

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

РЕЦЕНЗІЯ  
на дипломний проект (роботу)

Особливості технологічного процесу обробки деталі «Шестерня»  
(вказати тему дипломного проекту (роботи))

Студент (ка) Морозов Михайло Тимасянович

Спеціальність 131 Триасада механіка  
(код, найменування спеціальності)

Обсяг проекту повний

Кількість аркушів креслень 5 А1, 5 А2, 1 А3

Кількість сторінок пояснювальної записки 130 стр.

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень спроєктовано технологічний процес виготовлення шестерні, обумовлено вибором методу обробки заготовки та обдирання, інструменту, спроектовано верстатки та контроль пристосування. Розглянуто питання забезпечення істотних виготовлених зубчастих колі.

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню робота відповідає завданню на дипломний проект

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

Розділи дипломного проекту відповідають останнім досягненням науки та техніки, а саме в процесі виконувалися розрахунки з використанням власних розрахунків програми

г) негативні особливості виконання проекту (роботи) у процесі виконання для складання отворів не використовувались інструменти - втулки

д) позитивні особливості використовувалися спеціальні обладнання та методи обробки, закріпленою абразивною композицією зубчастого колеса.

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи)

графічний матеріал та пояснювальна записка виконано

відповідно до навчальних стандартів

є) відгук про проект (роботу) загалом робота виконана в повному обсязі

ж) інші зауваження до кращого заготовлені не вказані додаткові бази.

з) оцінка проекту (роботи) додатковий проект та студент Мародов М.Г. заслуговує оцінки «відмінно»

Рецензію склав

доц. кафедри ТМБ Гухалевський Г.В.  
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)

Гіс  
(підпис)

«03» червня 2019 р.

[15:02:53] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №812 [3]  
(200037 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:03:02] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №827 [3]  
(200029 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:06:30] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №812 [3]  
(200027 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:06:48] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №837 [4]  
(200027 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:07:45] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №842 [3]  
(200027 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:08:19] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №817 [3]  
(200027 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:08:46] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №857 [3]  
(200028 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:08:55] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №857 [3]  
(200041 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:10:02] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №862 [3]  
(200011 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:10:35] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №867 [3]  
(200027 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:11:13] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №872 [3]  
(200028 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:11:23] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №877 [3]  
(200043 миллисек.): Yandex ( Время ожидания операции истекло )

[15:11:24] Тип проверки: *Стандартная*

[15:11:24] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 27%)**

[15:11:24] **Уникальность текста 77%<sup>®</sup> (Проигнорировано подстановок: 0%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Морозов М.І.,

провів зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

03.12.2019р.



## Національний університет "Запорізька політехніка"

ПОДАНИЯ  
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ  
ЩОДО ЗАХИСТУ ДИПЛОМНОГО(Ї) ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

Направляється студент Морозов М.Г. до захисту дипломного проекту (роботи)  
(прізвище та ініціал)  
за напрямом підготовки 131 Прикладна механіка  
спеціальністю 131-1 технології машинобудування  
(шифр і назва спеціальності)  
на тему: Особливості технологічного процесу обробки деталі «Нестерня»

(назва теми)

Дипломний проект (робота) і рецензія додаються.

Директор інституту, декан факультету

(підпис)

## Довідка про успішність

Морозов М.Г.

за період навчання в інституті, на факультеті, у відділенні

(прізвище та ініціал студента)

Машинобудівний з 20 18 року до 20 19 року повністю  
виконав навчальний план за напрямом підготовки, спеціальністю з таким розподілом  
оцінок за:

національною шкалою: відмінно 83,33 %, добре 8,33 %, задовільно 0 %;

100-бальною шкалою

шкалою ECTS: A 83,33 %; B 0 %; C 8,33 %; D 0 %; E 0 %.

Секретар інституту, факультету (відділення)

(підпис)

(прізвище та ініціал)

## Висновок керівника дипломного проекту (роботи)

Студент (ка) Морозов М.Г. виконав дипломний проект та  
високою рівні спроектовано технологію  
нестерня, виконавше та конструкторське  
число будоваче.  
Зроблено шматки затвердження головної  
вагою об'єкту згідно з тим, коли та шматки  
автоматизації цього процесу. Студент Морозов М.Г.  
заслужив оцінку "Відмінно".

Керівник проекту (роботи)

"28"

11

(підпис)

20 19 року

## Висновок кафедри про дипломний проект (роботу)

Дипломний проект (робота) розглянуто (а): Студент (ка) Морозов М.Г.

(прізвище та ініціал)

допускається до захисту даного (ї) проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Т.М.Б.

(підпис)

Директор

(прізвище та ініціал)

" 03 "

12

20 19 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудування  
(повне найменування інституту, факультету)

Технології машинобудування  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістрський)  
(ступінь вищої освіти)

на тему Особливості технологічного процесу  
обробки деталей "Шестерня"

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-18ВМ

Спеціальності 131 Приладознавство  
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

Морозов М.Г.  
(прізвище та ініціали)

Керівник Керіска О.Б.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент Гуханова Т.В.  
(прізвище та ініціали)

2019 р.

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

Інститут, факультет Машинобудівний  
 Кафедра Технології машинобудування  
 Ступінь вищої освіти магістерський (другий)  
 Спеціальність 131 Прямарна механіка  
 (код і найменування)  
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри проф. Диріс С.  
« 27 » 11 2019 року

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

Морозову Михайлу Геннадійовичу  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Особливості технологічного процесу обробки деталей «Шестерня».

керівник проекту (роботи) Козлова О.Б.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 26 » 11 2019 року № 417

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05.12.19

3. Вихідні дані до проекту (роботи) креслення деталей, річка профілювання  
випуску № 1500 шт.

4. Зміст, розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вибір методу отримання заготовки, розрахунок припусків та операційного розмірів, проектування шестерні деталі, розрахунок розмірів різання, проектування операцій ВНК, проектування робочого та контрольного креслення, автоматизація, складання, електронна частина, розрахунок деталей на міцність, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення деталі, заготовки, контрольного та робочого креслення, малюнок виготовлення деталі, РТК токарної, свердильної та фрезерної операцій, мст 30 моделей деталі, заготовки, мст автоматизації, мст мста складання

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ                     | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                           |
|----------------------------|-------------------------------------------|----------------|---------------------------|
|                            |                                           | завдання видав | приймав виконане завдання |
| 1. Технологія та система   | Козлова О.Б.                              |                |                           |
| 2. Конструкторська система | Козлова О.Б.                              |                |                           |
| 3. Автоматиз               | Козлова О.Б.                              |                |                           |
| 4. Спецзавдання            | Козлова О.Б.                              |                |                           |
| 5. Економіка               | Козлова О.Б.                              |                |                           |
| 6. Охорона праці           | Шинкаров В.І.                             |                |                           |
| 7. Нормооблік              | Деда С.І.                                 |                |                           |

7. Дата видачі завдання « 04 » 10 20 19 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи)                         | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Вибір методу обчислення загальної з економічними обґрунтуваннями | 06.09.19                                |          |
| 2     | Розрахунок параметрів та оптимізація параметрів                  | 15.09.19                                |          |
| 3     | Проектування маршруту обробки деталей                            | 18.09.19                                |          |
| 4     | Проектування та розрахунок розподілу та контролю виконання       | 25.09.19                                |          |
| 5     | Автоматизація                                                    | 03.10.19                                |          |
| 6     | Розрахунок деталей на міцність                                   | 15.10.19                                |          |
| 7     | Спецзавдання                                                     | 24.10.19                                |          |
| 8     | Економічна система                                               | 4.11.19                                 |          |
| 9     | Охорона праці                                                    | 12.11.19                                |          |
|       |                                                                  |                                         |          |
|       |                                                                  |                                         |          |
|       |                                                                  |                                         |          |

Студент(ка)

(підпис)

Морозов М.Т.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Козлова О.Б.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 130 с., 67 рис., 16 табл., 27 дж., 2 дод.

Об'єкт дослідження – деталь «Шестерня». Вона є елементом приводу регулятора частоти обертання вільної турбіни який, в свою чергу, входить до складу турбовального авіаційного двигуна ТВЗ-117ВМ.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний.

Мета дипломного проекту – визначення особливостей технологічного процесу обробки деталі «Шестерня».

В роботі спроектований технологічний процес виготовлення деталі, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, спроектовані робоче та контрольне пристосування, проведено розрахунок на міцність зубчастого вінця при різних варіантах конструкції, проведено економічний розрахунок токарної операції, передбачені заходи на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні робіт.

ЗАГОТОВКА, ДЕТАЛЬ, РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА,  
ВЕРСТАТ, ЕСКІЗ, ОПЕРАЦІЯ, РОЗМІР, ПРИПУСК, РЕЖИМИ РІЗАННЯ,  
ІНСТРУМЕНТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОНТРОЛЬНЕ  
ПРИСТОСУВАННЯ

## ЗМІСТ

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....        | 7   |
| Вступ.....                                                                     | 8   |
| 1 Технологічна частина.....                                                    | 9   |
| 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....                      | 9   |
| 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт.....                      | 11  |
| 1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням..... | 12  |
| 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі.....                   | 18  |
| 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....                        | 18  |
| 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....                             | 19  |
| 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....                                         | 24  |
| 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....                         | 25  |
| 1.6 Розрахунок режимів різання.....                                            | 29  |
| 1.7 Розрахунок технічної норми часу.....                                       | 42  |
| 1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК..... | 51  |
| 1.8.1 Розробка токарної операції.....                                          | 51  |
| 1.8.2 Розробка свердлильної операції.....                                      | 54  |
| 1.8.3 Розробка фрезерної операції.....                                         | 55  |
| 2 Конструкторська частина.....                                                 | 59  |
| 2.1 Проектування робочого пристосування.....                                   | 59  |
| 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....                          | 59  |
| 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність.....                                | 59  |
| 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску.....                                  | 63  |
| 2.2 Проектування контрольного пристосування.....                               | 68  |
| 3 Автоматизація.....                                                           | 76  |
| 3.1 Автоматизація контролю зубчастих коліс.....                                | 76  |
| 4 Спеціальне завдання. ....                                                    | 77  |
| 4.1 Забезпечення точності виготовлення зубчастих коліс.....                    | 77  |
| 4.1.1 Методи фінішної обробки зубчатих коліс.....                              | 82  |
| 5 Оптимізація геометрії деталі.....                                            | 102 |
| 5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....                       | 102 |
| 5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції.....    | 104 |

|                                                                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6 Економічна частина.....                                                                                                                                                                                                    | 106 |
| 7 Охорона праці.....                                                                                                                                                                                                         | 112 |
| 7.1 Аналіз потенційних небезпек.....                                                                                                                                                                                         | 112 |
| 7.2 Заходи з забезпечення безпеки.....                                                                                                                                                                                       | 113 |
| 7.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці.....                                                                                                                                                         | 115 |
| 7.4 Заходи з пожежної безпеки.....                                                                                                                                                                                           | 117 |
| 7.5 Напруженість праці та методи профілактики.....                                                                                                                                                                           | 118 |
| 7.6 Заходи з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях. Захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини..... | 122 |
| Висновки.....                                                                                                                                                                                                                | 127 |
| Перелік посилань.....                                                                                                                                                                                                        | 128 |
| Додаток А. Специфікація на робоче пристосування.....                                                                                                                                                                         | 131 |
| Додаток Б. Специфікація на контрольне пристосування.....                                                                                                                                                                     | 133 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТП – технологічний процес;  
ЗЦ – зубовимірювальний центр;  
ДСТУ – державний стандарт;  
КВМ – коефіцієнт використання матеріалу;  
ККД – коефіцієнт корисної дії;  
МВД – маршрут виготовлення деталі;  
МОП – маршрут обробки поверхні;  
ППТЯ – послідовність показників точності і якості;  
РТК – розрахунково-технологічна карта;  
СНіП – система норм і правил;  
ЧПК – числове програмне керування.

## ВСТУП

У процесі розвитку людського суспільства, його наукової думки виникає необхідність у виготовленні нових видів продукції, а також завжди актуальним є підвищення продуктивності і підвищення ступеня автоматизації при виробництві виробів, які вже випускаються, що дозволяє зменшити витрати праці. Зазначені завдання можуть бути виконані тільки за допомогою застосування нових технологічних процесів і нового обладнання, необхідного для їх виконання. Це і є основним напрямком розвитку технології машинобудування.

Технологія машинобудування є комплексною інженерною та науковою дисципліною, яка, будучи прикладною наукою, тим не менш, має велику теоретичну основу. Дана дисципліна розглядає питання жорсткості технологічної системи і точності процесів обробки, розсіювання розмірів оброблюваних заготовок, похибок обладнання і технологічної оснастки, впливу механічної обробки на фізико-механічні властивості деталей, призначення припусків на механічну обробку і режимів різання, теорії базування, технологічної спадковості тощо.

Виробництво різних об'єктів народного господарства має свої особливості. Для технології авіадвигунобудування характерні високі вимоги до точності і якості поверхонь, обмеження по вазі, низька жорсткість деталей. Вузли і агрегати авіаційного двигуна працюють в умовах високих температур, сприймають великі навантаження. В силу цього, для їх виготовлення необхідно застосування високоміцних, жаростійких, здатних працювати в агресивних середовищах, жароміцних матеріалів. Metали і сплави, що відповідають зазначеним вимогам, володіють низьким коефіцієнтом оброблюваності, деякі з них не можуть бути піддані лезвійній обробці, що вимагає інноваційного підходу до розробки технологічних процесів. Ці та інші чинники характеризують авіадвигунобудування як найбільш високотехнологічну і наукомістку галузь машинобудування.

Метою дипломного проекту є проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня». Для цього необхідно вирішити такі завдання: визначити спосіб отримання заготовки, спроектувати маршрут обробки заготовки, вибрати обладнання та інструмент, розрахувати режими різання, спроектувати робоче та контрольне пристосування, призначити заходи з охорони праці.

## 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Дана шестерня є елементом приводу регулятора частоти обертання вільної турбіни який, в свою чергу, входить до складу турбовального авіаційного двигуна ТВЗ-117ВМ (рис. 1.1).

ТВЗ-117 складається з 12-ступеневого осьового компресора з регульованими вхідним напрямним апаратом і напрямними апаратами 4 ступенів, кільцевої камери згоряння, двоступеневої турбіни компресора і двоступеневої вільної турбіни. Встановлено пилозахисні пристрій. В системі регулювання використані електронні блоки. Двигун працює на авіаційному гасі марок Т-1, ТС-1, РТ. Масляна система використовує синтетичне масло Б-3В.

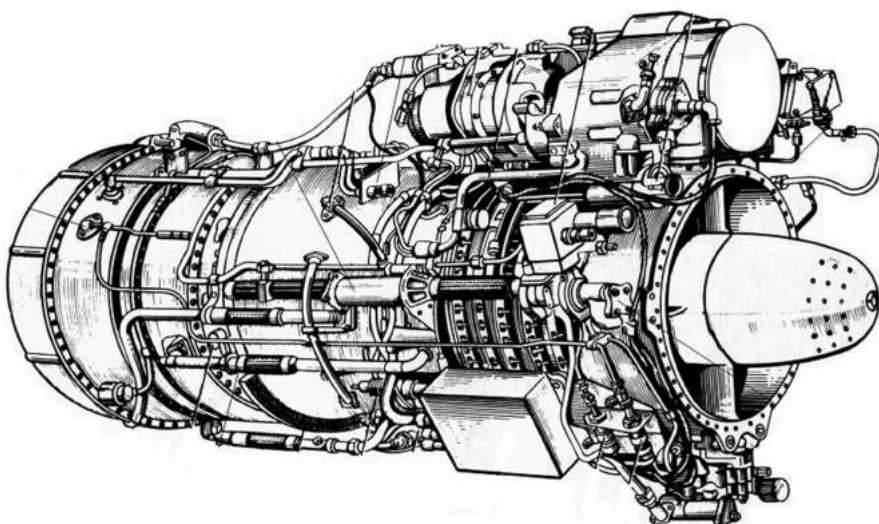


Рисунок 1.1 – Двигун ТВЗ-117ВМ

Шестерня має зубчастий вінець 1, яким входить в зачеплення з ведучою шестернею, передаючи крутний момент веденому валу через внутрішні шліци 3 даної шестерні. Вона центрується на валу циліндричною виточкою 4. Так само для полегшення цієї шестерні передбачені шість отворів 20. Матеріал деталі - сталь 30Х2Н2ВФМА-Ш. Ескіз деталі показаний на рис. 1.2.

В табл. 1.1, 1.2, 1.3 наведені характеристика матеріалу, механічні властивості і хімічний склад.

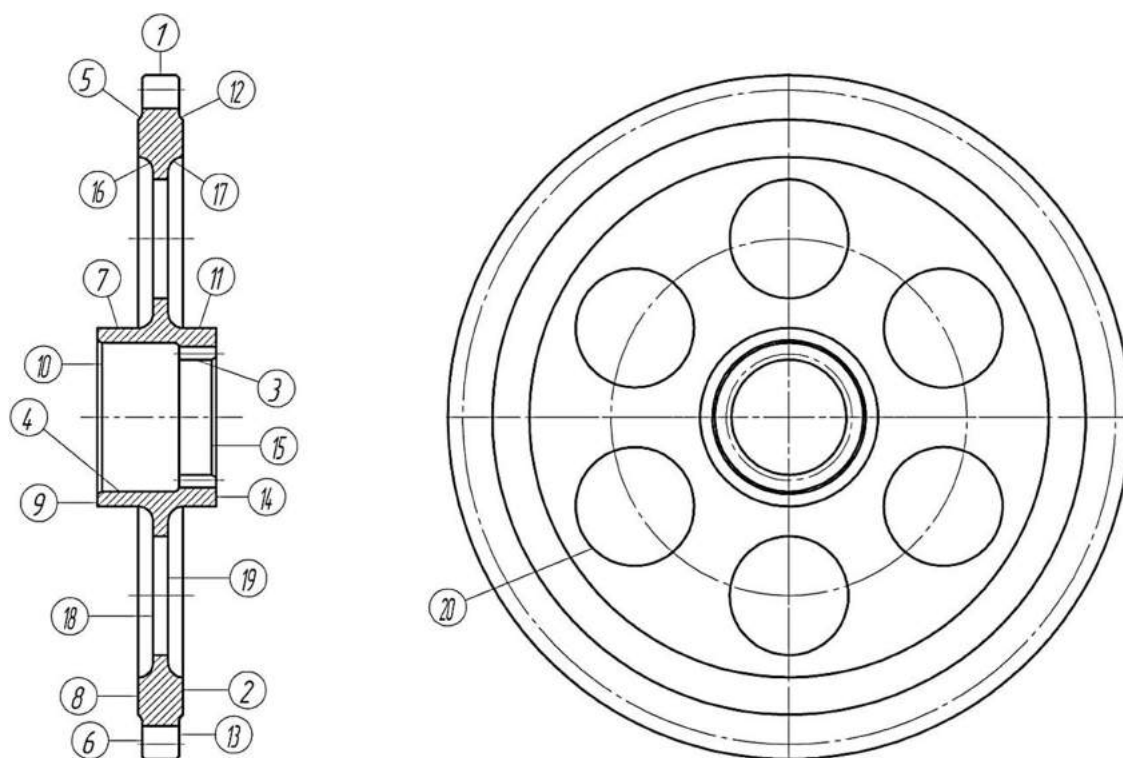


Рисунок 1.2 – Ескіз деталі

Таблиця 1.1 – Характеристика матеріалу

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Марка        | Сталь 30X2H2ВФМА-Ш.                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Класифікація | Сталь конструкційна легована.                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Застосування | Для виробництва гарячекатаних прутків діаметром і стороною квадрата до 300 мм і кованих прутків розміром до 200 мм, призначених для подальшого виготовлення відповідальних деталей високої міцності і в'язкості, що працюють в умовах повторно-змінних навантажень (колінчастих валів, зубчастих коліс, шатунів та ін.) |

Таблиця 1.2 – Механічні властивості при  $T=20^{\circ}\text{C}$ 

| Сортамент | Розмір | Твердість | $s_T$ | $\sigma_B$ | $d_5$ | $y$ | KCU                     | Термообр.                                  |
|-----------|--------|-----------|-------|------------|-------|-----|-------------------------|--------------------------------------------|
| -         | мм     | МПа       | МПа   | МПа        | %     | %   | кДж /<br>м <sup>2</sup> | -                                          |
| Пруток    | Ø25    | 341-415   | ≥1030 | ≥1230      | ≥9    | ≥40 | ≥590                    | Закалка 900°C<br>в масло,<br>Відпуск 550°C |

Таблиця 1.3 – Хімічний склад в %

| C         | Si        | Mn      | Ni      | S        | P        | Cr    | W     | Cu      | V         | Mo        |
|-----------|-----------|---------|---------|----------|----------|-------|-------|---------|-----------|-----------|
| 0.26-0.33 | 0.17-0.37 | 0.3-0.6 | 1.4-1.8 | до 0.025 | до 0.025 | 1.6-2 | 1-1.4 | до 0.25 | 0.18-0.28 | 0.25-0.35 |

Технологічні властивості.

Макроструктура сталі по ТУ 14-1-2847-79, що виявляється на зламах і протравлених темплетях, не повинна мати неметалічних включень, видимих неозброєним оком, подусадкової рихлості, бульбашок, розшарувань, тріщин і флокенів. Оцінку якості сталі по макроструктурі проводять за шкалою еталонів по ГОСТ 10243. На темплеті, взятих з готового сорту, ступінь розвитку точкової неоднорідності, центральної пористості і ліквацийного квадрата не повинна перевищувати першого балу шкал ГОСТ 10243 для сталі марки 30X2H2BFMA-III і другого балу для сталі марки 30X2H2BFMA. Пошарова кристалізація і світлий контур не повинні перевищувати 3 бали ГОСТ 10243. Решта дефекти, що класифікуються ГОСТ 10243, не допускаються.

## 1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних і економічних умов здійснення виробничого процесу всі різноманітні виробництва умовно діляться на три основних види: одиничне, серійне і масове. У кожного з цих видів виробничий і технологічний процеси мають свої характерні особливості, і кожному з них властива певна форма організації роботи.

На даному етапі проектування складно правильно визначити тип виробництва і тому проведемо попереднє визначення типу виробництва за виробничою програмою і масі деталі.

З огляду на масу деталі  $m = 0,151$  кг і річну програму випуску  $N = 1500$  шт, тип виробництва можна вважати серійним.

Форми організації технологічних процесів згідно з ГОСТ 14312-74 залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу (ТП), розташування технологічного обладнання, кількості виробів.

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

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

Вихідні дані:

- матеріал деталі: сталь 30Х2Н2ВФМА-Ш по ТУ 14-1-158-71;
- розміри деталі:  $D_1 = 92$  мм,  $D_2 = 70$  мм,  $D_3 = 24$  мм,  $L_1 = 16$  мм,  $L_2 = 6$  мм;  $L_3 = 2$  мм (рис. 1.3);
- 3D модель і маса деталі розрахована в програмі Компас 3D (рис. 1.4).

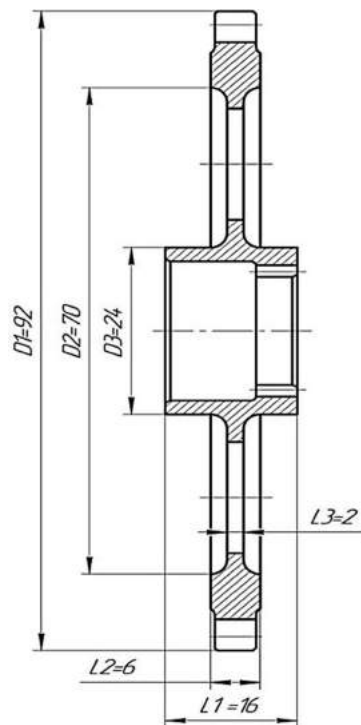


Рисунок 1.3 – Ескіз деталі з розмірами

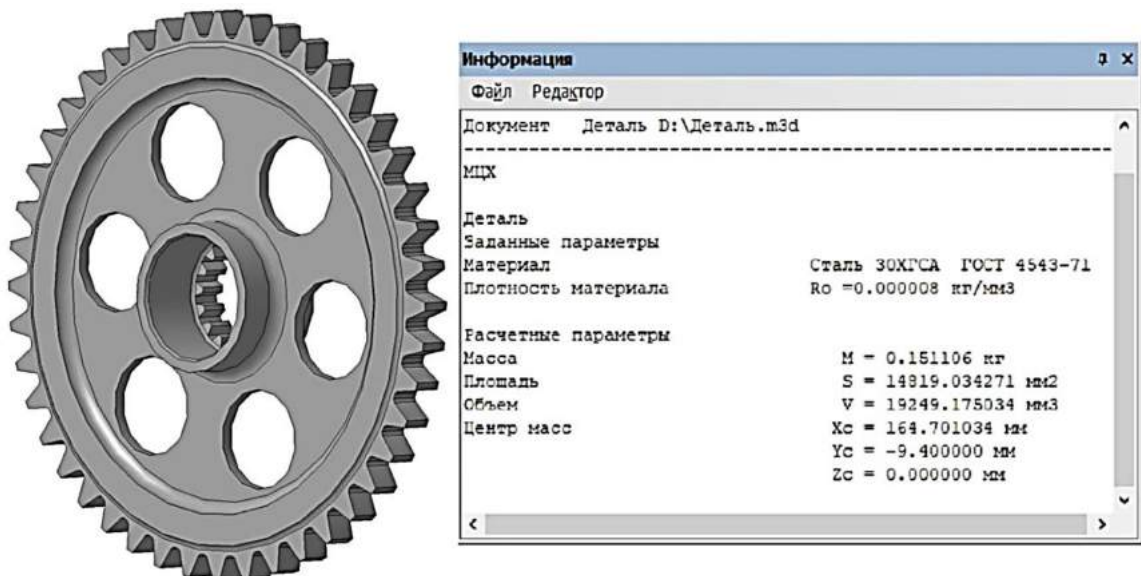


Рисунок 1.4 – МЦХ деталі

Розглянемо два методи отримання заготовки:

- штампування на КГШП;
- прокат.

Визначення собівартості однієї заготовки з прокату.

Вихідні дані:

- ступінь складності заготовки – С1;
- 3D модель і маса заготовки показана на рис. 1.5.

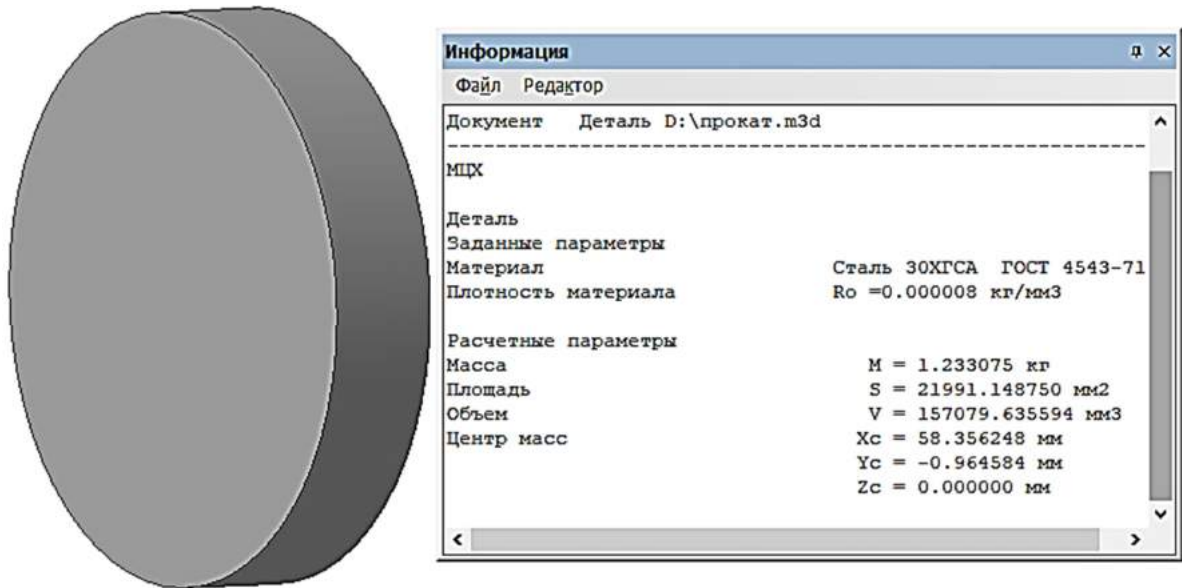


Рисунок 1.5 – МЦХ заготовки

Розраховуємо розміри заготовки за формулою:

$$D_3^i = D_D^i \pm 2z_0, \quad (1.1)$$

$$L_3^i = L_D^i \pm z_0, \quad (1.2)$$

де  $z_0$  – припуск на сторону; знак «+» при зовнішньому діаметрі або лінійному розмірі; знак «-» при внутрішньому діаметрі або лінійному розмірі.

$$D_3^1 = 92 + 4 \cdot 2 = 100 \text{ мм}$$

$$L_3^1 = 16 + 2 \cdot 2 = 20 \text{ мм}$$

Ескіз заготовки з прокату зображено на рис. 1.6.

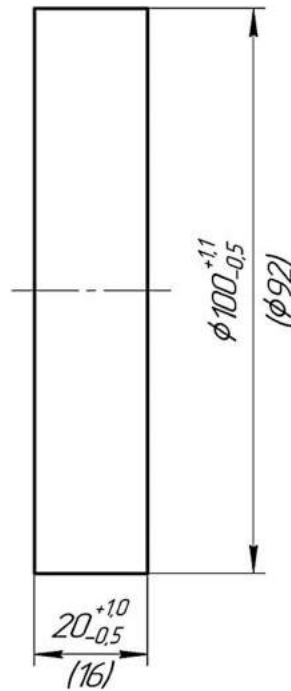


Рисунок 1.6 – Ескіз заготовки з прокату

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{m_{\text{дет}}}{m_{\text{заг}}} \quad (1.3)$$

$$K_{\text{вм}} = \frac{0,151}{1,233} = 0,12$$

Собівартість однієї заготовки:

$$C_{\text{заг}} = \frac{C_i}{1000} \cdot m_{\text{заг}} - (m_{\text{заг}} - m_{\text{дет}}) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000}, \quad (1.4)$$

де  $C_i$  – базова вартість однієї тонни заготовок [1, табл. 1.29, с. 20];

$S_{\text{отх}}$  – вартість 1т стружки [1, табл. 1.5, с. 13].

$$C_{\text{заг}} = \frac{1880}{1000} \cdot 1,233 - (1,233 - 0,151) \cdot \frac{140}{1000} = 2,17 \text{ грн.}$$

Визначення собівартості однієї заготовки, отриманої штампуванням

Вихідні дані:

- група сталі – М3;
- ступінь складності заготовки – С2;
- 3D модель і маса заготовки показана на рис. 1.7.

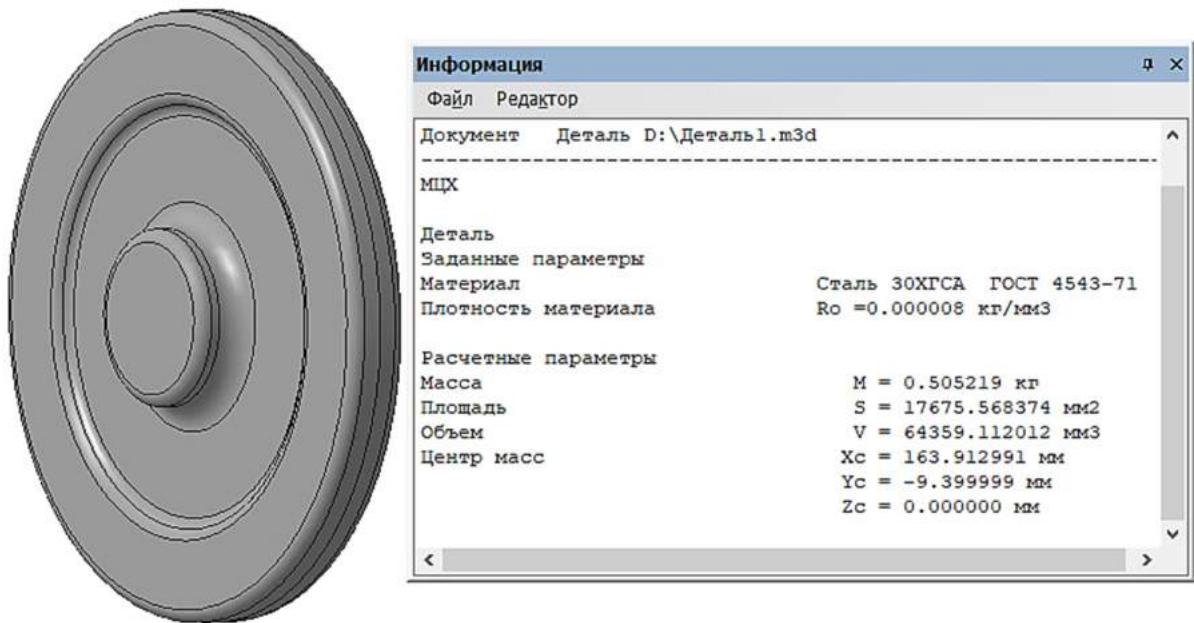


Рисунок 1.7 – МЦХ штампованої заготовки

Розраховуємо розміри заготовки за формулами (1.1) та (1.2):

$$D_3^1 = 92 + 2 \cdot 2 = 96 \text{ мм}.$$

$$D_3^2 = 70 - 2 \cdot 2 = 66 \text{ мм}.$$

$$D_3^3 = 24 + 1,9 \cdot 2 = 27,8 \text{ мм}.$$

$$L_3^1 = 16 + 1,9 \cdot 2 = 19,8 \text{ мм}.$$

$$L_3^2 = 6 + 1,9 \cdot 2 = 9,8 \text{ мм}.$$

$$L_3^3 = 2 + 1,9 \cdot 2 = 5,8 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу знаходимо за формулою (1.3):

$$K_{вм} = \frac{0,151}{0,505} = 0,3.$$

Собівартість однієї заготовки:

$$C_{заг} = \frac{C_i}{1000} \cdot m_{заг} \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} - (m_{заг} - m_{дем}) \cdot \frac{S_{омх}}{1000}, \quad (1.5)$$

де  $C_i$  – базова вартість однієї тони заготовок [1, табл. 1.4, с. 13];

$K_m$  – коефіцієнт, що залежить від класу точності [1, табл. 1.24, с. 18];

$K_c$  – коефіцієнт, що залежить від групи складності [1, табл. 1.26, с. 19];

$K_g$  – коефіцієнт, що залежить від маси [1, табл. 1.27, с. 19];

$K_m$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу [1, табл. 1.25, с. 18];

$K_n$  – коефіцієнт, що залежить від обсягу виробництва [1, табл. 1.28, с. 19];

$S_{отх}$  – вартість 1 тони стружки [1, табл. 1.5, с. 13].

$$C_{заг} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,505 \cdot 1,0 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1,8 \cdot 1 - (0,505 - 0,151) \cdot \frac{140}{1000} = 3,49 \text{ грн.}$$

Ескіз штампованої заготовки зображено на рис. 1.8.

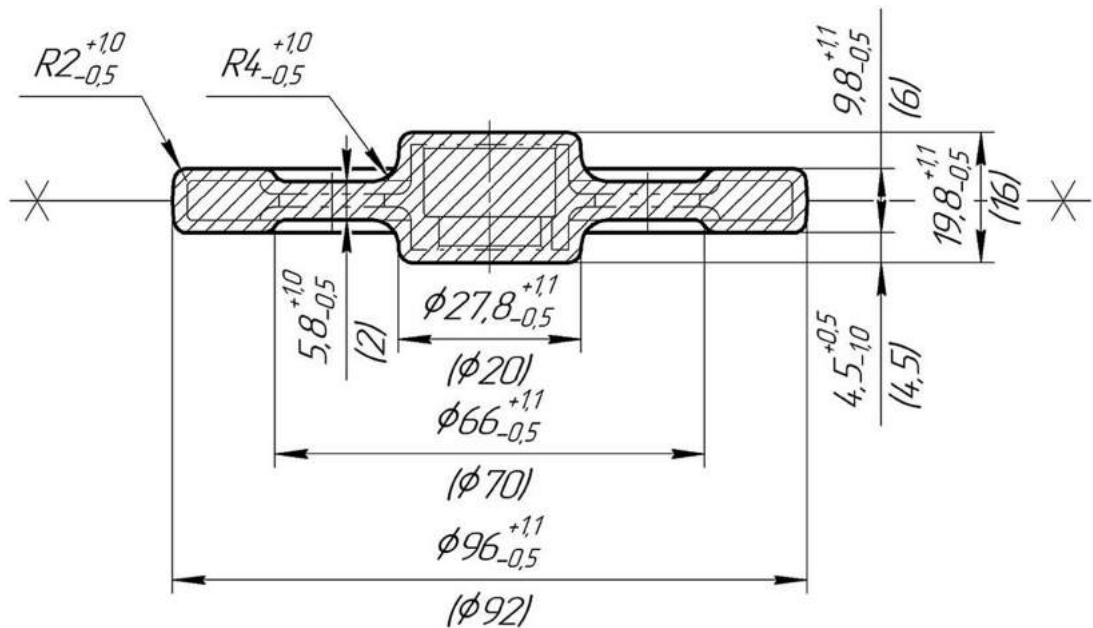


Рисунок 1.8 – Ескіз штампованої заготовки

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Зведена таблиця

| Показники                 | Позначення | Одиниці виміру | Варіанти |           |
|---------------------------|------------|----------------|----------|-----------|
|                           |            |                | Прокат   | Штамповка |
| Маса деталі               | $m_{дет}$  | кг             | 0,151    |           |
| Маса заготовки            | $m_{заг}$  | кг             | 1,233    | 0,505     |
| Коеф. використ. матеріалу | $K_{вм}$   | -              | 0,12     | 0,3       |
| Базова ціна заготовки     | $C_i$      | грн            | 1880     | 3500      |
| Коефіцієнти               | $K_m$      | -              | -        | 1         |

Продовження табл. 1.4

| Показники                 | Позначення | Одиниці виміру | Варіанти |           |
|---------------------------|------------|----------------|----------|-----------|
|                           |            |                | Прокат   | Штамповка |
| Коефіцієнти               | $K_m$      | -              | -        | 0,89      |
|                           | $K_c; K_z$ | -              | -        | 1,25      |
|                           | $K_\theta$ | -              | -        | 1,8       |
|                           | $K_n$      | -              | -        | 1         |
| Ціна за тонну стружки     | $S_{отх}$  | грн            | 140      | 140       |
| Вартість однієї заготовки | $S_{заг}$  | грн            | 2,17     | 3,49      |

Виконуємо розрахунки для варіанта виробництва заготовки з прокату і штампування, т.к.  $C_{заг1} < C_{заг2}$  и  $K_{ум1} < K_{ум2}$ . Порівняємо заготовку з прокату і штампуванням.

Розраховуємо додаткові витрати на матеріал:

$$З_{M1} = \frac{C_3}{1000} \cdot M_1, \quad (1.6)$$

де  $M_1$  – річне заощадження матеріалу.

$$M_1 = \frac{m_{dem}(\eta_2 - \eta_1)}{\eta_2 \cdot \eta_1} \cdot \Pi, \quad (1.7)$$

де  $\Pi$  – річна програма випуску.

$$M_1 = \frac{0,151(0,3 - 0,12)}{0,3 \cdot 0,12} \cdot 5000 = 3775 \text{ кг.}$$

$$З_{M1} = \frac{1880}{1000} \cdot 3775 = 7097 \text{ грн.}$$

Річне заощадження за вартістю виготовлення заготовок з прокату:

$$B_{21} = (S_{заг2} - S_{заг1}) \cdot \Pi, \quad (1.8)$$

$$B_{21} = (3,49 - 2,17) \cdot 5000 = 6600 \text{ грн.}$$

Розрахуємо абсолютне річне заощадження при виробництві прокату в порівнянні зі штампуванням:

$$E_3 = Z_{M1} - B_{21}, \quad (1.9)$$

$$E_3 = 7097 - 6600 = 497 \text{ грн.}$$

Отже штампована заготовка дешевше прокату, її і приймаємо у виробництво, тому що вона є і більш дешевою і простою в обробці.

#### 1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

##### 1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Аналіз технологічності виконується за якісними і кількісними показниками.

Якісна оцінка технологічності проводиться по виду деталі, класу складності конфігурації, жорсткості конструкції, можливості обробки деталі універсальним інструментом, наявності особливо точних і чистих поверхонь. Конструкція деталі жорстка, в основному, складається з зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, які доступні для обробки універсальним інструментом. Звідси, за якісними показниками, деталь «Шестерня» технологічна.

Кількісна оцінка технологічності проводиться за показниками, використання матеріалу, елементів конструкції, точності розмірів, шорсткості поверхонь.

Коефіцієнт використання матеріалу розраховуємо за формулою (1.3). Так як  $K_{vm} = 0,3 < 0,8$ , то деталь у цій показником не технологічна.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{A_{CP}} > 0,8, \quad (1.10)$$

де  $A_{CP}$  – середній квалітет точності деталі.

$$A_{CP} = \frac{\kappa_1 n_1 + \kappa_2 n_2 + \dots + \kappa_n n_n}{n_{\text{общ}}}, \quad (1.11)$$

де  $n$  – кількість розмірів, які мають відповідний квалітет;  
 $\kappa$  – квалітет точності.

$$A_{CP} = \frac{11 \cdot 10 + 10 \cdot 1 + 8 \cdot 2 + 7 \cdot 1}{14} = 10,2.$$

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{10,2} = 0,9 > 0,8.$$

За даним показником деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{CP}} < 0,32, \quad (1.12)$$

де  $B_{CP}$  – середній клас шорсткості.

$$B_{CP} = \frac{\kappa_1 n_1 + \kappa_2 n_2 + \dots + \kappa_n n_n}{n_{\text{общ}}}, \quad (1.13)$$

де  $\kappa$  – клас шорсткості;

$n$  – кількість поверхонь, що мають відповідну шорсткість.

$$B_{CP} = \frac{8 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 10 + 5 \cdot 1}{14} = 6,2.$$

$$K_{ш} = \frac{1}{6,2} = 0,16 < 0,32.$$

За даним показником деталь технологічна.

Можна зробити висновок, що за більшістю якісних і кількісних критеріїв оцінки технологічності, деталь є технологічною, винятком є коефіцієнт використання матеріалу.

#### 1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Встановлюємо характеристики поверхонь в заготовці і деталі. Результати заносимо в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Характеристика основних поверхонь деталі

| № поверхні<br>і основні<br>габаритні<br>розміри, мм | Характеристи<br>ка поверхні |        | Показники                       |      |                                                    |       |                        |      |                   |                  |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------|--------|---------------------------------|------|----------------------------------------------------|-------|------------------------|------|-------------------|------------------|
|                                                     |                             |        | Квалітет<br>точності<br>розміру |      | Допуск на<br>точність і<br>форми роз-<br>ташування |       | Шорст-<br>кість,<br>Ra |      | Твердість         |                  |
|                                                     |                             |        |                                 |      |                                                    |       |                        |      |                   |                  |
|                                                     | вид                         | тип    | З                               | Д    | Биття                                              |       | З                      | Д    | З                 | Д                |
| З                                                   |                             |        |                                 |      | Д                                                  |       |                        |      |                   |                  |
| 1. $\phi 92$                                        | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h8   | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  | HB<br>220-<br>230 | HRA<br>67-<br>70 |
| 2. $\phi 85,18$                                     | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h8   | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 3. $\phi 88$                                        | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h7   | -                                                  | 0,028 | 40                     | 0,32 |                   |                  |
| 4. $\phi 20$                                        | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | G7   | -                                                  | -     | 40                     | 1,25 |                   |                  |
| 5. $\phi 15,5$                                      | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H10  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 6. $\phi 18,5$                                      | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H10  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 7. $\phi 17$                                        | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H7   | -                                                  | -     | 40                     | 1,25 |                   |                  |
| 8. 6                                                | Торц.                       | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 9. 5,5                                              | Торц.                       | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 10. $\phi 24$                                       | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 11. 16                                              | Торц.                       | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 12. $\phi 24$                                       | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 13. 11                                              | Торц.                       | Внутр. | IT14                            | H11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 14. $\phi 80$                                       | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 15. $\phi 80$                                       | Цил.                        | Зовн.  | IT14                            | h11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 16. $\phi 70$                                       | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 17. $\phi 70$                                       | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H11  | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 18. 2                                               | Торц.                       | Зовн.  | IT14                            | js11 | -                                                  | -     | 40                     | 2,5  |                   |                  |
| 19. $\phi 16$                                       | Цил.                        | Внутр. | IT14                            | H12  | -                                                  | -     | 40                     | 5    |                   |                  |

Визначення показників точності і якості основних поверхонь деталі.

Розробляємо МОП для поверхні 1.

Вихідні дані:

- поверхня – зовнішня циліндрична.
- заготовка  $\phi 96$  IT14( $^{+1,1}_{-0,5}$ ),  $R_a=40$ .
- деталь  $\phi 92$  h8( $_{-0,054}$ ),  $R_a = 2,5$ , HRA 67-70.

Розраховуємо уточнення за показниками:

$$\varepsilon_{Td} = \frac{Td_3}{Td_\phi}, \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_\phi}, \quad (1.15)$$

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1600}{54} = 29,6.$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{40}{2,5} = 16.$$

Переважаючим показником є показник точності геометричного розміру.

Розраховуємо кількість переходів:

$$K_p = 2 \lg \varepsilon_{Td}. \quad (1.16)$$

$$K_p = 2 \lg 29,6 = 2,94.$$

Приймаємо  $K_p = 3$ .

Визначимо різницю показників якості і розподілимо цю різницю між  $K_p = 3$  переходами по закону прогресивного зменшення.

Різниця квалітетів точності і її розподіл:

$$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет} = IT14 - h8 = 6 = 3 + 2 + 1.$$

Встановлюємо послідовність показників точності і якості - ППТК:

- по точності геометричного розміру:

$$ППТК_{Td} = IT14 \rightarrow (T.O.) \rightarrow h11 \rightarrow h9 \rightarrow h8.$$

- по шорсткості поверхні:

$$ППТК_{Ra} = Ra40 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra10 \rightarrow Ra5 \rightarrow Ra2,5.$$

Розробляємо МОП для поверхні 4.

Вихідні дані:

- поверхня – внутрішня циліндрична;
- заготовка  $\phi 18 H11(^{+0,11})$ ,  $R_a=10$ ;
- деталь  $\phi 20 G7(^{+0.028}_{+0,007})$ ,  $R_a = 1,25$ , HRA 67-70.

Розраховуємо уточнення за показниками за формулами (1.14), (1.15):

$$\varepsilon_{Td} = \frac{110}{21} = 5,2.$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{10}{1,25} = 8.$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою (1.16):

$$K_p = 21 \lg 5,2 = 1,44.$$

Приймаємо  $K_p = 2$ .

Визначимо різницю показників якості і розподілимо цю різницю між  $K_p = 2$  переходами по закону прогресивного зменшення.

Різниця квалітетів точності і її розподіл:

$$\Delta Td = IT_{заг} - IT_{дет} = H11 - G7 = 4 = 3 + 1.$$

Встановлюємо послідовність показників точності і якості – ППТК:

- по точності геометричного розміру:

$$ППТК_{Td} = H11 \rightarrow (T.O.) \rightarrow H8 \rightarrow G7.$$

- по шорсткості поверхні:

$$ППТК_{Ra} = Ra10 \rightarrow (T.O.) \rightarrow Ra2,5 \rightarrow Ra1,25.$$

Згідно [2, табл. 32, с. 192] визначаємо допуски по переходах відповідно до прийнятого ППТК і заносимо значення в табл. 1.6, 1.7.

Таблиця 1.6 – Маршрут обробки поверхонь

| Характеристики і показники точності і якості заготовки і деталі                       | Показники     | Уточнення       | Кількість переходів |          | Різниця показників якості і технологічності                                                                                                                                                                                      | МОП |                       | Уточнення |                |      |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------|-----------|----------------|------|----------------|
|                                                                                       |               |                 | Розрахункова        | Прийнята |                                                                                                                                                                                                                                  | i   | Метод                 | Td        | R <sub>a</sub> | Td   | R <sub>a</sub> |
| 1.Зовнішня циліндрична<br>Заготовка: $\phi 96IT14 Ra40$<br>Деталь: $\phi 92h8 Ra2,5$  | Td<br>Ra<br>↗ | 29,6<br>16<br>- | -                   | 2        | $\Delta Td = IT14 - h8 = 6 = 3 + 2 + 1$<br>ППТК $Td = IT14 \rightarrow$<br>(T.O.) $\rightarrow h11 \rightarrow h9 \rightarrow h8$<br>ППТК $Ra = Ra40 \rightarrow$ (T.O.)<br>$\rightarrow Ra10 \rightarrow Ra5 \rightarrow Ra2,5$ | 1   | Штамповка             | 1,6       | 40             | -    | -              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 2   | Т.О.                  | -         | -              | -    | -              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 3   | Чорнове точіння       | 0,22      | 10             | 7,27 | 4              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 4   | Чистове точіння       | 0,087     | 5              | 2,53 | 2              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 5   | Шліфування            | 0,054     | 2,5            | 1,56 | 2              |
| 2.Внутрішня циліндрична<br>Заготовка: $\phi 18H11 Ra40$<br>Деталь: $\phi 20G7 Ra1,25$ | Td<br>Ra<br>↗ | 5,2<br>8<br>-   | -                   | 1        | $\Delta Td = H11 - G7 = 4 = 3 + 1$<br>ППТК $Td = H11 \rightarrow$<br>(T.O.) $\rightarrow H8 \rightarrow G7$<br>ППТК $Ra = Ra10 \rightarrow$ (T.O.)<br>$\rightarrow Ra2,5 \rightarrow Ra1,25$                                     | 1   | Свердління            | 0,11      | 10             | -    | -              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 2   | Т.О.                  | -         | -              | -    | -              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 3   | Чистове розточування  | 0,027     | 2,5            | 3,33 | 4              |
|                                                                                       |               |                 |                     |          |                                                                                                                                                                                                                                  | 4   | Шліфування однократне | 0,021     | 1,25           | 1,57 | 2              |

Таблиця 1.7 – Зведена таблиця МОП

| № | Розмір, мм                  | Вид пов.              | Заготовка |         |         | Деталь |         |         | $\epsilon_{0Td}$ | $\epsilon_{0Ra}$ | k | $\Delta$ |
|---|-----------------------------|-----------------------|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|------------------|------------------|---|----------|
|   |                             |                       | Кв.       | Td, мкм | Ra, мкм | Кв.    | Td, мкм | Ra, мкм |                  |                  |   |          |
| 1 | $\phi 92_{-0,054}$          | Зовнішня циліндрична  | IT14      | 1600    | 40      | h8     | 54      | 1,25    | 29,6             | 32               | 3 | 6        |
| 2 | $\phi 85,18_{-0,054}$       | Зовнішня циліндрична  | IT14      | 1600    | 40      | h8     | 54      | 1,25    | 29,6             | 32               | 3 | 6        |
| 3 | $\phi 88_{-0,035}$          | Зовнішня циліндрична  | IT14      | 1600    | 40      | h7     | 35      | 0,032   | 45,7             | 1250             | 3 | 7        |
| 4 | $\phi 20^{+0,028}_{+0,007}$ | Внутрішня циліндрична | -         | -       | -       | G7     | 21      | 1,25    | -                | -                | 3 | -        |
| 5 | $\phi 15,5^{+0,07}$         | Внутрішня циліндрична | -         | -       | -       | H10    | 7       | 2,5     | -                | -                | 1 | -        |
| 6 | $\phi 18,5^{+0,13}$         | Внутрішня циліндрична | -         | -       | -       | H10    | 130     | 2,5     | -                | -                | 1 | -        |
| 7 | $\phi 17^{+0,018}$          | Внутрішня циліндрична | -         | -       | -       | H7     | 18      | 1,25    | -                | -                | 1 | -        |

Продовження табл. 1.7

| №  | Розмір,<br>мм         | Вид пов.                 | Заготовка |            |            | Деталь |            |            | $\epsilon_{0Td}$ | $\epsilon_{0Ra}$ | k | $\Delta$ |
|----|-----------------------|--------------------------|-----------|------------|------------|--------|------------|------------|------------------|------------------|---|----------|
|    |                       |                          | Кв.       | Td,<br>мкм | Ra,<br>мкм | Кв.    | Td,<br>мкм | Ra,<br>мкм |                  |                  |   |          |
| 8  | 6 <sub>-0,075</sub>   | Торцева                  | IT14      | 1500       | 40         | h11    | 75         | 2,5        | 20               | 16               | 3 | 3        |
| 9  | 5,5 <sub>-0,075</sub> | Торцева                  | IT14      | 1500       | 40         | h11    | 75         | 2,5        | 20               | 16               | 3 | 3        |
| 10 | $\phi 24_{-0,13}$     | Зовнішня<br>циліндрична  | IT14      | 1600       | 40         | h11    | 130        | 2,5        | 12,3             | 16               | 3 | 3        |
| 11 | 16 <sub>-0,11</sub>   | Торцева                  | IT14      | 1500       | 40         | h11    | 110        | 2,5        | 13,6             | 16               | 3 | 3        |
| 12 | $\phi 24_{-0,13}$     | Зовнішня<br>циліндрична  | IT14      | 1600       | 40         | h11    | 130        | 2,5        | 12,3             | 16               | 3 | 3        |
| 13 | 11 <sub>-0,11</sub>   | Торцева                  | -         | -          | -          | h11    | 110        | 2,5        | -                | -                | 3 | -        |
| 14 | $\phi 80_{-0,19}$     | Зовнішня<br>циліндрична  | IT14      | 1600       | 40         | h11    | 190        | 2,5        | 8,4              | 16               | 3 | 3        |
| 15 | $\phi 80_{-0,19}$     | Зовнішня<br>циліндрична  | IT14      | 1600       | 40         | h11    | 190        | 2,5        | 8,4              | 16               | 3 | 3        |
| 16 | $\phi 70^{+0,19}$     | Внутрішня<br>циліндрична | IT14      | 1600       | 40         | H11    | 190        | 2,5        | 8,4              | 16               | 3 | 3        |
| 17 | $\phi 70^{+0,19}$     | Внутрішня<br>циліндрична | IT14      | 1600       | 40         | H11    | 190        | 2,5        | 8,4              | 16               | 3 | 3        |
| 18 | 2 $\pm$ 0,05          | Торцева                  | IT14      | 1500       | 40         | js11   | 100        | 2,5        | 15               |                  | 3 | 3        |
| 19 | $\phi 16^{+0,18}$     | Внутрішня<br>циліндрична | -         | -          | -          | H12    | 180        | 5          | -                | -                | 1 | -        |

#### 1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Складаємо загальну етапну схему виготовлення деталі – етапний маршрут виготовлення деталі:

1 етап – отримання заготовки (штампування).

2 етап – механічна обробка:

- токарна обробка,
- зубофрезерування,
- свердління,
- шліфування,
- протягування,
- зубошліфування.

3 етап – миття, контроль.

Технологічними базами на токарні операції приймаємо поверхні, які затискаються в цангові патрони. На свердлильних операціях за бази приймаємо торцеві поверхні, як опорні і поверхні, а також поверхні, що закріплюються прихватами. При шліфувальних операціях – як при токарній обробці.

### 1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Призначаємо припуски і розраховуємо технологічні розміри для поверхні  $\phi 92 \text{ h}8(-0,054)$ ,  $R_a = 2,5$ . Розрахунок припусків виконую розрахунково-аналітичним методом.

Допуски на розміри для технологічних переходів призначаємо згідно з попередньо розробленим МОП, починаючи з останнього:

- $Td_5 = Td_{\text{дет}} = 0,054 \text{ мм} - \text{h}8$  (по кресленню деталі);
- $Td_4 = 0,087 \text{ мм} - \text{h}9$  (згідно з МОП);
- $Td_3 = 0,22 \text{ мм} - \text{h}11$  (згідно з МОП);
- $Td_{\text{заг}} = 1,6 \text{ мм} - \text{IT}14$ .

Показники заготовки в залежності від методу отримання:

$$Rz = 160 \text{ мкм}, h = 200 \text{ мкм} [2, \text{табл. 12, с. 186}].$$

Відхилення при обробці:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\kappa}^2 + \rho_{\text{зм}}^2}, \quad (1.17)$$

де  $\rho_{\kappa 0} = 0.5 \text{ мм/мкм} [2, \text{табл. 17, с. 186}]$ ,  $\rho_{\kappa} = \rho_{\kappa 0} \cdot L = 0.5 \cdot 96 = 48 \text{ мкм}$ ,  
 $\rho_{\text{зм}0} = 0.4 \text{ мм/мкм} [2, \text{табл. 18, с. 192}]$ ,  $\rho_{\text{зм}} = \rho_{\text{зм}0} \cdot L = 0.4 \cdot 96 = 38,4 \text{ мкм}$ .

$$\rho = \sqrt{48^2 + 38,4^2} = 61,47 \text{ мкм}.$$

Показники по переходам:

$$\rho_i = \rho_{i-1} \cdot k, \quad (1.18)$$

де  $k$  – коефіцієнт уточнення [2, табл. 29, с. 190].

$$\rho_3 = 61,47 \cdot 0.06 = 3,67 \approx 4 \text{ мкм},$$

$$\rho_4 = 4 \cdot 0.04 = 0,16 \approx 1 \text{ мкм},$$

$$\rho_5 = 1 \cdot 0.02 = 0,02 \approx 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальний припуск:

$$\begin{aligned}
 2Z_{i \min} &= 2(Rz + h_i + \sqrt{\rho_i^2 + \varepsilon_{i-1}^2}), \\
 2Z_{3 \min} &= 2(160 + 200 + \sqrt{62^2 + 200^2}) = 1140 \text{ мкм}, \\
 2Z_{4 \min} &= 2(40 + 50 + \sqrt{4^2 + 100^2}) = 380 \text{ мкм}, \\
 2Z_{5 \min} &= 2(20 + 20 + \sqrt{1^2 + 50^2}) = 180 \text{ мкм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.19}$$

Номінальний припуск:

$$\begin{aligned}
 2Z_i^H &= 2Z_{i \min} + Td_{i-1}, \\
 2Z_3^H &= 1,14 + 0,5 = 1,64 \text{ мм}, \\
 2Z_4^H &= 0,38 + 0,22 = 0,6 \text{ мм}, \\
 2Z_5^H &= 0,18 + 0,087 = 0,267 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.20}$$

Номінальний розмір:

$$\begin{aligned}
 d_i^H &= d_{i+1}^H + 2Z_{i+1}^H, \\
 d_5^H &= 92 \text{ мм}, \\
 d_4^H &= 92 + 0,267 = 92,267 \text{ мм}, \\
 d_3^H &= 92,267 + 0,6 = 92,867 \text{ мм}, \\
 d_1^H &= 92,867 + 1,64 = 94,507 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.21}$$

Максимальний припуск:

$$\begin{aligned}
 2Z_{i \max} &= 2Z_{i \min} + Td_{i-1} + Td_i, \\
 2Z_{3 \max} &= 1,14 + 1,6 + 0,22 = 2,96 \text{ мм}, \\
 2Z_{4 \max} &= 0,38 + 0,22 + 0,087 = 0,687 \text{ мм}, \\
 2Z_{5 \max} &= 0,18 + 0,087 + 0,054 = 0,321 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.22}$$

Загальний номінальний припуск:

$$\begin{aligned}
 2Z_{H0} &= 2Z_{H3} + 2Z_{H4} + 2Z_{H5}, \\
 2Z_{H0} &= 1,64 + 0,6 + 0,267 = 2,507 \text{ мм}.
 \end{aligned}
 \tag{1.23}$$

Контрольне правило:

$$2Z_{H0} = d_{H3az} - d_{Hdem}, \quad (1.24)$$

$$2Z_{H0} = 94,507 - 92 = 2,507 \text{ мм},$$

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = Td_1 + Td_3, \quad (1.25)$$

$$2,96 - 1,14 = 1,6 + 0,22 = 1,82 \text{ мм},$$

$$2Z_{\max 4} - 2Z_{\min 4} = Td_3 + Td_4, \quad (1.26)$$

$$0,687 - 0,38 = 0,22 + 0,087 = 0,307 \text{ мм},$$

$$2Z_{\max 5} - 2Z_{\min 5} = Td_4 + Td_6, \quad (1.27)$$

$$0,321 - 0,18 = 0,087 + 0,054 = 0,141 \text{ мм}.$$

Контрольне правило зійшлося.

Результати заносимо в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Розрахунок припусків на обробку поверхні  $\varnothing 92_{-0,054}$

| № | Операції                 | $R_z$<br>мкм | $h$ ,<br>мкм | $\rho$ ,<br>мкм | $\varepsilon_i$ ,<br>мм | $Td$ ,<br>мм | $2z^H$ ,<br>мм | $d^H$ ,<br>мм | Виконавчий<br>розмір $d$ , мм    | $2z^{\max}$ ,<br>мм | $2z^{\min}$ ,<br>мм |
|---|--------------------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | Заготовка                | 160          | 200          | 4               | -                       | 1,6          | -              | 94,507        | $\varnothing 94,5^{+1,1}_{-0,5}$ | -                   | -                   |
| 2 | Т/О                      | -            | -            | -               | -                       | -            | -              | -             | -                                | -                   | -                   |
| 3 | Точіння<br>чорнове       | 40           | 50           | 1               | 200                     | 0,22         | 1,64           | 92,867        | $\varnothing 92,87_{-0,22}$      | 2,96                | 1,14                |
| 4 | Точіння<br>чистове       | 20           | 20           | 0               | 100                     | 0,087        | 0,6            | 92,267        | $\varnothing 92,267_{-0,087}$    | 0,687               | 0,38                |
| 5 | Шліфування<br>однократне | 10           | 15           | -               | 50                      | 0,054        | 0,267          | 92            | $\varnothing 92_{-0,054}$        | 0,321               | 0,18                |

Призначаємо припуски і розраховуємо технологічні розміри для поверхні  $\varnothing 20 G7^{(+0,028}_{+0,007})$ ,  $R_a = 1,25$ .

Припуски призначаємо табличним методом. Вибираємо нормативні та розрахункові значення елементів припусків для технологічних переходів:

- для чистового розточування –  $2Z_{\min 3} = 1,5 \text{ мм}$  [3, табл. 4.11, с. 48];
- для однократного шліфування –  $2Z_{\min 4} = 0,35 \text{ мм}$  [3, табл. 4.11, с. 48].

Допуски на розміри для технологічних переходів призначаємо згідно з, попередньо розробленим МОП, починаючи з останнього:

- $Td_4 = Td_{dem} = 0,021 \text{ мм}$  – G7 (креслення деталі);
- $Td_3 = 0,27 \text{ мм}$  – H8 (згідно з МОП);
- $Td_{zag} = 0,11 \text{ мм}$  – H11.

Розрахунок технологічних розмірів виконуємо методом розмірних ланцюгів.

Визначаємо мінімальний розмір поверхні (отвори) деталі – розмір останнього переходу механічної обробки –  $d_{dem}^{min} = d_{4min} = 20,007 \text{ мм}$ .

Розраховуємо мінімальні розміри поверхні для переходів механічної обробки по формулі:

$$d_{imin} = d_{i+1min} - 2Z_{i+1min} - Td_i, \quad (1.27)$$

$$d_{3min} = 20,007 - 0,35 - 0,27 = 19,387 \text{ мм},$$

$$d_{2min} = 19,387 - 1,5 - 0,11 = 17,777 \text{ мм}.$$

Розраховуємо максимальні розміри отвору по переходах за формулою:

$$d_{imax} = d_{imin} + Td_i, \quad (1.28)$$

$$d_{2max} = 17,777 + 0,11 = 17,887 \text{ мм},$$

$$d_{3max} = 19,387 + 0,27 = 19,657 \text{ мм},$$

$$d_{4max} = 20,007 + 0,021 = 20,028 \text{ мм}.$$

Визначасмо граничні значення припусків по переходах.

Мінімальні значення припусків розраховуємо за формулою:

$$2Z_{imin} = d_{imin} - d_{i-1max}, \quad (1.29)$$

$$2Z_{4min} = 20,007 - 19,657 = 0,35 \text{ мм},$$

$$2Z_{3min} = 19,387 - 17,887 = 1,5 \text{ мм}.$$

Мінімальні припуски такі ж, як і розрахункові.

Максимальні значення припусків розраховуємо за формулою:

$$2Z_{imax} = d_{imax} - d_{i-1min}, \quad (1.30)$$

$$2Z_{4\max} = 20,028 - 19,387 = 0,641 \text{ мм},$$

$$2Z_{3\max} = 19,657 - 17,777 = 1,88 \text{ мм}.$$

Виконуємо перевірку, використовуючи формулу:

$$TZ_0 = 2Z_{o\max} - 2Z_{o\min} = Td_{заг} + Td_{дет}, \quad (1.31)$$

де

$$2Z_{0\max} = d_{4\max} - d_{1\min}, \quad (1.32)$$

$$2Z_{0\max} = 20,028 - 17,777 = 2,251 \text{ мм}.$$

$$2Z_{0\min} = d_{4\min} - d_{1\max}, \quad (1.33)$$

$$2Z_{0\min} = 20,007 - 17,887 = 2,12 \text{ мм},$$

$$TZ_0 = 2,251 - 2,12 = 0,11 + 0,021 = 0,131 \text{ мм}.$$

Результати заносимо в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Розрахунок припусків на обробку поверхні  $\varnothing 20^{+0,028}_{+0,007}$  мм

|   | Операції                 | $es$ ,<br>мм | $ei$ ,<br>мм | $Td$ ,<br>мм | $d^{min}$ ,<br>мм | $d^{max}$ ,<br>мм | Виконавчий<br>розмір $d$ , мм      | $2z^{max}$ ,<br>мм | $2z^{min}$ ,<br>мм |
|---|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | Заготовка                | 0,11         | -            | 0,11         | 17,777            | 17,887            | $\varnothing 17,8^{+0,11}$         | -                  | -                  |
| 2 | Розточування<br>чистове  | 0,27         | -            | 0,27         | 19,387            | 19,657            | $\varnothing 19,39^{+0,27}$        | 1,88               | 1,5                |
| 3 | Шліфування<br>однократне | 0,028        | 0,007        | 0,021        | 20,007            | 20,028            | $\varnothing 20^{+0,028}_{+0,007}$ | 0,641              | 0,35               |

## 1.6 Розрахунок режимів різання

Операція 015 – токарна.

Вихідні дані:

- заготовка – штамповка НРА 67-70;
- операційний ескіз операції 015 (рис. 1.9);
- станок – токарний полуавтомат з ЧПК АТПР2М12НЦ. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 1.10.

МОП:

- 1) Підрізати торець 14 начорно по h12.
- 2) Точити поверхню 1 начорно по h11.

Вибір різального інструменту:

- різець підрізний 2112-0031 10x16x100 ГОСТ 18871-73, матеріал пластинки T15K6,  $\varphi = 60^\circ$ , R=1.

Таблиця 1.10 – Технічні характеристики верстата АТПР2М12НЦ

| Параметри                                               | АТПР2М12НЦ                         |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Найбільші розміри виробу, мм                         |                                    |
| діаметр над станиною                                    | 250                                |
| діаметр над супортом                                    | 210                                |
| 2. Найбільші переміщення супорта, мм                    |                                    |
| поздовжнє                                               | 230                                |
| поперечне                                               | 170                                |
| 3. Межі подач, мм/хв                                    |                                    |
| поздовжніх Z                                            | 10000                              |
| поперечних X                                            | 10000                              |
| 4. Межі частот обертання шпинделя, об/хв                | 70-1780                            |
| 5. Привод шпинделя                                      | (асинхр.дв.<br>ВЭМЗ привод<br>КЕВ) |
| 6. Найбільше зусилля різання, кН                        | 16                                 |
| 7. Приводи подач, електродвигуни                        | ЭВ-3С                              |
| 8. Дискретність завдання переміщення по координатам, мм |                                    |
| X                                                       | 0.001                              |
| Z                                                       | 0.001                              |
| 9. Кількість інструментів в магазині, шт                | 12                                 |
| 10. Обладнання ЧПУ                                      | NC - 200                           |
| 11. Габарити, мм                                        |                                    |
| довжина                                                 | 2240                               |
| ширина                                                  | 1750                               |
| висота                                                  | 2035                               |
| 12. Маса, кг                                            | 4000                               |

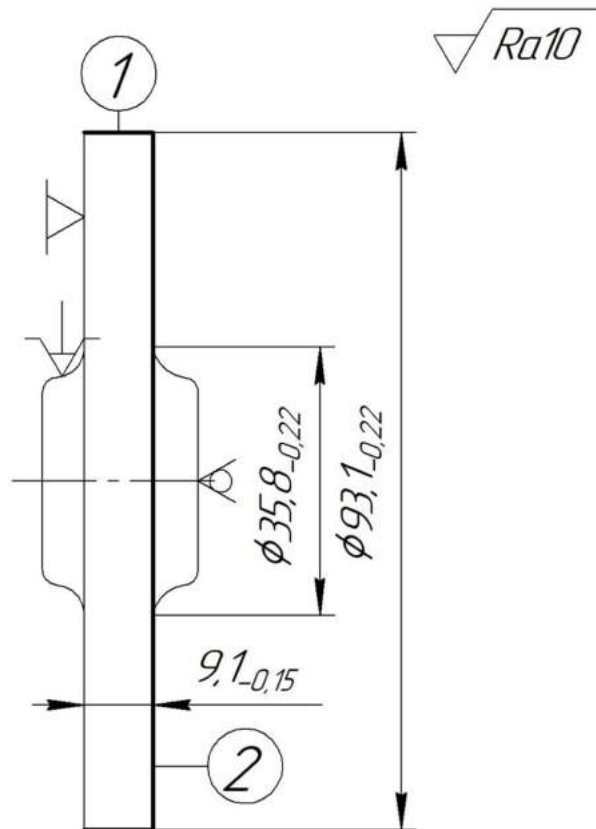


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз операції 015

Призначаємо режими різання (табличні значення взяті з таблиць ВАТ «Мотор-Січ»).

Призначаємо глибину різання:

- підрізання торця 2 –  $t_{чор} = 1,4$  мм;
- зовнішнє точіння пов. 1 –  $t_{чор} = 2,3$  мм.

Призначаємо подачу:

- підрізання торця 2:

$$S_{p.} = S_{Табл} \cdot K_{S1} \cdot K_{S2}, \quad (1.34)$$

де  $S_{Табл} = 0,41$  мм/об,  $K_{S1} = 1,4$ ,  $K_{S2} = 0,9$ .

$$S_{p.} = 0,41 \cdot 1,4 \cdot 0,9 = 0,52 \text{ мм/об.}$$

- зовнішнє точіння пов. 1:

$$S_{p.} = 0,41 \cdot 1,4 \cdot 0,9 = 0,52 \text{ мм/об.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$$V_p = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9 \cdot K_{10}, \quad (1.35)$$

де  $V_{\text{табл}}$  – табличне значення швидкості різання;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує охолодження при обробці;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує головний кут в плані  $\varphi$ ;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує різницю діаметрів при поперечному точінні;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує ріжучу частину інструменту;

$K_6$  – коефіцієнт, що враховує твердість матеріалу;

$K_7$  – коефіцієнт, що враховує глибину різання;

$K_8$  – коефіцієнт, що враховує подачу;

$K_9$  – коефіцієнт, що враховує стійкість інструменту;

$K_{10}$  – коефіцієнт, що враховує вид обробки.

- швидкість різання для підрізання торця 2:

$$V_{p.} = 96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 0,53 \cdot 1,07 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 0,82 = 39,54 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання заготовки:

$$n_{p.} = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_{\text{max}}}, \quad (1.36)$$

де  $d_{\text{max}} = 97 \text{ мм}$  (креслення деталі).

$$n_{p.} = \frac{1000 \cdot 39,54}{3,14 \cdot 97} = 129,82 \text{ об/хв.}$$

Порівнюємо з паспортом верстата –  $n_{cm} = 125 \text{ об/хв.}$

Визначаємо швидкість різання, враховуючи стандартну частоту обертання шпинделя верстата:

$$V = \frac{\pi \cdot D_{\text{max}} \cdot n_{cm}}{1000}, \quad (1.37)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 97 \cdot 125}{1000} = 38,07 \text{ м/хв.}$$

- швидкість різання для зовнішнього точіння пов. 1 за формулою (1.35):

$$V_{p.} = 96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,53 \cdot 0,95 \cdot 0,88 \cdot 1 \cdot 0,82 = 28,78 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертання заготовки за формулою (1.36):

$$n_{p.} = \frac{1000 \cdot 28,78}{3,14 \cdot 97} = 95,21 \text{ об/хв.}$$

Порівнюємо з паспортом верстата –  $n_{cm} = 100 \text{ об/хв.}$

Визначаємо швидкість різання, враховуючи стандартну частоту обертання шпинделя верстата за формулою (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 97 \cdot 100}{1000} = 30,46 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання:

$$P_Z = P_{табл} \cdot K_{Pz} = 228 \cdot 1,2 = 273,6 \text{ Н,} \quad (1.38)$$

де  $P_{табл} = 228 \text{ Н}$  [4, карта 22, с. 95].

Визначаємо потрібну потужність:

$$N_{еф} = \frac{P_Z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.39)$$

$$N_{еф} = \frac{273,6 \cdot 30,46}{1020 \cdot 60} = 0,17 \text{ кВт.}$$

Так як  $N_{еф} = 0,17 \text{ кВт} < N_{ст} = 8,3 \text{ кВт}$ , то дану операцію можливо здійснити на обраному верстаті.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Режими різання операції токарної 015

| Операція 015 Токарна    |                          |                    |                                    |                              |
|-------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Перехід                 | Глибина різання $t$ , мм | Подача $S$ , мм/об | Число обертів шпинделя $n$ , об/хв | Швидкість різання $V$ , м/хв |
| Підрізання торця 2      | 1,4                      | 0,52               | 125                                | 38,07                        |
| Зовнішнє точіння пов. 1 | 2,3                      | 0,52               | 100                                | 30,46                        |

Операція 065 – свердлильна.

Вихідні дані:

- попередньо оброблена заготовка HRA 67-70;
- операційний ескіз операції 065 (рис. 1.10);
- верстат – вертикально-свердлильний 2Н55. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Технічні характеристики верстата 2Н106П

|                                                                 |         |           |
|-----------------------------------------------------------------|---------|-----------|
| Параметри                                                       |         | 2Н55      |
| Найбільший умовний діаметр свердління в сталі                   |         | 55        |
| Робоча поверхня стола                                           |         | 1000x2530 |
| Найбільша відстань від торця шпинделя до робочої поверхні стола |         | 1600      |
| Виліт шпинделя                                                  |         | 400-1600  |
| Найбільший хід шпинделя                                         |         | 350       |
| Найбільше вертикальне переміщення свердлильної головки          |         | 1200      |
| Конус Морзе шпинделя                                            |         | 5         |
| Число скоростей шпинделя                                        |         | 21        |
| Частота обертання шпинделя, об/хв                               |         | 20x2000   |
| Число подач шпинделя                                            |         | 12        |
| Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт           |         | 4         |
| Габаритні розміри:                                              | довжина | 2545      |
|                                                                 | ширина  | 1000      |
|                                                                 | висота  | 3315      |
| Маса, кг                                                        |         | 4100      |

МОП:

- свердли́ти 6 отворів по Н12.

Вибираємо різальний інструмент:

- свердло Ø16 2301-0054 ГОСТ 10903-77, матеріал ріжучої частини – Т15К6.

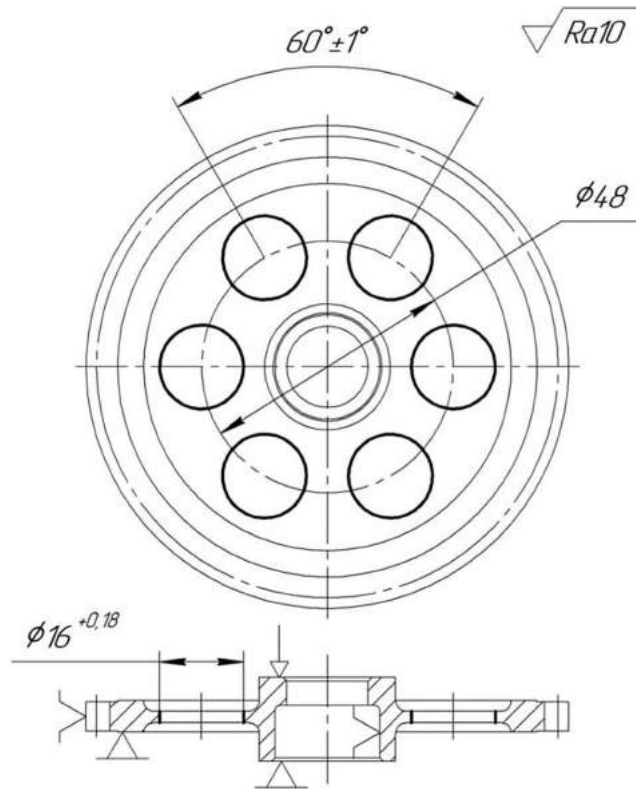


Рисунок 1.10 – Операційний ескіз операції 065

Призначаємо режими різання (табличні значення взяті з таблиць ВАТ «Мотор-Січ»)

Призначаємо глибину різання:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{16}{2} = 8 \text{ мм.}$$

Призначаємо подачу за формулою (1.34):

$$S_p = 0,15 \cdot 1 \cdot 1 = 0,15 \text{ мм/об.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$$V_p = V_{\text{Табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8, \quad (1.40)$$

де  $V_{\text{табл.}}$  – табличне значення швидкості різання;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує твердість матеріалу;

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує стійкість інструменту;

$K_3$  – коефіцієнт, що враховує відношення фактичної стійкості до нормативів;

$K_4$  – коефіцієнт, що враховує довжину свердління;

$K_5$  – коефіцієнт, що враховує подачу;

$K_6$  – коефіцієнт, що враховує діаметр свердління;

$K_7$  – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструменту;

$K_8$  – коефіцієнт, що враховує охолодження при обробці.

$$V_{p.} = 40,23 \cdot 0,64 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,09 \cdot 0,6 \cdot 1 = 15,15 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання заготовки за формулою (1.36):

$$n_{p.} = \frac{1000 \cdot 15,15}{3,14 \cdot 16} = 301,55 \text{ об/хв.}$$

Порівнюємо з паспортом верстата –  $n_s = 300$  об/хв.

Визначаємо швидкість різання, враховуючи стандартну частоту обертання шпинделя верстата за формулою (1.37):

$$V = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 300}{1000} = 15,1 \text{ м/хв.}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.13.

Таблиця 1.13 – Режими різання операції 065

| Операція 065 – Свердлильна |                                |                       |                                          |                                    |
|----------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|------------------------------------|
| Перехід                    | Глибина<br>різання $t$ ,<br>мм | Подача $S$ ,<br>мм/об | Число обертів<br>шпинделя $n$ ,<br>об/хв | Швидкість<br>різання $V$ ,<br>м/хв |
| Свердління отворів         | 8                              | 0,15                  | 300                                      | 15,1                               |

## Операція 080 – Круглошліфувальна

Вихідні дані:

- попередньо оброблена заготовка HRA 67-70;
- операційний ескіз операції 080 (рис. 1.11);
- верстат – круглошліфувальний 3Б153Т. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Технічні характеристики верстата 3Б153Т

| Параметри                                                                   |                                   | 3Б153Т      |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------|
| Найбільші розміри встановлюваної заготовки:                                 | діаметр                           | 400         |
|                                                                             | довжина                           | 2000        |
| Рекомендований (або найбільший) діаметр шліфування:                         | зовнішнього                       | 120         |
|                                                                             | внутрішнього                      | —           |
| Найбільша довжина шліфування:                                               | зовнішнього                       | 1800        |
|                                                                             | внутрішнього                      | —           |
| Висота центрів над столом                                                   |                                   | 210         |
| Швидкість автоматичного переміщення столу, м/хв.                            |                                   | 0,05-5      |
| Частота обертання, об/хв, шпинделя заготовки з безступінчастим регулюванням |                                   | 20-180      |
| Конус Морзе шпинделя передньої бабки та пінолі задньої бабки                |                                   | 6           |
| Найбільші розміри шліфувального круга:                                      | зовнішній діаметр                 | 750         |
|                                                                             | висота                            | 100         |
| Переміщення шліфувальної бабки:                                             | найбільше                         | 365         |
|                                                                             | на одно ділення лімбу             | 0,0025-0,05 |
|                                                                             | за один оборот толчкової рукоятки | —           |
| Частота обертання шпинделя шліфувального круга, об/хв, при шліфуванні:      | зовнішнього                       | 1270        |
|                                                                             | внутрішнього                      | —           |
| Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт                       |                                   | 30          |
| Габаритні розміри (з приставним обладнанням):                               | довжина                           | 6710        |
|                                                                             | ширина                            | 3100        |
|                                                                             | висота                            | 2100        |
| Маса (з приставним обладнанням), кг                                         |                                   | 11 500      |

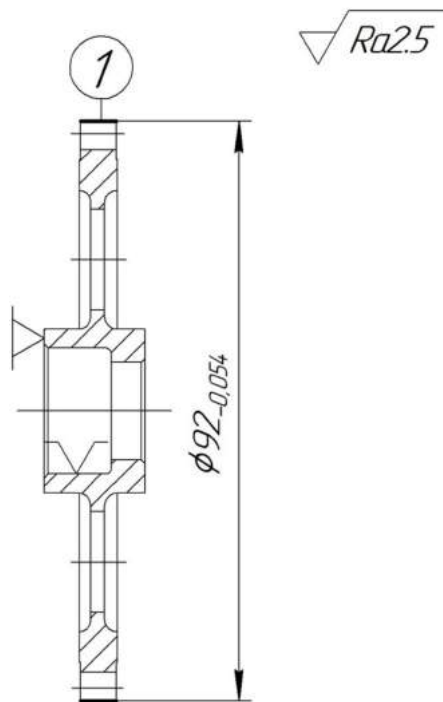


Рисунок 1.11 – Операційний ескіз операції 080

МОП:

- шліфування однократне пов.1 по h8.

Вибираємо шліфувальний круг:

- шліфування однократне – 1 600x75x305 24A25CM1K.

Вибір вимірювального інструменту:

- калібр скоба d92 8113-0067 h8 ГОСТ 16775-93.

Призначаємо режими різання

Призначаємо припуск на обробку:

$$2Z = 0,287 \text{ мм (згідно з розрахунками припусків).}$$

Призначаємо фактичну швидкість різання.

Оскільки верстат має безступінчасте регулювання шпинделя заготовки, то табличне значення швидкості є фактичним і розрахункове значення числа обертів шпинделя заготовки повинно знаходитися в межах 20-180 об/хв.

$$V = 50 \text{ м/хв [4, табл. 161, с. 343].}$$

Визначаємо число обертів шпинделя заготовки за формулою (1.36):

$$n = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 92} = 173,1 \text{ об/хв.}$$

Розраховуємо швидкість обертання круга:

$$V = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60}, \quad (1.41)$$

де  $n_{кр} = 1270$  – частота обертання шпинделя шліфувального круга (паспортні дані верстата).

$$V_k = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 1270}{1000 \cdot 60} = 17 \text{ м/с.}$$

Призначаємо подачу

$$S_{t/об} = S_{tT} \cdot K_{St}, \quad (1.42)$$

$$\text{де } K_{St} = K_M \cdot K_R \cdot K_D \cdot K_{Vk} \cdot K_T \cdot K_{tT} \cdot K_h;$$

$K_M$  – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [4, табл. 165, с. 348];

$K_R$  – коефіцієнт, що враховує радіус галтелі деталі [4, табл. 165, с. 348];

$K_D$  – коефіцієнт, що враховує діаметр круга [4, табл. 165, с. 348];

$K_{Vk}$  – коефіцієнт, що враховує швидкість круга [4, табл. 165, с. 348];

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує стійкість круга [4, табл. 165, с. 348];

$K_{tT}$  – коефіцієнт, що враховує точність обробки [4, табл. 165, с. 348];

$K_h$  – коефіцієнт, що враховує припуск на обробку [4, табл. 165, с. 348];

$S_{tT} = 0,03 \text{ мм}$  [4, табл. 163, с. 346].

$$K_{St} = 1 \cdot 0,42 \cdot 0,9 \cdot 0,28 \cdot 0,75 \cdot 1,16 = 0,1$$

$$S_{t/об} = 0,03 \cdot 0,1 = 0,003 \text{ мм/об.}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.15.

Таблиця 1.15 – Режими різання операції 080

| Операція 080 – Круглошліфувальна |                |                    |                                       |                                 |
|----------------------------------|----------------|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Перехід                          | Припуск,<br>мм | Подача S,<br>мм/об | Число обертів<br>шпинделя n,<br>об/хв | Швидкість<br>різання V,<br>м/хв |
| Шліфування<br>однократне пов. 1. | 0,28           | 0,003              | 173,1                                 | 50                              |

Операція 090 – протяжна

Вихідні дані:

- попередньо оброблена заготовка HRA 67-70;
- операційний ескіз операції 090 (рис. 1.12);
- верстат – горизонтально-протяжний 7Б55. Технічні характеристики верстата наведено в табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – Технічні характеристики верстата 7Б55

|                                                                      |         |          |
|----------------------------------------------------------------------|---------|----------|
| Параметри                                                            |         | 7Б55     |
| Номінальне тягове зусилля, тс                                        |         | 10       |
| Найбільша довжина ходу робочих салазок, мм                           |         | 1250     |
| Найбільша налаштована довжина ходу робочих салазок, мм               |         | 1200     |
| Відстань від станини до осі отвору під планшайбу в опорній плиті, мм |         | 250      |
| Максимальний зовнішній діаметр оброблюваної деталі, мм               |         | 600      |
| Розміри робочої поверхні передньої опорної плити верстата, мм        |         | 450x450  |
| Діаметр отвору під планшайбу в опорній плиті, мм                     |         | 160А     |
| Діаметр отвору в планшайбі, мм                                       |         | 125А     |
| Діаметр планшайби, мм                                                |         | 280      |
| Найбільша швидкість робочого ходу, м/хв                              |         | 11,5     |
| Найбільша / найменша швидкість робочого ходу, м/хв                   |         | 11,5/1,5 |
| Рекомендована швидкість зворотного ходу, м/хв                        |         | 20...25  |
| Потужність, кВт                                                      |         | 18,5     |
| Габаритні розміри:                                                   | довжина | 6340     |
|                                                                      | ширина  | 2090     |
|                                                                      | висота  | 1910     |
| Маса, кг                                                             |         | 5200     |

Вибираємо різальний інструмент:

- протяжка шліцева ГОСТ 10903-77, матеріал ріжучої частини – Р18, геометричні параметри ріжучої частини:  $\gamma = 8-10^\circ$ ,  $\alpha_p = 3-4^\circ$ ,  $\alpha_b = 1^\circ 30'$ ,  $f = 0,1-0,4$ .

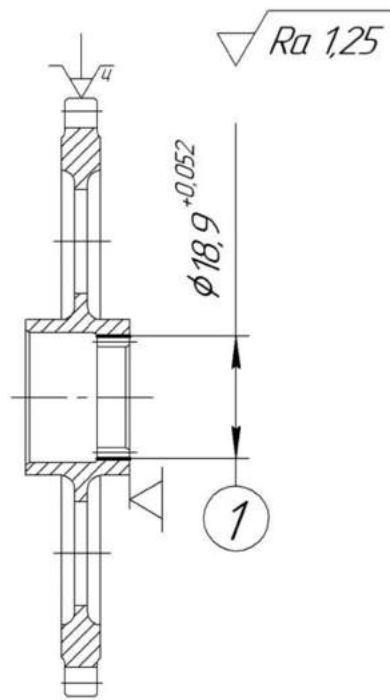


Рисунок 1.12 – Операційний ескіз операції 090

Призначаємо режими різання

Призначаємо подачу:

$$S_{\text{ч}} = S_{\text{табл}} \cdot K_{S1} \cdot K_{S2} \cdot K_{S3}, \quad (1.43)$$

де  $S_{\text{табл.}} = 0,15 \text{ мм/зуб}$  [4, табл. 99, с. 293];

$K_{S1} = 0,8$ ,  $K_{S2} = 0,8$ ,  $K_{S3} = 1$  [4, табл. 101, с. 293].

$$S_{\text{р.}} = 0,15 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,096 \text{ мм/зуб.}$$

Призначаємо швидкість різання:

$$V_{\text{р}} = V_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (1.44)$$

де  $V_{\text{табл.}} = 4 \text{ м/хв}$  [4, табл. 102, с. 294];

$K_{V1} = 1,45$ ,  $K_{V2} = 0,8$ ,  $K_{V3} = 1$  [4, табл. 104, с. 295].

$$V_{\text{р.}} = 4 \cdot 1,45 \cdot 0,8 \cdot 1 = 4,64 \text{ м/хв.}$$

Визначення сили різання

Для цього знаходимо силу протягування на 1 мм довжини ріжучої кромки. По [6, карта 6, с. 584]  $F = 39 \text{ кг/мм}$ .

Найбільше число одночасно працюючих зубів:

$$z_1 = \frac{l_u}{t} + 1, \quad (1.45)$$

де  $l_u$  – довжина протягування,  
 $t$  – шаг зубів протяжки.

$$z_1 = \frac{5}{3} + 1 = 2,7.$$

Приймаємо 3 зуба.

Сумарна довжина одночасно працюючих зубів:

$$\Sigma b = \frac{b_u n}{z_c} z_1, \quad (1.46)$$

де  $b_u$  – ширина протягуваної поверхні,  
 $n$  – кількість шліців,  
 $z_c$  – число зубів в секції.

$$\Sigma b = \frac{2 \cdot 17}{1} \cdot 3 = 102 \text{ мм.}$$

Визначення сили протягування:

$$P = F \Sigma b = 39 \cdot 102 = 3978 \text{ кгс.}$$

Так як  $P = 3978 \text{ кгс} < P_{\text{ст}} = 10 \text{ тс}$ , то дану операцію можливо здійснити на обраному верстаті.

### 1.7 Розрахунок технічної норми часу

Виконуємо технічне нормування операції 015.

Розраховуємо основний час операції:

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{0i} \Rightarrow t_{0i} = \frac{L_{P.X.i}}{n_i \cdot S_i}, \quad (1.47)$$

$$t_0 = t_{01} + t_{02} ,$$

$$t_0 = 0,58 + 0,28 = 0,86 \text{ хв.}$$

Знаходимо довжину робочого ходу для кожного переходу:

$$L_{p.x.} = L_{piz} + L_{ep} + L_{nep} , \quad (1.48)$$

- для підрізання торця 2:

$$L_{piz} = \frac{97 - 28}{2} = 34,5 \text{ мм,}$$

$$L_{ep} = 3 \text{ мм ; } L_{nep} = 0 \text{ мм [4, табл. 1, с. 809],}$$

$$L_{p.x.} = 34,5 + 3 = 37,5 \text{ мм.}$$

- для зовнішнього точіння пов. 1:

$$L_{piz} = 8,4 \text{ мм,}$$

$$L_{ep} = 3 \text{ мм ; } L_{nep} = 3 \text{ мм [4, табл. 1, с. 809],}$$

$$L_{p.x.} = 8,4 + 3 + 3 = 14,4 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний час переходу:

- для підрізання торця 2:

$$t_{01} = \frac{37,5}{125 \cdot 0,52} = 0,58 \text{ хв.}$$

- для зовнішнього точіння пов. 1:

$$t_{02} = \frac{14,4}{100 \cdot 0,52} = 0,28 \text{ хв.}$$

Встановлюємо норму допоміжного часу:

$$t_{\partial} = t_{y.c.} + t_{\partial n/o} + t_{зм.поз} + t_{контр}, \quad (1.49)$$

де  $t_{y.c.} = t_y + t_c$  – час на установку і зняття заготовки.  $t_{y.c.} = 0,23$  хв [4, карта 51, с. 138];  
 $t_{\partial n/o} = t_n \cdot i + t_o \cdot i$  – час швидкого підведення і відведення інструменту, де  $i = 1$  – кількість швидких підведень і відводів інструменту,  $t_n = t_o = 0,3$  хв – з технічних даних верстата,  $t_{\partial n/o} = 0,3 \cdot 1 + 0,3 \cdot 1 = 0,6$  хв.  
 $t_{зм.поз.} = t_p \cdot i + t_{p.з.} \cdot j$  – час зміни позицій, де  $t_p = 0,04$  хв [4, карта 61, с. 156] – час, що витрачається робітником на зміну позиції,  $t_{p.з.} = 0,04$  хв [4, карта 61, с. 156] – час витрачається робітником на поворот револьверної головки,  $i = 2$  – кількість змін позицій,  $j = 1$  – кількість поворотів револьверної головки.  
 $t_{зм.поз.} = 0,04 \cdot 2 + 0,07 \cdot 1 = 0,15$  хв.  
 $t_{контр} = \sum_{i=1}^n t_{вим} \cdot i$  – час на контроль, де  $t_{вим} = 0,16$  хв – час вимірювання розмірів після підрізання торців і час вимірювання діаметра вала,  $i = 0,5$  – періодичність контрольних промірів,  $t_{контр} = (0,16 + 0,16) \cdot 0,5 = 0,16$  хв.

$$t_{\partial} = (0,23 + 0,6 + 0,15 + 0,16) \cdot 1,85 = 2,28 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму додаткового часу:

$$t_{np} = (t_0 + t_{\partial}) \cdot \alpha_{\Sigma}, \quad (1.50)$$

$$\text{де } \alpha_{\Sigma} = \alpha_{орг} + \alpha_{мех} + \alpha_{отд},$$

$$\alpha_{орг} + \alpha_{мех} = 0,025 \approx 0,03 \text{ [4, карта 42, с. 136],}$$

$$\alpha_{отд} = 0,04 \text{ [4, карта 42, с. 136].}$$

$$\alpha_{\Sigma} = 0,03 + 0,04 = 0,07,$$

$$t_{np} = (0,86 + 2,28) \cdot 0,07 = 0,22 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час:

$$t_{ш} = t_o + t_{\epsilon} + t_{np} = t_o + t_{\epsilon} + \alpha_{\Sigma}(t_c + t_{\epsilon}) = (t_o + t_{\epsilon})(1 + \alpha_{\Sigma}), \quad (1.51)$$

$$t_{шм} = 0,86 + 2,28 + 0,22 = 3,36 \text{ хв.}$$

Встановлюємо підготовчо-заключний час:

$$t_{n.з.} = t_{n.з.1} + t_{n.з.2} + t_{n.з.3}, \quad (1.52)$$

де  $t_{n.з.1} = 10$  хв – час на наладку верстата, інструмента та пристосувань – [4, табл. 6.3, с. 216];

$t_{n.з.2} = 0$  [4, табл. 6.3, с. 216];

$t_{n.з.3} = 8$  хв – час на отримання інструменту і пристосування до початку і здача їх після закінчення обробки [4, табл. 6.3, с. 216].

$$t_{n.з.} = 10 + 8 = 18 \text{ хв.}$$

Штучно – калькуляційний час:

$$t_{шм-к} = t_{ш} + \frac{t_{n.з.}}{n}, \quad (1.53)$$

$$t_{шм-к} = 3,36 + \frac{18}{30} = 3,96 \text{ хв.}$$

Виконуємо технічне нормування операції 065.

Знаходимо довжину робочого ходу для кожного переходу:

$$L_{p.x.} = L_{рез} + L_{\epsilon p} + L_{неp}, \quad (1.54)$$

де  $L_{рез} = 2$  мм,  $L_{\epsilon p} = 7$  мм,  $L_{неp} = 7$  мм [4, карта 43, с. 287].

$$L_{p.x.} = 2 + 7 + 7 = 16 \text{ мм.}$$

Визначаємо основний час переходу за формулою (1.47):

$$t_0 = \frac{16}{300 \cdot 0,15} \cdot 6 = 2,13 \text{ хв.}$$

Встановлюємо норму допоміжного часу:

$$t_{\partial} = t_{y.c.} + t_{пер} + t_{контр}, \quad (1.55)$$

де  $t_{y.c.} = t_y + t_c$  – час на установку і зняття заготовки, де  $t_{y.c.1} = t_y + t_c$  – час на установку і зняття заготовки на оправку –  $t_{y.c.} = 0,34$  хв [4, карта 44, с. 290],  $t_{y.c.2} = t_y + t_c$  – час на установку і зняття накладного кондуктора,  $t_{y.c.} = 0,06$  хв [4, карта 44, с. 290];

$t_{пер}$  – час, пов'язаний з переходом:

$$t_{пер} = t_{np} + t_{вкл / выкл} + t_{охл} + t_{п.д.}, \quad (1.56)$$

де  $t_{np} = 0,09$  хв – допоміжний час, пов'язаний з проходом [4, карта 45, с. 294];

$t_{вкл / выкл} = 0,01$  хв – вмикання і вимикання шпинделя [4, карта 47, с. 296];

$t_{охл} = 0,03$  хв – час вмикання і вимикання охолодження [4, карта 47, с. 296];

$t_{п.д.} = 0,01$  хв – час підведення деталі з пристосуванням [4, карта 47, с. 296];

$t_{в / выв. Сверла} = 0,06$  хв – час введення і виведення свердла і видалення стружки [4, карта 49, с. 298].

$$t_{пер} = 0,09 + 0,01 + 0,03 + 0,01 + 0,06 = 0,2 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на контрольні вимірювання:

$$t_{вим} = t_{1вим} \cdot K, \quad (1.57)$$

де  $t_{1вим} = 0,08$  хв – час одного виміру [4, карта 64, с. 163],

$K = 0,2$  – вимірювання проводяться через чотири деталі.

$$t_{вим} = 0,08 \cdot 0,2 \approx 0,02 \text{ хв.}$$

$$t_{\partial} = (0,4 + 0,2 + 0,02) \cdot 1,85 = 1,15 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму додаткового часу:

$$t_{np} = (t_o + t_e) \cdot \alpha, \quad (1.58)$$

де  $\alpha = \alpha_{обсл} + \alpha_{отд} + \alpha_{ест.над}$ ,  $\alpha_{обсл} = 0,015$  – час на обслуговування робочого місця [4, карта 50, с. 302];  $\alpha_{отд} + \alpha_{ест.над} = 0,07$  – час на відпочинок і природні потреби [4, карта 50, с. 302].

$$\alpha = 0,015 + 0,07 = 0,085,$$

$$t_{np} = (2,13 + 1,15) \cdot 0,085 = 0,28 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму штучного часу за формулою (1.51):

$$t_{шт} = 2,13 + 1,15 + 0,28 = 3,56 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму підготовчо-заключного часу:

$$t_{н.з.} = t_{н.з.1} + t_{н.з.2} + t_{н.з.3}, \quad (1.59)$$

де  $t_{н.з.1} = 5$  хв – час на установку пристосування [4, карта 50, с. 302];

$t_{н.з.2} = 1$  хв – час на установку упора [4, карта 50, с. 302];

$t_{н.з.3} = 5$  хв – час на отримання інструменту і здача його після роботи [4, карта 50, с. 302].

$$t_{н.з.} = 5 + 1 + 5 = 11 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час знаходимо за формулою (1.53):

$$t_{шт-к} = 3,56 + \frac{11}{30} = 3,93 \text{ хв.}$$

Виконуємо технічне нормування операції 080.

Визначаємо основний час переходу:

$$t_{oi} = \frac{a_i}{n_i \cdot S_{pi}} \cdot K, \quad (1.60)$$

де  $a_i$  – припуск, мм;

$n_i$  – частота обертання заготовки, об/хв;

$S_p$  – радіальна подача, мм/об;

$k = 0,75$  – коефіцієнт точності обробки.

$$t_0 = \frac{0,287}{173,1 \cdot 0,003} \cdot 0,75 = 0,41 \text{ хв.}$$

Встановлюємо норму допоміжного часу:

$$t_{\partial} = t_{y.c.} + t_{\partial n/o} + t_{\text{контр}}, \quad (1.61)$$

де  $t_{y.c.} = t_y + t_c$  – час на установку і зняття заготовки,

$t_{y.c.} = 0,55$  хв [4, карта 15, с. 639];

$t_{\partial n/o} = t_n \cdot i + t_o \cdot i$  – час швидкого підведення і відведення інструменту, де  $i = 1$  – кількість швидких підведень і відводів інструменту,  $t_n = t_o = 0,06$  хв (технічні дані верстата),  $t_{\partial n/o} = 0,06 \cdot 1 + 0,06 \cdot 1 = 0,12$  хв;

$t_{\text{контр}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{изм}} \cdot i$  – час на контроль, де  $t_{\text{изм}} = 0,7$  хв – час вимірювання розміру після обробки [4, карта 17, с. 641],  $i = 0,5$  – періодичність контрольних промірів,  $t_{\text{контр}} = 0,7 \cdot 0,5 = 0,35$  хв.

$$t_{\partial} = 0,55 + 0,12 + 0,35 = 1,02 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму додаткового часу:

$$t_{\partial \partial \partial} = t_{\text{mex}} + (\alpha_{\text{опз}} + \alpha_{\text{отд}}) \cdot t_0, \quad (1.62)$$

де  $t_{\text{mex}} = \sum_{i=1}^n t_{\text{mexI}} \Rightarrow t_{\text{mexI}} = \frac{t_{\text{нрI}} \cdot t_0 \cdot 1,1}{T_I}$ ,  $t_{\text{нрI}} = 1,3$  хв – час правки

шліфувального круга [4, карта 19, с. 644],  $T_{\text{прШл}} = 5$  хв – період стійкості

круга [4, карта 4, с. 625],  $t_{\text{mexI}} = \frac{1,3 \cdot 0,41 \cdot 1,1}{5} = 0,12$  хв;

$\alpha_{\text{опз}} = 0,02$  [4, карта 19, с. 645];

$\alpha_{\text{отд}} = 0,05$  [4, карта 19, с. 645].

$$t_{\partial\partial\partial} = 0,12 + (0,02 + 0,05) \cdot 0,41 = 0,15 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.51):

$$t_{um} = 0,41 + 1,02 + 0,15 = 1,58 \text{ хв.}$$

Встановлюємо підготовчо-заключний час:

$$t_{n.з.} = t_{n.з.1}$$

де  $t_{n.з.1} = 7 \text{ хв}$  – час на отримання інструменту, ознайомлення з кресленням, огляд заготовки, здача інструменту [4, карта 20, с. 646].

Штучно – калькуляційний час знаходимо за формулою (1.53):

$$t_{um-\kappa} = 1,58 + \frac{7}{30} = 1,81 \text{ хв.}$$

Виконуємо технічне нормування операції 090

Визначаємо основний час переходу:

$$t_{oi} = \frac{L_{p.x.} \cdot K}{1000 \cdot v}, \quad (1.63)$$

де  $L_{p.x.}$  – довжина робочого ходу:

$$L_{p.x.} = l_u + l_{p.ч} + l_{\partial\partial\partial} = 5 + 100 + 30 = 135 \text{ мм.}$$

$K$  – коефіцієнт, що враховує співвідношення швидкості робочого і зворотного ходу:

$$K = 1 + \frac{v}{v_{з.х}} = 1 + \frac{4,64}{19} = 1,24, \quad (1.64)$$

де  $v_{з.х}$  – швидкість зворотного ходу (по паспорту верстата),

$$t_0 = \frac{135 \cdot 1,24}{1000 \cdot 4,64} = 0,036 \text{ хв.}$$

Встановлюємо норму допоміжного часу:

$$t_{\partial} = t_{y.c.} + t_{nep} + t_{контр}, \quad (1.65)$$

де  $t_{y.c.} = 0,06$  хв – час на установку і зняття заготовки [4, карта 9, с. 587];

$t_{вкл/выкл} = 0,018 \cdot 2 = 0,036$  хв – вмикання і вимикання верстата [4, карта 11, с. 588];

$t_{вим}$  – допоміжний час на контрольні вимірювання:

$$t_{вим} = t_{вим} \cdot \kappa, \quad (1.66)$$

де  $t_{вим} = 0,2$  хв – час одного виміру [4, карта 12, с. 589];  
 $\kappa = 0,1$  – коефіцієнт, що враховує періодичність вимірів.

$$t_{вим} = 0,2 \cdot 0,1 = 0,02 \text{ хв}$$

За час роботи протяжки, робочий може виміряти оброблену деталь (0,02 хв) і відкласти її. Таким чином, перекриваємий допоміжний час буде дорівнювати:

$$T_{\partial.n} = 0,02 \text{ хв.}$$

Неперекриваємий допоміжний час:

$$t_{\partial.n} = 0,06 + 0,036 + 0,02 - 0,02 = 0,096 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму часу організаційно-технічного обслуговування робочого місця:

$$t_{обс} = (t_o + t_{\partial}) \cdot \frac{\alpha_{обс}}{100}, \quad (1.67)$$

де  $\alpha_{обс} = 3\%$  – час на обслуговування робочого місця [4, карта 13, с. 589];

$$t_{обс} = (0,036 + 0,096) \cdot \frac{3}{100} = 0,004 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму часу на відпочинок та природні потреби:

$$t_{\text{відп}} = (t_o + t_{\text{д}}) \cdot \frac{\alpha_{\text{відп}}}{100}, \quad (1.68)$$

де  $\alpha_{\text{відп}} = 6\%$  – час на відпочинок і природні потреби, в залежності від коефіцієнту зайнятості  $K_z$  [4, карта 14, с. 590]:

$$K_z = \frac{T_{\text{д.н.}} + T_{\text{д.н.}}}{T_o + T_{\text{д.н.}}}, \quad (1.69)$$

$$K_z = \frac{0,096 + 0,02}{0,036 + 0,096} = 0,88.$$

$$t_{\text{відп}} = (0,036 + 0,096) \cdot \frac{6}{100} = 0,008 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму штучного часу:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_{\text{д}} + t_{\text{обс}} + t_{\text{відп}}, \quad (1.70)$$

$$t_{\text{шт}} = 0,036 + 0,096 + 0,004 + 0,008 = 0,144 \text{ хв.}$$

Знаходимо норму підготовчо-заключного часу:

$$t_{\text{п.з.}} = 9 \text{ хв [4, карта 50, с. 302].}$$

Штучно-калькуляційний час знаходимо за формулою (1.53):

$$t_{\text{шт-к}} = 0,144 + \frac{9}{30} = 0,44 \text{ хв.}$$

## 1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

### 1.8.1 Розробка токарної операції

Операція 030 Токарна з ЧПК.

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК АТПР2М12НЦ.

Операційний ескіз показано на рис. 1.13.

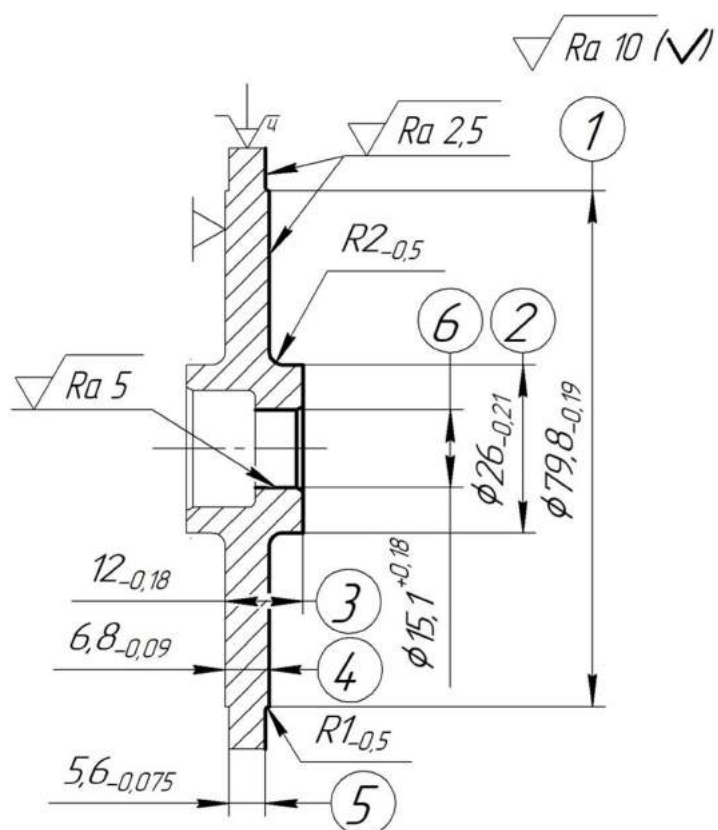


Рисунок 1.13 – Операційний ескіз токарної операції 030

Перехід 1: Точити поверхні, витримуючи розміри 5, 1, 4, 2, 3 (рис. 1.14).

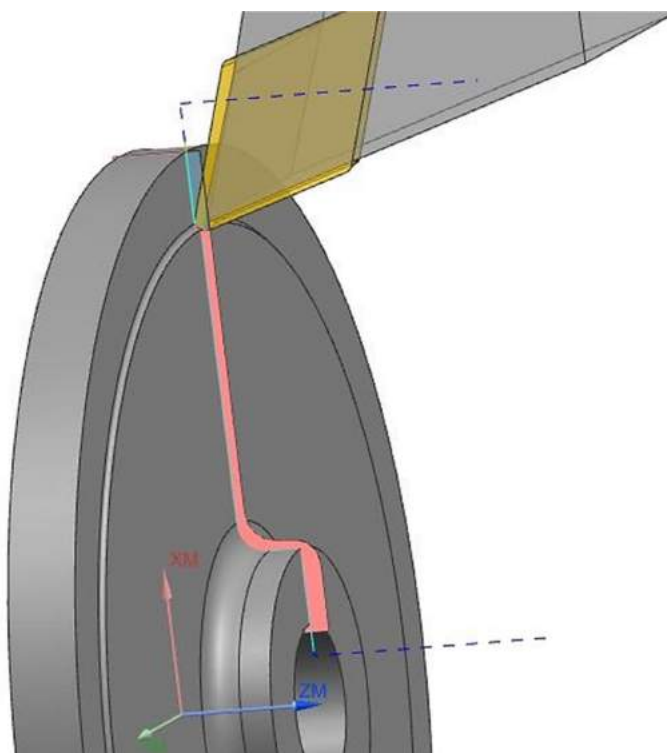


Рисунок 1.14 – Траєкторія інструменту на токарній операції 030 (перехід 1)

На рис. 1.15 показана керуюча програма.

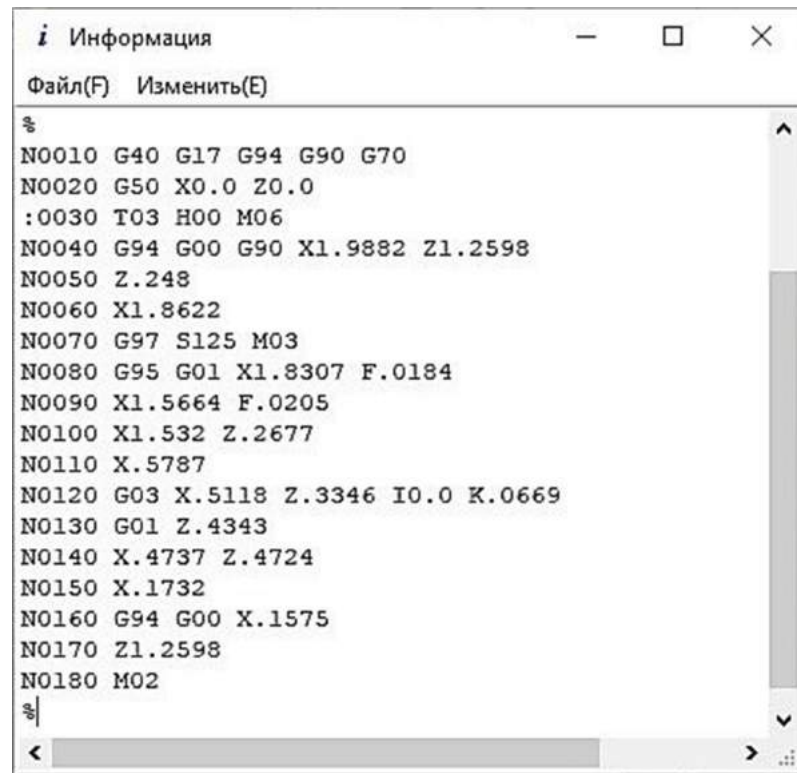


Рисунок 1.15 – Керуюча програма токарної операції 030 (перехід 1)

Перехід 2: Точити поверхню, витримуючи розмір 6 (рис 1.16).

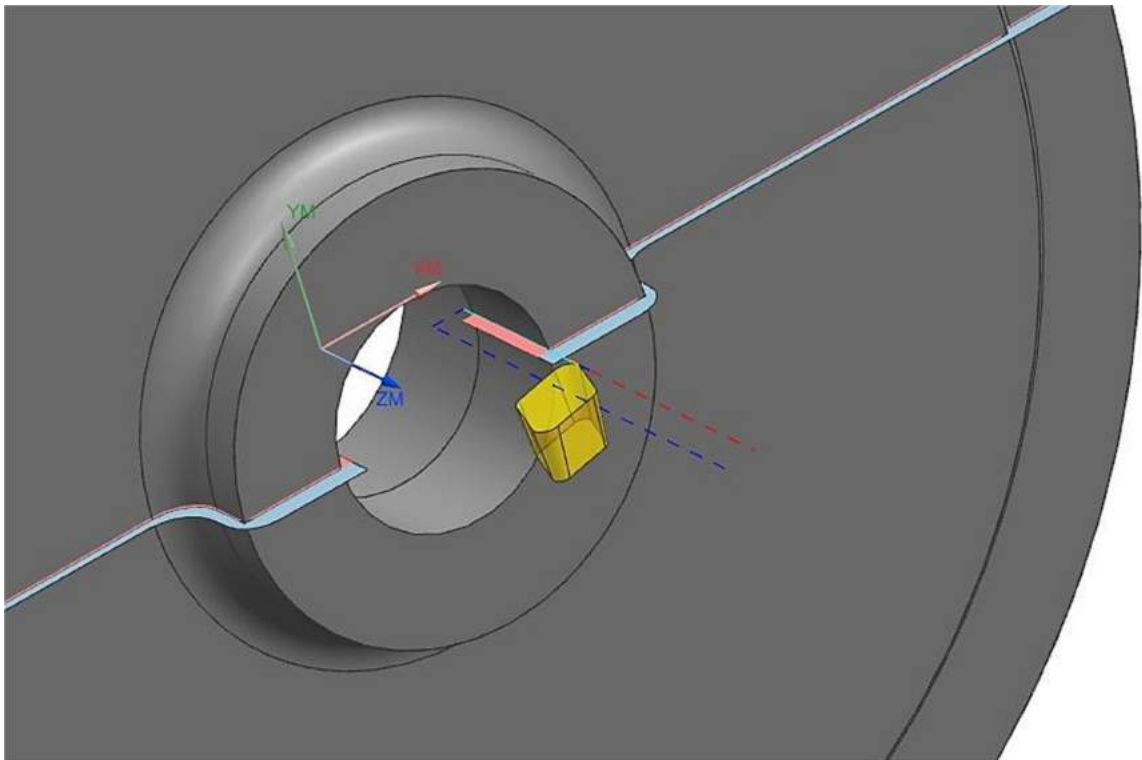


Рисунок 1.16 – Траєкторія інструменту на токарній операції 030 (перехід 2)

На рис. 1.17 показана керуюча програма.

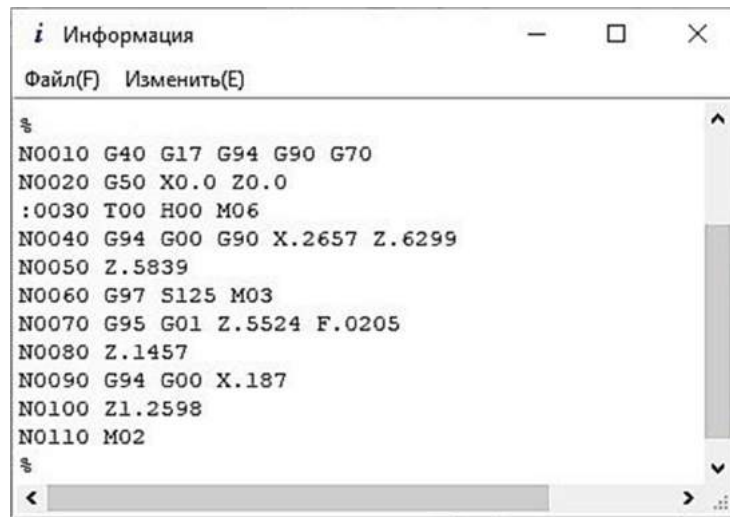


Рисунок 1.17 – Керуюча програма токарної операції 030 (перехід 2)

### 1.8.2 Розробка свердлильної операції

Операція 070 Свердлильна з ЧПК.

Операція виконується на фрезерному верстаті з ЧПК MC-654D.

Операційний ескіз показано на рис. 1.18.

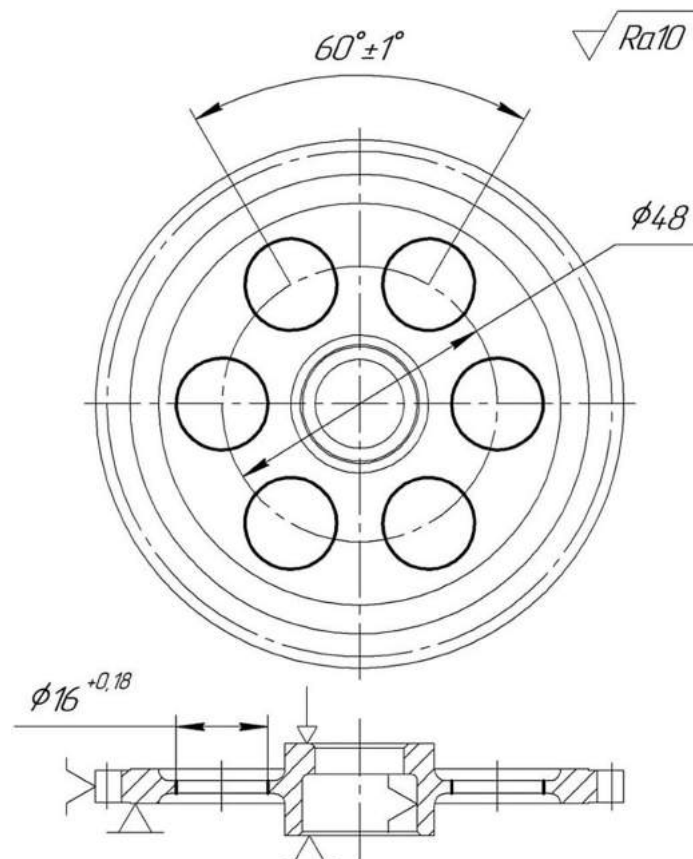


Рисунок 1.18 – Операційний ескіз свердлильної операції 070

Перехід 1: свердлити 6 отворів  $\phi 16$ мм (рис 1.19).

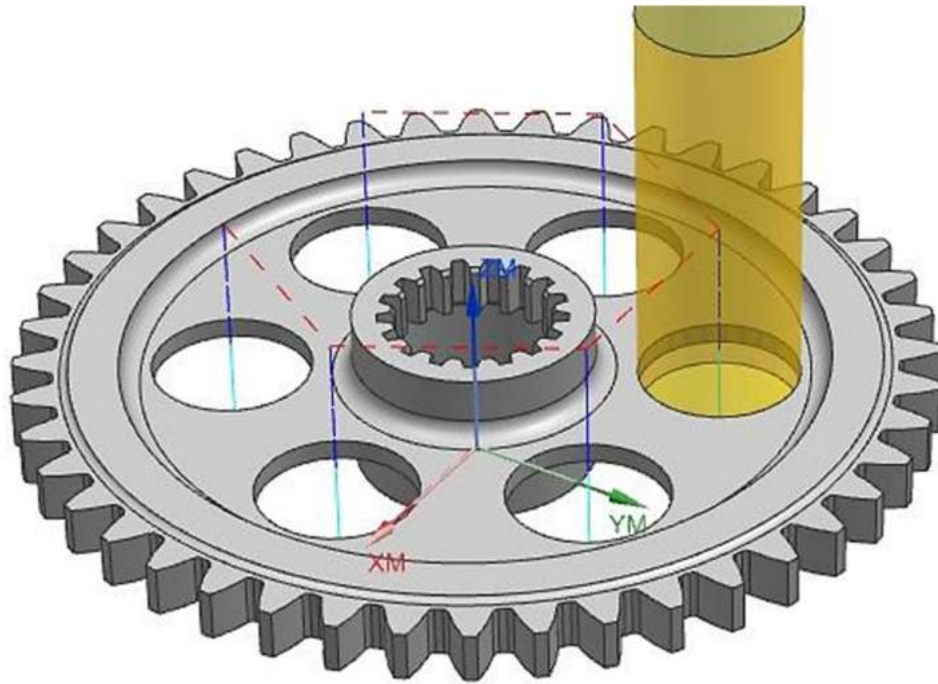


Рисунок 1.19 – Траєкторія інструменту на свердильній операції 070

На рис. 1.20 показана керуюча програма.

```

i Інформація
Файл(F)  Изменить(E)

%
N0010 G40 G17 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
N0030 T00 M06
N0040 G00 G90 X.4724 Y-.8183 S300 M03
N0050 G43 Z1.0236 H00
N0060 G81 X.4724 Y-.8183 Z.0076 R.4724 F30.
N0070 X-.4724
N0080 X-.9449 Y0.0
N0090 X-.4724 Y.8183
N0100 X.4724
N0110 X.9449 Y0.0
N0120 G80
N0130 M02
%
```

Рисунок 1.20 – Керуюча програма свердильної операції 070

### 1.8.3 Розробка фрезерної операції

Для деталі «Шестерня» немає звичайних фрезерних операцій, тому виконую ще одну токарну операцію:

Операція 030 Токарна з ЧПК

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК LT-52МС.

Операційний ескіз показано на рис. 1.21.

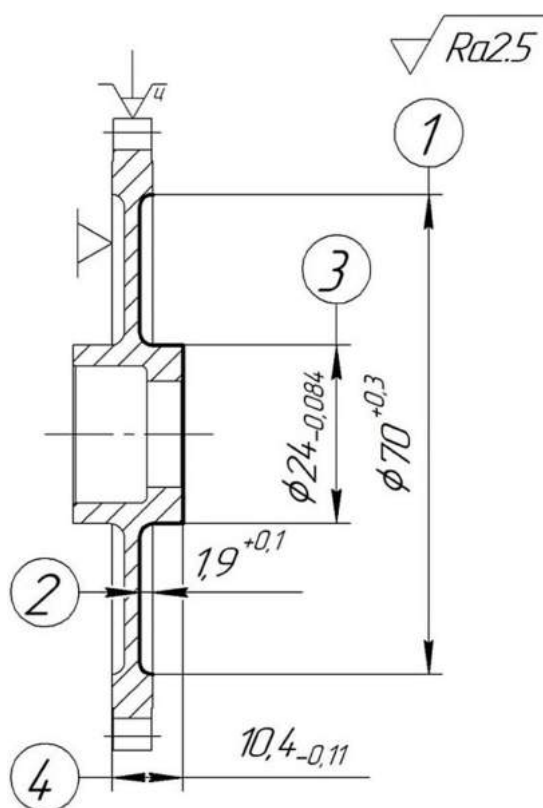


Рисунок 1.21 – Операційний ескіз токарної операції 065

Перехід 1: Точити поверхні, витримуючи розміри 1, 2, 3 (рис 1.22).

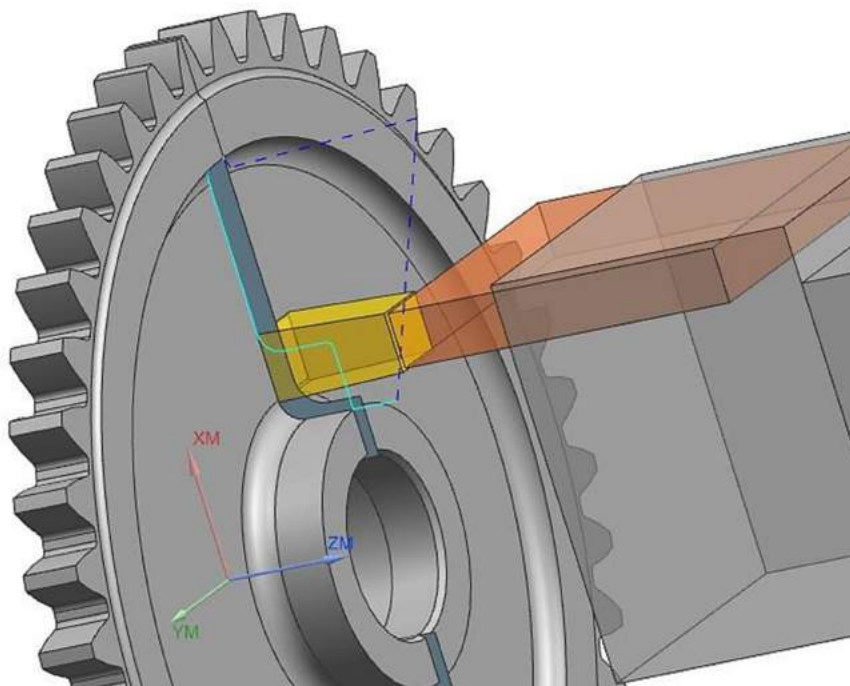


Рисунок 1.22 – Траєкторія інструменту на токарній операції 065 (перехід 1)

На рис. 1.23 показана керуюча програма.

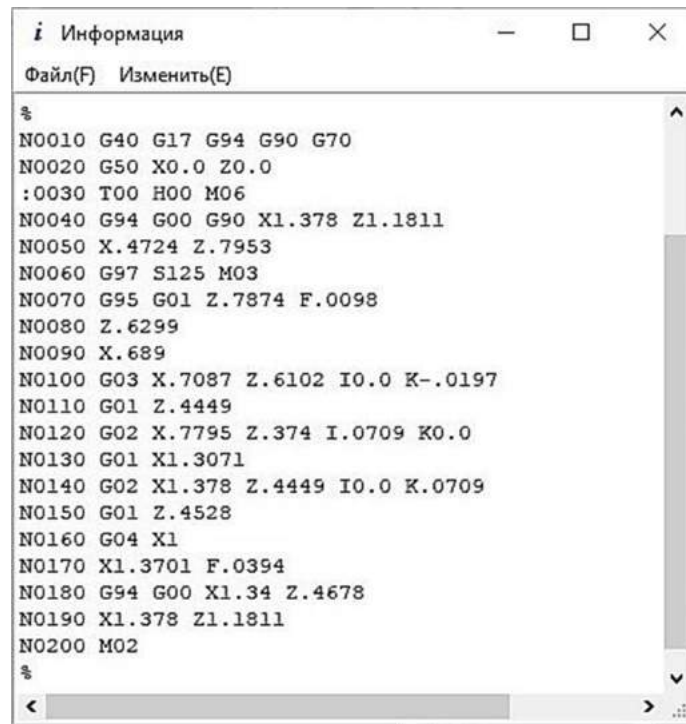


Рисунок 1.23 – Керуюча програма токарної операції 065 (перехід 1)

Перехід 2: Точити поверхню, витримуючи розмір 4 (рис 1.24).

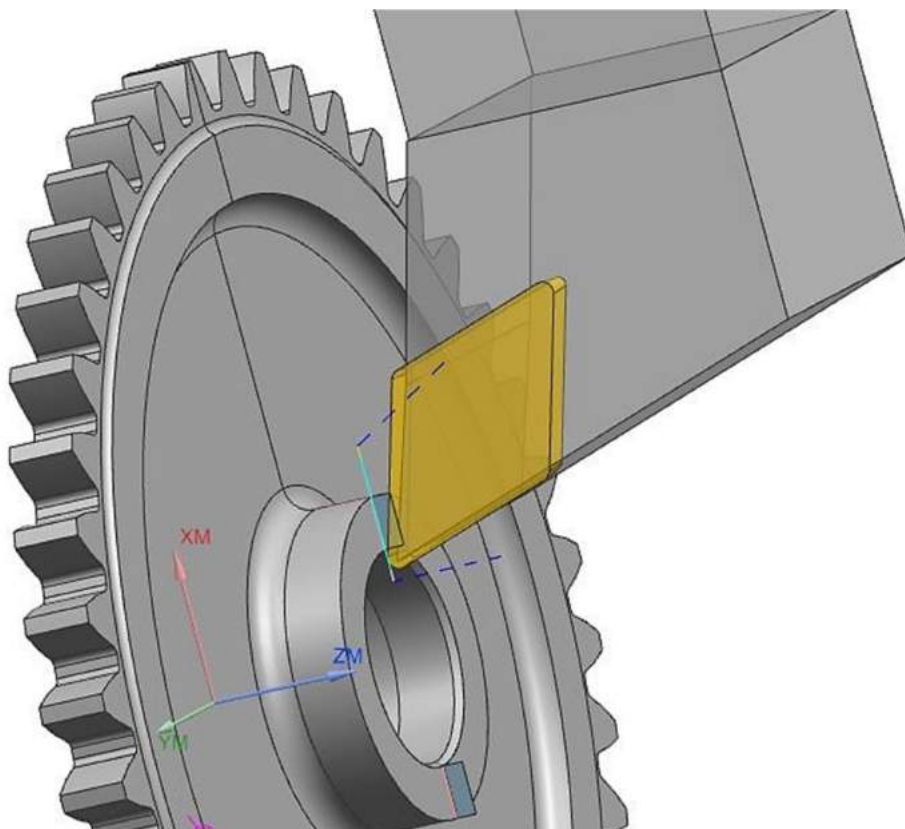


Рисунок 1.24 – Траєкторія інструменту на токарній операції 065 (перехід 2)

На рис. 1.20 показана керуюча програма.

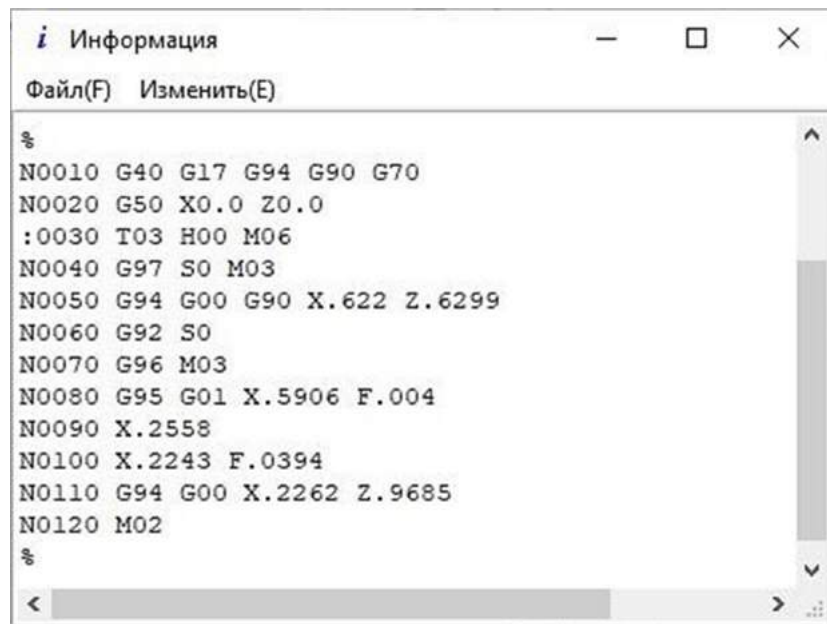


Рисунок 1.25 – Керуюча програма токарної операції 065 (перехід 2)

## 2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1 Проектування робочого пристосування

#### 2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Для обробки отворів на свердлильному верстаті найчастіше застосовують кондуктори. Кондуктор - це пристосування, що служить для установки деталей, оброблюваних на свердлильних верстатах, і мають кондукторні втулки для направлення ріжучого інструменту. Кондукторна втулка оберігає інструмент від відведення на початку різання. Для зменшення зносу втулок і зменшення зсуву осі оброблюваного отвору через можливий перекося інструменту у втулці між її нижнім торцем і поверхнею заготовки залишають зазор. Тоді стружка не проходить через втулку, а скидається в сторону.

Для деталі «Шестерня» вигідно застосувати кондуктор на операції 070 для свердління отворів по колу деталі. Застосування кондуктора дозволяє надійно базувати і закріплювати оброблювану деталь зі збереженням її жорсткості в процесі обробки, підвищити продуктивність і полегшити умови праці робітника в результаті механізації пристосувань.

Кондуктор складається з двох основних частин: корпусу і плити з кондукторних втулками. У корпусі розташований пневмоциліндр, який переміщує своїм штоком плиту з кондукторних втулками. На плиті закріплені направляючі штоки, які центрують положення плити. Також на ній встановлюються напрямні втулки, через які проходить свердло під час свердління отворів. Направляючі втулки притискаються спеціальними гвинтами. У корпус через перехідну втулку встановлюється оправлення, на яку одягається деталь.

Для затиску деталі необхідно відкрити кран пневмоциліндра. У нього подається повітря під тиском, який переміщує поршень зі штоком вниз. Плита з кондукторних втулками опускається, притискаючи через проміжне кільце деталь.

#### 2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Проведемо аналіз схем установки деталі на жорсткий циліндричний палець з вертикальною віссю під час свердління шести отворів, які показані на рис. 2.1. Деталь доцільно встановлювати на розмір  $\varnothing 20^{+0,028}_{+0,007}$ . Схема базування приведена на рис. 2.2.

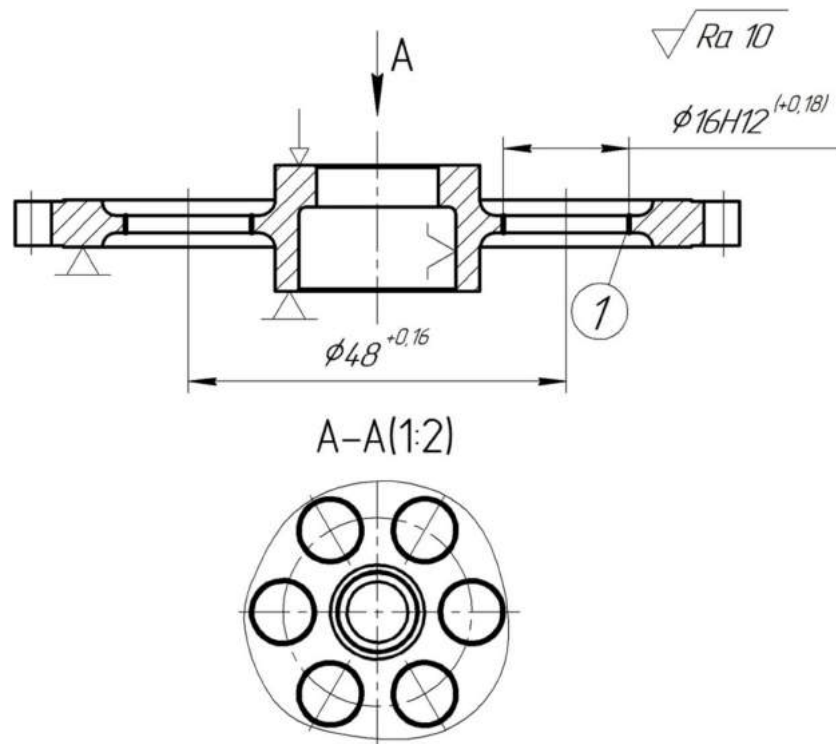


Рисунок 2.1 – Операційний ескіз

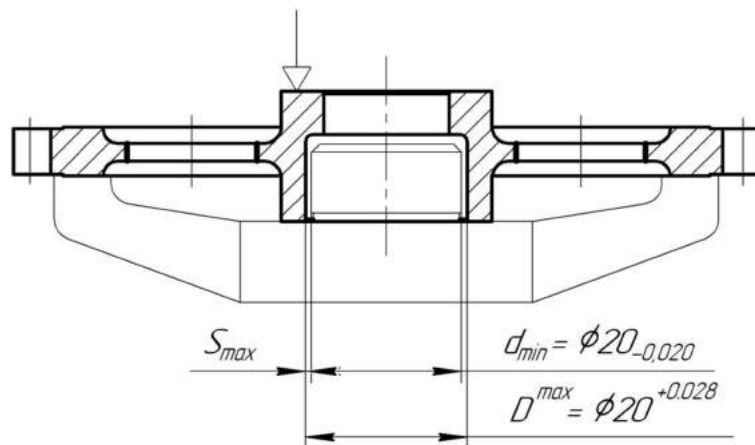


Рисунок 2.2 – Схема базування

Похибка базування на розмір  $\varnothing 20 \begin{smallmatrix} +0,028 \\ +0,007 \end{smallmatrix}$  при розмірі пальця  $\varnothing 20 \begin{smallmatrix} -0,007 \\ -0,020 \end{smallmatrix}$  становить:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\phi} &= S_{\max} = D_{\max}^o - D_{\min}^n, \\ \varepsilon_{\phi} &= 20,028 - 19,98 = 0,048 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Визначимо похибку закріплення при установці деталі на жорсткий циліндричний палець.

Похибка закріплення дорівнює нулю, тому що сила затиску спрямована перпендикулярно розміру обробки. Отже:  $\varepsilon_z = 0$

Похибка установки:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{уст.}} &= \varepsilon_6 + \varepsilon_3, \\ \varepsilon_{\text{уст.}} &= 0,048 + 0 = 0,048 \text{ мм.}\end{aligned}\quad (2.2)$$

Розрахунок пристосування на точність:

1. Номінальний розмір між вісями кондукторних втулок:

$$D_k = 45^{(+0,25)} \rightarrow T_D = 0,25 \text{ мм.}$$

2. Розраховуємо допуск на розмір кондуктора  $L_k$  по формулі:

$$T_k \leq T_D - \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \left( \frac{\Delta_1 \cdot (H + 2 \cdot (a + b))}{H} \right)^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2}, \quad (2.3)$$

де  $a$  – величина зазору для виходу стружки в процесі обробки:

$$a \cong (0,5 \dots 0,8) d_{\text{св}} \rightarrow (0,5 \dots 0,8) \cdot 16 = 10 \text{ мм.}$$

$b = 2$  мм – глибина свердління (креслення деталі);

$$\varepsilon_6 = 0,048 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_3 = 0;$$

$\Delta_1$  – частка похибки обробки, яка залежить від зсуву осі свердла щодо осі змінної втулки:

$$\Delta_1 = S_{\text{max}} = d_{\text{см. max}} - d_{\text{св. min}}, \quad (2.4)$$

$$\text{де } d_{\text{св}} = 16h7_{(-0,018)} \text{ мм,}$$

$$d_{\text{см}} = 16F8^{(+0,043}_{+0,016)} \text{ мм.}$$

$$\Delta_1 = S_{\text{max}} = 16,043 - 15,982 = 0,061 \text{ мм.}$$

$\Delta_2$  – частка похибки обробки, яка залежить від зсуву осі змінної втулки щодо осі постійної втулки:

$$\Delta_2 = S_{\text{max}} = d_{\text{o. max}} - d_{\text{с. min}}, \quad (2.5)$$

$$\text{де } d_o = 20H7^{(+0,021)} \text{ мм,}$$

$$d_s = 20g6_{-0,020}^{-0,007} \text{ мм.}$$

$$\Delta_2 = S_{\max} = 20,021 - 20,98 = 0,041 \text{ мм.}$$

$\Delta_3$  – частка похибки обробки, яка залежить від зсуву осі свердла в слідстві ексцентриситету обох втулок:

$$\Delta_3 = 2 \cdot e, \quad (2.6)$$

де  $e = 0,005$  – ексцентриситет однієї кондукторної втулки.

$$\Delta_3 = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ мм,}$$

$\Delta_4$  – частка похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу змінної втулки по напрямному діаметру:

$$\Delta_4 = 0,015 \text{ мм.}$$

Підставляємо в формулу допуску розміру кондуктора всі отримані значення:

$$T_k \leq 0,25 - \sqrt{0,048^2 + \left( \frac{0,061 \cdot (30 + 2 \cdot (10 + 2))}{30} \right)^2 + 0,041^2 + 0,01^2 + 0,015^2},$$

$$T_k \leq 0,12$$

Представляємо  $T_k$  в виді:  $\pm \frac{T_k}{2} = \pm 0,06 \rightarrow$  посилюємо до пристосування нормальної точності  $\rightarrow \pm 0,05$ .

Робимо перевірку:

$$T_k \leq \left( \frac{1}{3} \dots \frac{1}{4} \right) \cdot T_D, \quad (2.7)$$

$$T_k \leq \left( \frac{1}{3} \dots \frac{1}{4} \right) \cdot 0,25 = (\pm 0,042 \dots \pm 0,031).$$

Остаточно приймаємо:  $L_k = 48 \pm 0,05 \text{ мм.}$

### 2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Конструкція кондукторів передбачає розподіл сил закріплення заготовки між опорною і затискною поверхнею. У такому варіанті розрахунку сили тертя розподіляється між нижньою опорною поверхнею і верхньою затискною поверхнею кондукторної плити (рис. 2.3).

Якщо кілька отворів свердлять одночасно, розрахунок  $M_p$  проводять з використанням поняття неврівноваженої радіальної сили  $\Delta P$ .

$$M_p = \frac{D_0}{2} \cdot \Delta P \cdot n, \quad (2.8)$$

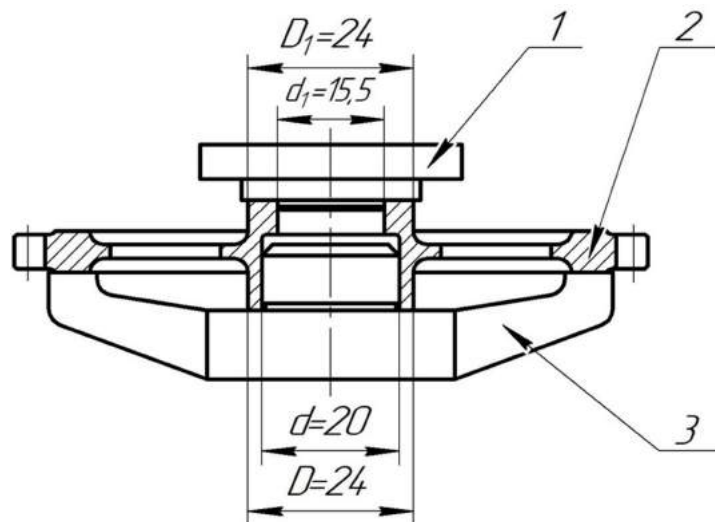
де  $\Delta P = 0,0153 \cdot (1 - k) \cdot P_0$ ,  $k = 0,5$  – свердло має дві ріжучі кромки,

$D_0 = 48$  мм – відстань між отворами,

$n = 2$  – кількість одночасно працюючих отворів.

$$\Delta P = 0,0153 \cdot (1 - 0,5) \cdot 721,2 = 5,52 \text{ Н.}$$

$$M_p = \frac{48}{2} \cdot 5,52 \cdot 2 = 264,96 \text{ Нмм.}$$



1 – верхня плита кондуктора (затискна), 2 – заготовка, 3 – нижня опора.

Рисунок 2.3 – Схема установки заготовки при свердлінні отворів

Проводимо розрахунок сили затиску:

$$W = \frac{3 \cdot M_p}{f \cdot \left( \frac{(D^3 - d^3)}{(D^2 - d^2)} + \frac{(D_1^3 - d_1^3)}{(D_1^2 - d_1^2)} \right)}, \quad (2.9)$$

де  $f = 0,17$  – коефіцієнт тертя ( $f = 0,16 \dots 0,18$ ),

$D = 24$  мм,

$d = 20$  мм,

$D_1 = 24$  мм,

$d_1 = 15,5$  мм.

$$W = \frac{3 \cdot 264,96}{0,17 \cdot \left( \frac{(24^3 - 20^3)}{(24^2 - 20^2)} + \frac{(24^3 - 15,5^3)}{(24^2 - 15,5^2)} \right)} = 72,3 \text{ Н.}$$

Розраховуємо дійсну силу:

$$W_d = k \cdot W, \quad (2.10)$$

де  $k$  – коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (2.11)$$

де  $k_0$  – гарантований коефіцієнт запасу,

$k_1$  – враховує зміну (коливання) сил різання в процесі обробки через нерівномірний припуск;

$k_2$  – враховується в усіх випадках обробки, і залежить від виду оброблюваного матеріалу і нерівномірності зносу ріжучого інструменту;

$k_3$  – враховує умови переривчастого виду обробки;

$k_4$  – характеризує затискний пристрій з точки зору сталості сил затиску;

$k_5$  – характеризує ручне затискачі з точки зору закріплення деталі;

$k_6$  – для суцільних опор (опорне кільце).

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,25$$

$$W_d = 2,25 \cdot 10,74 = 24,17 \text{ Н.}$$

Розрахунок сили на штоку пневмоциліндра.

Залежність між силою затиску  $W$  і осьовою силою  $Q$  визначають з рівняння моментів сил, щодо точки  $O$  (рис. 2.4):

$$\sum M_0 = 0$$

$$W_{\delta} \cdot l = 2 \cdot N \frac{1}{3} \cdot H, \quad (2.12)$$

З зазначеної рівності моментів:

$$N = \frac{2}{3} \cdot W_{\delta} \frac{l}{H}. \quad (2.13)$$

З іншого боку сила затиску дорівнює:

$$W_{\delta} = Q - F, \quad (2.14)$$

звідки:

$$Q = W_{\delta} + F, \quad (2.15)$$

де  $F$  – сила тертя, яка відноситься до напрямних частин прихвата, при цьому:

$$F = 2 \cdot N \cdot f,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя на направляючої поверхні прихвата.

Підставляючи в цю рівність значення  $N$ , отримуємо:

$$F = 3 \cdot W_{\delta} \cdot \frac{l}{H} \cdot f \quad (2.16)$$

Підставляючи значення  $F$ , отримуємо:

$$Q = W_{\delta} + 3 \cdot W_{\delta} \cdot \frac{l}{H} \cdot f, \quad (2.17)$$

або:

$$Q = W_{\delta} \left( 1 + 3 \cdot \frac{l}{H} \cdot f \right) \quad (2.18)$$

$$Q = 24,17 \cdot \left( 1 + 3 \cdot \frac{125}{40} \cdot 0,17 \right) = 62,7 \text{ Н.}$$

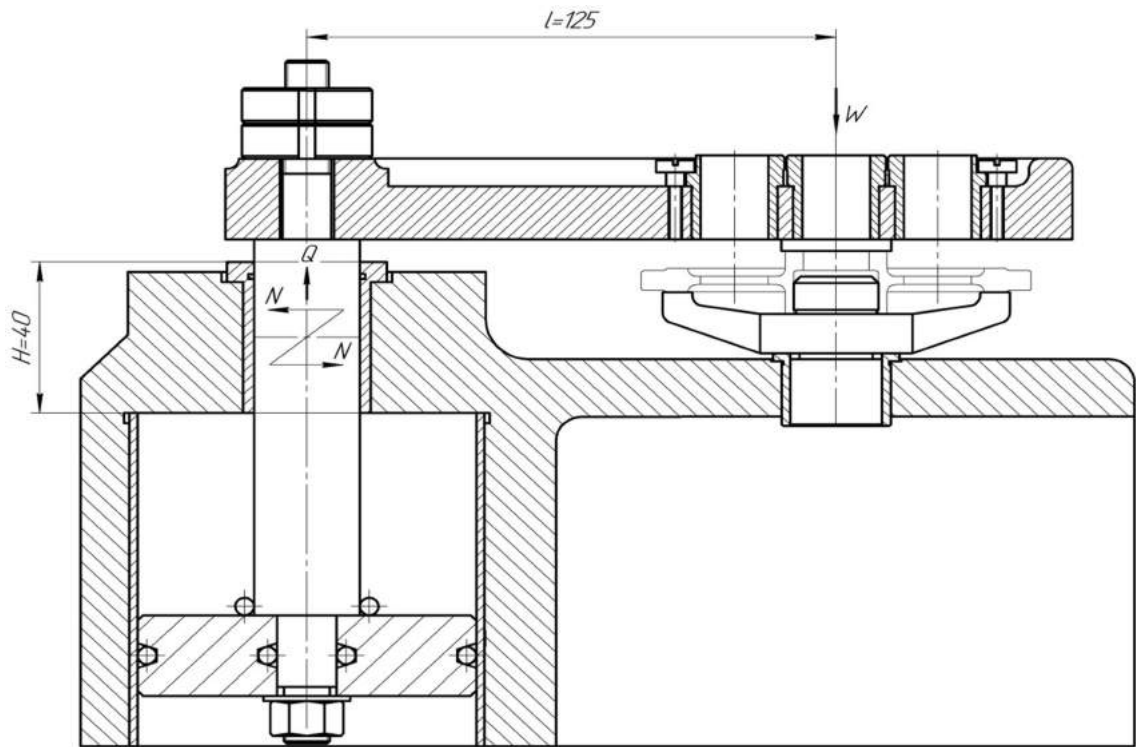


Рисунок 2.4 – Схема пневмоциліндра для визначення сили на штоку

Для закріплення вибираємо пневмоциліндр:

- $Q = 422$  Н – сила на штоку;
- $p = 0,4$  МПа – тиск повітря,  $p = 0,3 \dots 0,6$  МПа;
- $\eta = 0,97$  – к.п.д., яке враховує втрати на тертя,  $\eta = 0,95 \dots 0,99$ ;
- $d = 18$  мм – діаметр штоку.

Для цього розраховуємо:

Внутрішній діаметр різьби на штоку за формулою:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\delta_p]}}, \quad (2.19)$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 422}{3,14 \cdot 85}} = 3,7 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр різьби на штоку  $d_2 = \text{M10}$  і діаметр штока  $d = 18$  мм – [5, табл. 8, с. 434].

Діаметр пневмоциліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d^2}, \quad (2.20)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 422}{3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,97} + 18^2} = 41,34 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $D = 63 \text{ мм}$  – [5, табл. 8, с. 434].

Внутрішній діаметр болтів для кріплення кришки розраховуємо за формулою:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{Z \cdot \pi \cdot [\delta_p]}}, \quad (2.21)$$

де  $\alpha = 2,25$  – коефіцієнт затягування;

$Q = 422 \text{ Н}$  – осьове зусилля, яке діє болти;

$Z = 4$  – число шпильок (болтів);

$[\delta_p] = 85 \text{ МПа}$  – [5, табл. 7.1, с. 127];

$S_1 = 25 \text{ мм}$  – конструктивний зазор (по кресленню);

$S_2 = 4 \text{ мм}$  – гарантований зазор (1...10мм);

$\delta = 0,62 \text{ мм}$  – зазор на допуск;

$\Delta$  – зазор для компенсації пружних деформацій:

$$\Delta = \frac{P_2}{j}, \quad (2.22)$$

де  $P_2 = 62,7 \text{ Н}$  – максимальна сила, що діє на систему важеля;

$j = 2 \text{ кН/мм}$  – жорсткість системи.

$$\Delta = \frac{62,7}{2000} = 0,03 \text{ мм.}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 422}{4 \cdot 3,14 \cdot 85}} = 1,8 \text{ мм.}$$

Довжина ходу поршня:

$$H = S_1 + S_2 + \delta + \Delta, \quad (2.23)$$

$$H = 25 + 4 + 0,62 + 0,03 = 30 \text{ мм.}$$

Приймаємо:  $H = 40 \text{ мм}$  – [5, табл. 8, с. 434].

Згідно з отриманими розрахунками вибираємо пневмоциліндр по [5, табл. 8, с. 434].

Пневмоциліндр має такі параметри:

- діаметр пневмоциліндра –  $D = 63$  мм ;
- діаметр штока –  $d = 25$  мм ;
- діаметр болта  $M10 \times 1,5$  ;
- діаметр різьби штока  $M10$ ;
- довжина ходу поршня  $H = 40$  мм ;
- позначення: пневмоциліндр 7020-0195 по ГОСТ 21307-75.

## 2.2 Проектування контрольного пристосування

Радіальне биття зубчастого вінця  $F_{rr}$  по ГОСТ 1643-81 визначається як найбільша в межах зубчастого колеса різниця відстаней від його робочої осі до ділильної прямої елемента нормального вихідного контуру (одиначного зуба або западини), умовно накладеного на профілі зубів колеса. Радіальне биття зубчастого вінця є дискретним проявом коливання вимірювальної міжосьової відстані за оборот, тобто дискретною зміною радіальної складової кінематичної похибки зубчастого колеса. Допуск на радіальне биття зубчастого вінця згідно ГОСТ 1643-81 позначається як  $F_r$ .

Контроль радіального биття зубчастого вінця коліс практично полягає у визначенні за допомогою спеціальних вимірювальних наконечників положення постійних хорд зубів або западин. В цьому випадку контакт наконечника з профілями зубів повинен відбуватися по точках, відповідних кінців постійних хорд.

Перевірка радіального биття вінця зубчастих коліс проводиться на контрольному пристосуванні (рис. 2.5).

Пристосування складається зі станини, що має центри, між якими встановлюється оправлення з контрольованим зубчастим колесом. Вимірювальна каретка забезпечена індикатором часового типу, на якому закріплений вимірювальний наконечник, який може відводитися від осі колеса в радіальному напрямку і повертатися під дією пружини. Під час відведення наконечника зубчасте колесо повертається на один кутовий крок (на одну западину). Радіальний зсув вимірювального наконечника в западинах вінця фіксується індикатором. Розмах відхилень стрілки індикатора при послідовній перевірці всіх западин відповідає радіальному биттю зубчастого вінця.

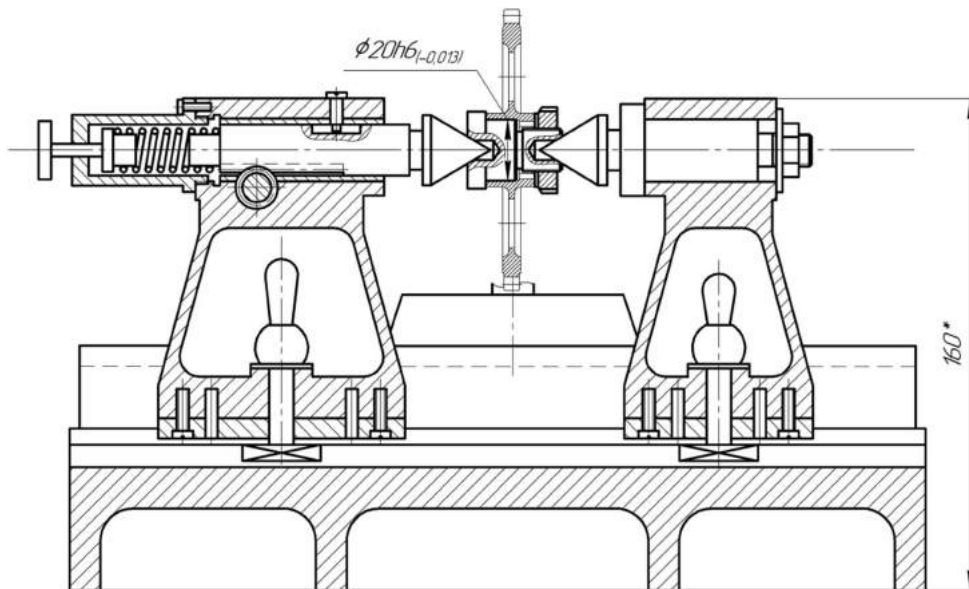


Рисунок 2.5 – Пристосування для контролю биття зубів

Розрахунок допустимої сумарної похибки вимірювань.

Допустима сумарна похибка вимірювань розраховується по формулі:

$$\Delta_{\text{вим}} = \frac{1}{k} \cdot \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2 + \Delta_7^2 + \Delta_8^2}, \quad (2.24)$$

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

$\Delta_1$  – похибка базування і закріплення,  $\Delta_1 = 0$ , оскільки співпадають технологічна і вимірювальна бази для вимірюваного параметра;

$\Delta_2$  – частина похибки установки і зносу опорних елементів пристосування;

$\Delta_3$  – частина похибки конструкції пристосування;

$\Delta_4$  – Похибка, яка залежить від ціни поділу індикатора годинникового типу; приймаємо  $\Delta_4 = 0,001$ ,

$\Delta_5$  – похибка настройки пристосування по еталону,  $\Delta_5 = 0$ ;

$\Delta_6$  – похибка від контактних деформацій;

$\Delta_7$  – похибка від температурних деформацій;

$\Delta_8$  – співвісність центрів, мм.

Частина похибки установки і зносу опорних елементів пристосування розраховується по формулі:

$$\Delta_2 = 0,5 \cdot a, \quad (2.25)$$

де  $a$  – відхилення обробленої поверхні щодо бази.

$$\Delta_2 = 0,5 \cdot 0,025 = 0,0125 \text{ мм.}$$

Частина похибки конструкції пристосування:

$$\begin{aligned}\Delta_3 &= (0,07 \dots 0,1) \cdot a, \\ \Delta_3 &= 0,085 \cdot 0,0125 = 0,01 \text{ мм.}\end{aligned}\quad (2.26)$$

Похибка від контактних деформацій:

$$\Delta_6 = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{r}}, \quad (2.27)$$

де  $k$  - коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника для загартованої сталі приймається 0,81;  
 $r$  – радіус вершини наконечника, приймається 5 мм;

$$\Delta_6 = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5^2}{0,5}} = 0,26 \text{ мкм.}$$

Похибка від температурних деформацій  $\Delta_7$  розраховується за формулою

$$\Delta_7 = l \cdot \alpha \cdot (t_1^0 - t_2^0), \quad (2.28)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалів вимірювального об'єкта і вимірювального засобу;

$l$  – довжина щупа, який здійснює контакт важеля з деталлю, приблизно дорівнює 25 мм;

$t_1, t_2$  – температури відповідно вимірюваного об'єкта і наконечника; приймається  $t_1 = 25^\circ, t_2 = 20^\circ$ .

$$\alpha = 13,4 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^\circ}, \quad (2.29)$$

$$\Delta_7 = 25 \cdot 13,4 \cdot 10^{-6} \cdot (25 - 20) = 0,0016 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\text{вим}} = \frac{1}{0,85} \cdot \sqrt{0^2 + 0,0125^2 + 0,01^2 + 0,001^2 + 0^2 + 0,00026^2 + 0,0016^2 + 0,005^2} = 0,000145$$

$$\Delta_{\text{вим}} = 0,000145 \leq [\Delta_{\text{вим}}] = 0,0007.$$

Зіставивши фактичну сумарну похибку з допустимою робимо висновок, що умова придатності виконується, пристосування можна використовувати для даної контрольної операції.

### 3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

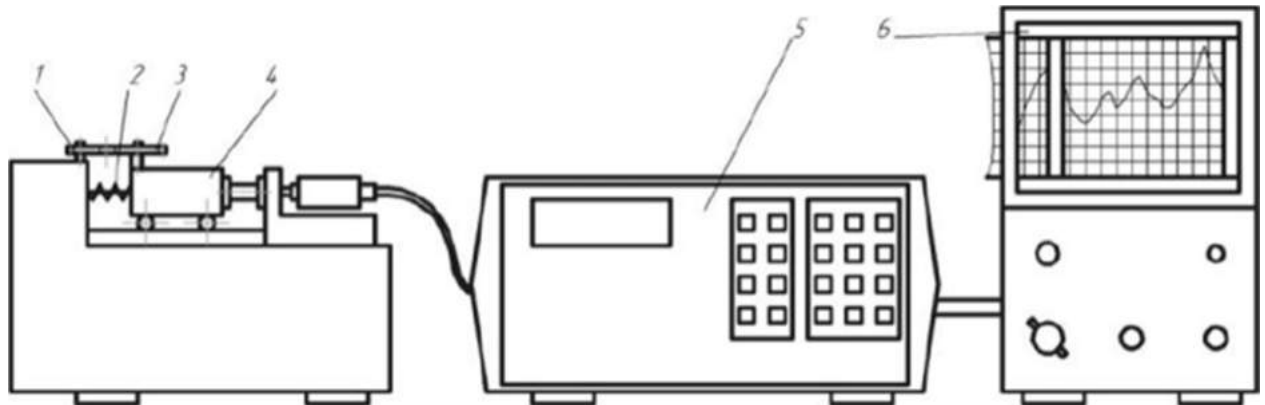
#### 3.1 Автоматизація контролю зубчастих коліс

У більшості сучасних виробів, що випускаються підприємствами машинобудування та приладобудування, використовуються зубчасті передачі, які в конструктивному, технологічному і метрологічному відношенні є одними з найбільш складних елементів машин і механізмів. Зростання вимог до якості зубчастих коліс і передач призводить до безперервного вдосконалення і ускладнення методів їх проектування, технологій виготовлення, засобів і методів контролю. При контролі зубчастих коліс крім універсальних і спеціальних засобів вимірювання типових геометричних параметрів (розмірів елементів: діаметра і відхилення від циліндричності базового отвору, шийок під підшипники вала-шестерні; відстаней між торцями; відхилень від перпендикулярності або паралельності і т.д.) застосовують велике число спеціалізованих приладів контролю параметрів, що характеризують експлуатаційні показники зубчастого колеса або зачеплення [6]. На підприємствах машинобудування і приладобудування сьогодні застосовується широка номенклатура засобів вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс. Це в основному ручні не автоматизовані прилади традиційної конструкції, випущені радянськими інструментальними заводами. Ці прилади морально застаріли і в результаті тривалої експлуатації втратили свої точнісні характеристики. Але великою проблемою є низький рівень автоматизації та вузька спеціалізація цих приладів, тобто для кожного контрольованого параметра необхідно застосовувати свій засіб вимірювання [7]. Це незручно і споживачеві (необхідно мати повний комплект різноманітних приладів) і виробнику (широка номенклатура конструкцій приладів, що випускаються неритмічно і одиничними екземплярами).

Для автоматизації контролю параметрів зубчастого вінця застосовують методи комплексного контролю, такі як: однопрофільний і двухпрофільний контроль.

У виробництві циліндричних зубчастих коліс комплексна двухпрофільна перевірка є найпоширенішим видом проміжного технологічного контролю, що застосовується після окремих операцій технологічного процесу – зубофрезерування, зубодовбання, зубошевінгування, а також після остаточної обробки зубчастого колеса, для того,

щоб на зборку не потрапляли дефектні зубчасті колеса. Типова система для 2-х профільної перевірки зубчастих коліс показана на рисунку 3.1 [8].



1 – зубчасте колесо, що перевіряється; 2 – пружина; 3 – вимірювальне колесо; 4 – рухома каретка; 5 – електронний прилад; 6 – дисплей

Рисунок 3.1 – Схема системи приладів для 2-х профільної перевірки зубчастих коліс

При контролі зубчасте колесо 1, що перевіряється знаходиться в щільному 2-х профільному зачепленні з вимірювальним колесом 3 під дією пружини 2. При взаємній обкатці внаслідок похибок зубчастого колеса відбувається переміщення рухомої каретки 4. Зсув фіксується і аналізується в електронному приладі 5, потім результати вимірювання вказуються на екрані дисплея 6 і можуть бути записані на стрічці. При цьому виді контролю перевіряють: коливання вимірювальної міжосьової відстані за оберт колеса  $F$  і на одному зубі, відхилення міжосьової відстані, припуск під шевінгування, наявність вибоїн на зубах. На сучасних приладах крім контролю в 2-х профільному зачепленні шляхом додавання до приладу вимірювальних пристроїв, які встановлюють на вісь рухомої каретки 4, можна контролювати радіальне биття  $F_r$  і відхилення кроку. Ці прилади універсального типу, з їх допомогою можна контролювати зубчасті колеса з прямими і косими зубами, зовнішнього і внутрішнього зачеплення, конічні і черв'ячні передачі [8].

Основною перевагою методу двухпрофільного контролю є короткий час вимірювання, що зручно у виробництві. При двухпрофільном контролі відображається інформація про геометрію всіх зубів. Недоліками цього методу контролю є перевірка по еталонному колесу. Для кожного вимірюваного колеса необхідно виготовити точне еталонне колесо. Наслідком контакту по двом сторонам профілю є обмежена інформативність

методу – неможливо визначити вид і величину окремих похибок (за профілем, напрямку зуба, кроку і биття). В результаті ускладнено визначення джерела похибки, що виникає при виготовленні [9].

При однопрофільному контролі оцінюється кінематична погрішність зубчастого колеса (на одному зубі і за один оборот) і циклічні похибки (рис. 3.2).

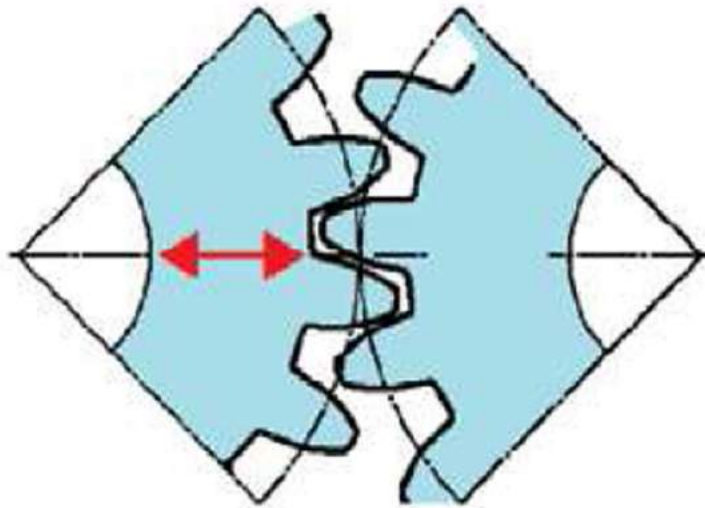


Рисунок 3.2 - Схема однопрофільного контролю

Перевагами однопрофільного контролю є короткий час вимірювання і інформація про геометрію всіх зубів. На відміну від двухпрофільного контролю, при однопрофільному контролі, завдяки контакту по одній стороні профілю зуба, виходить докладніша функціональна інформація про зуб. Недоліками цього методу контролю також є перевірка по еталонному колесу і також немає можливості визначити причину появи похибки [9].

Найбільш оптимальним на сьогоднішній день рішенням, з точки зору автоматизації, гнучкості, високої точності та інформативності, є перевірка зубчастих коліс і зуборізних інструментів на універсальних зубовимірювальних центрах (ЗЦ). Такі центри мають можливість прямого виміру не тільки похибки профілю, напрямку, кроку і радіального биття, а й топології поверхні зуба, а також форми і розташування поверхонь самої деталі (рис. 3.3) [9].

ЗЦ дозволяють вимірювати всі геометричні параметри циліндричного зубчастого вінця по основним вітчизняним і міжнародним стандартам, що є необхідним при налагодженні верстатів з ЧПК на сучасному зубообробному виробництві.

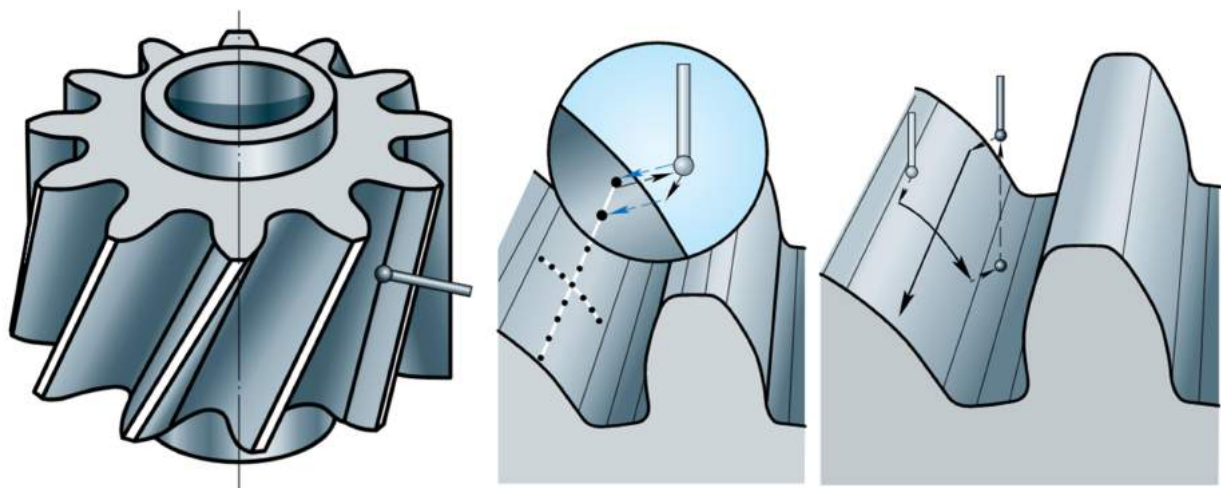


Рисунок 3.3 – Схема вимірювання шестерні на зубовимірювальному центрі

Сучасні зубообробні верстати з ЧПК забезпечують високу точність обробки. Більш того, вони забезпечують практично необмежені можливості по корекції похибок, як виникають при механічній обробці, так і при термічній обробці деталей з зубчастими вінцями.



Рисунок 3.4 – Вимірювальний центр для вимірювання зубчастих коліс

ЗЦ для контролю зубчастих коліс (рис. 3.4) мають приблизно однакову конструкцію і компоновку. На жорсткій основі з граніту або чавуну розташовані дві вертикальні колони і поворотний стіл з патроном для установки деталі. Колони також виконані з граніту або чавуну. На одній колоні на кулькових направляючих по вертикалі переміщується каретка (координата Z), на якій встановлений датчик дотику. Датчик торкання має дві координати переміщення X і Y (разом з колоною або з кареткою).

Координата  $Y$  – у напрямку до зубчастого колеса, що перевіряється, координата  $X$  – перпендикулярно координаті  $Y$ . У більшості ЗЦ застосовують тригерний або скануючий датчик дотику з вимірювальним наконечником у вигляді кулі, діаметр якого підбирають в залежності від модуля контрольованої деталі [9].

Друга колона має задній центр, що регулюється по висоті. Це дозволяє встановити вал із зубчастим вінцем або перевіряти вали зі складним профілем (розподільні вали, колінчаті вали і т.п.). В цьому випадку ЗЦ використовуються як кругломіри.

ЗЦ має поворотний шпиндель зі столом (координата  $C$ ), встановленим на кулькових направляючих з насипних куль. На столі встановлено багатокулачковий патрон для кріплення вимірюваної деталі або центр для установки вала із зубчастим вінцем. Стіл має прямий привід повороту за допомогою регульованого електродвигуна і забезпечений круговим оптоелектронним енкодером для відліку кута повороту. Переміщення по всіх координатах відраховуються за допомогою оптоелектронних лінійних і кутових енкодерів. Для калібрування ЗЦ забезпечений аттестованною сферою, яка закріплена нерухомо, і еталонним зубчастим колесом [9].

Але, звичайно, головна особливість сучасних ЗЦ – розвинене і витончене метрологічне програмне забезпечення. Фірми, що випускають координатно-вимірювальні машини (КВМ) і ЗЦ застосовують стандартні програми і багато додатків (модулів) для розрахунку геометричних параметрів та похибок різних зубчастих коліс.

Стандартне програмне забезпечення зубовимірювального центру дозволяє вибрати стратегію вимірювань параметрів зубчастого колеса з існуючих або створити нову, управляє циклом вимірювання координат заданого масиву точок, що належать реальним поверхням контрольованої деталі. Програмне забезпечення містить програму математичної обробки результатів вимірювань, проведення процедур координатної метрології, процедуру і програму калібрування датчика торкання і вимірювального наконечника, програму математичного базування для визначення положення системи координат деталі щодо координат ЗЦ і т.п.

Також програмне забезпечення містить програму для настройки ЗЦ по першій деталі вручну за допомогою джойстика або пульта керування. Це дозволяє вибрати оптимальний цикл вимірювання в автоматичному режимі і уникнути зіткнення наконечника з деталлю або частинами ЗЦ [9].

Отже, ми з'ясували, що найбільш оптимальним на сьогоднішній день рішенням, з точки зору автоматизації, гнучкості, високої точності та інформативності, є перевірка зубчастих коліс і зуборізних інструментів на універсальних зубовимірювальних центрах, які мають можливість прямого виміру не тільки похибки профілю, напрямку, кроку і радіального биття, а й топології поверхні зуба, а також форми і розташування поверхонь самої деталі. Тому пропонується його використання для зубообробних операцій при проектуванні технологічного процесу обробки деталі "Шестерня".

## 4 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

### 4.1 Забезпечення точності виготовлення зубчастих коліс

Зубчасті передачі (ЗП) є відповідальними ланками кінематичних і силових механізмів великої кількості машин. Від якості ЗП залежать експлуатаційні властивості цих машин: точність, довговічність, надійність та ін. Виготовлення, в тому числі вимірювання і контроль зубчастих коліс (ЗК) і ЗП, є складними технічними процесами, які вимагають застосування сучасних зубообробних верстатів, методів і засобів вимірювань і контролю ЗК і ЗП [10].

Точність виготовлення циліндричних ЗК регламентована ГОСТ 1643 «Передачі зубчасті циліндричні. Допуски». Стандартом встановлено дванадцять ступенів точності ЗК і ЗП, що позначаються в порядку спадання точності цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Ступені точності 1 і 2 для ЗК з модулем  $m > 1$  мм є перспективними і чисельні значення допусків і відхилень для них поки не передбачені. Для кожного ступеня точності встановлені:

- норми кінематичної точності;
- норми плавності роботи;
- норми контакту зубів.

Кінематична точність визначає ступінь узгодженості кутів повороту ведучого і веденого коліс передачі. Нормам кінематичної точності особливе значення надають у відповідальних механізмах, наприклад, в ділільних передачах керуючих і слідкуючих систем [11].

Плавність роботи обмежує похибки, багаторазово повторювані за один оборот ЗК. Норми плавності роботи мають найбільше значення в швидкісних передачах, коли передача повинна працювати безшумно і без вібрацій при великих окружних швидкостях ЗК (до 60 м/с) і великої передавальної потужності (до 40 МВт) [11].

Норми бічного зазору – це такі параметри коліс і передач, які впливають на зазор по неробочим профілям ЗК в передачі. Незалежно від ступенів точності ЗК і ЗП встановлено шість видів сполучень ЗК в передачі - А, В, С, D, Е, Н і вісім видів допуску на бічний зазор, що позначаються в порядку його зростання буквами:  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $h$ . Ці норми важливі для передач, що працюють у важких теплових умовах, при великих навантаженнях, для реверсивних передач. Передачі, до яких не пред'являють

особливих вимог по нормам точності, відносять до передач загального призначення. Точність ЗК і ЗП задають ступенями точності за нормами кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів, видом сполучення і видом допуску бічного зазору в послідовності, зазначеної на рисунку 4.1 [11].

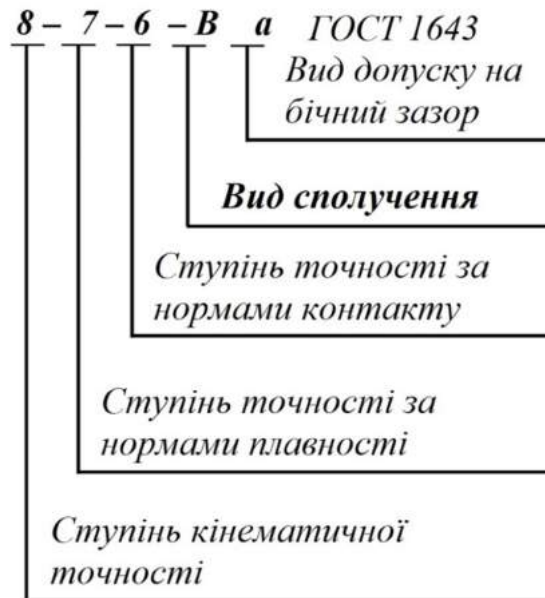


Рисунок 4.1 – Позначення точності зубчастих коліс і передач

Для вимірювання практично кожного з цих параметрів потрібен спеціалізований метрологічний засіб. Ось перелік основних засобів контролю зубчастих вінців:

- прилад для комплексного однопрофільного контролю;
- прилад для абсолютного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- прилади для відносного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- кінематомір (рис. 4.1 а);
- зубомірний мікрометр (рис. 4.1 б);
- нормалемір для визначення відхилень від номінального значення довжини загальної нормалі (рис. 4.1 г);
- биттемір (рис. 4.1 в);
- міжцентромір (рис. 4.1 д);
- хвилемір (для контролю циклічної похибки);
- евольвентомір;
- крокомір накладний (рис. 4.1 е);
- ходомір (для контролю лінії зуба);
- зубомір зсуву (рис. 4.1 ж);
- штангензубомір (рис. 4.1 з).

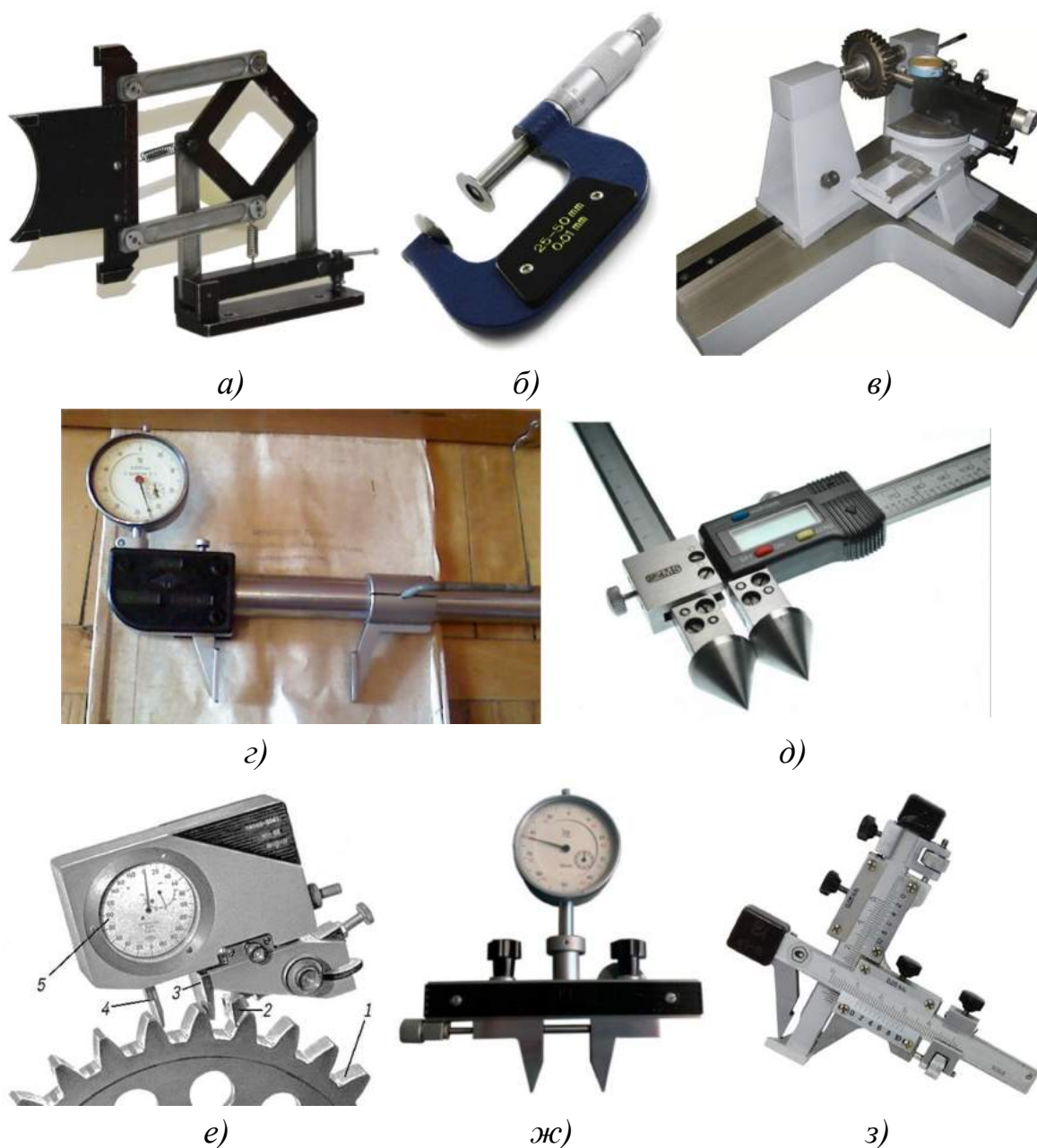


Рисунок 4.2 – Вимірювальні прилади для контролю зубчастих коліс

ГОСТ дозволяє перевірку не по всіх параметрах, а по комплексам з декількох параметрів в кожній групі. І навіть в цьому випадку потрібні різні метрологічні засоби. В результаті в метрологічній лабораторії, що перевіряє зубчасті колеса, має перебувати від одного до двох десятків приладів. Тільки в цьому випадку можна бути впевненим, що зубчасті колеса перевірені відповідно до ГОСТ.

Вимірювання геометричних параметрів проводиться, як правило, не на всій робочій поверхні зуба. Тому визначені параметри, за якими можна оцінити точність всій бічній поверхні. До цих параметрів для циліндричних зубчастих коліс відносять крок по ділильній окружності, лінію профілю і лінію напрямку зуба.

Вимірювання цих геометричних параметрів відбувається або в певних точках (крок, радіальне биття, товщина зуба), або вздовж певних ліній (профіль, напрямок зуба, модифікації). З впровадженням сучасних метрологічних засобів з'явилася можливість вимірювання всієї бічної поверхні - вимірювання топографії зуба [12].

Геометричні параметри визначаються шляхом прямого виміру розмірів, відхилень положення, напрямку та форми. Додатково можуть оцінюватися хвилястість і шорсткість поверхні.

Крім вимірювання геометричних параметрів, при контролі зубчастого вінця можуть бути здійснені функціональні перевірки. До них відносять в першу чергу перевірку кінематичної точності на приладах однопрофільного контролю, перевірку коливання вимірювальної міжосьової відстані на приладах двухпрофільного контролю, перевірку плями контакту на контрольно-обкатних верстатах, перевірку рівня шуму і перевірку передавальної здатності на відповідних приладах [12].

При вимірюванні та перевірці зубчастих коліс розрізняють окремі похибки і сумарні похибки. Окремими похибками характеризуються товщина зуба, основний і окружний крок, радіальне биття, профіль, бічна лінія і твірна. Сумарні похибки є наслідком взаємного впливу декількох окремих похибок. Сумарні похибки проявляються при перевірці зубчастих вінців на приладах одно- і двухпрофільного контролю, при перевірці плями контакту і рівня шуму.

Вимірювання ручними засобами характеризується простотою поводження з засобами вимірювання і дешевизною самих засобів вимірювання. Ці прилади можуть бути застосовані безпосередньо біля верстата. У той же час, вимір ручними засобами не дає висновку про якість зубчастого вінця, так як має обмежену інформативність результату: перевірка здійснюється по одному параметру. Крім того, існують певні складності при вимірюванні косозубих коліс [12].

Сучасні тенденції в конструкції зубчастих коліс і технології їх обробки.

Вимоги до точності виготовлення зубчастого вінця визначаються експлуатаційними вимогами до зубчатого зачеплення. До цих вимог можна віднести: зносостійкість, вібростійкість, гучність, передавальний крутний момент, надійність і плавність. Всі ці вимоги посилюються в міру розвитку техніки. Відповідно, посилюються і вимоги по точності до зубчастих вінців і удосконалюються методи контролю цих вимог [13].

На даний момент абсолютно чітко простежуються кілька тенденцій в зміні технологічних і точностних вимог до зубчастих коліс. В основі лежить посилення вимог до зубчастих передач, обумовлене підвищеними вимогами до кінцевого продукту, куди входять деталі з зубчастим вінцем (редукторів, коробок передач) [13]:

- зниження вартості;
- зниження рівня шуму;
- зниження ваги;
- зниження габаритних розмірів;
- підвищення надійності;
- збільшення передавального моменту, потужності;
- поліпшення динамічних характеристик;
- підвищення коефіцієнта корисної дії;
- збільшення терміну служби;
- збільшення ремонтпридатності.

Підвищені вимоги до виробів визначають відповідне підвищення вимог до зубчастих коліс, що входять до складу сучасних виробів. Відхилення окремих параметрів зуба і зубчастого вінця впливають на функціональні можливості зубчастого колеса або пари коліс в зубчастому зачепленні. Простіше кажучи, тільки зубчасте колесо з правильним евольвентним профілем і точним кроком забезпечує передачу обертання з постійною кутовою швидкістю [13].

Основні характеристики зубчастих коліс, які повинні бути забезпечені конструктивними і технологічними методами [14]:

- точність (динаміка, плавність роботи);
- довговічність;
- надійність;
- передача великих моментів (тертя, високі навантаження, знакозмінні навантаження);
- мінімальна вартість;
- додаткові функції (синхронізація, наявність додаткових вінців).

Ці вимоги повинні бути забезпечені відповідним контролем в процесі виготовлення деталей з зубчастими вінцями. Для забезпечення зазначених вимог до зубчастих коліс змінюється конструкція самих коліс. В першу чергу це стосується точності: основну масу становлять колеса 5-7-го ступенів точності. Ще одна тенденція є наявність модифікацій за профілем і лінії зуба (конструктивних заданих відхилень від вихідних параметрів).

Жорсткість вимог до деталей з зубчастими вінцями призвело до того, що за минулі 30 років істотно змінилася технологія обробки зубчастих коліс. З'явилася можливість реалізувати більш високі вимоги до точності коліс, що, в свою чергу, призвело до подальшого посилення допусків. Попутно зауважимо, що нові технології не тільки забезпечують більш високу якість обробки, а й істотно збільшують її продуктивність. Застосування цифрових систем управління дозволило безпосередньо застосувати результати вимірювання зубчастих коліс для підвищення якості. У традиційних технологіях підвищення точності вимагало зміни технології, зміни конструкції пристроїв, ремонту і модернізації верстатів. Для верстатів з ЧПУ досить ввести в коректори значення похибки обробленої деталі і при обробці наступної деталі похибки вже будуть компенсовані. Таким чином, отримані в результаті вимірювання зубчастого вінця значення відхилень застосовуються в сучасній технології для коригування налагодження верстата. Метою цього коригування може бути не тільки підвищення якості обробленого вінця, а й оптимізація параметрів зубчастого зачеплення. Як наслідок, методи та обладнання для контролю зубчастих вінців все глибше інтегруються в виробничий процес механічної обробки [14].

#### 4.1.1 Методи фінішної обробки зубчатих коліс

Розглянемо методи фінішної обробки зубчастих коліс, які можуть забезпечити, описані вище, показники точності і якості зубчастого вінця для деталі «Шестерня».

##### Зубошевінгування.

Шевінгування дисковим шевером є простим і ефективним методом. Воно набуло широкого застосування для чистової обробки незагартованих зубів (твердість до HRC 32) прямозубих і косозубих циліндричних коліс (зовнішнього і внутрішнього зачеплення) після зубофрезерування або зубодовбання. Шевінгування застосовують для зменшення шорсткості поверхні на профілях зубів, зниження рівня шуму і підвищення точності зубчастого зачеплення шляхом виправлення помилок кроку, напрямку зуба, профілю тощо. Шевінгуванням можна підвищити точність на один-два ступеня. Шевінговані зубчасті колеса мають 5-7 ступінь точності і параметр шорсткості поверхні  $Ra = 0,8...2,5$  мкм. Точність після шевінгування насамперед залежить від точності коліс після зубофрезерування (або зубодовбання) і коефіцієнта перекриття між шевером і оброблюваним колесом. При шевінгуванні за допомогою налагодження верстата можна

здійснювати подовжню модифікацію зубів і отримувати конусну і бочкообразну форми, що запобігають концентрації навантаження на кінцях зубів. Шевером можна проводити профільну модифікацію зубів для компенсації деформацій, отриманих в процесі термічної обробки, зниження рівня шуму і підвищення терміну служби зубчастої передачі [15].

Шевінгування характеризується малим циклом обробки і часом на установку і зняття деталі з верстата. На відміну від шліфування при шевінгуванні можна виконувати чистову обробку зубів закритих вінців [15].

При зубошевінгуванні ріжучим інструментом є дисковий шевер, що має вигляд косозубого або прямозубого колеса. Осі шевера 1 (рис. 4.3) і оброблюваного колеса 2 перетинаються, утворюючи гвинтову передачу, яка здійснює рух обкату по висоті зуба (евольвенті) і гвинтовий рух (ковзання) у напрямку довжини зуба. Профілі зубів шевера мають ряд дрібних зубчиків 3, розташованих паралельно торцю, межі зубчиків утворюють ріжучі кромки. В процесі шевінгування шевер і оброблюване колесо обертаються в безззорному зачепленні, в результаті взаємодії між інструментом і заготовкою і відносного ковзання зубчики шевера при переміщенні по поверхні зуба колеса впроваджуються в неї і знімають тонку стружку у вигляді волоска. Чим менше тиск між шевером і оброблюваним колесом, тим тонше стружка. Оброблюване колесо закріплюється вільно, обертання йому передається від шевера, кінематичний зв'язок між інструментом і деталлю відсутній. У більшості методів під час циклу шевінгування оброблюване колесо, крім обертання, має зворотно-поступальний рух і в кінці кожного робочого ходу переміщується радіально на шевер [15].



Рисунок 4.3 – Схема шевінгування зубчастого колеса

### Режими різання при шевінгуванні.

При шевінгуванні визначають три основних параметри режиму різання: окружну швидкість шевера, поздовжню і радіальну подачі. Додатково визначають число поздовжніх ходів і припуск під шевінгування. Окружна швидкість шевера  $v$  на практиці приймається рівною 90...130 м/хв і уточнюється з урахуванням часу обробки і стійкості інструменту. Частота обертання шевера  $n_0 = 1000 v_0 / (z_0 m_0 \pi)$ , де  $z_0$  - число зубів шевера;  $m_0$  - модуль шевера. Зі збільшенням окружної швидкості стійкість шевера знижується. Поздовжня подача (на оберт колеса), що застосовується зазвичай при паралельному і діагональному шевінгуванні,  $S_{np} = 0,15 \dots 0,50$  мм/об [15].

Хороші результати забезпечуються при  $S_{np} = 0,25$  мм/об. Швидкість подачі  $v_s = S_{np} n_0 = 0,25 n_0 (z_0 / z)$ . На практиці приймають  $S_{np} = 75 \dots 125$  мм/хв.

Припуск під шевінгування повинен бути таким, щоб забезпечити видалення похибок в зубчастому зачепленні, що виникли після зубофрезерування або зубодовбання. Надмірно великий припуск збільшує час обробки, викликає похибки профілю і знижує термін служби шевера, а при надмірно малому припуску можуть залишитися необроблені ділянки [15].

Число поздовжніх ходів залежить від припуску, що знімається. Практично сумарне число ходів становить 6-10 (з них 2-4 - калібрують). Занадто велике число ходів при малій радіальній подачі погіршує умови різання і знижує стійкість інструменту [15].

Шевінгування виконується на зубошевінгувальних верстатах, таких як зубошевінгувальний напівавтомат ВСН-732CNC2 (рис. 4.4). Він призначений для чистової обробки шевером (після зубофрезерування або зубодовбання і зняття фасок на торцях зубів) незагартованих прямозубих і косозубих циліндричних зубчастих коліс, а також зубчастих коліс з бочкообразною і конічною формою зуба методом поздовжньої, діагональної, поперечної і врізної подач. Напівавтомат має компоновку з горизонтальною віссю виробу. Він оснащений релейною схемою управління, механізованим приводом радіального врізання, електроприводом SIEMENS, панеллю оператора, програмним контролером і приводами SIEMENS, системою ЧПУ SINUMERIK 802D, електроприводами і іншим електрообладнанням SIEMENS і має синхронні електронні кінематичні зв'язки для отримання бочкоподібних і конусних зубів замість механічних [16].



Рисунок 4.4 – Зубошевінгуваний полуавтомат BSH-732CNC2

#### Зубошліфування.

При аналізі існуючих технологічних процесів і середньої досягаємої точності зубчастих коліс можна зробити висновок, що найбільш ефективним методом фінішної обробки робочих поверхонь зубів є зубошліфування. У порівнянні з іншими методами обробки воно дозволяє не тільки істотно знижувати похибки зубів, отримані на попередніх механічних операціях і при термічній обробці, а й стабільно отримувати поверхні зубів з параметрами точності в заздалегідь визначеному діапазоні [17].

Слід зазначити, що зубошліфування стабільно забезпечує параметр шорсткості поверхні зубів  $Ra = 0,4$  мкм, а при додаткових витратах для оптимізації процесу (режимів різання, ріжучих і правлячих інструментів, мастильно-охолоджувальної рідини) можливе досягнення  $Ra = 0,2$  мкм. Значною перевагою зубошліфування є можливість відтворення різних модифікацій бічної поверхні зуба. Незважаючи на велику різноманітність методів шліфування зубів циліндричних коліс, а також верстатів, ріжучих і правлячих інструментів, технологічної оснастки для їх відтворення останнім часом застосовують тільки два методи зубошліфування: черв'ячним шліфувальним кругом з безперервним діленням; двостороннім конічним шліфувальним кругом з періодичним діленням. Зубошліфування обома методами може бути як обкатним, так і профільним [17].

#### Принципи утворення зубів.

При обкатном шліфуванні ріжучий інструмент, що має форму зубчастої рейки, за допомогою обвідних різів обкатного руху, радіальних і осьових

рухів подачі реалізує евольвентний профіль і подовжню форму зуба. Точковий дотик, постійно змінюється на профілях зубів шліфувального круга і заготовки, обумовлює рівномірне зношування круга при шліфуванні. Точність обкатного шліфування більшою мірою залежить від точності руху верстата, ніж від геометрії інструменту. При профільному шліфуванні ріжучий інструмент, профіль якого має точну копію зуба колеса, за допомогою радіального і осьового або тільки окружного руху подачі формує необхідну геометрію зуба. Дотик шліфувальним кругом і зубами заготовки відбувається по лінії, що сприяє підвищенню знімання металу при шліфуванні без збільшення термічного навантаження на зуби заготовки. Точність профільного шліфування залежить тільки від точності профілю шліфувального інструменту і його здатності тривалий час зберігати ріжучі властивості або періодично точно відновлювати їх за допомогоюправлячих пристроїв [18].

Методи шліфування зубів.

Безперервне обкатне зубошліфування є одним з найбільш поширених методів шліфування зубів. Як інструмент використовують черв'ячний шліфувальний круг 1 (рис. 4.5), вихідний контур якого має форму губчастої рейки.

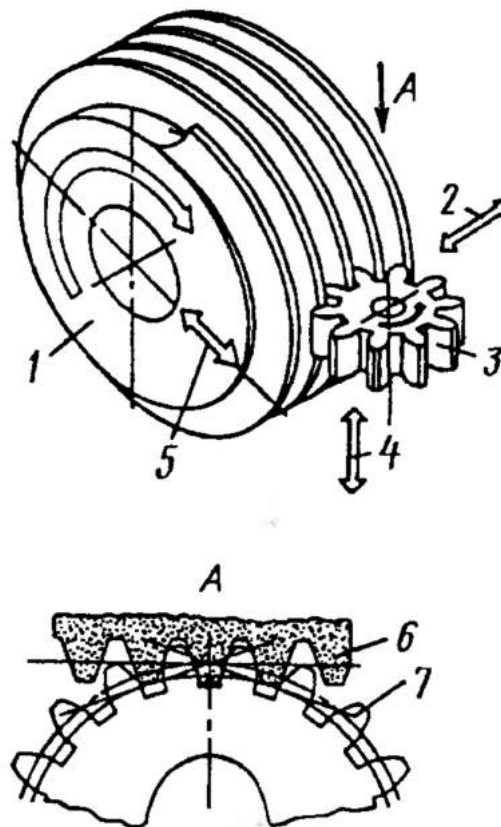


Рисунок 4.5 – Схема безперервного обкатного зубошліфування

Евольвентний профіль зуба утворюється за допомогою руху обкату черв'ячного шліфувального круга 1 і зубчастого колеса 3, що знаходяться в безззорному зачепленні. Точковий контакт на кількох лівих і правих бічних поверхнях зубів 7 колеса 3 і витків 6 кола 1 при їх безперервному обертанні забезпечує безперервне знімання матеріалу. Завдяки рухам подачі круга в радіальному напрямку 5 і заготовки в осьовому напрямку 4 шліфується вся ширина зубчастого вінця. Особливістю технології зубошліфування методом безперервного обкату є необхідність точної синхронізації обертання черв'ячного шліфувального круга і оброблюваного зубчастого колеса. Шліфування здійснюють зі швидкістю 35...63 м/с [18].

Безперервне профільне зубошліфування виконують черв'ячним шліфувальним кругом 1, зовнішня поверхня якого має глобoidну форму (рис. 4.6). Контакт шліфувального круга 1 і заготовки 2 здійснюється по лінії одночасно на декількох лівих і правих бічних поверхнях зубів, що дозволяє істотно збільшити зняття металу. У процесі шліфування черв'ячний круг безконтактно вводять в зуби колеса 2, а потім керованим обертотним рухом заготовки здійснюють чорновий і чистовий рух подачі і обробляють всі ліві бокові поверхні зубів колеса. Потім змінюють напрямок руху і шліфують всі праві бічні поверхні. З зачеплення круг виводять також безконтактно [18].

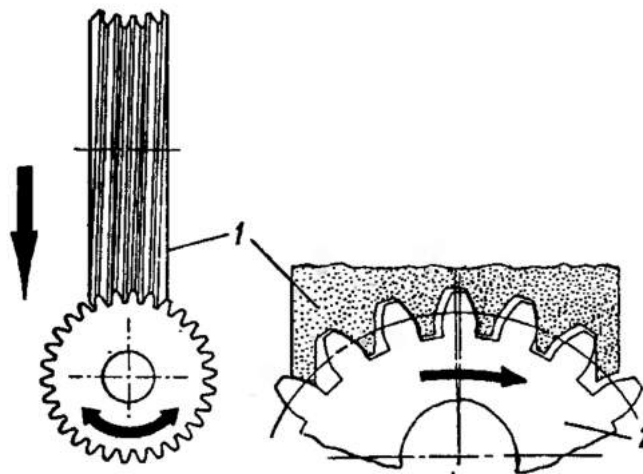


Рисунок 4.6 – Схема безперервного профільного зубошліфування

Переривчасте обкатне зубошліфування виконують двостороннім конічним кругом 1, що має теоретичний рейковий профіль (рис. 4.7, а). Евольвентний профіль зубів оброблюваного колеса 3 утворюється під час їх взаємного обкату з прямобічним профілем шліфувального круга, що обертається і здійснює зворотно-поступальні рухи уздовж осі колеса. Оброблюване колесо при обкаті обертається і переміщується вздовж рейки 2,

одним зубом якої є двосторонній конічний круг. Якість профілю зуба підвищується зі збільшенням числа огинаючих різів, що досягається великою частотою зворотно-поступального руху круга і маленькою подачею при його обкаті [18].

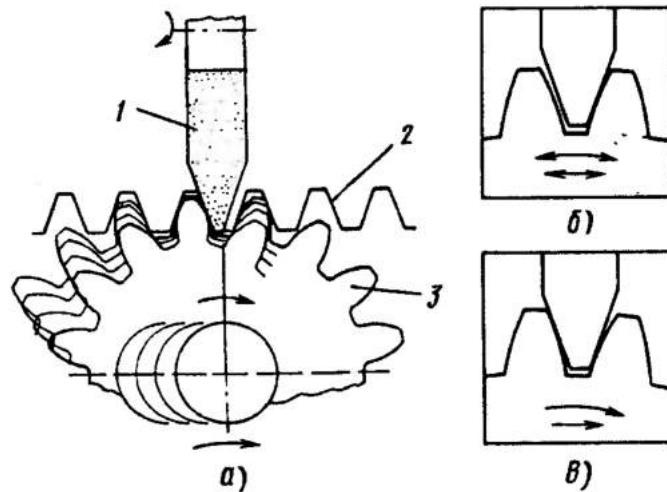


Рисунок 4.7 – Схема переривчастого обкатного зубошліфування

Однопрофільне обкатне зубошліфування (рис. 4.7, б) застосовують в дрібносерійному виробництві при обробці зубчастих коліс з різними модулями одним і тим же шліфувальним кругом, а також при різних модифікаціях по довжині на лівій і правій сторонах зуба [18].

Двухпрофільне зубошліфування (рис. 4.7, в) більш продуктивне, ніж однопрофільне, його застосовують при обробці великих партій заготовок. Поряд зі зменшенням часу шліфування досягається рівномірний розподіл сили різання при шліфуванні на обидві поверхні круга і більш висока точність напрямку зуба [18].

Переривчасте профільне зубошліфування виконується обертовим шліфувальним кругом при поздовжньому русі подачі заготовки 2 (рис. 4.8, а). Профіль круга при шліфуванні прямозубих коліс відповідає западині зубів оброблюваної заготовки, а при шліфуванні косозубих коліс має незначні відхилення. Западина зубів шліфується за один, два або кілька робочих ходів 6-8 (рис. 4.8, б). При цьому в кінці кожного робочого ходу шліфувальний круг 3 завдяки радіальному руху подачі 4 поглиблюється в заготовку 5 [19].

Метод переривчастого профільного шліфування застосовують також для обробки зубчастих коліс зі специфічними геометричними параметрами (мале число зубів, великий кут профілю, маленька лінія зачеплення), обробка яких шевінгуванням або безперервним обкатним шліфуванням затруднена [19].

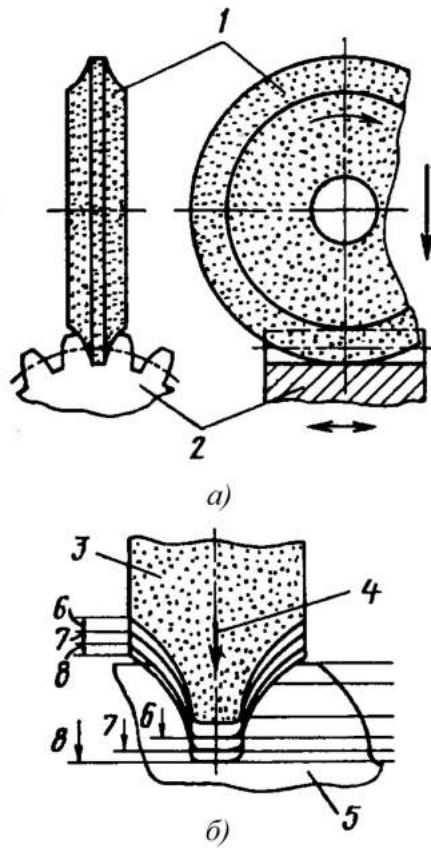


Рисунок 4.8 – Схема переривчастого профільного зубошліфування

На сьогоднішній день найбільшу продуктивність і точність забезпечують сучасні зубошліфувальні верстати з ЧПК. Наприклад, верстати RAPID MFM фірми HOFLER виконують за одне встановлення заготовки шліфування зубчастого профілю, базового отвору, контрольного пояску на торці заготовки і діаметра вершин зубів до і після шліфування зубів. Це дозволяє істотно знизити допоміжний час за рахунок скорочення додаткових установок заготовки і підвищити точність взаємного розташування поверхонь (рис. 4.9) [20].

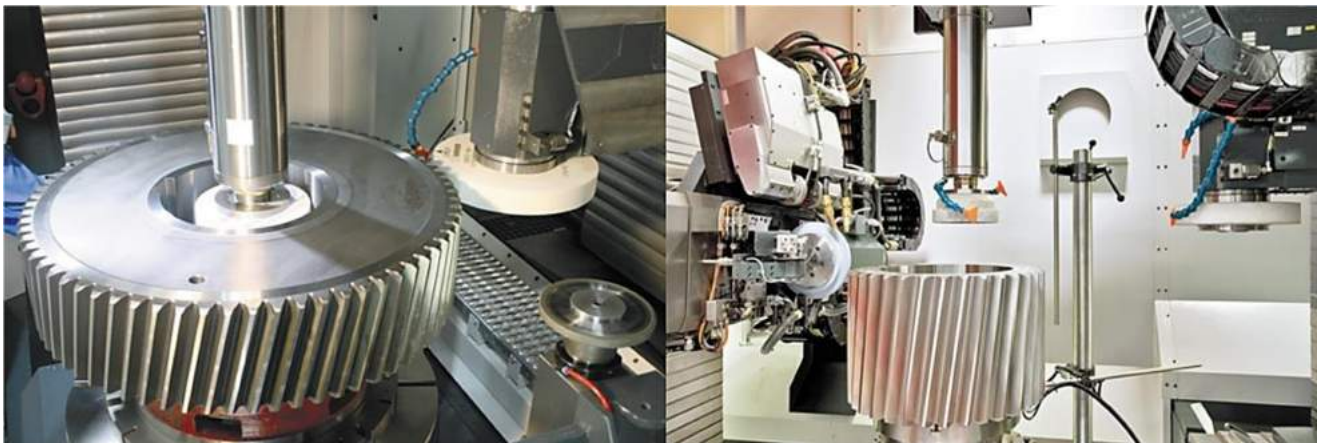


Рисунок 4.9 – Приклад обробки на верстаті HOFLER



Рисунок 4.10 – Зубошліфувальний верстат HOFER RAPID 800

На верстатах фірми «Рейсхауер» (Швейцарія) мод. RZ 362, H28, RZ 400, RZ 1000 (рис. 1.11), які здійснюють безперервне обкатне шліфування, високої точності синхронізації досягають завдяки відповідній конструкції електронного регулятора і шпинделя заготовки, миттєве кутове положення якого відстежується і коректується синхронно з обертанням шліфувального круга. Ці верстати стабільно забезпечують 3-5 ступінь точності зубів, причому за показниками кінематичної точності і плавності зачеплення точність зубів, обумовлена безперервним процесом шліфування, значно вище. На верстатах можуть бути виконані практично всі модифікації за профілем і довжині зуба, що зустрічаються в промисловості. Автоматична система центрування, встановлена на верстатах, за допомогою безконтактного сенсора забезпечує швидке зачеплення обертових зубів заготовки і витків шліфувального круга. Вирішальне значення для надійності процесу обкатного безперервного зубошліфування має можливість оптимізації режимів шліфування в залежності від необхідної точності зубчастих коліс. Програмне забезпечення верстата дає оператору рекомендації щодо вибору параметрів шліфування для зубчастих коліс з точністю 4-6-го ступеня. Якщо потрібно дуже висока точність (вище 3-го ступеня), то застосовують маятниковий шліфування [18].



Рисунок 4.11 – Зубошліфувальний верстат RZ 1000 фірми REISHAUER

#### Зубохонінгування.

Обробка зубчастим хонем з зовнішнім зачепленням зубів аналогічна процесу зубошевінгування. При хонінгуванні ведучим елементом є хон 1, зуби якого знаходяться в безззорному зачепленні з зубами оброблюваного колеса при куті схрещування осей  $\gamma = 10 \dots 15^\circ$  (рис. 4.12). Зубчасте колесо 2 крім обертання здійснює зворотно-поступальний рух уздовж своєї осі. Величина поздовжнього переміщення заготовки повинна забезпечувати обробку зубів по всій довжині. Можлива обробка бочкоподібних зубів. Зубохонінгування виконують з подачею в зону різання мастильно-охолоджувальної рідини.

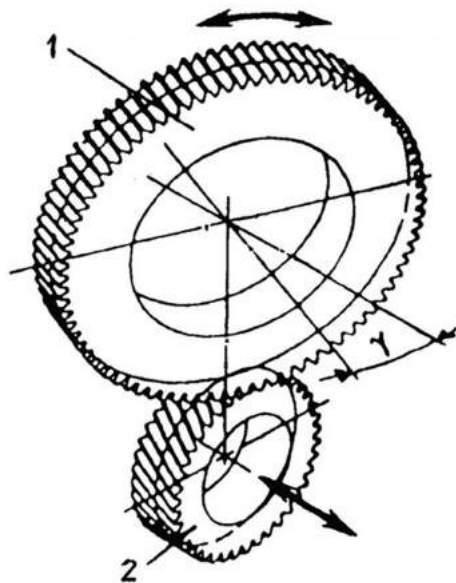


Рисунок 4.12 – Схема обробки заготовки хонем із зовнішнім зачепленням

Радіальний підтиск заготовки до хону (в розпір) здійснюють з силою 150...450 Н. В процесі хонінгування вершина і профіль зуба колеса 2 постійно контактують з западиною і профілем зуба хона 1 в точках 4 (рис. 4.13). Зуби заготовки під тиском поступово впроваджуються у западини зубів хона так, що на вершині головки зубів хона утворюється закруглення, яке забезпечує плавний вхід в зачеплення [21].

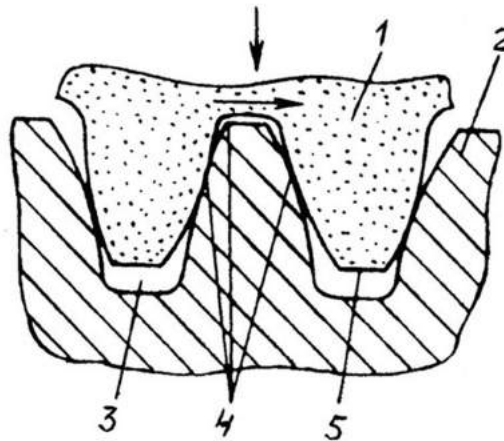


Рисунок 4.13 – Безззорне двухпрофільне зачеплення зубів хона і заготовки

По мірі зношування хона його зуби збільшуються по висоті. Хонінгування триває до тих пір, поки вершини зубів хона не торкнуться западин 3 зубів заготовки, що може викликати їх поломку. Тому зношені зуби хона періодично правлять, знімаючи з зовнішнього діаметра хона 1...2 мм за одну правку і 15...25 мм за весь період служби, забезпечуючи необхідний радіальний зазор [21].

Дослідженнями встановлено, що при радіальному навантаженні хонінгування виконують з великими силами різання. Це забезпечує інтенсивне знімання металу, зменшення радіального биття зубчастого вінця і похибки напрямку зубів, скорочення машинного часу і ефективне видалення з поверхні зубів різних пошкоджень і задирів.

При обробці хонами із зовнішнім зачепленням використовують такі режими обробки: число обертів хона 180-250 об/хв, швидкість подачі столу 180-220 мм/хв, число ходів столу 4-8, машинний час обробки одного зубчастого колеса 30-60 с. Напрямок обертання хона змінюється в кінці кожного ходу столу [21].

Зубчастий хон із зовнішнім зачепленням представляє собою прямозубе або косозубе колесо, що складається зі сталевий маточини 2 і робочої частини 1 з абразивного матеріалу (рис. 4.14, а). Зубчастий хон проектується для

кожного зубчастого колеса, число його зубів не повинно бути кратним числу зубів оброблюваного колеса. Для зубчастих коліс з модулем 3-5 мм: зовнішній діаметр хона 220-250 мм, ширина вінця 20-25 мм, кут схрещування вісей 10-15°, радіальне биття зубчастого вінця нового хона 0,07-0,10 мм, термін служби 1500-3000 заготовок [18].

Процес зубохонінгування хонем зовнішнього зачеплення, розроблений в 60-х роках минулого століття, спочатку застосовувався виключно після операцій зубошевінгування і хіміко-термічної обробки (ХТО). Він дозволяє при знятті невеликого припуску (0,01 ... 0,03 мм) зменшити шорсткість поверхні до  $Ra = 0,32-1,25$  мкм, видаляти забоїни і задири величиною до 0,3 мм і знизити рівень шуму при зачепленні зубчастої передачі на 2-4 Дб. При цьому похибки параметрів зубів усуваються незначно [21].

Останнім часом багато підприємств в автомобільній і авіаційній промисловості стали застосовувати зубохонінгування хонами із зовнішнім зачепленням після операції зубошліфування, як правило, профільного безперервного. Метою є підвищення плавності зачеплення і зниження шорсткості поверхні зубів до  $Ra = 0,2...0,3$  мкм без зниження їх точності після зубошліфування. Особливістю конструкції хона із зовнішнім зачепленням є наявність під абразивним (робочим) шаром 3 із середнім розміром зерна 63...80 мкм демпфуючого шару 4 з пружного матеріалу. Цей шар зменшує вібрації, що виникають при зубохонінгуванні, і підвищує термін служби інструменту (рис. 4.14, б). Періодичну правку таких хонів виробляють по всьому контуру зубів алмазними роликами, зуби яких мають модифікації за профілем і довжині [21].

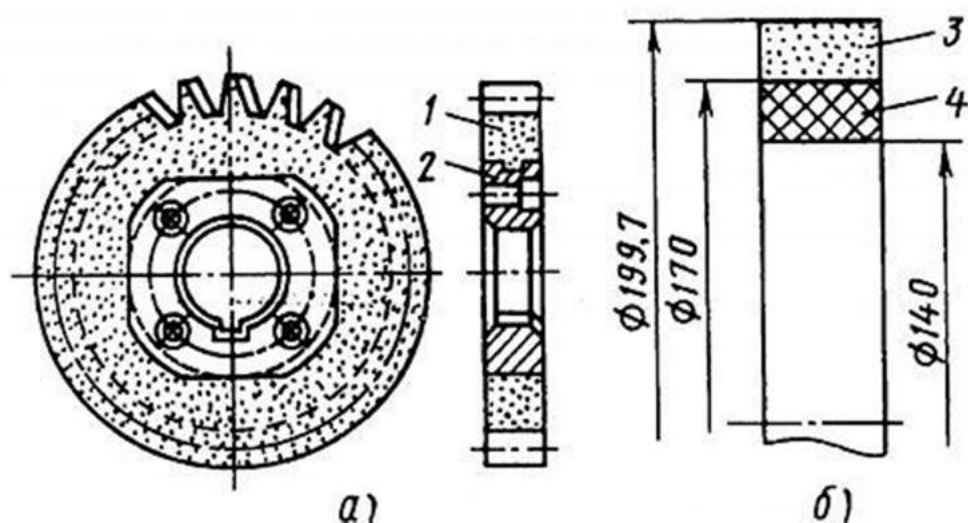


Рисунок 4.14 – Зубчасті хони з зовнішнім зачепленням (а – хон без демпфуючого шару, б – хон з демпфуючим шаром)

Зубохонінгування хонами з внутрішнім зачепленням.

Зубохонінгування хонами з внутрішнім зачепленням володіє великими технологічними можливостями, тому цей процес набув великого поширення в промисловості.

Зачеплення зубчастого хона 1 з заготовкою 2 виконують під кутом схрещування  $\gamma$  (рис. 4.15). При вільному кінематичного зв'язку ведучим елементом є хон, а при жорсткому зв'язку обертання хона і заготовки здійснюють окремо з високою точністю синхронізації за допомогою електронної системи управління. Ширина хона більше ширини зубчастого вінця. Крім обертання зубчастий хон здійснює радіальний рух подачі, а заготовка для поліпшення умов різання здійснює осьові осцилюючі рухи, амплітуда яких повинна бути не менше 3...4 мм [18].

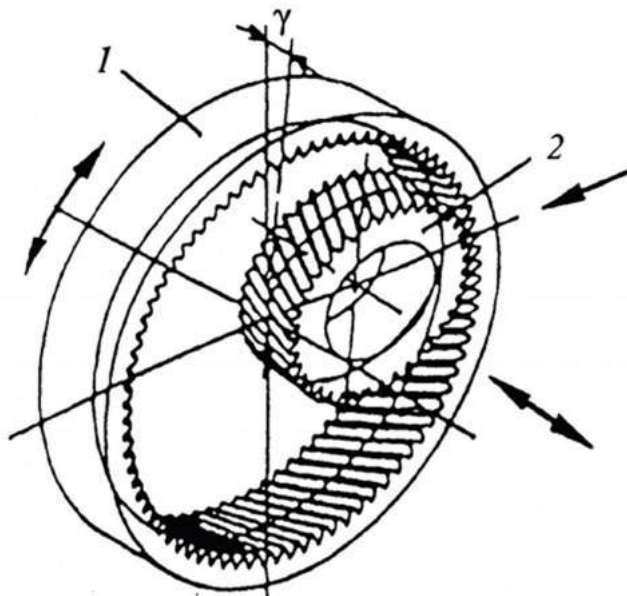


Рисунок 4.15 – Схема обробки заготовки хонем з внутрішнім зачепленням

Міцність зубів хона з внутрішніми зубами в середньому на 60% вище, ніж хона з зовнішніми зубами. Це дозволяє знімати великі припуски, а також хонінгувати зубчасті колеса дрібного і середнього модуля. Великий коефіцієнт перекриття при зачепленні хона з зубами оброблюваної заготовки сприяє виправленню помилок зубів і підвищенню точності їх обробки.

Зубохонінгування хонем з внутрішнім зачепленням застосовують в серійному і масовому виробництві для зменшення шорсткості поверхні до  $Ra = 0,1 \dots 0,8$  мкм, підвищення точності зубів (на 1, 2 ступеня), зниження рівня шуму при зачепленні зубів і видалення невеликих вибоїн і задирок [21].

Хони для зубохонінгування.

Зубчасті хони можуть бутиправлячими і неправлячими. Як абразивний матеріал управлячих зубчастих хонів із зовнішнім і внутрішнім зачепленням застосовують електрокорунд вищої якості або мікрокристалічний корунд з розміром зерна 88 ... 149 мкм. Найбільш важливою структурною складовою не тільки об'ємної будови хона, але і його технологічних та експлуатаційних властивостей є зв'язка. Дляправлячих хонів використовують зв'язки: керамічну і з епоксидної штучної смоли [21].

Заготовки хонів виготовляють циліндричної форми. Для забезпечення однорідності і хорошої відтворюваності хонів абразивна маса добре розмішується, пресується в точні матриці при температурі до 190 ° С, після чого проводиться дисперсійне твердіння. У отриманій заготовці нарізають зуби 4 внутрішні (рис. 4.16, б) або зовнішні (рис. 4.14, а) алмазними роликами. При необхідності роблять обробку по контуру [21].

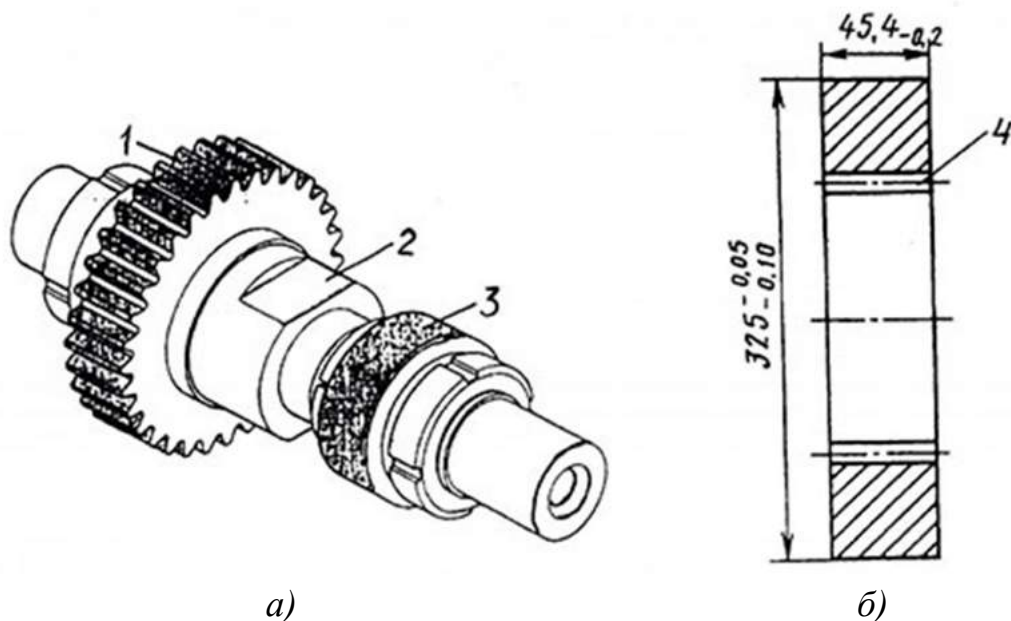


Рисунок 4.16 – Алмазний (а) і абразивний (б) інструменти

Часто застосовують наступне співвідношення об'ємних часток: абразив - 50%, зв'язка - 40% і пори - 10%.

Перед хонінгуванням першої заготовки і періодично по мірі зношування зубчастий хон з внутрішнім зачепленням профілюють за допомогою алмазного колеса 1 і алмазного кільця 3, встановлених на оправці 2 (рис. 4.16, а).

Оправка 4 зправлячими елементами встановлюють в центрах верстата замість оброблюваного колеса (рис. 4.17). Геометрія алмазногоправлячого

колеса 1 точно відповідає розмірам зубчастого колеса, т.є. зуби мають такі ж розміри і модифікації по довжині і профілю. Спочатку алмазним колесом 1 формують профіль і дно западини зубів хона 3, а потім за допомогою алмазного кільця 3 (рис. 4.16, а), встановленого на кінці оправки, проточують внутрішній діаметр хона. Правку, як і обробку, здійснюють в автоматичному режимі з використанням ЗОР, яку подають через два сопла 2 (рис. 4.17) [21].

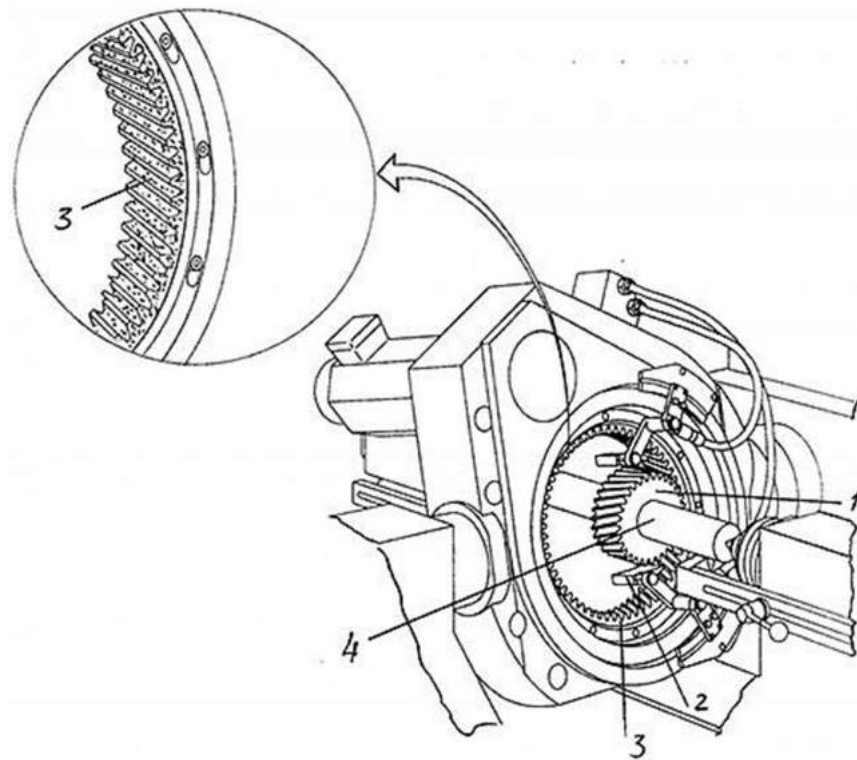
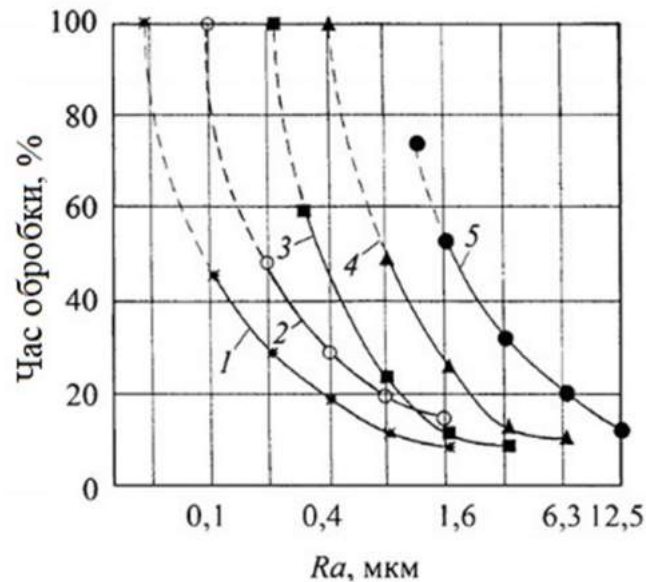


Рисунок 4.17 – Схема правки зубчастого хона з внутрішнім зачепленням

Товщина шару, що знімається з хона в радіальному напрямку, при одноразовому профілюванні становить 0,01...0,03 мм. За весь період роботи абразивний зубчастий хон з внутрішнім зачепленням обробляє 2000...4000 заготовок, число профілювання 70...210 [21].

4.1.2 Шорсткість, залишкові напруги, техніко-економічні показники при різних методах зубообробки

Особливістю процесу зубохонінгування є досягнення високих показників шорсткості поверхні зубів. На рис. 4.18 наведено параметри, отримані при різних методах зубообробки. Пунктирними лініями показана шорсткість поверхні, що отримується в результаті збільшення часу обробки і використання додаткових технологічних засобів [21].



1 – хонінгування; 2 – фрезерування після ХТО; 3 – шліфування;  
4 – шевінгування; 5 – фрезерування і довбання до ХТО.

Рисунок 4.18 – Шорсткість поверхні зубів, що отримується при різних методах зубообробки

Сукупність нерівностей з відносно малими кроками, що утворюють мікрорельєф бічних поверхонь зубів, є найважливішим показником якості зачеплення зубчастих передач і має суттєвий вплив на якість експлуатації зубчастих передач:

- віброакустичну активність під впливом високих частот;
- утримання мастильної плівки на поверхні зубів;
- тривалість періоду обкатки зубчастої передачі, при якому технологічний рельєф зубів стає експлуатаційним.

Завдяки кутку схрещування зубчастий хон і заготовка при зачепленні утворюють гвинтову передачу. На поверхні зубів виникає ковзання зі швидкістю  $V_1$  по довжині і  $V_2$  за профілем (рис. 4.19).

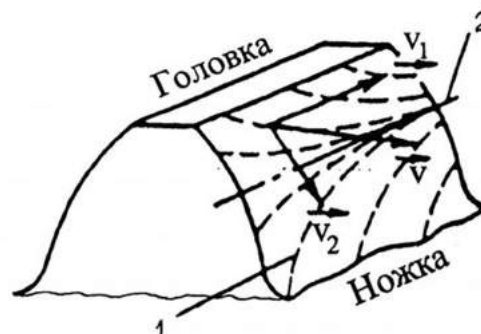


Рисунок 4.19 – Схема розташування слідів різів на поверхні зуба

Так як швидкість ковзання за профілем  $V_2$  змінюється від нуля на ділильній окружності 2 до максимальних значень на голівці і ніжці зуба, то результуюче ковзання  $V$  і сліди різів 1 мають специфічне віялове розташування, що сприяє утриманню мастильної плівки на поверхні зубів при експлуатації.

Для визначення впливу шорсткості поверхні зубів на умови їх контакту при зачепленні і впливу гідродинамічної змазки були проведені порівняльні випробування коробок передач легкового автомобіля при середніх навантаженнях. Чистову обробку зубів циліндричних коліс (модуль  $m = 2$  мм, кут профілю  $\alpha = 20^\circ$ ) виробляли фрезеруванням, шевінгуванням, шліфуванням і хонінгуванням [21].

У остаточно фрезерованих до ХТО методом обкату циліндричних коліс шорсткість бічних поверхонь зубів становила  $Ra = 2,5-3,8$  мкм. Вона визначалася слідами огибаючих різів черв'ячної фрези. Випробування таких коліс показали значний знос поверхні зубів в результаті металевго тертя (рис. 4.20, в) [21].

Зубчасті колеса, виготовлені шевінгуванням ( $Ra = 1,25-2,0$  мкм) і шліфуванням ( $Ra = 0,5-2,0$  мкм) мали незначний знос зубів, головним чином, по вершинах мікронерівностей в результаті змішаного тертя (рис. 4.20, б) [21].

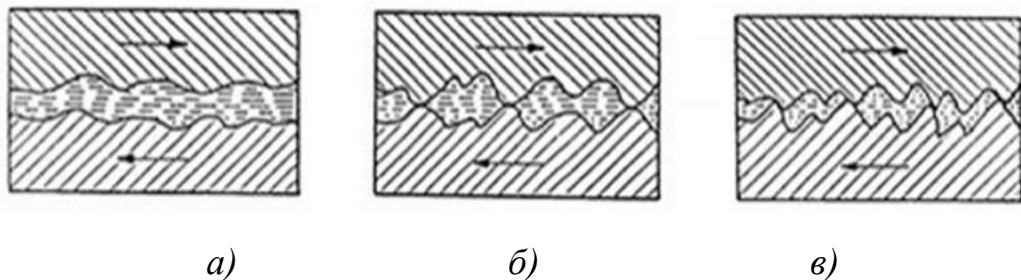


Рисунок 4.20 – Схема утворення гідродинамічної мастильної плівки

Бічні поверхні хонінгованих зубів циліндричних коліс мали найнижчий параметр шорсткості  $Ra = 0,25-0,5$  мкм і при випробуванні у зубів практично був відсутній металевий контакт і знос (рис. 4.20, а) [21].

В результаті проведених випробувань було встановлено, що мікрорельєф хонінгованих зубів, а також віялове розташування слідів різів дозволяє при зачепленні стабільно утримувати на поверхні зубів мастильну плівку завтовшки 3-5 мкм і тим самим мінімізувати знос [21].

Зубохонінгування відноситься до групи методів, що виконують мікрорізання твердих поверхневих шарів зубів великим числом не орієнтованих в просторі ріжучих елементів. Внаслідок низьких швидкостей різання ( $V = 0,5 \dots 13,0$  м/с) потужність зубохонінгування досить висока. Тому в зоні різання переважають не термічні, а механічні процеси. Відповідно, відсутнє термічне руйнування поверхонь зубів і термічні зміни властивостей поверхневих зон, а в поверхневих шарах зубів утворюються залишкові внутрішні напруження стиску на глибину до 150 мкм [21].

На рис. 4.21 показаний рівень залишкових внутрішніх напружень стиску, що виникають в поверхневому загартованому шарі зубів після хонінгування абразивними 3, алмазними 1 і хонами з кубічного нітриду бору 2.

Максимальні значення внутрішніх напружень стиску отримують при обробці металевими зубчастими хонами з одношаровим покриттям зернами кубічного нітриду бору. Такі хони мають високу жорсткість і допускають великі радіальні і окружні подачі при низькій окружній швидкості [21].

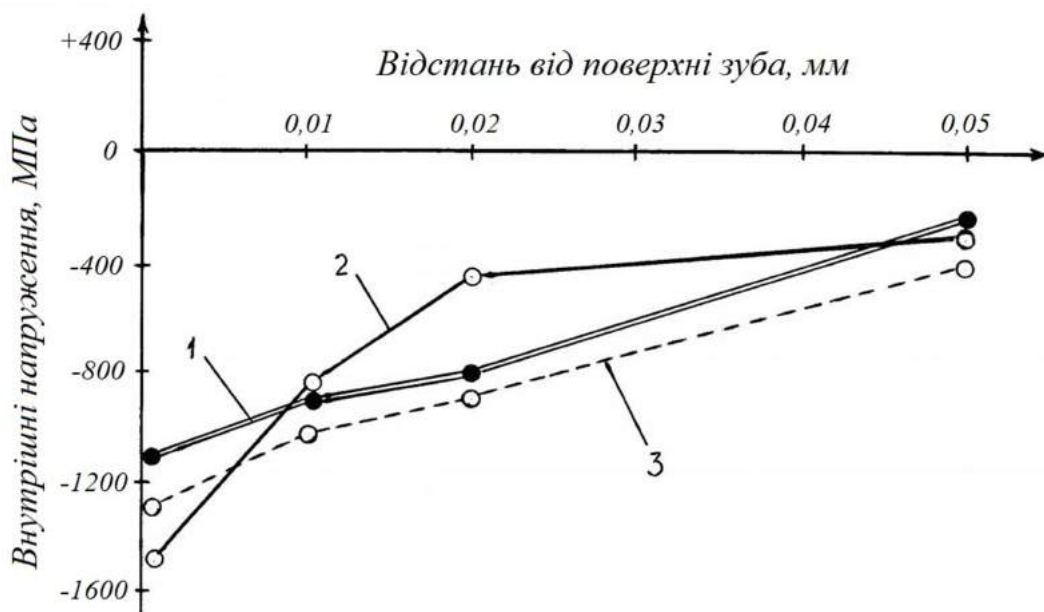


Рисунок 4.21 – Залишкові внутрішні напруження після хонінгування різними інструментами

Точність і порівняльна вартість (у відсотках) обробки зубчастих коліс при використанні фінішних методів: зубошевінгування 1, зубохонінгування 2, зубофрезерування твердосплавними черв'ячними фрезами 3 і зубошліфування черв'ячним абразивним кругом наведені на рис. 4.22 [21].

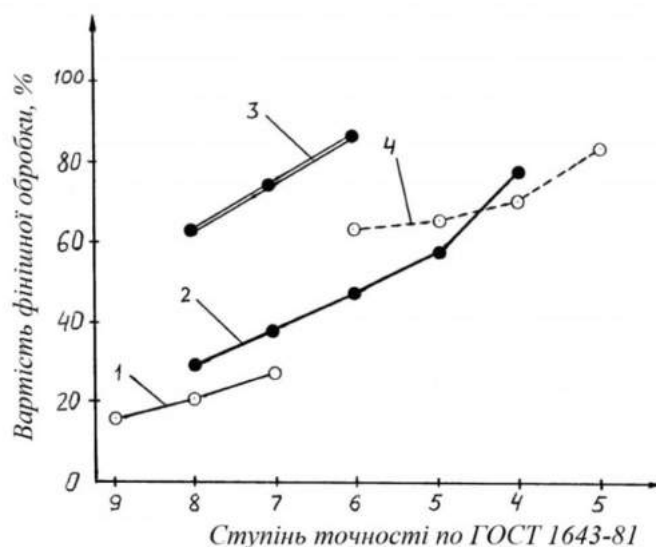


Рисунок 4.22 – Точність і вартість фінішної обробки зубчастих коліс

Зубохонінгування виконується на спеціальних зубохонінгувальних верстатах. Одним з таких є зубохонінгувальний верстат з ЧПК GearSpect SF 160 CNC (рис. 4.23). Він призначений для чистової обробки загартованих коротких шліцьових валів, прямозубих і косозубих циліндричних коліс, а також зубчастих коліс з бочкообразною і конічною формою зуба, абразивними і алмазним зубчастим хонами за методом обкату з розв'язним кінематичною ланцюгом при використанні поздовжньої і діагональної подачі. Обробка може проводитися при радіальному навантаженні, як по безреверсивному методу, так і з реверсом обертання виробу і хона. Обробка забезпечує поліпшення чистоти поверхні після термообробки і зниження рівня шуму [22].



Рисунок 4.23 – Зубохонінгувальний верстат GearSpect SF 160 CNC

При аналізі ефективності застосування фінішних операцій отримали:

1. Найменш витратним методом є зубошевінгування. При цьому потрібно досягнення високої точності (вище 5-го ступеня) при зубошевінгуванні і зниження точності в результаті деформацій при ХТО не більше, ніж на одну ступінь з ГОСТ 1643-81. Такий процес є не стабільним і в масовому виробництві для обробки зубчастих коліс з точністю не нижче 6-го ступеня практично не застосовується.

2. Найефективнішим з економічної точки зору в даному прикладі є метод зубохонінгування абразивним правлячим хоном. Як недоліком зубохонінгування слід зазначити високу чутливість до коливання припусків після ХТО, що не дозволяє забезпечувати стабільну відтворюваність.

3. Безперервне обкатне зубошліфування абразивним черв'ячним кругом економічно менш ефективно, ніж зубохонінгування абразивним хоном, але менше залежне від якості попередньої обробки і більш стабільно в досягненні точностних параметрів зубів.

4. Зубохонінгування неправлячим хоном з покриттям КНБ і зубофрезерування твердосплавною черв'ячної фрезою за вартістю істотно перевищують інші методи, тому вони застосовуються значно рідше [21].

Провівши аналіз методів фінішної обробки зубчастих вінців, можна зробити висновок, що для деталі «Шестерня» рекомендується використовувати безперервне обкатне зубошліфування, яке забезпечить виконання норм кінематичної точності і норм контакту зубів. А для забезпечення норм плавності роботи і довговічності зубчастої передачі рекомендується застосування зубохонінгування хоном з внутрішнім зачепленням.

## 5 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

### 5.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Передача навантаження в зубчастій передачі відбувається в результаті зіткнення бічних профілів пов'язаних зубів. Під дією сил тиску зуби знаходяться в напруженому стані. При цьому навантажується поверхня зубів (лінійний контакт), і весь обсяг зуба. Тому працездатність передачі оцінюється контактною міцністю бокової поверхні зубів і об'ємною міцністю зуба при складному навантаженні. Оцінка міцності зубів ускладнюється дією змінного навантаження на зуб, що змінюється по переривчастому пульсуючому циклу [...].

При недостатній контактній міцності поверхні зубів відбувається стомлююче викришування робочих поверхонь. Полумки зубів в основному теж носять втомний характер і відбуваються або при перевантаженнях передачі, або при недостатній їх об'ємній міцності (рис. 5.1). При об'ємному навантаженні зубів головним видом деформації є вигин. Тому оцінку об'ємної міцності зубів зазвичай проводять по деформації вигину [...].

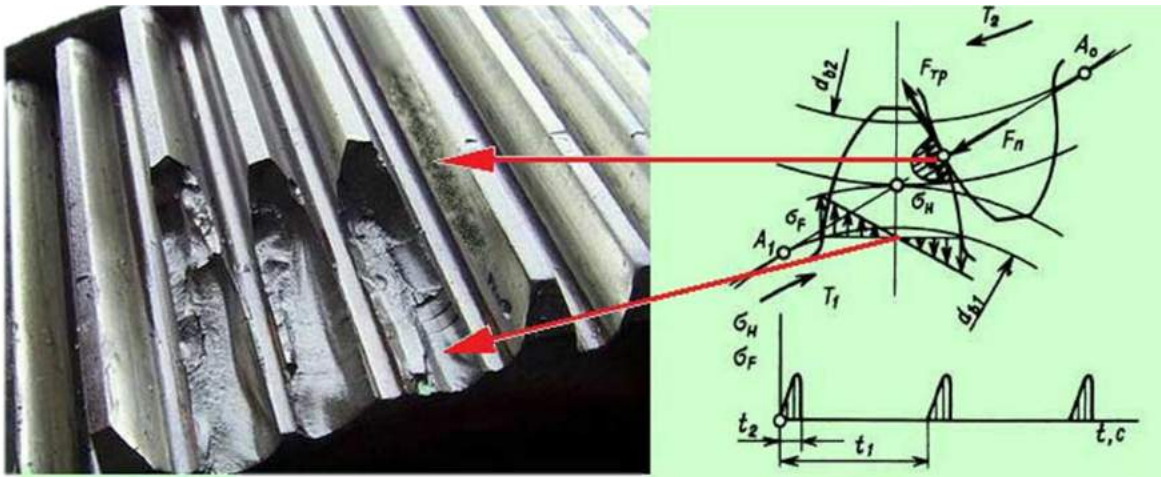


Рисунок 5.1 – Схема сил в зубастому зачепленні

Проведемо розрахунок напружено-деформованого стану зубчастого вінця шестерні при різних радіусах заокруглення впадин зубів.

Спочатку проведемо розрахунок з радіусом заокруглення, який вказано на кресленні деталі, який дорівнює 0,7 мм.

Першим кроком в здійсненні розрахунку на міцність є розбивання деталі на сітку кінцевих елементів (рис. 5.2).

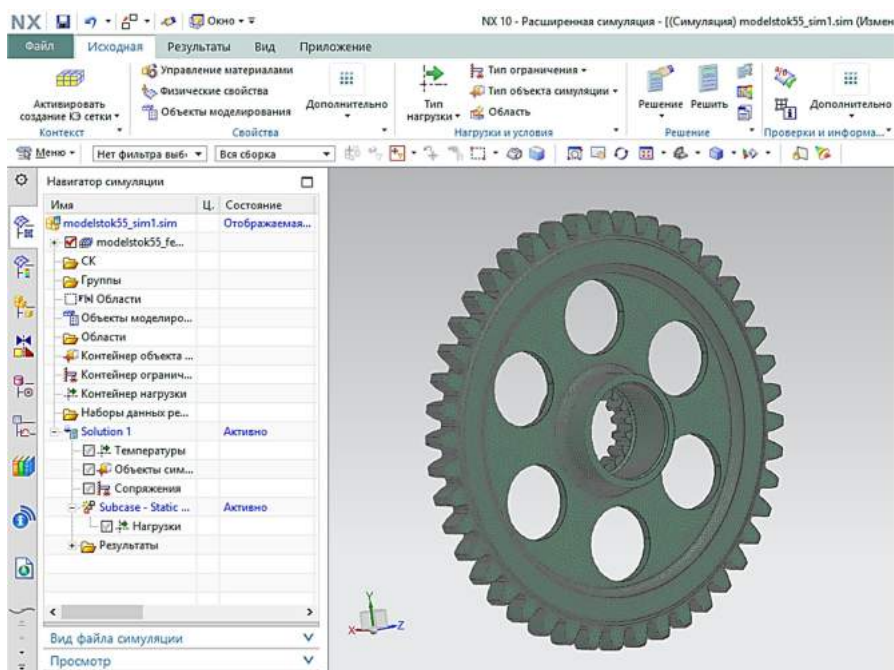


Рисунок 5.2 – Розбивання деталі на сітку кінцевих елементів

Закріплення деталі відбувається на шліцах та посадковому діаметрі за допомогою команди «Ограничение закрепления» (рис. 5.3).

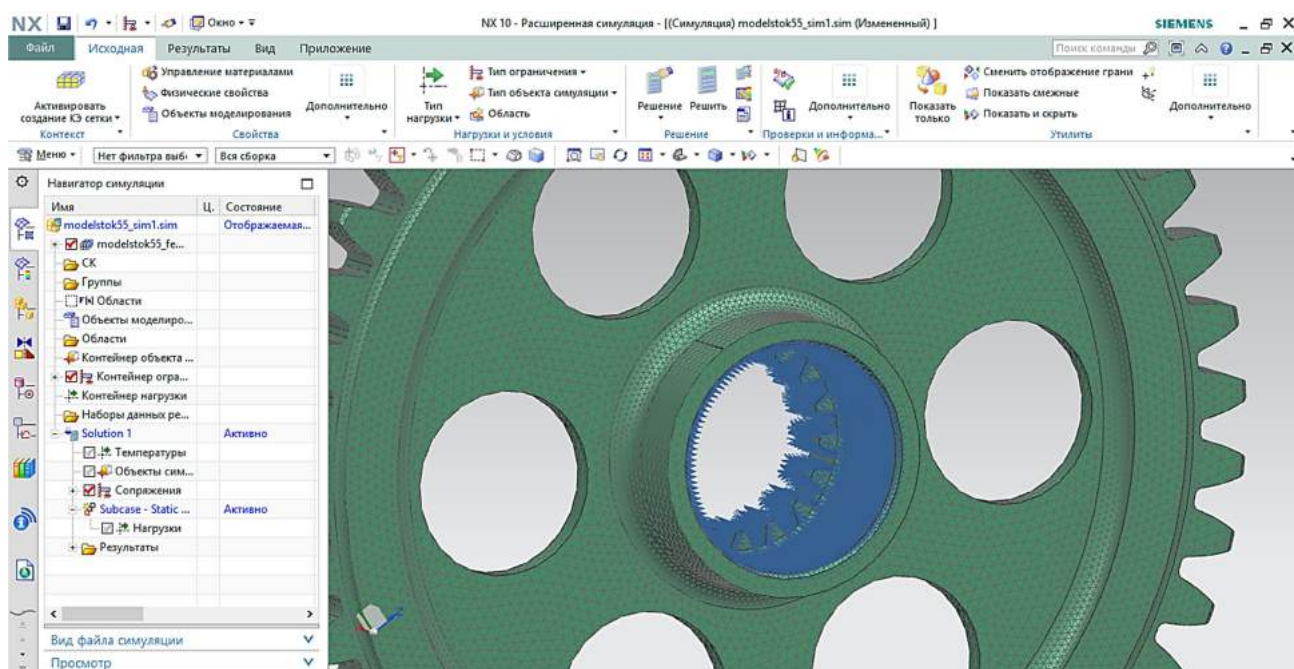


Рисунок 5.3 – Схема закріплення деталі

До місця контакту зубів прикладаємо навантаження 250 Н (рис. 5.4).

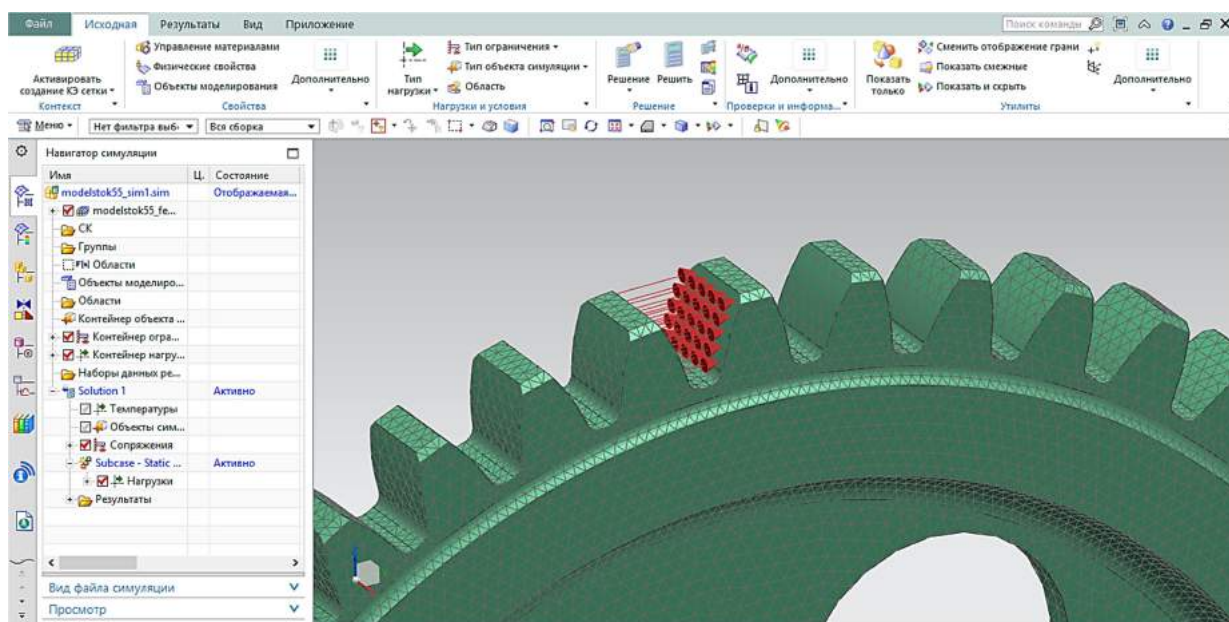
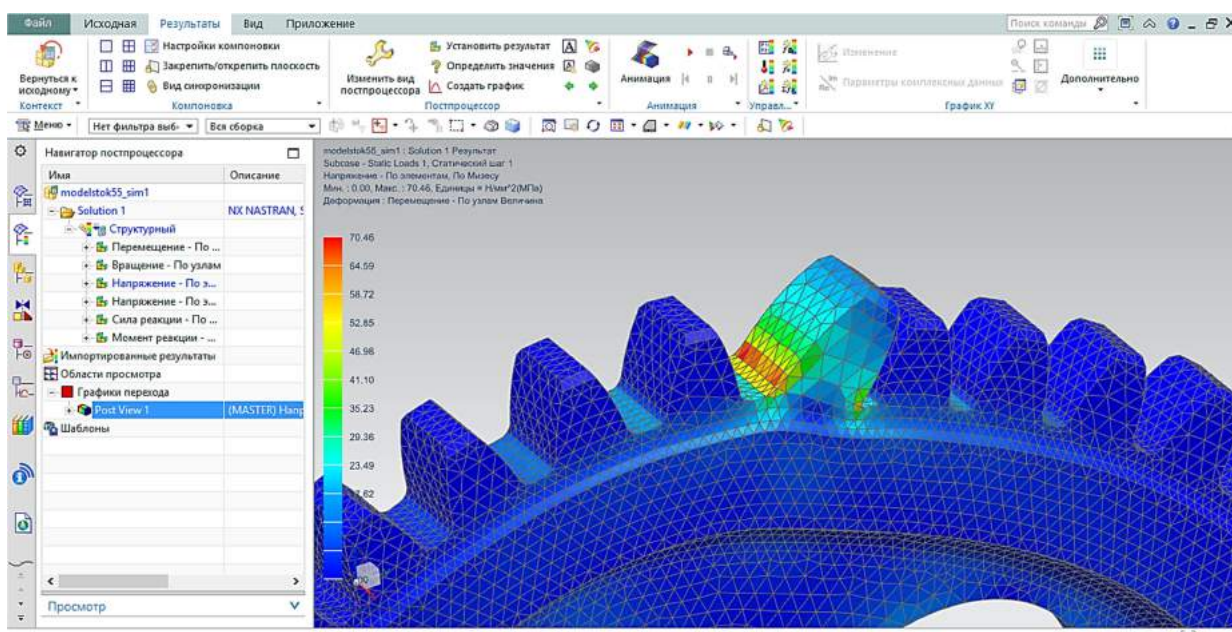


Рисунок 5.4 – Схема навантаження деталі

Результат розрахунку зображений на рис. 5.5.

Рисунок 5.5 – Результат розрахунку ( $R = 0,7$ )

## 5.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Розглянемо другий варіант конструкції, а саме, зменшимо радіус заокруглення до 0,5 мм. Напружено-деформований стан деталі визначаємо аналогічно п. 5.1.

Результат розрахунку зображений на рис. 5.6.

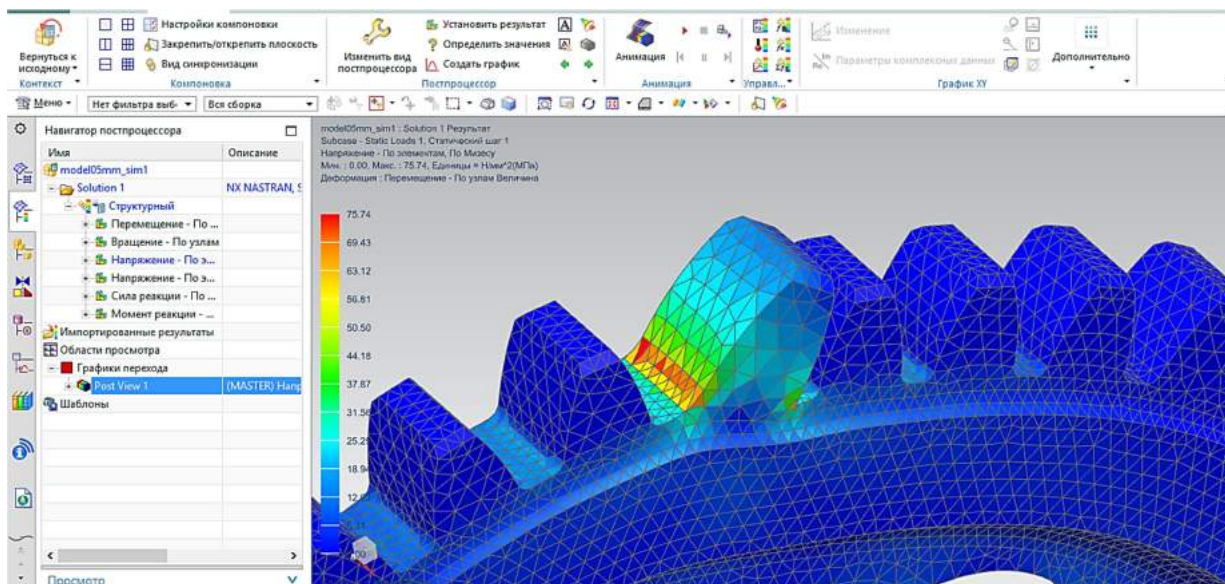


Рисунок 5.6 – Результат розрахунку ( $R = 0,5$ )

Тепер збільшимо радіус заокруглення до 0,9 мм. Результат розрахунку зображений на рис. 5.7.

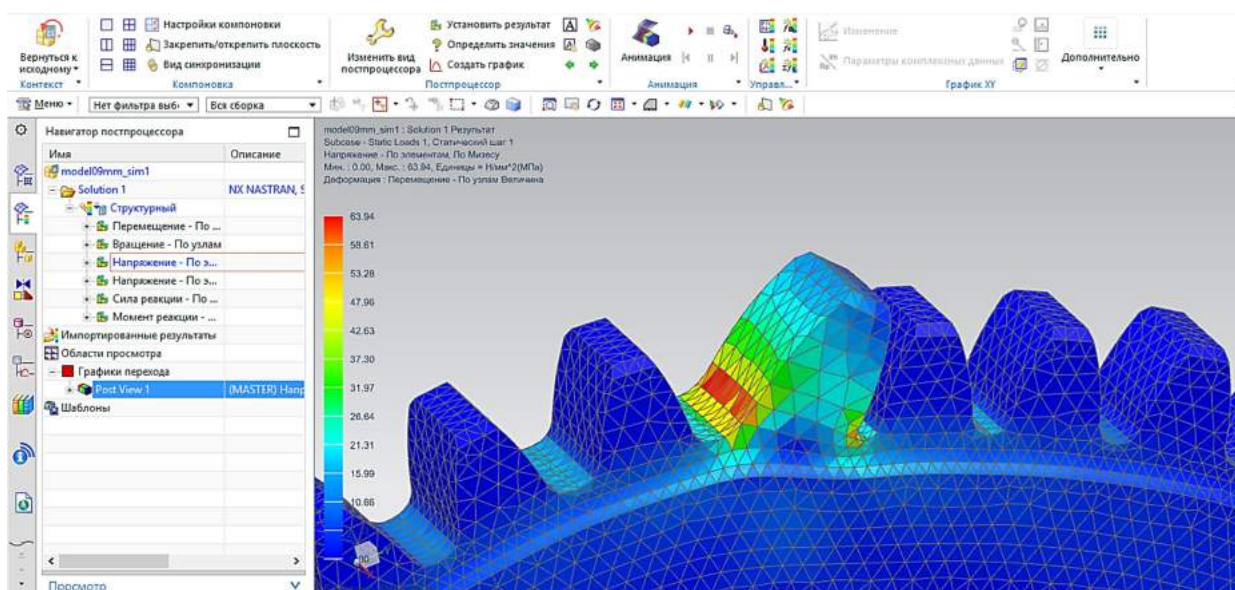


Рисунок 5.7 – Результат розрахунку ( $R = 0,9$ )

Отже, проведений розрахунок зубів на міцність показав, що з радіусом заокруглення  $R = 0,7$  мм зуб отримує напруження 70,46 МПа, з  $R = 0,5$  мм – 75,74 МПа і з  $R = 0,9$  мм – 63,94 МПа.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що найменше значення напружень мають зуби з радіусом заокруглення ніжки  $R = 0,9$  мм. Тому рекомендується прийняти цей радіус в конструкцію деталі, а ніж встановлений на кресленні, щоб збільшити стійкість зубів до змінних навантажень, що в свою чергу добре вплине на ресурс деталі.

## 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В даній роботі необхідно виконати порівняння двох варіантів токарних операцій з точки зору собівартості: 1 – токарна обробка на верстаті 16К20 та 2 – токарна обробка на верстаті з ЧПК АТПР2М12НЦ. Ескіз обробки показано на рис. 6.1.

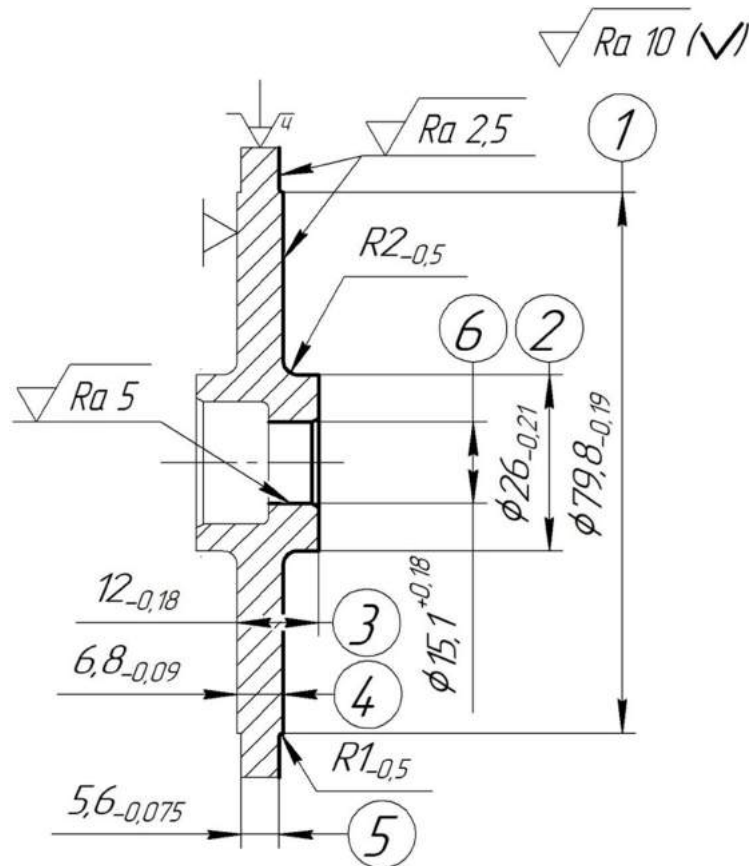


Рисунок 6.1 – Ескіз токарної обробки

Визначаємо такт випуску за формулою, хв:

$$\tau = \frac{F_a \cdot 60}{\Pi}, \quad (6.1)$$

де  $F_a$  – дійсний річний фонд роботи обладнання, год [24, с. 92];  
 $\Pi$  – програма випуску, шт.

$$\tau = \frac{4015 \cdot 60}{1500} = 160,6 \text{ хв.}$$

Розраховуємо кількість верстатів для токарної обробки, яка виконується на верстаті 16K20 (1) та на верстаті з ЧПК АТПр2М12НЦ (2) за формулою, шт:

$$n_{\rho} = \frac{t_{шт-к}}{\tau}, \quad (6.2)$$

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

$$n_{\rho 1} = \frac{7,68}{160,6} = 0,048 \text{ шт.}$$

$$n_{\rho 2} = \frac{5,04}{160,6} = 0,031 \text{ шт.}$$

Розраховуємо заробітну плату робочих за формулою, коп/хв:

$$З_{\rho} = З_{\tau} \cdot K_{\eta}, \quad (6.3)$$

де  $З_{\tau}$  – тарифна хвилинна заробітна плата робочого (прийнятого у проекті розряду) з урахуванням начислень діючих на базовому підприємстві [24, т. 2.18, с. 94];

$K_{\eta}$  – коефіцієнт перевиконання норми [24, с. 93].

$$З_{\rho 1} = 1,293 \cdot 1,2 = 1,55 \text{ коп/хв.}$$

$$З_{\rho 2} = 1,048 \cdot 1,2 = 1,26 \text{ коп/хв.}$$

Розраховуємо заробітну плату наладчиків за формулою, коп/хв.:

$$З_{\eta} = З_{\tau} \cdot K_{\eta}, \quad (6.4)$$

де  $З_{\tau}$  – тарифна хвилинна заробітна плата наладчика (прийнятого у проекті розряду) з урахуванням начислень діючих на базовому підприємстві [24, т. 2.18, с. 94];

$K_{\eta}$  – коефіцієнт перевиконання норми [24, с. 93].

$$З_{\eta 1} = 1,414 \cdot 1,2 = 1,697 \text{ коп/хв.}$$

$$З_{\eta 2} = 1,414 \cdot 1,2 = 1,697 \text{ коп/хв.}$$

Розрахуємо норму витрат на електроенергію за формулою, коп/год:

$$E = \frac{N \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot C_e}{60}, \quad (6.5)$$

де  $N$  – потужність верстата, кВт;

$K_1$  – коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів за потужністю [24, т. 2.19, с. 94];

$K_2$  – коефіцієнт, що враховує використання електродвигунів за часом [24, т. 2.19, с. 94];

$C_e$  – вартість 1 кВт/год електроенергії у діючий час, коп.

$$E_1 = \frac{11 \cdot 0,6 \cdot 0,5 \cdot 224}{60} = 12,32 \text{ коп/год.}$$

$$E_2 = \frac{8,3 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 224}{60} = 17,35 \text{ коп/год.}$$

Розрахуємо витрати на амортизацію обладнання за формулою, коп:

$$A = \frac{A_{\Gamma} \cdot 100}{F_{\delta} \cdot 60}, \quad (6.7)$$

де  $A_{\Gamma}$  – нарахування на амортизацію за рік, коп.

$$A_{\Gamma} = \frac{\alpha_1 \cdot 1,15 \Pi}{100}, \quad (6.8)$$

де  $\alpha_1$  – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [24, с. 92];

$\Pi$  – ціна обладнання, грн.

$$A_{\Gamma 1} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 145000}{100} = 25012,5 \text{ коп.}$$

$$A_{\Gamma 2} = \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 149000}{100} = 25702,5 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.7):

$$A_1 = \frac{25012,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 10,38 \text{ коп.}$$

$$A_2 = \frac{25702,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 10,67 \text{ коп.}$$

Розрахуємо витрати на обслуговування обладнання за формулою, коп.:

$$O = \frac{O_{\Gamma} \cdot 100}{F_{\phi} \cdot 60}, \quad (6.9)$$

де  $O_{\Gamma}$  – нарахування на обслуговування за рік, коп.

$$O_{\Gamma} = \frac{\alpha_2 \cdot 1,15Ц}{100}, \quad (6.10)$$

де  $\alpha_2$  – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [24, с. 92];

$Ц$  – ціна обладнання, грн.

$$O_{\Gamma 1} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 145000}{100} = 833,75 \text{ коп.}$$

$$O_{\Gamma 2} = \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 149000}{100} = 856,75 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.9):

$$O_1 = \frac{833,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,35 \text{ коп.}$$

$$O_2 = \frac{856,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,36 \text{ коп.}$$

Розрахуємо витрати на ремонт обладнання за формулою, коп:

$$P = \frac{P_{\Gamma} \cdot 100}{F_{\phi} \cdot 60}, \quad (6.11)$$

де  $P_{\Gamma}$  – нарахування на ремонт за рік, коп.

$$P_{\Gamma} = \frac{\alpha_3 \cdot 1,15Ц}{100}, \quad (6.12)$$

де  $\alpha_3$  – відсоток відрахувань від балансної вартості обладнання [24, с. 92];

Ц – ціна обладнання, грн.

$$P_{r1} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 145000}{100} = 7503,75 \text{ коп.}$$

$$P_{r2} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 149000}{100} = 7710,75 \text{ коп.}$$

Виконуємо розрахунки за формулою (6.11):

$$P_1 = \frac{6986,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 3,11 \text{ коп.}$$

$$P_2 = \frac{7710,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 3,2 \text{ коп.}$$

Визначаємо витрати на інструмент за довідковою літературою [24, т. 2.20, с. 94].

Для токарної обробки в обох варіантах обираємо різці, оснащені твердим сплавом, для чистового проходу  $I_T = 0,092$  грн.

Визначаємо витрати на пристосування за довідковою літературою [24, т. 2.21, с. 95].

Для токарної обробки в обох варіантах спеціальних пристосувань не передбачено.

Розраховуємо технологічну собівартість для кожного варіанту операції за формулою, коп:

$$C_i = (Z_{pi} + Z_{ni} + E_i + P_i + I_i + A_i + O_i + P_i) \cdot t_{um-ki}, \quad (6.13)$$

$$C_1 = (1,55 + 1,697 + 12,32 + 0 + 0,092 + 10,38 + 0,35 + 3,11) \cdot 7,68 = 226,55 \text{ коп.}$$

$$C_2 = (1,26 + 1,697 + 17,35 + 0 + 0,092 + 10,67 + 0,36 + 3,2) \cdot 5,04 = 174,53 \text{ коп.}$$

Розраховуємо економічний ефект очікуваний при впровадженні токарного верстата з ЧПК (АТПр2М12НЦ) замість токарного верстата з ручним керуванням (16К20) за формулою, грн:

$$E_e = (C_1 P + E_1 C_1 n_1) - (C_2 P + E_2 C_2 n_2), \quad (6.14)$$

де Е – нормативний коефіцієнт ефективності [24, с. 91].

$$E_e = (2,2655 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 145000 \cdot 1) - \\ - (1,7453 \cdot 1500 + 0,15 \cdot 149000 \cdot 1) = 180,3 \text{ грн.}$$

Проведений аналіз розрахунків економічної ефективності показав, що технологічна собівартість токарної операції, яка виконана на верстаті 16K20 складає 226,55 грн, а на верстаті з ЧПК АТПр2М12НЦ – 174,53 грн. Економічний ефект від впровадження верстата з ЧПК АТПр2М12НЦ замість 16K20 складає 180,3 грн.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.1 Аналіз потенційних небезпек

Згідно ГОСТу 12.0.003-74 "Опасные и вредные производственные факторы" класифікуються фактори середовища за природою дії на організм людини, вони поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психологічні.

#### Фізичні фактори:

- наявність гострих кромek, шорсткості на деталі при роботі без рукавиць може призвести до пошкодження шкіряного покрыву та травмам;
- руйнування ріжучого інструменту при порушенні режимів різання може привести до травм різного ступеня тяжкості;
- відліт стружки при виконанні механічних операцій при відсутності спеціального одягу та захисних щитків для обличчя може призвести до опіків чи порізів;
- робота з ручним інструментом при низькій кваліфікації робочого при зниженні уваги може призвести до травм різного ступеня важкості;
- падіння або ковзання деталей чи людей при неувважності персоналу при роботі без спеціального взуття може призвести до травм;
- під час роботи без захисних окулярів при наявності пилу або стружки можна отримати травми очей;
- через невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням у відсутності захисного заземлення виникають травми ураження струмом.

#### Хімічні фактори:

- при відсутності засобів захисту через підвищену запиленість можуть виникнути захворювання дихальних шляхів.

#### Біологічні фактори:

- подразнення слизових оболонок верхніх дихальних шляхів викликають мастильноохолоджуючі технічні засоби при порушеннях правил безпеки;
- аерозоль нафтових олій, що входить до їх складу також впливає на зниження імунітету та може викликати алергічні реакції.

#### Психофізіологічні:

- перенапруження органу зору при незадовільному освітленні може призвести до зорової втоми, роздратованості;

- фізичне перенавантаження при установці, закріпленні великогабаритних деталей може призвести до кістково-м'язових порушень та навантаженням на серцево-судинну систему;
- монотонність праці може призвести до гальмування реакції не тільки під час праці, а і після неї;
- неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій можуть призвести до травм чи загибелі людей [25].

## 7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

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, 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).

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ «Правила устрою електроустановок». Згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ» для кожної електроустановки передбачаємо відповідне заземлення для вирівнювання потенціалів та автоматичне відключення ланки пошкодженої мережі. Приймаємо у механообробному цеху напругу частотою 50 Гц. Та електрообладнання характеризується як електроустановки до 1000 В, тому величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом. У відповідності до ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» передбачаємо подвійне ізолювання струмопровідних частин. Користування відповідним спецодягом за ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці засоби індивідуального захисту» та ДСТУ EN 61140:2015 «Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання» є обов'язковим для екіпірування робітників, які займаються відповідною роботою з електроустаткуванням [25].

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального 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...1,5м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5 метри, що дає можливість безпечно та комфортно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі гарантує швидку евакуацію людей.

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів згідно з НПАОП 0.00-1.80-18 «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідйомних кранів, підйомних пристроїв та відповідного обладнання» та ДСТУ EN 13155:2018 «Крани вантажопідйомні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплюючі знімні». На проектуємій ділянці передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. 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. Також для попередження травматизму та аварій виконуємо оснащення підйомно-транспортних механізмів запобіжними і блокувальними пристроями [25].

У відповідності до ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» проходи та проїзди цехів та ділянок позначаються розмежувальною лінією білого кольору не менше 100 мм. Прходи та проїзди, а також люки колодязів є вільними та не засмічені елементами, що мінімізує можливість виникнення травм та забезпечує швидку евакуацію.

Для укладення матеріалів, деталей та готових виробів передбачаємо відповідні за габаритами та масою ящики та стелажі. Висоту штабелів заготовок на робочому місці встановлюємо не вище 1м., ширину між

штабелями визначаємо не менше 0.8м. Роботи проводимо у відповідності до ДСТУ 2890-94 «Тара і транспортування. Терміни і визначення».

Все устаткування встановлюється на фундаменті, згідно паспорту та інструкції з експлуатації для забезпечення мінімальної вібрації у приміщенні виробничого цеху.

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

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку [25].

Таким чином кожен працівник повинен дотримуватися заходів з охорони праці, до яких належать дотримання правил техніки безпеки та особистої гігієни, дотримання виробничої дисципліни і правил внутрішнього розпорядку, утримання в чистоті і порядку робочого місця, дотримання місцевих виробничих інструкцій, застосування індивідуальних захисних засобів та вміння надати першу медичну допомогу при невідкладних станах.

Для всіх працівників необхідним є проходження навчання відповідно вимог, що зазначено в НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Обов'язковим до виконання є ДСТУ 7239:2011 «Система стандартів безпеки праці засоби індивідуального захисту», що передбачає порядок носіння та правильне використання спеціального одягу для відповідних операцій, що мінімізує механічні травми [25].

### 7.3 Заходи з забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці 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» та МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»).

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

- у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с;

- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

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

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «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%.

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 освітлення на ділянці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин [25].

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що

створює рівень шуму, більший за нормативно допустимий ( понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття [25].

#### 7.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки для механообробного цеху розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – В (пожежа, яка супроводжується горінням рідин або речовин, які переходять у рідкий стан), D (пожежа, яка супроводжується горінням металів) та пожежі класу Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою електричного струму).

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 [25].

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

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці. Згідно вибраної категорії приміщення та ступеня вогнестійкості будівлі за СНиП 2.09.02-85 «Производственные здания» відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу назовні або сходовій клітці не обмежується.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018р. № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018р. за № 225/31677 приміщення 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.

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 дільниці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3) [25].

## 7.5 Напруженість праці та методи профілактики

Функціональне напруження організму під час праці схематично можна охарактеризувати з двох боків – енергетичного та інформаційного. Перший переважає при фізичній, другий при розумовій праці. Характеристику

роботи, що потребує інтенсивної праці головного мозку при отриманні та аналізі інформації, фізіологи називають напруженістю. Напруженість праці - характеристика трудового процесу, що відображає навантаження переважно на центральну нервову систему, органи чуттів, емоційну сферу працівника. Напруженість трудового процесу оцінюють відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджених наказом МОЗ України від 08.04.2014р. №248. Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну. Допоміжні показники враховують лише в разі перевищення нормативних значень [26].

До показників, що характеризують напруженість праці, належать: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи. Інтелектуальні навантаження – використовується виключно для оцінки професій розумової праці. Тривале розумове навантаження впливає на психічну діяльність, може погіршувати функції уваги, пам'яті, сприйняття (збільшується частота помилок). Під час значної розумової напруженості може виникати тахікардія (частішання пульсу), підвищення кров'яного тиску, зміни в електричній активності серцевого м'язу та мозку, збільшення легеневої вентиляції і споживання кисню. Такі функціональні зміни в організмі під час довготривалої дії можуть спричинити розвиток гальмівних процесів у центральній нервовій системі, послаблення пильності й уваги, розвиток втоми [26].

Ергонометричні показники напруженості праці:

- кількість об'єктів одночасного спостереження;
- тривалість зосередженого спостереження чи часу активних дій (у % від загального часу робочого дня);
- щільність сигналів (оголошень) за 1 год;
- емоційна напруженість;
- змінність;
- напруженість функцій аналізаторів;
- обсяг оперативної пам'яті;
- інтелектуальна напруженість;
- монотонність та інші.

Гігієнічна оцінка напруженості праці проводиться шляхом додавання відношень виміряних або розрахованих показників до їх допустимих рівнів, помножених на коефіцієнт значимості показника (1,0 – для основних показників, 0,15 – для допоміжних).

Клас та ступінь напруженості праці визначаються відповідно до розрахованих балів (сума відношень основних та допоміжних показників до їх нормативних рівнів, помножених на відповідний коефіцієнт) згідно з додатком 17 до цієї Гігієнічної класифікації. Найвищі клас та ступінь за факторами «напруженість» трудового процесу – 3 клас, 3 ступінь (особливо напружена праця).

Найбільш легкою вважають розумову працю, в якій відсутня необхідність ухвалення рішення. Такі умови праці вважаються оптимальними. Якщо ж оператор працює і приймає рішення у рамках однієї інструкції, то такі умови праці відносяться до допустимих. До напружених шкідливих умов відносять працю, яка пов'язана з рішенням складних завдань по відомих алгоритмах або роботою з використанням декількох інструкцій. Творча діяльність, що вимагає рішення складних завдань за відсутності очевидного алгоритму рішення, має бути віднесена до напруженої праці.

Обробка будь якої інформації або виконання завдання без оцінки його результатів є менш складною працею, що дозволяє оцінювати його як оптимальний. Якщо ж вказаним діям додається необхідність перевірки отриманого результату, то такі умови праці є допустимими. Робота з розподілу виробничого завдання між іншими особами і контроль за їх роботою належать до напруженої праці [26].

Напруженість праці залежить від тривалості зосередженого спостереження і числа одночасно спостережуваних об'єктів (контрольно-вимірювальні прилади, продукт виробництва і тому подібне). При тривалості зосередженого спостереження до 50 % від тривалості робочої зміни умови праці характеризуються як оптимальні, 51-75% - допустимі, більше 75% – напружена праця 1-го ступеня.

Істотний вплив на міру напруженого стану виконавця робить відповідальність за кінцевий або проміжний результат праці. Якщо оператор несе відповідальність за виконання тільки окремих елементів виробничого завдання, то напруженість такої праці оцінюється як оптимальна. Підвищення міри відповідальності, наприклад, за функціональну якість допоміжних операцій спричиняє за собою додаткові емоційні зусилля з боку безпосереднього керівника (бригадира, майстра та ін.). У цих випадках

напруженість праці оцінюється як допустима. Якщо на виконавцеві лежить відповідальність за функціональну якість основної роботи, що може спричинити необхідність ухвалення рішень, пов'язаних з виправленням результатів за рахунок додаткових зусиль усього колективу, то такий вид діяльності є напруженим 1-го ступеня. (клас 3.1). Якщо ж працівник несе персональну відповідальність за функціональну якість кінцевого продукту, виробничого завдання в цілому або його дії можуть привести до поломки устаткування, зупинці усього технологічного процесу або створити ситуацію, небезпечну для життя, його умови праці оцінюються як напружені 2-го ступеня (клас 3) [26].

За відсутності ризику для власного життя в процесі виконання своїх обов'язків працю виконавця вважають оптимальною, якщо ж він вірогідний, то умови праці відносять до класу 3 – напружена праця 2-го ступеня. Аналогічно встановлюється клас умов праці при оцінці міри ризику за безпеку інших осіб, що беруть участь у виробничому процесі.

Одноманітність виконуваних операцій призводить до певного стану людини, що називається монотомією. Ознакою монотомії є або перевантаження однаковою інформацією, або недолік нової. Це накладає відбиток на функціональний стан людини: вона втрачає інтерес до виконуваної роботи. Для неї робочий час ніби зупинився, і тоді вона з нетерпінням чекає закінчення зміни, її хилить до сну. Монотонна робота знижує ефективність праці, збільшує плинність кадрів, аварійність і, як наслідок, травматизм на виробництві.

Міра монотонності визначається числом елементів (прийомів праці при реалізації простого завдання або операцій, що багаторазово повторюються) і тривалістю в часі виконання цих елементів і операцій.

Важливими чинниками, що характеризують клас умов праці за напруженістю трудового процесу, є фактична тривалість робочого дня і змінність роботи. При тривалості робочого дня від 6 до 7 годин умови праці належать до оптимального класу, до 8 годин – до допустимого, більше за 8 годин – до напруженого. Тривалість безперервної праці до 12 годин належать до 1-го ступеня, а більше за 12 годин – до напруженої праці 2-го ступеня. Однозмінна робота без нічної зміни – оптимальні умови; двозмінна робота без роботи в нічну зміну – допустимі умови праці, і тризмінна робота з роботою в нічну зміну – напружена праця 1-го ступеня, нерегулярна змінність з роботою в нічний час – робота виключно в нічну зміну – 3 клас 1 ступінь [26].

Тривала робота в умовах постійної нервово-емоційної напруги може призвести до серцево-судинних захворювань. Будь-яка дія, що перевищує допустимі межі, викликає порушення діяльності аналізаторів і навіть призводить до больових відчуттів. Завдання розробників технологічних процесів – не допустити перенапруження вищої нервової діяльності, інакше може настати стрес. Стрес з'являється в екстремальних ситуаціях при неможливості адаптації організму до надзвичайних дій.

Виробничий процес має бути організований так, щоб уникнути стресів. Поява стресу в аварійній обстановці стає причиною неправильних дій оператора, що частенько посилюють виробничу ситуацію. Ефективним засобом профілактики стресів за екстремальних умов є професійна підготовка на тренажах, що імітують аварійні ситуації [26].

7.6 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях. Захист населення при хімічному зараженні у разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті або транспортних засобах, що перевозять сильнодіючі отруйні речовини

Зона хімічного зараження – територія чи акваторія, в межах якої поширені (або куди привнесені) небезпечні хімічні речовини в концентраціях і кількостях, що створюють небезпеку для життя і здоров'я людей, для сільськогосподарських тварин і рослин протягом того чи іншого часу [27].

Правила безпечної поведінки при аваріях з викидом сильнодіючих отруйних речовин.

Для оповіщення населення про аварії на хімічно небезпечних об'єктах гудками, сиренами і іншими сигнальними засобами передають сигнал «Увага всім!». Почувши цей сигнал, треба відразу ж включити радіо і телевізійні приймачі і прослухати інформацію про те, що трапилося і порядок дій населення.

Населення, яке проживає поблизу хімічно небезпечного об'єкта має знати властивості, відмінні ознаки і потенційну небезпеку сильнодіючих отруйних речовин, які використовуються на цьому об'єкті, способи захисту від ураження ними, вміти діяти в умовах аварії, надавати першу медичну допомогу ураженим.

Надалі діяти відповідно до вказівок органів ДСНС і місцевого самоврядування. Про можливість повернення до місця проживання (роботи) буде оголошено додатково після ліквідації наслідків аварії.

Почувши інформацію про аварію, необхідно виходити із зони хімічного зараження треба в сторону, перпендикулярну напрямку вітру. Уникайте переходу через тунелі, яри, лощини, так як в низьких місцях більше концентрація отруйних речовин.

Якщо відсутні засоби індивідуального захисту, поблизу немає притулку і немає можливості покинути район аварії, залишіться в приміщенні, включіть радіо і чекайте повідомлення органів ДСНС. Проведіть герметизацію приміщення. Надійна герметизація житла значно зменшує можливість проникнення в нього сильнодіючих отруйних речовин [27].

Що потрібно зробити при оповіщення про АВАРІЇ з викидом сильнодіючих отруйних речовин:

- надіти засоби захисту органів дихання та шкіри,
- закрити вікна і кватирки,
- відключити електроприлади,
- перекрити газ,
- взяти документи,
- цінні речі, при необхідності теплий одяг і харчування (триденний запас продуктів),
- попередити сусідів,
- швидко, без паніки вийти з будівлі (приміщення) та сховатися в найближчому притулку або покинути район аварії.

При русі на зараженій місцевості дотримуйтесь наступних правил:

- рухайтесь швидко, але не біжіть і не піднімайте пилу;
- не притуляйтесь до будівель і не торкайтесь навколишніх предметів;
- не наступайте на краплі рідини або порошкоподібні розсипи невідомих речовин, що зустрічаються на шляху;
- не знімайте засоби індивідуального захисту;
- при виявленні на шкірі, одязі, взутті, засобах індивідуального захисту крапель сильнодіючих отруйних речовин видаліть їх тампоном з паперу, ганчір'я або носовою хусткою, по можливості промийте заражене місце водою;
- надайте допомогу потерпілим, дітям і людям похилого віку, які не здатні рухатися самостійно;
- не приймайте їжу, не пийте воду.

Основні способи захисту населення від сильнодіючих отруйних речовин:

- використання засобів індивідуального захисту органів дихання;

- використання захисних споруд (сховищ);
- тимчасове укриття населення в житлових і виробничих будівлях;
- евакуація населення із зон можливого зараження.

Кожен з перерахованих способів можна використовувати в конкретній обстановці або самостійно, або в поєднанні з іншими способами.

Для захисту населення від сильнодіючих отруйних речовин завчасно вживають заходів: створюють систему і встановлюють порядок оповіщення про аварії на хімічно небезпечних об'єктах; накопичують кошти захисту і визначають порядок забезпечення ними людей; готують укриття, житлові і виробничі будівлі до захисту від сильнодіючих отруйних речовин; визначають райони евакуації (тимчасового відселення) людей; намічають найбільш доцільні способи захисту населення в залежності від обстановки і визначають комплекс заходів, що забезпечують попередження і ослаблення поразки людей і збереження їх працездатності; здійснюють підготовку органів управління і сил, призначених для ліквідації аварій на хімічно небезпечних об'єктах, а також підготовку населення до захисту від сильнодіючих отруйних речовин і до дій в умовах хімічного зараження. Організація захисту населення покладено на органи управління ДСНС і комісії з надзвичайних ситуацій (держави, області, району, міста) [27].

Оповіщення населення.

Для своєчасного вжиття заходів щодо захисту населення є система оповіщення. Її основу складають створювані на хімічно небезпечних об'єктах і навколо них локальні системи, які забезпечують сповіщення не тільки персоналу цих об'єктів, а й населення найближчих районів. Системи мають електросирени та апаратуру дистанційного керування і виклику.

Передбачено використання для передачі сигналів про безпосередню загрозу поразки сильнодіючими отруйними речовинами та інформації про обстановку і правила поведінки населення існуючих територіальних автоматизованих систем централізованого оповіщення. Відбувається це в такий спосіб. Оперативний черговий орган управління ДСНС отримує відомості про аварії на хімічно небезпечному об'єкті від диспетчера підприємства і дає вказівку про сповіщення населення відповідальному працівнику засобів масової інформації. Потім шляхом примусового дистанційного перемикання програм радіотрансляційних вузлів здійснюють мовну передачу сигналу «Хімічна тривога», а також попередження населення про вживання необхідних заходів захисту [27].

Використання засобів індивідуального захисту органів дихання – найбільш ефективний спосіб захисту населення в реальних умовах зараження навколишнього середовища сильнодіючими отруйними речовинами. Цей спосіб широко застосовують на хімічних виробництвах для захисту промислово-виробничого персоналу. У міру накопичення засобів індивідуального захисту в найближчі роки він знайде також широке застосування і для захисту населення, що проживає поблизу хімічно небезпечних об'єктів.

Протигази для забезпечення населення (цивільні протигази) в даний час зберігають на складах органів місцевої влади, в основному в заміській зоні; для забезпечення робітників і службовців (промислові протигази) – безпосередньо на хімічно небезпечних об'єктах.

Укриття людей в захисних спорудах (сховищах) цивільної оборони дозволяє забезпечити більш високий рівень їх захисту від шкідливих речовин, біологічних аерозолів, теплового впливу при пожежах, а також від сильнодіючих отруйних речовин. Укриття можуть бути вбудовані (в підвальних поверхах і заглиблених приміщеннях виробничих і допоміжних будівель промислових підприємств, громадських і житлових будівель) та окремо розташовані поза будівлями інших способів захисту їх можна використовувати для тимчасового укриття людей [27].

Вбудована захисна споруда (укриття).

З метою зменшення вражаючої дії сильнодіючих отруйних речовин на людей, що знаходяться в будівлях і спорудах, доцільно використовувати наявні побутові та підручні засоби для додаткової герметизації приміщень. Цим досягається зменшення проникнення в них зовнішнього повітря.

Герметизацію приміщень треба проводити в такій послідовності:

- закрити входні двері, вікна (в першу чергу з навітряної сторони);
- заклеїти вентиляційні отвори щільним матеріалом або папером;
- ущільнити двері вологими матеріалами (мокрим простирадлом, ковдрою);
- нещільності віконних прорізів заклеїти зсередини липкою стрічкою (пластиром), папером або ущільнити підручними матеріалами (ватаю, поролоном, м'яким шнуром).

Місця в житловому будинку, які в надзвичайній ситуації необхідно закрити (законопатити, зашпакувати, заклеїти), щоб захистити його від проникнення всередину сильнодіючих отруйних речовин.

Необхідно враховувати, що концентрація сильнодіючих отруйних речовин в приміщеннях багатоповерхових будинків буде істотно відрізнятися по поверхах, особливо взимку. Найбільша кількість зараженого повітря буде надходити на перших поверхах будівель. Більш надійний захист від нього буде забезпечений на верхніх поверхах. У літніх умовах концентрація сильнодіючих отруйних речовин, які легше повітря (аміак, сірководень, формальдегід, метил хлористий), буде найбільшою на верхніх поверхах. Важкі сильнодіючі отруйні речовини (хлор, фосген, сірчаний ангідрид), як правило, затримуються на нижніх поверхах будівель [27].

Евакуацію населення організують комісії з надзвичайних ситуацій на підставі прогнозування можливої небезпечної хімічної обстановки. Її можуть проводити з використанням автомобільного транспорту і пішим порядком. Маршрути для евакуації вибирають з урахуванням метеорологічних умов, особливостей місцевості та інших факторів. Найбільшої ефективності в захисті населення досягають лише в тому випадку, якщо евакуацію вдається провести до підходу хмари зараженого повітря [27].

#### Висновки.

Необхідність вирішення питань безпеки зумовлює формування цілісної системи знань з проблем охорони праці, необхідних для прийняття за будь-яких умов обґрунтованих рішень щодо безпеки на рівні людини, колективу, підприємства, галузі, регіону й суспільства в цілому. У сфері виробничої діяльності рівень виробничого травматизму залишається високим, що є наслідком дії ряду чинників. До них можна віднести недоліки в організації праці, порушення трудової і технологічної дисципліни, недостатню навченість персоналу, відсутність нагляду й контролю за безпечним виконанням робіт і дотриманням норм законодавчої бази.

Формування у майбутніх фахівців знань щодо стану й проблем охорони праці, вироблення вмінь та навичок в сфері управління потенційними небезпеками, охороною праці, пожежною безпекою дасть можливість зменшити травматизм та зберегти здоров'я працюючих.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломного проекту був розроблений технологічний процес обробки деталі «Шестрєня», яка входить до складу регулятора частоти обертання вільної турбіни турбовального авіаційного двигуна ТВЗ-117ВМ. Обрано тип виробництва і спосіб отримання заготовки. Розраховані припуски і режими різання. Були розроблені технологічні операції в програмі Siemens NX. Спроектоване робоче та контрольне пристосування.

Для зниження трудомісткості і скорочення часу контролю зубчастих коліс необхідно використовувати вимірювальні центри з ЧПК, які дозволяють автоматизовано виміряти зубчастий вінець по всіх параметрах з високою точністю і швидкістю. В роботі проаналізовано можливості і переваги цих приладів.

Також була розглянута проблема отримання високої точності та якості поверхонь зубів зубчастих коліс, та запропоновані методи та стратегії обробки, які дозволяють виконати ці вимоги. Був проведений розрахунок зубів на міцність при різних варіантах конструкції.

Проаналізовані потенційні небезпеки, які можуть виникати при роботі на дільниці. Розроблені та запропоновані заходи з охорони праці, які спрямовані на забезпечення комфортних та безпечних умов при проведенні робіт.

Виконав альбом технологічної документації на виготовлення шестерні. У дипломному проекті розкрито основні теоретичні положення, наведені всі необхідні пояснення, розрахункові формули, ескізи і докладні розрахунки.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» та спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітніх програм «Металорізальні верстати та системи» і «Колісні та гусеничні транспортні засоби» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / НУ «Запорізька політехніка»; уклад. Н.В.Гончар. – Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 85с.

2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. С74 Т. 1/Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд. перераб. и доп. – М : Машиностроение, 1986 – 656 с.

3. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / уклад.: В. І. Ципак (перевидання 3-е). Під ред. Гончар Н.В. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019 – 61 с.

4. Баранчиков В.И. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: монография / В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина. – М : Машиностроение, 1990. – 400с.

5. Богуслаев В.А. Станочные приспособления: монография / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2004 – 461с.

6. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес / Б. А. Тайц. – М : Машиностроение, 1972. – 369с.

7. Сурков И.В. Метрологическое обеспечение процесса контроля зубчатых колес / И.В. Сурков, Н.В. Сырейщикова / Измерения: состояние, перспективы развития / Тезисы докладов международной научно-практической конференции. т. 1 – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – с. 225 – 227.

8. Комплексный автоматизированный двухпрофильный контроль цилиндрических зубчатых колес [Електронний ресурс] : Науково-технічна стаття. – Електронні текстові данні. – Режим доступу: <https://bstudy.net/>

[609072/tehnika/kompleksnyy\\_avtomatizirovannyi\\_dvuhprofilnyy\\_kontrol\\_tsilindricheskih\\_zubchatyh\\_koles#169](http://609072/tehnika/kompleksnyy_avtomatizirovannyi_dvuhprofilnyy_kontrol_tsilindricheskih_zubchatyh_koles#169), вільний. – (дата звернення: 02.10.2019).

9. Измерительный центр для контроля зубчатых колес [Электронный ресурс] : Научно-технічна стаття. – Електронні текстові дані. – Режим доступу : [http://dopusk.net/?page\\_id=2619](http://dopusk.net/?page_id=2619), вільний. – (дата звернення: 02.10.2019). – Назва з екрана.

10. Правиков Ю.М. Измерение цилиндрических зубчатых колес : учебное пособие к лабораторным работам / Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. – Ульяновск : УлГТУ, 2018. – 143с.

11. Марков Н.Н. Нормирование точности в машиностроении : учебник для машиностроительных спец. вузов / Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина; под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М : Высшая школа; Издательский центр «Академия», 2001. – 335 с.

12. Современные методы контроля качества цилиндрических зубчатых колес [Электронный ресурс] : Научно-технічна стаття. – Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://www.informdom.com/metallООbrabotka/2009/4/sovremennye-metody-kontrolya-kachestva-cilindricheskih-zubchatyh-koles.html>, вільний. – (дата звернення: 12.10.2019). – Назва з екрана.

13. Муслина Г.Р. Измерение и контроль геометрических параметров деталей машин и приборов : учебное пособие / Г.Р. Муслина, Ю.М. Правиков; под общ. ред. Л. В. Худобина. – Ульяновск : УлГТУ, 2007. – 220с.

14. Средства контроля, управления и измерения линейных и угловых размеров в машиностроении : каталог / ОАО «ВНИИТЭМР», ИКФ Каталог. – М : Каталог, 2004. – 128 с.

15. Калашников С.Н. Шевингование зубчатых колес / С.Н. Калашников. – М : Высшая школа, 1985. – 224 с.

16. Полуавтомат зубошевінгувальний ВСН-732CNC2 (BC-E02B-0252) [Электронный ресурс] : Каталог устаткування компанії Питермаш. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://www.pitermash.ru/catalog/zuboobrabatyvayushie-stanki/zuboshevingovalnye-i-zubohoningovalnye/bch-732cnc2>, вільний. – (дата звернення: 15.10.2019). – Назва з екрана.

17. Гинзбург Е.Г. Производство зубчатых колес / Е. Г. Гинзбург – Л : Машиностроение, 1978 – 133с.

18. Калашников А.С. Технология изготовления зубчатых колес / А.С. Калашников. – М : Машиностроение, 2004. – 480 с.

19. Тайц Б.А, Производство зубчатых колес : справочник / Б.А. Тайц, Г.И. Коган. – М : Машиностроение, 1990 – 464 с.

20. Современные зубообрабатывающие станки Hofler [Електронний ресурс] : Науково-технічна стаття. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <http://mirprom.ru/public/sovremennye-zubobrabatyvayushchie-stanki-hofler-maschinenbau-gmbh.html>, вільний. – (дата звернення: 16.10.2019). – Назва з екрана.

21. Зубохонингование цилиндрических колес [Електронний ресурс] : Науково-технічна стаття. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <https://mirprom.ru/public/zubohoningovanie-cilindricheskih-koles.html>, вільний. – (дата звернення: 17.10.2019). – Назва з екрана.

22. Зубофрезерний верстат с ЧПК GearSpect SF 160 CNC [Електронний ресурс] : Каталог устаткування компанії Novator. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <http://novator-grp.ru/rus/catalog/213>, вільний. – (дата звернення: 17.10.2019). – Назва з екрана.

23. Основы расчета на прочность зубчатых колес [Електронний ресурс] : Науково-технічна стаття. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : [http://k-a-t.ru/detali\\_mashin/24-dm\\_zubchatye15/index.shtml](http://k-a-t.ru/detali_mashin/24-dm_zubchatye15/index.shtml), вільний. – (дата звернення: 20.10.2019). – Назва з екрана.

24. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування і машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.900260) усіх форм навчання. / ЗНТУ; уклад.: В. К. Яценко, В. І. Ципак, Є. Я. Коренєвський [та ін]. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. – 245.

25. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (освітня програма «Металорізальні верстати та системи»); 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (освітня програма «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок») / ЗНТУ ; Уклад. В.І. Шмирко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 28 с.

26. Гігієна праці. Напруженість трудового процесу [Електронний ресурс] : Науково-технічна стаття. – Електронні текстові данні. – Режим доступу : <http://uz.dsp.gov.ua/index.php/diialnist/hihiena-pratsi/531-napruzenist-trudovoho-protsestu>, вільний. – (дата звернення: 14.11.2019). – Назва з екрана.

27. Юдин Е.Я. Виды аварий на химически опасных объектах : уч. пособие / Е.Я. Юдин. – М : Просвещение, 1996.