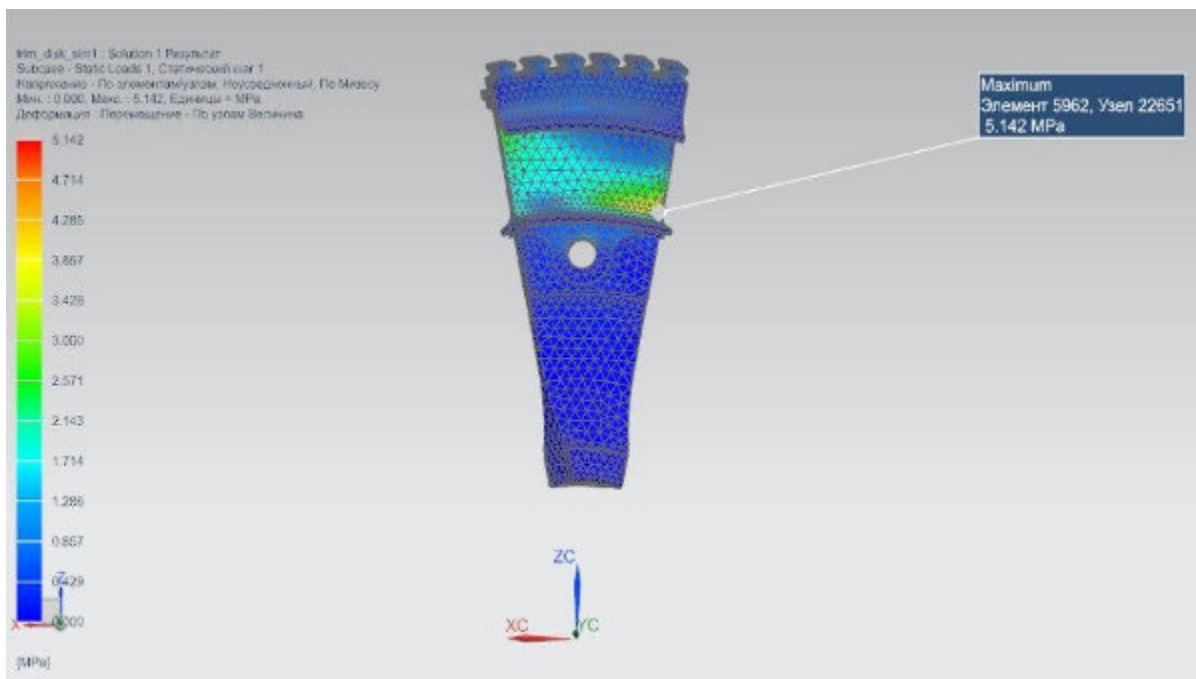


Рисунок 4.2 – Розподіл напружень у вузлах при навантаженні 1 МПа

За даними розрахунку в NX SIMULATION ADVANTAGE було визначено  $\sigma_{\max} = 5,142$  МПа – максимальне значення напружень в небезпечному перерізі.

Запас міцності за напруженнями для деталей авіаційно-космічної галузі має значення  $n_{\sigma} = 2 \dots 5$ . Обираємо рекомендує значення  $n_{\sigma} = 3$  та розрахуємо граничну величину напружень від  $[\sigma_B]$  деталі за формулою (4.1):

$$\sigma_{\max} = \frac{[\sigma_B]}{n_{\sigma}}, \text{МПа} \quad (4.1)$$

Інтервал робочих значень максимальних напружень в небезпечному перерізі при значеннях коефіцієнта запасу  $n_{\sigma} = 2 \dots 5$  за формулою (4.1) складає  $\sigma_{\max} = 190 \dots 475$  МПа.

Перший дослід – при прикладеному навантаженні ( $\sigma_o = 1$  МПа) деталь запас міцності за напруженнями при значенні максимального напруження в небезпечному перерізі  $[\sigma_{\max}] = 5,142$  МПа дорівнює  $n_{\sigma} = 18,47$ . Для визначення допустимих значень вихідного навантаження  $\sigma_o$  необхідно визначитись з залежністю «навантаження –

максимальні напруження» в моделі. Для будування відповідного графіку необхідно три досліду.

Перевіримо НДС деталі під дією навантаження 20 МПа та 250 МПа. На рис. 4.3 - 4.4 представлені вузлові навантаження двох дослідів для 20 та 250 МПа відповідно.

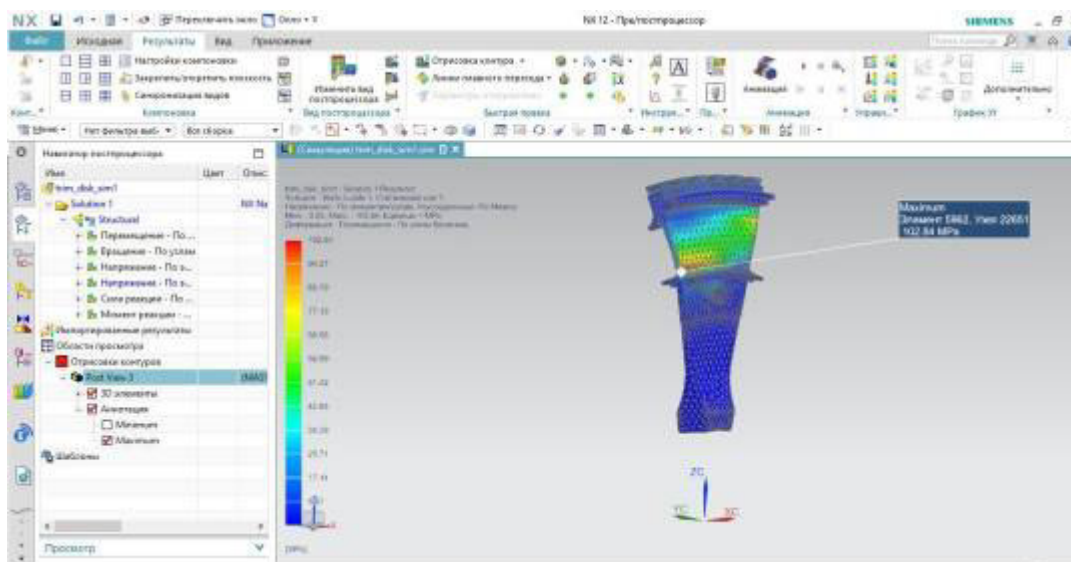


Рисунок 4.3 – Розподіл напружень в моделі ( $\sigma_0 = 20$  МПа)

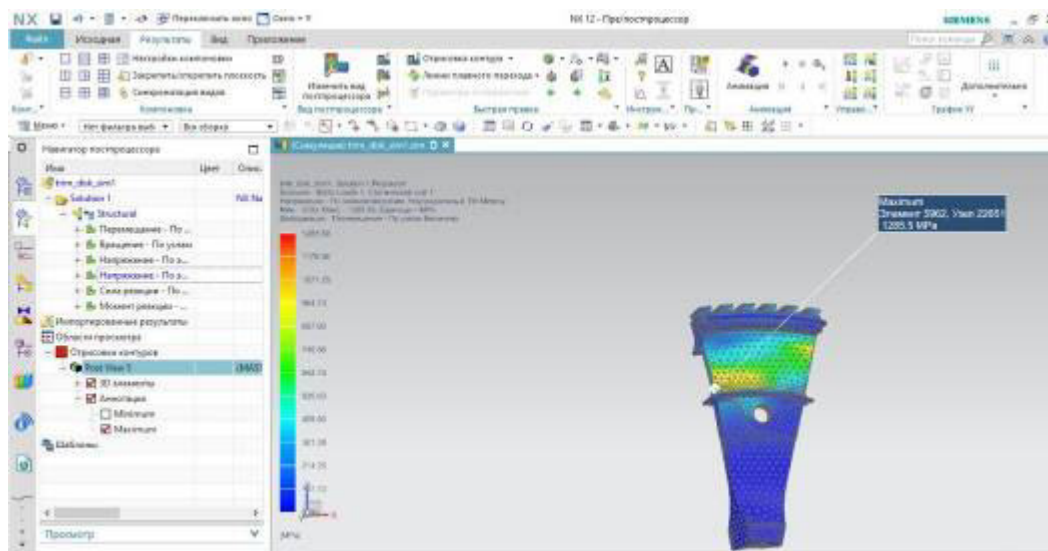


Рисунок 4.4 – Розподіл напружень в моделі ( $\sigma_0 = 250$  МПа)

При навантаженні 20 МПа значення  $\sigma_{\max} = 102,84$  МПа.

При навантаженні 250 МПа значення  $\sigma_{\max} = 1285,5$  МПа, що більше за значення  $[\sigma_B] = 950$  МПа матеріалу деталі.

Побудуємо графік та знайдемо критичне значення  $\sigma_{0\text{кр}}$ , МПа для даної деталі, при якому деталь виходить на граничний стан початку ймовірності руйнування, коли запас міцності вичерпано.

За допомогою графіку (рис. 4.5) знаходимо критичне значення  $\sigma_{0\text{кр}}$ , яке не можна перевищувати при дії навантаження від лопаток на виступи диска:  $\sigma_{0\text{кр}} = 184,7$  МПа.

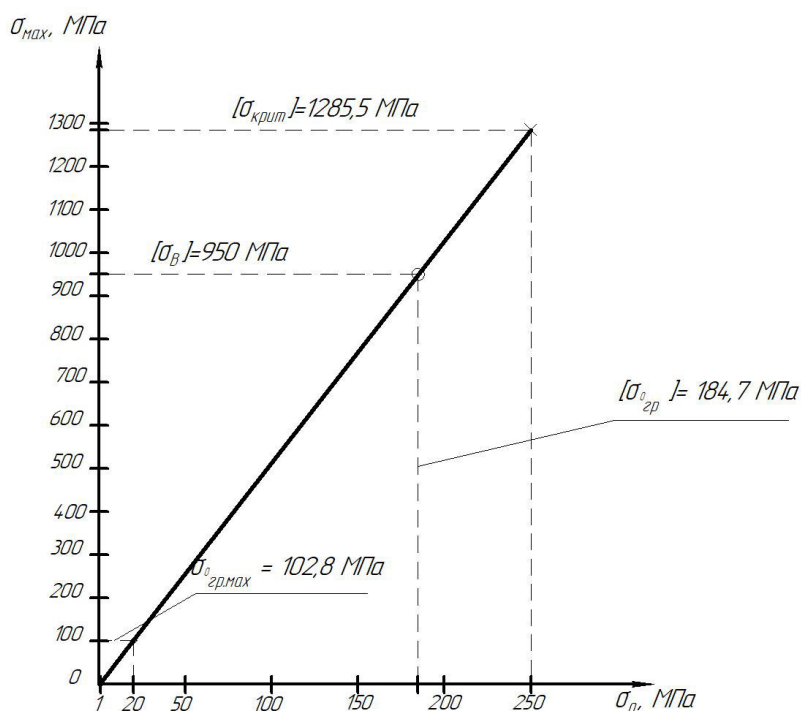


Рисунок 4.5 – Графік залежності напружень від навантаження

Для забезпечення рекомендуемого значення коефіцієнту запасу міцності за напруженнями  $n_\sigma = 2 \dots 5$ , допустиме значення напружень в моделі не повинно перевищувати  $[\sigma_{\max}] = 190 \dots 475$  МПа. За графіком рис. 4.5 визначаємо допустиме значення вихідних навантажень на міжпазові виступи  $[\sigma_0] = 27 \dots 85$  МПа.

## 5 СПЕЦЗАВДАННЯ

### 5.1 Підвищення експлуатаційних характеристик дисків газотурбінних двигунів методами поверхнево–пластичного деформування

У конструкції газотурбінних двигунів (ГТД) диски є однією з груп деталей, що є навантаженими, і довговічність яких визначає ресурс всього виробу. Ці деталі, які експлуатуються в умовах помірно–підвищених температур (500–600°C), працюють при високих окружних швидкостях і, внаслідок цього, відчують дію великих відцентрових сил при значному впливі багатоциклових змінних напружень.

Тому, забезпечення експлуатаційних характеристик, а саме надійності і витривалості є найважливішою вимогою, що пред'являються до дисків ГТД.

Існує цілий ряд факторів, що впливають на зниження експлуатаційних характеристик дисків:

- металургійні, пов'язані зі шкідливими домішками та неметалевими включеннями, а також нераціональним співвідношенням легуючих елементів;
- термомеханічні, які виникають від нераціонального температурно–силового режиму при обробці тиском або температурно–часового режиму при термообробці;
- конструкторські, пов'язані із високим рівнем концентрації напружень та наявністю складних Perezів, пазів, гострих кутів, гострих крайок тощо;
- експлуатаційні – ненормовані режими роботи двигуна;
- технологічні, до яких відносяться: нераціональні режими обробки і геометрія інструмента, застосування абразивних матеріалів та інструментів, високий температурно–силовий фактор при обробленні, залишкові напруження розтягу тощо.

Згідно з цим, в різних перетинах диска при експлуатації виникають характерні дефекти – це розтріскування по дну і западинам межпазових виступів, в радіальному напрямку, по границях, потім по зерну, досягаючи глибини 0,07...1,5 мм [3]. На думку авторів досліджень [3, 4] утворення мікротріщин по дну пазів пов'язане з термічною втомою металу, що піддаються впливу термічних

навантажень при повторних запусках і остановах двигуна з реверсом напружень в зонах концентрації. Зниження опору термічної втоми обумовлено також значним наклепом поверхні дна пазів від механічної обробки – протягуванні. Ця, в цілому, продуктивна операція протікає із застосуванням значних зусиль в зоні різання, що в результаті призводить до сильної деформації поверхневого шару і виникнення залишкових напружень, що розтягують.

За даними дослідження [106] протягування пазів в дисках може створити небажані розтягуючі напруження до 600 МПа.

Підбором оптимального поєднання режимів протягування можна домогтися підвищення якості поверхневого шару пазів, проте можливості такого варіювання обмежені: рівень напружень, що розтягують, залишається досить високим. До того ж, в умовах виробництва це пов'язано з великим обсягом додаткових робіт.

Однією з причин виходу з ладу дисків є втомне руйнування. Для того щоб досягти нейтралізації негативних явищ після механічної обробки пазів і торців обода диска можливо застосування наступної фінішно–зміцнюючої обробки.

Опір втомному руйнуванню багато в чому залежить від властивостей поверхневого шару деталі, який формується на фінішних етапах технологічного процесу і в умовах експлуатації піддається найбільш сильному впливу.

Досить поширеною у нас і за кордоном, і в той же час трудомісткою, є операція з виконання слюсарно–полірувальних робіт. Остаточне полірування полотна і торців, скруглення крайок пазів дисків, що виконуються повстяними колами і абразивної стрічкою, вимагають великих затрат ручної праці. При цьому може спостерігатися впровадження частинок абразиву в оброблювану поверхню, часто утворюються глибокі риски, які є концентраторами напружень [99].

Одним з методів, який сприяє підвищенню продуктивності праці, створенню стабільних і сприятливих властивостей поверхневого шару, є обробка дисків в киплячому (псевдозрідженому) шарі абразиву (ПЗА) [107], заснована на принципі псевдозрідження сипучих матеріалів і створення абразивного «киплячого» шару, в якому обертають оброблювану деталь зі швидкістю 30 м/с.

Відзначається, що в порівнянні з ручною, такий вид обробки зменшує

шорсткість поверхні, а в поверхневому шарі виникають стискаючі напруження  $\sigma_{\max} = 190 \dots 270$  МПа на глибині 5...10 мкм [107].

Застосування різних видів поверхнево–зміцнюючої обробки дозволяє поліпшити властивості поверхні деталі, які задовольняють вимогам експлуатації.

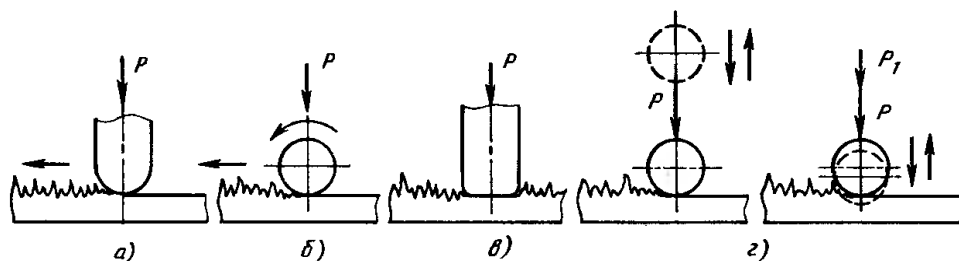
### 5.1 Методи поверхневого пластичного деформування обробки дисків ГДТ

Методи поверхневого пластичного деформування (ППД) – це різні види обробно–зміцнюючої обробки, при яких не утворюється стружка, а відбувається пружно–пластичне деформування поверхневого шару заготовки.

Відповідно до ГОСТ 18296–72 методи ППД підрозділяються на статичні і ударні [20].

При статичних методах обробки інструмент, робочі тіла або середовище впливають на поверхню деталі з певною силою  $P$ , відбувається плавне переміщення площі впливу, яка послідовно проходить всю поверхню. До таких методів належать: вигладжування і накатування, а також метод обтиску оброблюваної поверхні без переміщення осередків впливу (рис. 5.1, а, б, в).

При ударних методах (рис. 5.1, г) інструмент і робочі тіла багаторазово впливають на поверхню або її частину, при цьому сила впливу  $P$  змінюється від нуля до максимуму.



а – вигладжування; б – накатування; в – обтиску; г – ударні методи

Рисунок 5.1 – Характер контактної взаємодії інструменту з оброблюваної поверхнею при різних методах ППД

Для забезпечення експлуатаційних характеристик дисків існують технологічні методи, які можна представити у вигляді двох основних напрямків.

Перший напрям – формування поверхневого шару з покращеними фізико–механічними властивостями.

Другий – зменшення вже існуючих властивостей поверхневого шару (шорсткості, наклепу, залишкових напружень розтягу).

Для здійснення першого напрямку застосовують методи поверхнево–зміцнюючого деформування.

В результаті зменшується шорсткість поверхні, збільшується твердість (мікротвердість) металу, в поверхневому шарі деталі виникають стискаючі залишкові напруження. Це покращує експлуатаційні показники деталей, зокрема витривалість підвищується в 1,5–2,3 рази. Особливо ефективним є зміцнення деталей, що мають конструктивні або технологічні концентратори напружень.

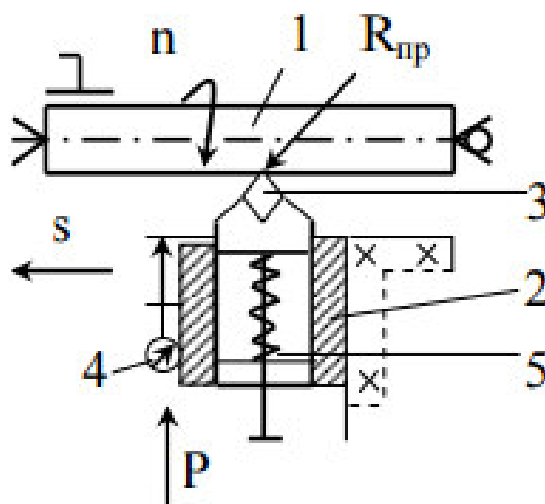
До технологічних переваг методів обробки ППД відносяться простота їх реалізації, технологічна універсальність, порівняно висока продуктивність, висока стійкість і надійність використовуваного інструменту [23]. Поряд з перевагами, ці методи мають і недоліки, що істотно обмежують їх технологічні можливості:

- необхідність ретельної (без задирів і наростів), точної за розмірами попередньої обробки поверхні з низькою шорсткістю;
- можливість виникнення під час процесу поверхневого пластичного деформування перенаклепа і лущення оброблюваної поверхні;
- складність і трудомісткість експериментального встановлення технологічних режимів тощо.

#### 5.1.1 Алмазне вигладжування

Алмазне вигладжування – процес пластичного деформування вихідного мікропрофілю під дією зусилля, прикладеного до алмазу (або іншого надтвердого матеріалу). [9]

Як інструмент для вигладжування застосовують наконечники різної форми. Матеріал наконечника – алмаз або надтверді синтетичний матеріали (рис. 5.2) [23].



1 – деталь; 2 – державка; 3 – алмаз; 4 – індикатор; 5 – пружина;  $P$  – сила вигладжування,  $R_{пр}$  – профільний радіус наконечника

Рисунок 5.2 – Схема процесу алмазного вигладжування

Вигладжування виконується на універсальних токарно–гвинторізних верстатах за допомогою нескладних пристосувань. Вигладжування здійснюється в умовах тертя ковзання, що істотно відрізняє цей процес від обкатування. Висока твердість алмазу і низька шорсткість його поверхні, малий профільний радіус деформуючих інструментів (0,5...4 мм) і низький коефіцієнт тертя по металу дозволяють отримувати поверхні деталей з дзеркальним блиском і високою точністю. В результаті вигладжування досягаються наступні властивості поверхонь:

- $Ra = 0,03...0,04$  мкм;
- квалітети точності – 5...7,
- твердість підвищується на 40...60%,
- формуються стискаючі напруження.

Вигладжування здійснюється з невеликими зусиллями 50...300 Н, що дозволяє зміцнювати тонкостінні деталі.

### 5.1.2 Вібраційне накочення

Вібраційне накочення – накочення при вібрації інструменту в напрямку, дотичному до поверхні, що деформує матеріал [9].

Це обробка, яка створює рель'єф та здійснювана сталевими загартованими кульками з накладенням на інструмент додаткових коливальних рухів для отримання на оброблюваних поверхнях регулярних мікрорельєфів [9].

Вібраційне накочення здійснюється на металообробних верстатах, переважно токарних. Осциляційний рух створюється пристроями різних видів. Існує велика кількість типів пристроїв для вібранакочення, що відрізняються траєкторією руху інструмента (ексцентричне обертання, складний рух тощо) і характером приводу вібратора (механічний, електромагнітний, гідравлічний тощо) [23].

Вібраційне накочення покращує експлуатаційні властивості деталей, поверхні яких були оброблені на фінішному етапі. Підвищується:

- контактна жорсткість;
- міцність нерухомих з'єднань;
- опір повзучості;
- втомна міцність;
- корозійна стійкість;
- гідроцільність;
- склеюваність;
- плавність ходу в пазах тертя;
- опір фреттинг–корозії;
- в ряді випадків вдалося виключити нанесення спеціальних покриттів, виключити термообробку тощо.

На рис. 5.3 показана схема класифікації пристроїв для виконання вібранакутування [22].

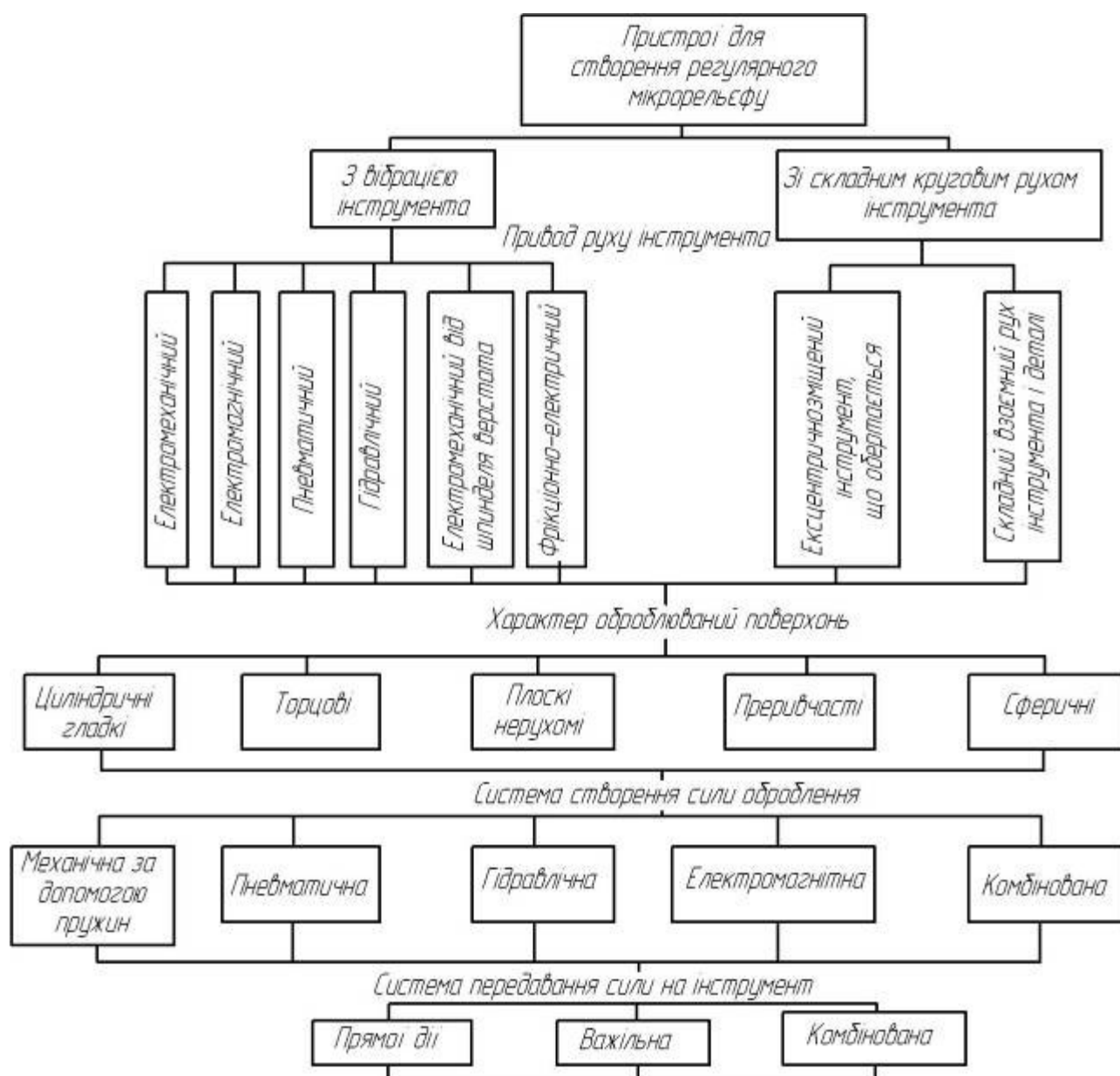


Рисунок 5.3. – Класифікація пристроїв для вібронакаткування [9]

### 5.1.3 Віброгалтовка

Віброполірування (галтовка) – технологічний процес механічної обробки деталей при перемішуванні з наповнювачем, який може містити абразив [9].

Застосовується для обробки поверхонь деталей з різних матеріалів, металів, сплавів чорних, кольорових і дорогоцінних, полімерів, скла, кераміки, мінералів, дерева та інших.

Процес галтовки здійснюється на різному устаткуванні, наприклад, віброгалтувальних барабанах і вібромашинах різних типів.

Для здійснення процесу галтовки необхідний наповнювач (середа), в якому обробляються заготовки, і забезпечується необхідна якість і шорсткість обробленої поверхні деталі.

Наповнювач (середа) – абразивні гранули (в машинобудуванні), абразивна крошка, дерево, ластик, галька тощо.

Наповнювач і деталі приводяться в рух відносно один одного в робочій ємності машини (барабані). Машини для галтовки поділяються на наступні типи:

а) механічні барабани, що обертаються, і барабани з вібраційним приводом.

В барабанах, що обертаються, як правило, проводять буксирну галтовку – деталь закріплюється нерухомо щодо галтувальних тіл, які обертаються в барабані, за рахунок чого відбувається рух галтувальних тіл по поверхні оброблюваної деталі. При віброгалтовці відносний рух деталі і галтувальних тіл створюється за рахунок хаотичного перемішування галтувальних тіл по всьому об'єму барабана під впливом вібрації;

б) електромагнітні.

Галтовка підрозділяється на:

– суху;

– мокру.

При сухій галтовці використовуються сухі галтувальні тіла.

При мокрій – при галтовці в галтувальному барабані додається буферний розчин або робоча рідина.

Наприклад, при обробці металевих деталей ефективна мокра галтовка, при обробці дерев'яних – суха.

Галтувальні тіла діляться на:

– керамічні;

– порцелянові;

– пластикові.

Вони мають, як правило, форму призми, призми скошеної, піраміди, конуса, циліндра, кулі. Також в якості галтувальних тіл можуть використовуватися

матеріали без зв'язки: корунд, крихта шкаралупи волоського горіха, дерево тощо [22, 23].

Матеріал і форма галтувальних тіл, буферний розчин вибираються, виходячи з матеріалу, форми деталі (особливо наявності поднутрених) і необхідної якості поверхні.

Гідрогалтовка дробом приблизно в тій же мірі призводить до поліпшення властивостей поверхневого шару, при більш широких можливостях для регулювання інтенсивності і забезпечення рівномірності обробки різних поверхонь зміцнюючих деталей [108, 109].

Так, віброполірування викружек пазів диска зі зняттям шару 0,08...0,1 мм підвищує межу витривалості до  $\sigma_{-1} = 170$  МПа (на 37 %), а зміцнення дисків після полірування обдуванням мікрокульками – ще на 41% і доводить його до  $\sigma_{-1} = 240$  МПа.

#### 5.1.4 Гідродробострумова обробка

Гідродробозміцнювальна обробка включає методи зміцнення дробом із застосуванням ЗОТС [9]:

- дробострумовий;
- пневмогідродробострумовий;
- гідродробострумовий;
- гідродробометний;
- зміцнення скляними мікрокульками.

Дробоструменеве зміцнення здійснюється на пневматичних дробострумових пристроях, де в якості рухателя дробу використовується стиснене повітря з тиском 0,4...0,5 МПа.

Основні переваги дробоструменевого зміцнення:

- простота конструкції дробоструминних пристроїв;
- можливість використання централізованої подачі стисненого повітря;
- можливість обробки важкодоступних ділянок деталей;

- сепарація дробу потоком повітря;
- відсутність необхідності промивання деталей після обробки.

Недоліки:

- високі локальні миттєві температури (600...750 °C), що призводять до створення значного підшарового максимуму стискаючих залишкових напружень;
- збільшення шорсткості поверхні деталей;
- прискорене зношення сопел, дробу і деталей камери;
- наявність металевго пилю;
- низька продуктивність кожного сопла.

Пневмогідродробострумове зміцнення здійснюється потоком суміші дробу, повітря і ЗОТС, що направляється на деталь.

Ширші можливості з точки зору управління процесом зміцнення має пневмодробострумова обробка, при якій енергоносієм є спрямований потік стисненого повітря. Дослідження процесу зміцнення на різних деталях показали, що варіювання режимів обробки дозволяє створити в поверхневому шарі залишкові стискаючі напруження до 800 МПа з глибиною залягання від 0,05 до 0,2 мм і шорсткістю  $Ra$  0,63 і менше [9].

Застосовуються високошвидкісні (понад 50 м/с) пневмогідродробострумові ежекторні пристрої, струменеві апарати яких оснащені соплами–ежекторами в кількості від 1 до 80.

Переваги:

- значне зниження коефіцієнту тертя на майданчику контакту дробу і деталі;
- зниження зношення струменевих апаратів;
- відсутність елеватора і металевго пилю.

Ультразвукове зміцнення (УЗЗ) – це метод ППД, при якому до інструменту (кульці, ролику тощо), встановленому в концентраторі, поряд зі статичної силою притиску  $P_{ст}$  до поверхні деталі прикладають ультразвукові коливання, що створюються спеціальним ультразвуковим генератором (УЗГ) (рис. 5.4) [23].

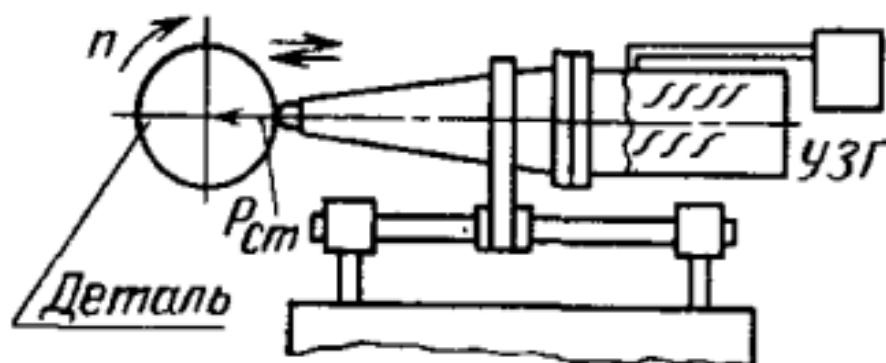


Рисунок 5.4 – Схема ультразвукового зміцнення

УЗЗ проводять на універсальних або спеціальних верстатах, а також спеціальних пристроях. Застосування УЗУ ефективно для термооброблених деталей, інструментів з твердих сплавів, деталей малої жорсткості.

У дослідженні [106] встановлено, що обробка обода і пазів диска сталевими кульками в ультразвуковому полі викликає стискаючі напруження: для складних поверхонь вони становлять – 370 МПа, для гладких – в інтервалі від –600 до –750 МПа. При цьому доведено [106], що УЗЗ дозволяє підвищити довговічність дисків в 2,7 рази.

Однак особливість ультразвукового зміцнення полягає в тому, що сприятливий вплив цієї обробки на поверхню деталі не вичерпується тільки лише створенням залишкових напружень стиснення в поверхневому шарі. За даними дослідження [113] створення стискаючих напружень супроводжується значним підвищенням щільності дислокацій під дією багаторазових (з ультразвуковою частотою) ударів кульок. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що УЗЗ призводить до підвищення щільності дислокацій на два–три порядки і появі сплетінь дислокацій без фіксованої площини ковзання, як після пластичної деформації. Таким чином, при ультразвуковому зміцненні розподіл дислокацій в зміцненому шарі більш рівномірний, ніж, наприклад, після обкатки роликами, що обумовлює більш рівномірний розподіл залишкових напружень [113].

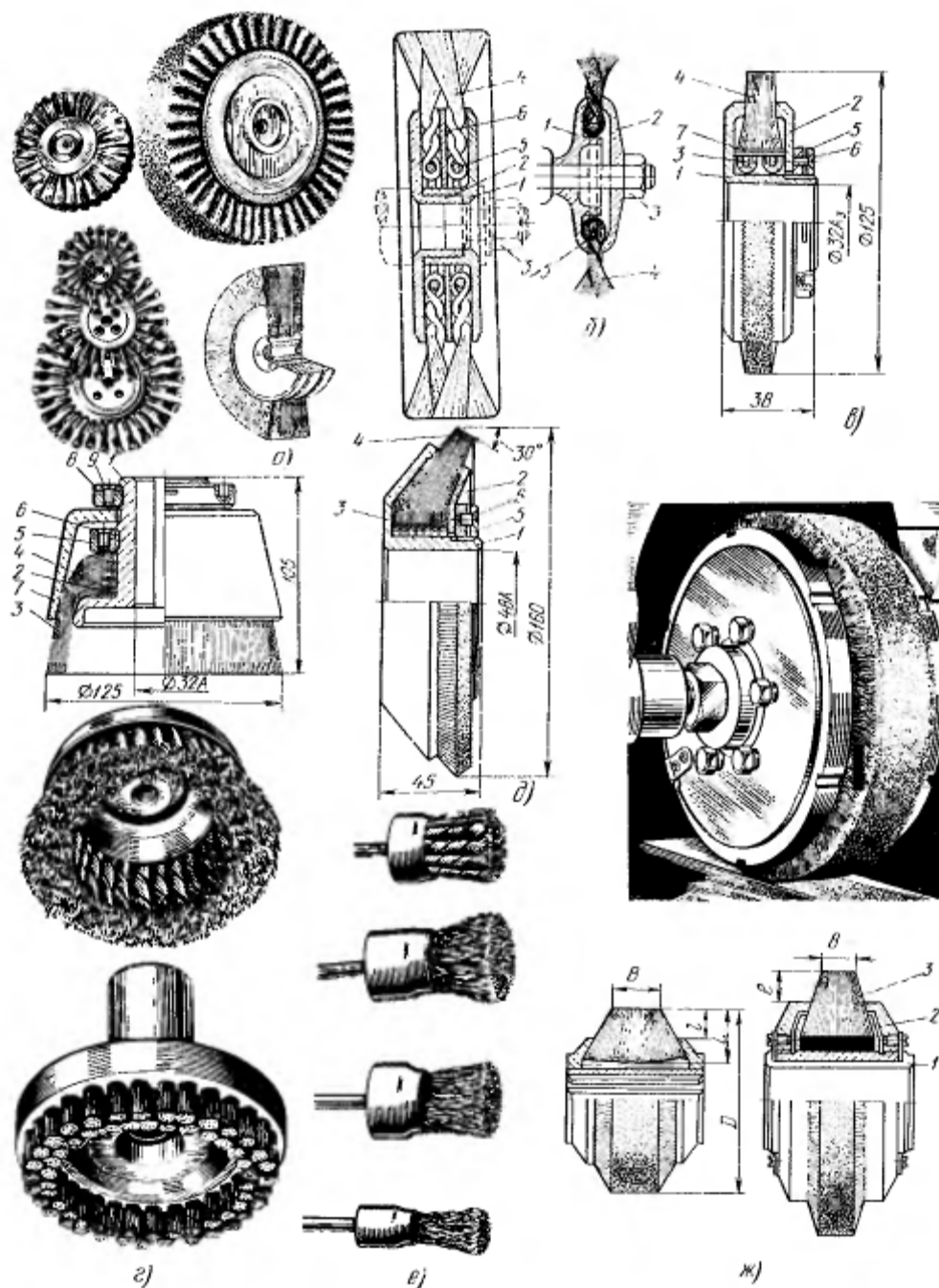
Як і при будь-якому іншому способі зміцнюючої обробки, ефективність УЗЗ істотно залежить від його режимів, які до теперішнього часу визначаються в основному емпіричним шляхом з урахуванням матеріалу і конструкції деталі.

В роботі [116] показано вплив тривалості ультразвукової обробки на характер розподілу залишкових напружень по глибині і на довговічність зразків, яку визначали за знакозмінному навантаженні.

Для обґрунтування оптимального режиму УЗЗ проводилися дослідження зразків зі сплаву ВТ8 [99, 117]. Застосування УЗЗ на оптимальних режимах стабілізує фізико–механічні властивості поверхневого шару, нейтралізує можливі поверхневі дефекти (ризки), зменшує розсіювання межі витривалості в порівнянні з віброполіруванням [117].

#### 5.1.5 Обробка дротовим інструментом

Обробка механічної щіткою – поверхневе пластичне деформування ударами ворсу механічної щітки, що обертається. На рис. 5.5, 5.6 показана схема обробки та різновиди дротяного інструменту [22, 23].



а – циліндричні та дискові щітки; б – дворядна і однорядна щітки з жгутів;  
1, 2 – фланці; 3 – оправлення; 4 – ворс; 5 – опорне кільце; 6 – розділове  
кільце;

в, г, д – циліндрична, торцева і кутова коротковорсні щітки з прямим ворсом;  
1, 2 – притискні фланці; 3 – опорні кільця; 4 – ворс; 5, 6, 7, 8 – затискні елементи;  
е – кінцеві щітки; ж, з – іглофрези; 1 – маточина; 2 – фланець; 3 – ворс

Рисунок 5.5 – Різновиди дротяного інструменту

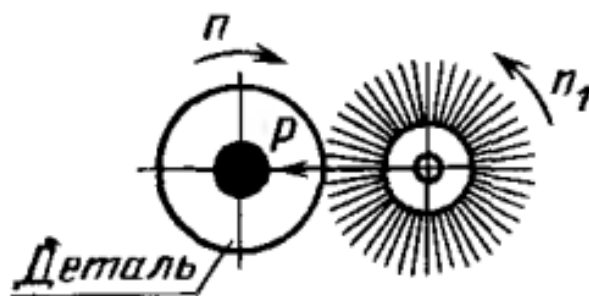


Рисунок 5.6 – Схема обробки механічної щіткою

Зміцнення щітками, що обертаються відбувається в результаті удару і подальшого ковзання механічної щітки по поверхні деталі. Застосовують як універсальні (токарні, шліфувальні тощо), так і спеціальні верстати і переносні установки. Застосовуються головним чином дискові щітки суцільні, секційні і з ударними елементами. Для щіток використовується дрiт з сталей 65, 65Г, У8А і ін. Обробка щітками є високопродуктивним процесом, легко піддається автоматизації. Особливо доцільне застосування щіток при обробці: складних профілів; переривчастих поверхонь; поверхонь, що прилягають до виточок, буртів тощо. З огляду на незначні зусилля, що діють з боку інструменту на заготовку, щітки незамінні при обробці деталей зниженої жорсткості.

Таким чином, для підвищення несучої здатності дисків даної конструкції необхідне введення додаткових, більш досконалих методів обробки і контролю:

- за своєчасною зміною інструменту і прикладеним зусиллям різання при обробці крайок пазів;
- за рівнем деформації кромek поверхонь;
- нормування слюсарної операції як висококваліфікованої;
- усунення впливу суб'єктивного фактора при повній механізації обробки цієї відповідальної операції.

## 6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

В роботі об'єднано три механічні операції – дві свердлильних по свердленню та зенкеруванню 4 отворів діаметром 10 мм, свердлення, зенкеруванню та розвертання 16 отворів діаметром 10, 15 мм, фрезерної операції по фрезеруванню фасонного внутрішнього уступу – та трьох слюсарних по видаленню задирок після цих свердлильних та фрезерної операцій. Замінено обладнання на свердлильно-фрезерно-розточний верстат моделі IP500МФ4 з ЧПК операції 085.

Визначимо доцільність цих заходів. Початкові дані наведено у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Дані щодо верстатів двох варіантів

| Модель верстата                                    | Потужність верстата,<br>кВт | Вартість верстата,<br>грн | $t_{шт.к}, \text{XB}$ |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Базовий (перший) варіант                           |                             |                           |                       |
| Вертикально<br>свердильний 2Н135                   | 4,0                         | 19000                     | 388,6                 |
| Вертикально<br>свердильний 2Н135                   | 4,0                         | 19000                     |                       |
| Фрезерний з ЧПК<br>6Р13РФ3-37                      | 7,5                         | 54250                     |                       |
| Верстак слюсарний                                  | 2,5                         | 3000                      |                       |
| Всього                                             | 18,0                        | 95250                     |                       |
| Запропонований (другий) варіант                    |                             |                           |                       |
| Багатоцільовий<br>верстат моделі<br>IP500МФ4 з ЧПК | 22,0                        | 155200                    | 332,5                 |

Визначаємо такт випуску за формулою (6.1) [3]:

$$\tau = \frac{F_o \cdot 60}{N}, \quad (6.1)$$

де  $F_o$  – дійсний річний фонд роботи обладнання однозмінної роботи підприємства,

$F_o = 1960$  годин [1];

$N$  – програма випуску:  $N = 1500$  шт.

$$\tau = \frac{4015 \cdot 60}{2200} = 109,5 \text{ хв.}$$

Розраховуємо кількість верстатів для операцій за штучно-калькуляційним часом за формулою (6.2) [3]:

$$\eta_p = \frac{t_{\text{шт.к.}}}{\tau}, \quad (6.2)$$

де  $t_{\text{шт.к.}}$  – штучно-калькуляційний час, хв .

$t_{\text{шт.к.1-1,2,3,4}} = 26,56, 57,34, 205,7, 99$  хв, відповідно:

$$\eta_{p1-1} = \frac{26,56}{109,5} = 0,24,$$

$$\eta_{p1-4} = \frac{57,34}{109,5} = 0,52,$$

$$\eta_{p1-1} = \frac{205,7}{109,5} = 1,87,$$

$$\eta_{p1-1} = \frac{99}{109,5} = 0,9.$$

Існує кількість верстатів для базового випадку  $\eta_1 = 5$ .

$$\eta_{p2} = \frac{3332,5}{109,5} = 3,03$$

Приймаємо  $\eta_1$  для запропонованого варіанту  $\eta_2 = 3$ .

Розраховуємо заробітну плату робітників на хвилину за формулою (6.3) [3]:

$$З = З_T K_H n \quad (6.3)$$

де  $З_T$  – табличне значення хвилинної заробітної плати:

$$З_{T1} = З_{T2} = (8000 \cdot 100) / (41 \cdot 4 \cdot 60) = 8,5 \text{ коп./хв} \quad [3, \text{ с. 94, т. 2, 18}];$$

$K_H$  – коефіцієнт перевиконання норми, приймаємо:  $K_{H1} = K_{H2} = 1,02$  [3, с. 93];

$n$  – кількість верстатів:  $n_1 = 2$  шт,  $n_2 = 1$  шт.

$$З_1 = 8,5 \cdot 1,02 \cdot 5 = 43,35 \text{ коп./хв.}$$

$$З_2 = 8,5 \cdot 1,02 \cdot 3 = 26,01 \text{ коп./хв.}$$

Визначаємо витрати на електроенергію за формулою (6.4):

$$E = \frac{\sum N k_1 k_2 C_e}{60}, \quad (6.4)$$

де  $\sum N$  – сумарна потужність електродвигунів верстатів:  $\sum N_1 = 18$  кВт,  $\sum N_2 = 22$  кВт (табл. 6.1);

$k_1$  – коефіцієнт за потужність:  $k_1 = 0,7$  [3, с. 94, т. 2.19];

$k_2$  – коефіцієнт за часом роботи  $k_2 = 0,5$  [3, с. 94, т. 2.19];

$C_e$  – вартість 1 кВт електроенергії:  $C_e = 110$  коп/год.

$$E_1 = \frac{18 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 90}{60} = 9,45 \text{ коп/хв.}$$

$$E_2 = \frac{22 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 90}{60} = 11,55 \text{ коп/хв.}$$

Визначаємо витрати на амортизацію обладнання за формулами (6.5) – (6.6):

$$A_r = \frac{\alpha_1 1,15 C}{100}, \quad (6.5)$$

$$A = \frac{A_r 100}{F_d 60}. \quad (6.6)$$

де  $\alpha_1$  – процент відрахування від балансової вартості обладнання:  $\alpha_1 = 15$  [1, с. 92];

$C$  – вартість обладнання:  $C_1 = 71250$  грн,  $C_2 = 54250$  грн (табл. 6.1).

$$A_{r1} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 95250}{100} = 16430,63 \text{ грн./рік.}$$

$$A_1 = \frac{16430,635 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 6,82 \text{ коп./хв.}$$

$$A_{r2} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 155200}{100} = 26772 \text{ грн./рік.}$$

$$A_2 = \frac{26772 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 11,11 \text{ коп./хв.}$$

Визначаємо витрати на обслуговування обладнання за формулами (6.7) – (6.8):

$$O_r = \frac{\alpha_2 1,15 C}{100}, \quad (6.7)$$

$$O = \frac{O_\phi 100}{F_d 60}. \quad (6.8)$$

де  $\alpha_2$  – процент відрахування від балансової вартості обладнання:  $\alpha_2 = 0,5$  [3, с. 92].

$$O_{r1} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 95250}{100} = 547,68 \text{ грн./рік.}$$

$$O_1 = \frac{547,68 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,23 \text{ коп./хв.}$$

$$O_{r2} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 155200}{100} = 892,4 \text{ грн./рік.}$$

$$O_2 = \frac{892,4 \cdot 100}{1960 \cdot 60} = 0,37 \text{ коп./хв.}$$

Визначаємо витрати на ремонт обладнання за формулами (6.9) – (6.10):

$$P_r = \frac{\alpha_3 1,15 C}{100}, \quad (6.9)$$

$$P = \frac{P_r 100}{F_d 60}. \quad (6.10)$$

де  $\alpha_3$  – процент відрахування від балансової вартості обладнання:  $\alpha_3 = 4,5$  [3, с. 92];

$$P_{r1} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 95250}{100} = 4929 \text{ грн/рік.}$$

$$P_1 = \frac{49,29 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 2,05 \text{ коп/хв.}$$

$$P_{r2} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 155200}{100} = 8031,6 \text{ грн/рік.}$$

$$P_2 = \frac{8031,6 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 3,33 \text{ коп/хв.}$$

Сумарні витрати на інструмент (свердло, зенкер, розвертка, фреза, зенковка) визначаємо за [3, с. 94, т. 2.20]: 1,89 грн/год, це 189 коп/год. Перераховуємо  $I_1 = I_2 = 182/60 = 3,15$  коп/хв.

Витрати на пристосування визначаємо за [3, с. 95, т. 2.21]:  $\Pi_1 = 0,0417$  коп/хв,  $\Pi_2 = 0,0304$  коп/хв.

Розраховуємо технологічну собівартість за формулою (6.11):

$$C = (Z + E + A + O + P + I + \Pi) t_{\text{ум.к.}} \quad (6.11)$$

$$C_1 = (43,35 + 9,45 + 6,82 + 0,23 + 2,05 + 3,15 + 0,0417) 388,6 = 252,94 \text{ грн}$$

$$C_2 = (26,01 + 11,55 + 11,11 + 0,37 + 3,33 + 3,15 + 0,0304) 332,5 = 184,73 \text{ грн.}$$

Розраховуємо економічний ефект за формулою (6.12):

$$E\phi = (C_1 \Pi + K_e C_1) - (C_2 \Pi + K_e C_2) \quad (6.12)$$

де  $K_e$  – нормативний коефіцієнт ефективності:  $K_e = 0,15$ .

$$Ef = (4 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 71250) - (2,37 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 54250) = 93311,61 \text{ грн.}$$

Отже, можна зробити висновок, що доцільно об'єднати операції, для виконання їх на трьох багатоцільових верстатах, замість п'яти верстатів різних типів, тому що це дасть економічний ефект 93311 грн, звільниться місце з-під двох верстатів, вивільниться виробнича площа, верстатник та слюсар.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Дотримання усіх норм охорони праці (ОП) забезпечує досягнення безпечних умов праці на робочих місцях, попереджує виникнення травматизму та професійних захворювань на робочих місцях.

У додатку до роботи приведено аналіз потенційно небезпечних факторів, які можуть виникати під час роботи на підприємстві. У ньому розглядаються наступні питання: аналіз потенційних небезпек; заходи по забезпеченню техніки безпеки; заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці; заходи по пожежній безпеці; заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях. [21]. Також розглянуто питання про перелік дій робітників, службовців та населення при аварії з викидом (розливом) сильнодіючих отруйних речовин.

### 7.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час технологічного процесу виготовлення деталей ймовірними є наступні потенційні небезпеки:

#### 1. Механічні травми внаслідок організаційних причин:

а) нераціонального планування робочого місця верстатника в наслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам [22];

б) травми та пошкодження шкіряного покриву при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей;

в) пошкодження шкіряного покриву рук гострити кромками, шорохатістю на поверхні заготовок, інструменту, обладнання, відходів при роботі без рукавиць [23].

2. Опіки можливі при порушенні правил безпеки при виконанні операцій точіння в'яких металів без спеціального одягу.

3. Під час токарної обробки деталей можливе травмування очей пиловими частками або стружкою, що відлітає в процесі обробки матеріалів. Причини

травматизму - порушення технологічного процесу та робота без захисних окулярів або щитків для захисту обличчя.

4. Ураження електричним струмом, внаслідок несправності електрообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку [21].

5. Емоційне перенавантаження, викликане необхідністю виконувати одну і ту саму роботу без перерв на відпочинок сприяє передчасному розвитку загального втомлення, зниженню працездатності.

6. Недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

7. Підвищений рівень шуму призведе до роздратованості та збільшенню помилок.

8. Незадовільні параметри мікроклімату, у зв'язку з відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, можуть викликати загальні захворювання.

9. Зневага правилами пожежної безпеки може привезти загоряння, пожежі;

10. Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

## ВИСНОВКИ

В процесі роботи з виконання дипломного проекту були закріплені теоретичні знання з дисципліни технологія машинобудування, а також за іншими, раніше вивченим дисциплінам, таким як: деталі машин, опір матеріалів тощо.

В ході роботи виконано аналіз технологічності деталі, визначений тип виробництва і форма організації робіт, розроблений маршрут обробки, виконані розрахунок режимів різання і нормування операцій механічної обробки. За результатами визначення основних параметрів технологічного процесу механічної обробки диска.

У конструкторської частини проекту виконані роботи з проектування двох робочих пристосувань: механізоване токарне мембранне пристосування для обробки з двох сторін, пристосування для перевірки биття поверхонь деталі.

В частині автоматизації розглянуто питання використання методу лазерного маркування, який є найбільш перспективним методом, розглянуто різноманітне обладнання для виконання процесу.

Виконано розрахунок деталі на міцність за допомогою програми NX. Результатом є рекомендації щодо напружень в пазах диска.

В якості спецзавдання розгляну питання підвищення експлуатаційних характеристик дисків методами поверхнево-пластичного деформування. Розглянуто основні методи та визначено найбільш доцільні з точки зору матеріалу та умов експлуатації.

В економічній частині розглянуто питання економічної доцільності використання сучасного обладнання. Базовий варіант порівняно с пропонованим, розрахована економічна ефективність прийнятих рішень.

## ПЕРЕЛІК ДЖНРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Киселев Ю. В. Конструкция и техническая эксплуатация двигателя Д-36: Учеб. пособие / Ю. В. Киселев, С. Н. Тиц // Самар. гос. аэрокосм. ун-т. Самара, 2006. – 90с.
2. Марочник сталей и сплавов. 4-е изд., переработ. и доп. / [Ю.Г. Драгунов, М28 А.С. Зубченко, Ю.В. Каширский и др.] – М.: 2014. 1216 с.: илл.
3. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування»(8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.090260) усіх форм навчання / уклад. В. К. Яценко, В. І. Ципак, Є. Я. Кореневський та інш. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 245 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя: 1 т. / под ред. А. М. Донского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сусллова. – М.: Машиностроение, 2001.
5. Справочник технолога-машиностроителя: 2 т. / под ред. А. М. Донского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сусллова. – М.: Машиностроение, 2001.
6. Справочник нормировщика машиностроителя. Т.2. / Под ред. Е. И. Стружестраха. – М.: Машиностроение, 1961. – 892 с.
7. Богуслаев В. А Станочные приспособления / В. А. Богуслаев, В. А. Леховицер, А. С. Смирнов. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2004. – 461 с.
8. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В. И. Баранчиков, А. В. Жаринов, Н. Д. Юдина и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 400 с., ил.
9. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л. Г. Одинцов. Москва : Машиностроение, 1987. – 328 с.
10. Брагина Т.К. Исследование влияния эксплуатационных, конструктивных и технологических факторов на несущую способность дисков турбин и компрессоров ГТД / Т. К. Брагина, Л. М. Ларичева // Технический отчет ЦИАМ № 7781.– 31 с.

11. Экспериментальное исследование прочности новых конструкционных материалов и деталей из них в условиях повышенной температуры, воздействия знакопеременных нагрузок, асимметрии цикла, эксплуатационных и технологических факторов / [Б.Ф. Балашов, А.Н. Петухов и др.] // Технический отчет ЦИАМ № 8392. – 51 с.

12. Драгобецкий В. В. Новые и высокоэффективные технологии в машиностроении : учеб. пособие / В. В. Драгобецкий, А. Д. Коноваленко, В. Г. Загорянский. – Харьков : Точка, 2012. – 237 с.

13. Богуслаев В. А. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей / В. А. Богуслаев, В. К. Яценко, В. Ф. Притченко, Киев. 1993.– 333 с.

14. Левитин В. В. Остаточные напряжения в деталях газовых турбин / В. В. Левитин, Б. А. Серпецкий // Новые конструкционные стали и сплавы и методы их обработки для повышения надежности и долговечности изделий: Тезисы докладов V научно–технической конференции. – Запорожье. 1992.– С. 30 – 31.

15. Медведев Б. Л. Внедрение турбоабразивного метода слесарной обработки деталей ГТД //Авиац. пром–сть. 1984.– №6.– С. 30–31.

16. Корневский Е. Я. Оценка эффективности упрочнения вибро– и гидрогалтовкой лопаток компрессора из стали 14X17H2 / Е. Я. Корневский , В.К. Яценко, В. П. Хуповка //Авиац. промышленность. – 1984.– № 7.– С. 22 – 23.

17. Гринченко И. Г. Оборудование для упрочнения лопаток компрессора ГТД гидрогалтовкой дробью / И. Г. Гринченко, И. А. Исаева, А. П. Пошеченков //Авиац. промышленность. 1972.– № 1.– С.– 15–17.

18. Кулемин А. В. Повышение усталостной прочности деталей путем ультразвуковой обработки / А. В. Кулемин, В. В. Кононов, И. А. Стебельков // Пробл. прочности. 1981.– № 1.– С. 70 – 74.

19. Сахно А. Г. Обоснование рационального режима деформационного упрочнения лопаток ГТД / А. Г. Сахно, В. М. Анищенко // Материалы Всесоюзной научно–технической конференции «Новые технологические процессы и

оборудование для поверхностной пластической обработки материалов»: Тезисы докладов. – Брянск. 1986. –С. 105.

20. Материалы інформаційного сайту [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://automator.in.ua/tehnologii-lazernoy-markirovki/>.

21. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Технологія машинобудування»; 133 «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізація) «Металорізальні верстати та системи; 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.

22. Юдин, Е.Я. Охрана труда в машиностроении [Текст]: учебник для машиностроительных вузов 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. 432 с.

23. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

| Формат        |          | Зона | Поз.     | Обозначение | Наименование             | Кол.                                    | Примечание |
|---------------|----------|------|----------|-------------|--------------------------|-----------------------------------------|------------|
| Перв. примен. |          |      |          |             | Документация             |                                         |            |
|               |          |      |          |             | Сборочный чертеж         |                                         |            |
|               |          |      |          |             | Сборочные единицы        |                                         |            |
|               |          |      | 1        |             | Пневмоцилиндр в сборе    | 1                                       |            |
|               |          |      |          |             | Детали                   |                                         |            |
|               |          |      | 2        |             | Диск                     | 1                                       |            |
|               |          |      | 3        |             | Прижим                   | 3                                       |            |
|               |          |      | 4        |             | Опора                    | 1                                       |            |
|               |          |      | 5        |             | Кильце                   | 1                                       |            |
|               |          |      | 6        |             | Корпус                   | 1                                       |            |
|               |          |      | 7        |             | Сепаратор                | 3                                       |            |
|               |          |      |          |             | Стандартные изделия      |                                         |            |
| Справ. №      |          |      | 8        |             | Гвинт М4х15 ГОСТ 1491-80 | 8                                       |            |
|               |          |      | 9        |             | Гвинт М6х20 ГОСТ 1491-80 | 6                                       |            |
|               |          |      | 10       |             | Болт М3х5 ГОСТ 17475-80  | 8                                       |            |
|               |          |      | 11       |             | Шайба М5 ГОСТ 11371-78   | 6                                       |            |
|               |          |      | 12       |             | Шайба М4 ГОСТ 14734-69   | 6                                       |            |
| Подп. и дата  |          |      |          |             |                          |                                         |            |
|               |          |      |          |             |                          |                                         |            |
| Взам. инв. №  |          |      |          |             |                          |                                         |            |
|               |          |      |          |             |                          |                                         |            |
| Подп. и дата  |          |      |          |             |                          |                                         |            |
|               |          |      |          |             |                          |                                         |            |
| Инд. № подл.  | Изм.     | Лист | № докум. | Подп.       | Дата                     | НУЗП 292261.007                         |            |
|               | Разраб.  |      | Гришин   |             |                          | Пристосування для токарної операції 055 |            |
| Инд. № подл.  | Пров.    |      | Козлова  |             |                          | Лист                                    | Лист       |
|               | Н.контр. |      | Гончар   |             |                          | НУЗП                                    |            |
| Инд. № подл.  | Утв.     |      | Дядя     |             |                          | гр. М-119м                              |            |
|               |          |      |          |             |                          | Формат А4                               |            |

| Перв. примен. |  | Формат                                             | Зона | Паз    | Обозначение              | Наименование     | кол | Примечание |
|---------------|--|----------------------------------------------------|------|--------|--------------------------|------------------|-----|------------|
| Спроб. №      |  |                                                    |      |        |                          | Документация     |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          | Сборочный чертеж |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          | Детали           |     |            |
|               |  |                                                    |      | 1      |                          | Корпус           | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 2      |                          | Стойка           | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 3      |                          | Опора            | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 4      |                          | Опора            | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 5      |                          | Хомут            | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 6      |                          | Вись             | 1   |            |
|               |  |                                                    |      | 2      |                          | Хомут            | 1   |            |
|               |  | 3                                                  |      | Гвинт  | 1                        |                  |     |            |
|               |  | 4                                                  |      | Втулка | 1                        |                  |     |            |
|               |  | 5                                                  |      | Ролік  | 1                        |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        | Стандартные изделия      |                  |     |            |
|               |  | 11                                                 |      |        | Гвинт М4х15 ГОСТ 1491-80 | 4                |     |            |
| Подп. и дата  |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Взач. инд. №  |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Подп. и дата  |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Инд. № подл.  |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Изм. Лист     |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Разраб.       |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Проб.         |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Н.контр.      |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
| Утв.          |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  |                                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  | НУЗП 401231.007                                    |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  | Контрольне пристосування<br>для перевірки<br>биття |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  | Лист Лист Листов<br>1 1 1                          |      |        |                          |                  |     |            |
|               |  | НУЗП<br>гр. М-119м<br>Формат А4                    |      |        |                          |                  |     |            |

Копировал

## ДОДАТОК Б

### Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання аварій, виробничого травматизму та інших небезпечних явищ конструкція обладнання на механічній дільниці відповідає вимогам національних стандартів та «Технічному регламенту безпеки». [Б1] На дільниці передбачено застосовувати обладнання, що відповідає вимогам «Технічного регламенту безпеки машин» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 р. № 62. Обладнання не створювали небезпеки для людей під час встановлення, налагодження, експлуатації та обслуговування згідно з передбачуваними умовами та технологічними вимогами [Б1].

Для уникнення дискомфорту, передчасної втоми, фізичного та психологічного стресу під час організації робочого процесу враховані принципи ергономіки: врахування можливих фізичних розмірів оператора, його сили і витривалості; забезпечення достатнього простору для рухів частин тіла оператора; уникнення встановлення фіксованої продуктивності; уникнення необхідності спостереження, яке вимагає тривалої зосередженості; пристосування системи взаємодії “людина - машина” до передбачуваних характеристик операторів (ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування») [Б2].

На кожному робочому місці передбачені посадові інструкції, які встановлюють загальні та кваліфікаційні вимоги, вимоги до знань, обов’язки, права, відповідальність фахівця згідно вимогам НАОП 1.4.32-2.01-82 (ОСТ 11 090.028-82) «Інструкція з охорони праці. Порядок розроблення, оформлення та користування», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», 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). Згідно інструкцій для уникнення травматизму верстат перед початком роботи повинен пройти обов’язкову

перевірку. Обов'язково повинна бути перевірена надійність закріплення заготовки та ріжучого інструменту [Б2].

Передбачена звукова сигналізація, яка попереджає про пуск обладнання, засоби зупинки, про порушення нормального режиму роботи, автоматичного відключення від джерела енергії при небезпечних несправностях. Елементи конструкції виробничого обладнання не мають гострих кутів, країв і поверхонь з нерівностями, що становлять небезпеку. Робочі місця безпечні зручні ті відповідають вимогам ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» [Б1].

З метою уникнення ризиків отримання механічних травм різного ступеню важкості передбачено застосування кольорів та сигналів безпеки, що використовуються на робочих місцях, у відповідності вимогам 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).

Небезпека ураження електричним струмом при використанні верстатів, приладів з'являється при недотриманні заходів безпеки, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Категорія приміщення механічної дільниці, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога). [Б4].

Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання на механічній дільниці характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7

«ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом. [Б4].

Обладнання має подвійну ізоляцію: робочу – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, що забезпечує її нормативну роботу та захист від ураження електричним струмом; додаткову ізоляцію – для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції (ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги»).

Захисні засоби безпеки електроустаткування будинків виконується відповідно вимога ПУЕ і ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом». Для підвищення рівня захисту від загорання при замиканні на заземні частини, коли величина струму не є достатньою для спрацювання максимального струмового захисту, рекомендовано застосування УЗО зі струмом спрацювання до 400 мА [Б4].

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нерационального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму зроблено більш зручне та 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», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше – 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5метри, що дає можливість безпечно та комфортно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі – гарантує швидку евакуацію людей. Планування безпосередньо робочого місця передбачає місця для збереження тари з заготовками та готовою продукцією, стелажи для зберігання технічної документації та інструменту, а також місця для відходів виробництва. [Б6].

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. Для установки заготовок масою більше ніж 8кг та пристосувань масою більше ніж 20кг верстати оснащені індивідуальним підймальним пристроєм. На дільниці передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготівок або деталей від верстата до верстата. ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідймальні. [Б5, Б7]. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні». Кран-балка з дистанційним (за допомогою пульта) керуванням. Перевагою дистанційного керування є можливість здійснення постійного візуального контролю за переміщенням вантажу, а перебування працівника в безпечній зоні, що гарантує його особисту безпеку. Попереджувальні надписи про вантажопідйомність крана і його роботу відповідають вимогам 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). Також враховано, що вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається.

Для уникнення травмування рук та пальців при переміщенні деталей необхідно використовувати спеціалізовані рукавиці (ДСТУ 7239:2011 «ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація»).

Для уникнення травмування робітник повинен використовувати спеціалізований одяг та взуття. Респіратори, навушники та захисні окуляри використовуються під час роботи для захисту органів дихання, слуху та очей. Такі засоби захисту використовуються під час роботи на відкритих верстатах та при перевищенні допустимого рівня шуму.

#### 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»,

МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»). Мікрокліматичні умови повинні відповідати таким умовам як температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні. Мікрокліматичні умови можуть бути оптимальні чи допустимі. Так оптимальні умови мікроклімату встановлюються для постійних робочих місць, допустимі встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною досяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю. [Б8].

В холодну пору року на ділянці температура повітря становить 18-20 °С, в теплу - 21-23 °С. Відносна вологість повітря повинна складати 40-60%.

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». Вимоги до систем вентиляції, кондиціонування та опалення зазначені в ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования». Системи вентиляції, кондиціонування та опалення повинні у різні пори року забезпечувати відповідний мікроклімат у робочому приміщенні. Завдяки системі вентиляції повинно забезпечуватися повна очистка повітря від зайвих домішок у повітрі; подача повітря повинна бути постійною, без перебоїв; вміст пилу не повинен перевищувати 30%. [Б8, Б11].

Під вентиляцією розуміють сукупність заходів та засобів призначених для забезпечення на постійних робочих місцях та зонах обслуговування виробничих приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища, що відповідають гігієнічним та технічним вимогам. Основне завдання вентиляції – вилучити із приміщення забруднене, вологе або нагріте повітря та подати свіже очищене повітря.

Вентиляція класифікується за такими ознаками:

- за способом переміщення повітря – природна, штучна (механічна) та суміщена (природна та штучна одночасно);

- за напрямком потоку повітря – припливна, витяжна, припливно-витяжна;

- за місцем дії – загальнообмінна, місцева, комбінована;

- за призначенням – робоча, аварійна.

Природна вентиляція може бути неорганізованою і організованою. При неорганізованій вентиляції невідомі об'єми повітря, що надходять та вилучаються із приміщення, а сам повітрообмін залежить від випадкових чинників (напрямку та сили вітру, температури зовнішнього та внутрішнього повітря). Неорганізована природна вентиляція включає інфільтрацію – просочування повітря через нещільності у вікнах, дверях, перекриттях тощо та провітрювання, що здійснюється при відкриванні вікон та квартир.

Організована природна вентиляція називається аерацією. Для аерації в стінах будівлі роблять отвори для надходження зовнішнього повітря, а на даху чи у верхній частині будівлі встановлюють спеціальні пристрої (ліхтарі) для видалення відпрацьованого повітря. Для регулювання надходження та видалення повітря передбачено перекривання на необхідну величину аераційних отворів та ліхтарів. Це особливо важливо в холодну пору року.

Перевагою природної вентиляції є її дешевизна та простота експлуатації. Основний її недолік у тому, що повітря надходить у приміщення без попереднього очищення, а видалене відпрацьоване повітря також не очищується і забруднює довкілля.

Штучна (механічна) вентиляція, на відміну від природної, дає можливість очищувати повітря перед його викидом в атмосферу, вловлювати шкідливі речовини безпосередньо біля місць їх утворення, обробляти припливне повітря (очищувати, підігрівати, зволожувати тощо), більш цілеспрямовано подавати повітря в робочу зону. Окрім того, механічна вентиляція дає можливість організувати повітрязабір у найбільш чистій зоні території підприємства і навіть за її межами. [Б1, Б11].

При штучній вентиляції повітрообмін здійснюється внаслідок різниці тисків, що створюється вентилятором. Вона застосовується в тих випадках, коли

тепловиділення у виробничому приміщенні недостатні для постійного (протягом року) використання аерації, або коли кількість чи токсичність шкідливих речовин, які виділяються у повітря приміщення є такою, що виникає необхідність постійного повітрообміну незалежно від метеорологічних умов навколишнього середовища.

Природна та штучна вентиляції повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам:

- створювати в робочій зоні приміщень нормовані метеорологічні умови праці (температуру, вологість і швидкість руху повітря);
- повністю усувати з приміщень шкідливі гази, пари, пил та аерозолі або розчиняти їх до допустимих концентрацій;
- не вносити в приміщення забруднене повітря ззовні або шляхом засмоктування із суміжних приміщень;
- не створювати на робочих місцях протягів чи різкого охолодження;
- бути доступними для керування та ремонту під час експлуатації;
- не створювати під час експлуатації додаткових незручностей (наприклад, шуму, вібрацій, попадання дощу, снігу і т. п.).

Необхідно зазначити, що до вентиляційних систем, встановлених у пожежо- та вибухонебезпечних приміщеннях висувається ціла низка додаткових вимог.

Кондиціонування повітря — це створення та автоматичне підтримування в приміщенні заданих або таких, що змінюються за певною програмою метеорологічних умов, які є найбільш сприятливими для працівників чи для нормального протікання технологічного процесу. Кондиціонування повітря може бути повним та неповним. Повне кондиціонування повітря передбачає регулювання температури, вологості, швидкості руху повітря, а також можливість його додаткового оброблення (очищення від пилу, дезінфекції, дезодорації, озонування). При неповному кондиціонуванні регулюється лише частина параметрів повітря.

Кондиціонування повітря здійснюється кондиціонерами, які підрозділяються на центральні та місцеві. Центральні кондиціонери призначені для обслуговування великих за розмірами приміщень. Оброблення повітря проводиться в одному центрі, що розташований поза приміщеннями, в яких здійснюється кондиціонування і

зв'язаного з останніми каналами для подачі та рециркуляції повітря. Місцеві кондиціонери мають малу продуктивність і встановлюються безпосередньо в невеликих приміщеннях. Такі кондиціонери, зазвичай, працюють на зовнішньому повітрі за, так званою, припливною схемою. [Б12].

Система кондиціонування оснащується спеціальними пристроями, які автоматично регулюють за заданими умовами необхідні параметри повітря, а отже й відповідні характеристики теплоносія та холодної води.

Розраховуємо повітрообмін за умови виділення шкідливих речовин, у нашому випадку при обробці дюралюмінію виділяється металевий пил, що надходить у робочу зону, з метою розбавлення його до граничнодопустимої концентрації по формулі:

$$L_e = \frac{G_{вр}}{g_{гдк} - g_n}, \text{ м}^3/\text{год}$$

де  $L_e$  – кількість приточного або видаляє мого повітря в залежності від схеми механічної вентиляції,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$G_{вр}$  – кількість шкідливих речовин, що виділяються у виробничих приміщеннях,  $\text{мг}/\text{с}$ . У нашому випадку металевий пил при різній механічній обробці: фрезерування –  $1,9 \text{ мг}/\text{с}$ , свердління –  $0,4 \text{ мг}/\text{с}$ , розточування –  $0,7 \text{ мг}/\text{с}$ , шліфування – абразивний пил  $10 \text{ мг}/\text{с}$ , металевий пил  $18 \text{ мг}/\text{с}$ .

$g_{гдк}$  – граничнодопустима концентрація шкідливих речовин в приміщенні,  $\text{мг}/\text{м}^3$ . ГДК деяких шкідливих речовин у повітрі робочої зони при обробці деталей з алюмінію наведені у таблиці 7.1.

$g_n$  – концентрація шкідливих речовин в зовнішньому повітрі, що подається в приміщення і дорівнює  $g_n = 0,3 \cdot g_{гдк}$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Таблиця Б1 – ГДК деяких шкідливих речовин у повітрі робочої зони

| № п/п | Речовина                                            | ГДК, мг/м <sup>3</sup> | Клас небезпеки | Агрегатний стан |
|-------|-----------------------------------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| 1     | Алюміній та його сплави (у перерахунку на алюміній) | 2                      | 3              | а               |
| 2     | Мідь                                                | 1                      | 2              | а               |
| 3     | Кремнію діоксин амфорний                            | 1                      | 3              | а               |
| 4     | Залізо з домішками магнію та марганцю               | 6                      | 4              | а               |
| 5     | Нікель                                              | 0,5                    | 2              | а               |
| 6     | Титан та його діоксид                               | 10                     | 4              | а               |
| 7     | Цинку оксид                                         | 0,5                    | 2              | а               |

$$g_n = 0,3 \cdot 22,5 = 6,75 \text{ мг/м}^3.$$

$$L_{\text{вфрез}} = \frac{1,9}{22,5 - 6,75} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$L_{\text{всв}} = \frac{0,4}{22,5 - 6,75} = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$L_{\text{врозт}} = \frac{0,7}{22,5 - 6,75} = 0,04 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Розраховуємо кількість повітря, що видаляється від шліфувальних та полірувальних верстатів по формулі:

$$L = k d_{\text{кр}} n, \text{ м}^3/\text{год}$$

де  $d_{\text{кр}}$  – діаметр круга - 100 мм;

$k$  – коефіцієнт, що приймається в залежності від матеріалу та діаметра круга – 6;

$n$  – число кругів – 1 шт.

$$L = 1 \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

З розрахунків можемо зробити висновок, що для забезпечення безпечних умов праці достатньо використовувати місцеву вентиляцію, яка вбудована в верстаті та загальну припливно-витяжну вентиляційну систему по цеху[Б11, Б12].

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%. [Б13].

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий 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. Для металорізальних верстатів передбачено комбіновану систему освітлення робочих зон верстатів. Місцеве освітлення забезпечується лампами розжарювання, для живлення застосовується напруга 42В. [Б13].

ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» регламентують рівень шуму у робочій зоні. Дані норми встановлюють методи оцінки виробничого шуму, параметри та їх допустимі значення. Рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ. При перевищенні цього значення робочий час повинен бути скорочений в залежності від рівня перевищення шуму. При роботі за верстатами необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту, наприклад, беруші. Верстати повинні бути оснащені шумоізоляційними корпусами.

ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину» та ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій», ДСТУ EN 14253-2018 «Вібрація механічна, вимірювання та обчислювання впливу на здоров'я загальної виробничої вібрації. Практична настанова» зазначають рівні вібрації під час верстатних та інших видів робіт, описують вплив рівня вібрацій на здоров'я працюючих. [Б14] На місцях

праці з вібраціями необхідно робити перерви кожні 10-15 хвилин. Для зниження негативного впливу вібрацій на стан здоров'я робітника необхідно регулярно робити огляд у лікаря та виконувати профілактичне лікування.

### Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки для приміщення механічної дільниці розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». [38].

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 (вестати), 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. [38]

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 механічної дільниці – II. [Б16].

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.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МІОУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 приміщення (лабораторія) оснащено переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м<sup>2</sup> площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотний вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

З метою привернення уваги усіх працюючих пожежні щити, обладнання та інвентар фарбують в червоний колір, відповідно до вимог ДСТУ ISO 6309:2007 «Противопожечный захист. Знаки безпеки. Форма та колір».

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). [Б17]

### Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Прогнозування обстановки у вогнищах ураження.

Планування і підготовка до майбутнього проведення РІНР неможливі без прогнозування (передбачення) обстановки, яка може скластися в можливих вогнищах ураження. Безупинний розвиток засобів ураження і поглядів на їхнє застосування вимагає систематичної роботи з удосконалювання методики прогнозування обстановки і подальшого коректування відповідних розділів планів ЦЗ. [Б18].

Прогнозування й оцінка обстановки можуть здійснюватися як до нападу, так і за попередніми даними про результати фактичного застосування супротивником ЗМУ із наступним їх уточненням даними розвідки.

До нападу супротивника прогнозування проводиться на основі вихідних даних, які характеризують вражаючі фактори сучасної зброї, місцеві умови і можливості, що впливають на виконання завдань ЦЗ, а саме: фізико-географічні, метеорологічні, санітарно-епідемічні умови; наявність людських і матеріальних ресурсів; стан транспорту, зв'язку; характер забудови міст та інших населених пунктів; стан ЦЗ (забезпеченість захисними спорудами і ЗІЗ, підготовка заміської зони; впровадження «Норм проектування інженерно-технічних заходів ЦЗ», наявні сили і засоби); наявність ОНГ, при ушкодженні чи руйнуванні яких можуть утворитися вторинні вогнища ураження в результаті вибухів, пожеж, затоплення місцевості і поширення на ній СДОР та ін.

Особлива увага при прогнозуванні й оцінці обстановки приділяється захисту категорійованих міст і об'єктів народного господарства: визначаються ймовірні вогнища ураження, зони руйнувань, катастрофічних затоплень і РЗ, можливі втрати серед населення, сил і засобів ЦЗ. Також прогнозуються ступінь виходу з ладу транспорту, промислових і житлових будинків та споруд, комунально-енергетичних мереж і паливних систем, засобів зв'язку й інших систем, що забезпечують у цілому життєдіяльність міста, району, області, і очікуваний характер та обсяг робіт. На

підставі прогнозу здійснюється розрахунок сил і засобів ЦЗ, необхідних для проведення РІНР [Б19].

Після нападу супротивника на основі початкових даних про параметри ядерних вибухів, характер і масштаб застосування інших видів ЗМУ також здійснюється прогнозування можливої обстановки, яка проводиться для вживання необхідних заходів захисту, для оцінки можливих втрат о. с. формувань ЦЗ, військ і населення, оцінки обсягу робіт з ліквідації наслідків нападу і для прийняття (уточнення) оптимального рішення на проведення РІНР. При цьому у вогнищах ядерного ураження (ВЯУ) оцінюється і пожежна обстановка, що необхідно для визначення обсягів і термінів виконання протипожежних заходів при проведенні РІНР, заходів щодо відновлення джерел пожежного водопостачання, а також для уточнення розрахунку сил і засобів та рішення на їх використання. Вихідними даними для прогнозування й оцінки пожежної обстановки, крім параметрів ядерного вибуху, можуть бути швидкість і напрямок середнього і приземного вітру та інші матеріали попередньої оцінки.

Прогнозування можливої радіаційної обстановки проводиться з метою визначення масштабів і характеру РЗ місцевості, розробки і здійснення заходів, які виключають чи зменшують втрати від нього. Результати прогнозування є орієнтовними і слугують вихідними даними для організації радіаційної розвідки, захисту населення, сільськогосподарських тварин і рослин, використання транспортних магістралей в умовах зараження і т.д.

Радіаційна обстановка після застосування ЯЗ оцінюється за даними прогнозування, розвідки і дозиметричною контролю. При її оцінці визначаються зони РЗ місцевості, розраховуються дози радіації, які можуть одержати люди протягом того чи іншого часу перебування в зонах зараження і при їх проходженні, визначаються час початку роботи і кількість змін для проведення рятувальних робіт у вогнищі ураження, режими роботи ОГ і режими захисту населення в умовах РЗ. Результати оцінки дозволяють вибрати найбільш прийнятні способи дій сил ЦЗ у вогнищах ураження і намітити заходи щодо їх захисту. Дані про радіаційну

обстановку потім уточнюються за даними повітряної, морської (річкової) розвідки й установ мережі спостереження і лабораторного контролю.

Вогнища хімічного ураження (ВХУ) виникають у результаті застосування супротивником ОР, а також при руйнуванні хімічно небезпечних об'єктів, які виготовляють чи використовують у технології СДОР (такі вогнища прийнято називати вторинними).

Вихідними даними для прогнозування обстановки в ОХП є: засоби, способи і райони застосування супротивником хімічної зброї; типи застосованих ОР (або розливої СДОР); час застосування хімічної зброї і метеорологічні умови в приземному шарі повітря. Необхідно визначити розміри районів і глибину поширення зараженого повітря, стійкість ОР й оцінити можливі втрати населення.

Застосування супротивником біологічної зброї може створити різні за розмірами вогнища біологічного ураження (ВБУ). Характер вогнища, його масштаби і тривалість дії біологічних засобів залежать від виду і способу застосування збудника, метеорологічних умов і своєчасності проведення організаційних, санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів. При масованому аерозольному способі застосування і сприятливих для поширення бактерій метеорологічних умовах може бути заражена територія в сотні і навіть тисячі квадратних кілометрів.

Прогнозуючи обстановку, необхідно визначити можливі розміри зон біологічного зараження, вид збудника, спосіб його застосування і стійкість бактеріальних рецептур, очікувані первинні втрати населення з урахуванням його густоти і забезпеченості засобами захисту, характер зараженості ОГ, майна і технічних засобів, ймовірні вторинні втрати населення в результаті передачі інфекцій від хворих до здорових. Для розрахунку можливих втрат населення необхідно знати: площу зараження; кількість людей, які перебувають на ній; забезпеченість їх захисними спорудами, ЗІЗ і медичними засобами захисту. При раптовому застосуванні біологічних засобів може бути заражене аерозолями до 50-60% загальної чисельності населення; якщо люди будуть завчасно сповіщені і

встигнуть вжити елементарних заходів захисту, втрати становитимуть не більше 15%.

Прогнозування зон можливого катастрофічного затоплення з визначенням їхніх меж, глибини й інших параметрів здійснюється розрахунковим шляхом на основі відповідних методик. Прогнозування зон затоплення після нападу супротивника здійснюється виходячи з характеру фактичних руйнувань чи ушкоджень напірного фронту гідротехнічних споруд і рівня заповнення водоймищ до моменту нападу.

Результати будь-якого прогнозування є наближеними і використовуються органами управління ІДО для аналізу та попередньої оцінки обстановки. Проте якісне прогнозування забезпечує не тільки правильну організацію й успішне проведення рятувальних робіт у вогнищах ураження, а й дає можливість зменшити імовірність утворення таких вогнищ шляхом своєчасного оповіщення населення й укриття чи евакуації його із зон радіоактивного, хімічного і біологічного зараження [Б15].

Таким чином, передбачений для механічної дільниці комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ДО ДОДАТКУ Б

Б1. Технічний регламент безпеки машин [Електронний ресурс] – Чинний від 2013-08-12. : станом на 11.07.2018 р. – К. : КМ України, 2013. – 76 с. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-п> – (Постанова)

Б2. 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 .

Б3. ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування»

Б4 . ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

Б5. ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

Б6. 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.

Б7. ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1»

Б8. ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проектування та вибору».

Б9. 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)

Б10. 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>.

Б11. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 ел. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3

Б12. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с. : іл., табл. ISBN 966-7760-09-X

Б13. 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.

Б14. 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>

Б15. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

Б16. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)

Б17. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)

Б18. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 01.01.2018. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.

Б19. Шоботов В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник вид. 2-ге, перероб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.