

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ З РОЗРОБКОЮ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ
ПРОТЯЖКИ ШЛІЦЬОВОЇ МК-122.02**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМ-41
Лавренчук Назарій Віталійович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Самчук Людмила Михайлівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2025 р.
Гарант освітньої програми:
к.т.н., доцент
Божко Тетяна Євгенівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Лавренчуку Назарію Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Проектування дільниці з розробкою технологічного процесу механічної обробки протяжки шліцьової МК-122.02

Керівник роботи: Самчук Людмила Михайлівна

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2024 р. № 910/01-07

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «1» червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі протяжка шліцьова МК-122.02, базовий технологічний процес, нормативні дані

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Вступ. 1 Загальна частина. 2. Технологічна частина. 3. Конструкторська частина. 4 Проектування механічної дільниці. 5 Охорона праці. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу: Креслення деталі – 1 лист (ф.А1), креслення 3D моделі – 1 лист (ф.А3), креслення заготовки – 1 лист (ф.А2), КН – 1 лист та спеціального ріжучого інструмента – 1 лист (ф.А1), креслення плану дільниці – 1 лист (ф.А1), складальне креслення верстатного пристрою - 1 лист (ф.А1), креслення контрольного пристрою – 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання «4» лютого 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1 | <i>Обґрунтування теми</i> | 5.03.2025р. | |
| 2 | <i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i> | 10.03.2025р. | |
| 3 | <i>Загальна частина.</i> | 11.03.2025 р. | |
| 4 | <i>Технологічна частина</i> | 18.04.2025 р. | |
| 5 | <i>Конструкторська частина</i> | 25.05.2025 р. | |
| 6 | <i>Проектування механічної ділянки</i> | 25.05.2025 р. | |
| 7 | <i>Охорона праці</i> | 27.05.2025 р. | |
| 8 | <i>Висновки та пропозиції</i> | 1.06.2025р. | |
| 9 | <i>Формування списку використаних джерел</i> | 1.06.2025р. | |
| 10 | <i>Формування додатків</i> | 2.06.2025р. | |
| 11 | <i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i> | 2.06.2025р. | |
| 12 | <i>Нормоконтроль</i> | 2.06.2025р. | |
| 13 | <i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i> | 2.06.2025р | |
| 14 | <i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i> | 20.06.25р. | |
| | | | |

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

(Лавренчук Н.В.)

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

(Самчук Л.М.)

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Лавренчук Н. В. Проектування дільниці з розробкою технологічного процесу механічної обробки протяжки шліцьової МК-122.02.Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, 5 розділів, висновків та пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

У роботі здійснено проектування виробничої дільниці для виконання механічної обробки шліцьової протяжки. Розроблено повний маршрутний технологічний процес із визначенням операцій, що забезпечують необхідну точність і якість обробки. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибраної заготовки, визначено тип виробництва та організаційну форму дільниці.

Особливу увагу приділено розрахунку основного та штучно-калькуляційного часу, а також визначенню кількості обладнання, потрібного для виконання кожної операції. Здійснено аналіз конструкції протяжки на технологічність, підбрано матеріал із високими показниками міцності та зносостійкості.

У ході роботи визначено припуски, допуски та розміри заготовки за допомогою розмірного аналізу. Обґрунтовано вибір режимів різання й обладнання, а також розроблено спеціалізоване технологічне оснащення, яке забезпечує надійне базування й закріплення протяжки під час обробки. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення точності, продуктивності та полегшення умов праці за рахунок механізації технологічних процесів.

Ключові слова: припуски, допуски, розмірний аналіз, режим різання, технологічне оснащення, базування, закріплення, зносостійкість, продуктивність, механізація.

ABSTRACT

Lavrenchuk N. V. Design of a section with the development of a technological process for mechanical processing of spline broaching MK-122.02 Manuscript.

Qualification work of the bachelor's OP " Applied Mechanics" specialty 131 Applied mechanics. Lutsk national technical university. Lutsk , 2025 .

Qualification work consists of an introduction, 5 sections, conclusions and proposals, list of used sources, applications .

The work includes the design of a production area for mechanical processing of spline broaches. A complete route technological process has been developed with the definition of operations that ensure the required accuracy and quality of processing. A feasibility study of the selected workpiece has been carried out, the type of production and the organizational form of the section have been determined.

Particular attention has been paid to the calculation of the main and piece-rate calculation time, as well as the determination of the amount of equipment required to perform each operation. The broaches design has been analyzed for manufacturability, and a material with high strength and wear resistance has been selected.

During the work, allowances, tolerances and dimensions of the workpiece have been determined using dimensional analysis. The choice of cutting modes and equipment has been justified, and specialized technological equipment has been developed that provides reliable basing and fixing of the broaches during processing. The proposed solutions are aimed at increasing accuracy, productivity and facilitating working conditions through the mechanization of technological processes.

Keywords: allowances, tolerances, dimensional analysis, cutting mode, technological equipment, basing, fastening, wear resistance, productivity, mechanization.

ЗМІСТ

| | ст |
|--|----|
| Вступ..... | 7 |
| 1 Розділ 1. Загальна частина | 8 |
| 1.1 Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь..... | 9 |
| 1.2 Вибір методу одержання заготовки..... | 10 |
| 1.3 Вибір методу обробки поверхонь..... | 11 |
| 1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва..... | 12 |
| 2 Розділ 2. Технологічна частина..... | 16 |
| 2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі..... | 17 |
| 2.2 Вибір технологічних баз..... | 20 |
| 2.3 Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків..... | 20 |
| 2.4 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання..... | 31 |
| 2.5 Нормування технологічного процесу..... | 36 |
| 3 Розділ 3. Конструкторська частина..... | 40 |
| 3.1 Проектування технологічного оснащення..... | 40 |
| 3.1.2 Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми..... | 40 |
| 3.1.3 Силовий розрахунок параметрів приводу..... | 40 |
| 3.1.4 Розрахунок на точність..... | 42 |
| 3.1.5 Загальний опис конструкції, принцип дії..... | 42 |
| 3.2 Проектування контрольного пристрою..... | 43 |
| 3.2.1 Розрахунок на точність..... | 43 |
| 3.2.2 Загальний опис конструкції, принцип дії..... | 43 |
| 3.3 Розрахунок спеціального ріжучого інструменту..... | 43 |
| 4 Розділ 4. Проектування механічної дільниці..... | 45 |
| 4.1 Уточнення типу виробництва..... | 45 |
| 4.2 Визначення кількості працівників на дільниці..... | 48 |
| 4.3 Розрахунок виробничої площі дільниці | 49 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | |
|---|----|
| 4.4 Розробка технологічного планування ділянки..... | 50 |
| 4.5 Основні техніко-економічні показники ділянки..... | 50 |
| 5 Розділ 5. Охорона праці..... | 52 |
| Висновки та пропозиції..... | 57 |
| Список використаних джерел..... | 59 |
| Додатки..... | 61 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВСТУП

Машинобудування – це важлива й багатогранна сфера промисловості України, у якій зайнята значна частина працівників. Воно відіграє ключову роль у технічному та технологічному розвитку. Ця промислова галузь суттєво впливає на народне господарство, сприяючи впровадженню наукових досягнень і забезпечуючи виробництво необхідними матеріальними ресурсами. Рівень її розвитку вважається одним із головних показників економічного та індустріального поступу країни. Машинобудування охоплює широкий спектр виробництв, зокрема транспортне, енергетичне, сільськогосподарське, точне й важке машинобудування. Кожен із цих напрямів забезпечує різні галузі економіки необхідною технікою та обладнанням. Важливу роль у розвитку машинобудівного комплексу відіграє науково-дослідна діяльність, яка сприяє впровадженню інноваційних технологій, підвищенню продуктивності виробництва та створенню конкурентоспроможної продукції.

Крім того, машинобудування є стратегічною галуззю для міжнародного співробітництва, адже продукція українських підприємств експортується до багатьох країн світу. Розвиток цієї сфери безпосередньо впливає на економічну стабільність держави, рівень зайнятості населення та впровадження передових технологій у виробництво. Машинобудування цікаве тим, що воно є фундаментом для розвитку багатьох інших галузей, адже без сучасного обладнання неможливо уявити ефективне виробництво в енергетиці, транспорті, медицині, будівництві та аграрному секторі. Окрім цього, машинобудування активно розвивається завдяки автоматизації та цифровим технологіям. Використання роботизованих систем, 3D-друку, штучного інтелекту та Інтернету речей дозволяє створювати більш точні, економічні та екологічні машини.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1
ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь

Протяжка виготолюється з інструментальної швидкорізальної сталі P6M5K та використовується для всіх видів ріжучого інструменту при обробці вуглецевих легованих конструкційних сталей.

Хімічний склад і механічні властивості сталі P6M5K5 представлені в таблицях 1.1 - 1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі P6M5K5 ISO 683/17

| Хімічний елемент | Відсотковий вміст, % |
|------------------|----------------------|
| W | 5,70-6,70 |
| V | 1,70-2,10 |
| Co | 4,70-5,20 |
| Si | 0,50 |
| Mo | 4,80-5,30 |
| Mn | 0,50 |
| Ni | 0,40 |
| P | 0,030 |
| Cr | 3,80-4,30 |
| S | 0,030 |

Таблиця 1.2 – Технологічні властивості сталі P6M5K5 ISO 683/17

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Температура кування, °С | початку – 1160, кінця – 850 |
| Шліфування | добре (ГОСТ 19265-93) |

Таблиця 1.3 – Механічні властивості сталі P6M5K5 ISO 683/17

| Щільність $\rho \cdot 10^{-3}$ | Твердість HRC | Межа міцності, Па | | Теплопровідність при $t=300^{\circ}\text{C}$, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
|-----------------------------------|------------------|---|--|--|
| | | на вигин $\delta_{32} \cdot 10^{-7}$ | на стиснення $\delta_{3\text{м}} \cdot 10^{-7}$ | |
| 8,2 | 64 | 300 | 375 | 21,0 |

«Для економії швидкорізальної сталі протяжки з цієї сталі виготовлюють зварними. Хвостовик зварних протяжок виготовляють зі сталі 40X за ISO 683/17» [1]. Хімічний склад і механічні властивості сталі 40X ISO 683/17 представлені в таблицях 1.4, 1.5.

Таблиця 1.4 – Механічні властивості сталі 40X ISO 683/17

| σ_{T} , МПа | $\sigma_{\text{в}}$, МПа | % | l , % | Ударна в'язкість QH, Н·м/см | Твердість HRC (не більше) |
|---------------------------|---------------------------|---|---------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Не менше | | | | | |
| 1300...1400 | 150.160 | 7 | 25 | 3 | 45...50 |

Таблиця 1.5 – Хімічний склад сталі 40X, в % за ISO 683/17

| Хімічний елемент | Відсотковий вміст, % |
|------------------------|----------------------|
| Мідь (Cu), не більше | 0,25 |
| Сірка (S), не більше | 0,04 |
| Кремній (Si) | 0,17-0,37 |
| Марганець (Mn) | 0,5-0,8 |
| Нікель (Ni), не більше | 0,25 |
| Фосфор (P), не більше | 0,035 |
| Хром (Cr), не більше | 0,25 |

1.2. Вибір методу одержання заготовки

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Вихідні дані: інструмент – протяжка шліцьова, матеріал – сталь 6PM5K5 та сталь 40X, річна програма випуску – 3500 штук. Вид заготовки представлено на рис. 1.1.

Масу деталі визначаємо по формулі:

$$m_0 = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l; \quad (1.1)$$

$$m_0 = 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 1,5 + 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 2,8 + 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 2,7 +$$

$$+ 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 1,9^2}{4} \cdot 9,1 + 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} \cdot 3 + 8,15 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2,34^2}{4} \cdot 12,8 +$$

$$+ 8,15 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2,2^2}{4} \cdot 1 + 8,15 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 1,6 = 0,965 \text{ кг.}$$

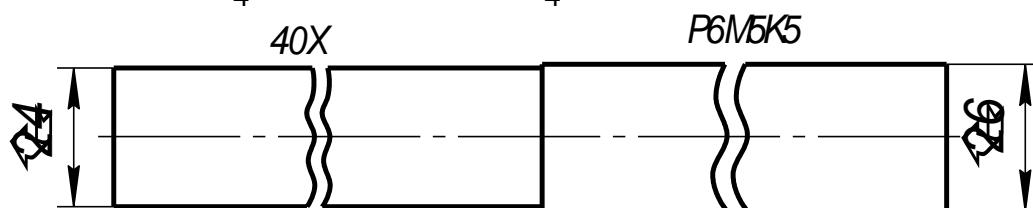


Рисунок 1.1 Вид заготовки

$$m_3 = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot l = 7,85 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2,4^2}{4} \cdot 18 + 8,15 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,14 \cdot 2,6^2}{4} \cdot 16,5 = 1,351 \text{ кг.}$$

Вартість заготовки, отриманої із прокату, грн

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}, \quad (1.2)$$

«Маса заготовки із прокату визначається виходячи із креслення заготовки й найближчого прокату круглого перетину. За допомогою САПР визначаємо, що маса заготовки із прокату дорівнює $Q = 7,1$ кг, тоді»[1]:

$$M = (0,713 \cdot 38,3 + 0,638 \cdot 7) - (1,351 - 0,965) \cdot \frac{400}{1000} = 31,6 \text{ грн,}$$

Вартість заготовки, отриманої штампуванням на ГKM:

$$S = \frac{C}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_M \cdot K_n - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх.}}}{1000}, \quad (1.3)$$

Тоді:

$$S = \frac{42300}{1000} \cdot 1,253 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 - (1,253 - 0,965) \cdot \frac{400}{1000} = 52,8 \text{ грн}$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | |

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу $K_{вм}$ для обох варіантів:

$$K_{вм.нр} = \frac{m_{\partial}}{m_{знр}}; \quad (1.4)$$

$$K_{вм.нр} = \frac{0,965}{1,351} = 0,72;$$

$$K_{вм.шт} = \frac{m_{\partial}}{m_{зшт}}; \quad (1.5)$$

$$K_{вм.шт} = \frac{0,965}{1,253} = 0,77.$$

Порівнюючи обидва варіанти одержання заготовки, можна сказати, що використання штампованої заготовки не дає значної економії матеріалу, а також часу, різального інструменту, електроенергії, тим паче дивлячись на високу вартість штампованих заготовок, необхідність виготовлення штампів, їхнє застосування для умов серійного виробництва не виправдане й економічно не доцільно. Тому використання заготовок з прокату двох сортів сталі скорочує витрату інструментальної сталі майже вдвічі, що економічно доцільніше.

1.3. Вибір методу обробки поверхонь

«Найточнішими поверхнями на оброблюваній заготовці є хвостовик $\varnothing 20f9$, передня та задня направляючі $\varnothing 22f7$, профіль та форма шліцьових зубців протяжки. Точність цих поверхонь досягається шліфуванням»[1].

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_{з.}}{T_{\partial}}, \quad (1.6)$$

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів використовуємо формулу:

$$n = \frac{\lg \varepsilon}{0,46}. \quad (1.7)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Наприклад, для даної деталі, яка має передню та задню направляючі Ø22мм з допуском f7.

Заготовка виготовляється методом прокату і досягає точності Н16.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_{з.}}{T_{д.}} = \frac{1300}{21} = 61,9;$$

$$n = \frac{\lg 61,9}{0,46} = 4.$$

Після першого переходу точність збільшується з Н16 до Н13 (3 квалітета); після другого переходу з Н13 до Н10 (3 квалітета), після третього переходу з Н10 до Н8 (2 квалітета), після четвертого переходу з Н8 до Н7 (1 квалітет), що цілком відповідає рекомендаціям вибору методу обробки по економічній точності.

1.4. Визначення типу та організаційної форми виробництва

Для деталі протяжки шліцевої масою $m=0,94$ кг із річною програмою випуску $N=3500$ шт. попередньо приймаємо серійне виробництво.

$$K_{з.о} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (1.8)$$

$$m_{pi} = \frac{N \cdot T_{ш-кі}}{60 \cdot F_g \cdot \eta_3}, \quad (1.9)$$

$$m_{p1} = \frac{3500 \cdot 2,68}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,09; \quad P_1 = 1;$$

$$m_{p2} = \frac{3500 \cdot 5,3}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,19; \quad P_2 = 1;$$

$$m_{p3} = \frac{3500 \cdot 3,49}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,13; \quad P_3 = 1;$$

$$m_{p4} = \frac{3500 \cdot 3,66}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,12; \quad P_4 = 2;$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

013Б-25.00.00.00.000 ПЗ

$$m_{p5} = \frac{3500 \cdot 2,67}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,09; \quad P_5 = 1;$$

$$m_{p6} = \frac{3500 \cdot 30,5}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 1,13; \quad P_6 = 1;$$

$$m_{p7} = \frac{3500 \cdot 38,9}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 1,45; \quad P_7 = 2;$$

$$m_{p8} = \frac{3500 \cdot 2,08}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,08; \quad P_8 = 1;$$

$$m_{p9} = \frac{3500 \cdot 5,32}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,2; \quad P_9 = 1;$$

$$m_{p10} = \frac{3500 \cdot 17,48}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,65; \quad P_{10} = 1;$$

$$m_{p11} = \frac{3500 \cdot 5,57}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,21; \quad P_{11} = 1;$$

$$m_{p12} = \frac{3500 \cdot 33,43}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 1,25; \quad P_{12} = 2;$$

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження устаткування:

$$\eta_{\phi i} = \frac{m_{p i}}{P_i}; \quad (1.10)$$

$$\eta_{\phi 1} = 0,09; \quad \eta_{\phi 2} = 0,19; \quad \eta_{\phi 3} = 0,13; \quad \eta_{\phi 4} = 0,12; \quad \eta_{\phi 5} = 0,09; \quad \eta_{\phi 6} = 0,56;$$

$$\eta_{\phi 7} = 0,72; \quad \eta_{\phi 8} = 0,08; \quad \eta_{\phi 9} = 0,2; \quad \eta_{\phi 10} = 0,65; \quad \eta_{\phi 11} = 0,21; \quad \eta_{\phi 12} = 0,62.$$

Визначаємо кількість операцій, що виконуються на робочому місці:

$$O_i = \frac{\eta_3}{\eta_{\phi i}}; \quad (1.11)$$

$$O_1 = 8,75; \quad O_2 = 21,25; \quad O_3 = 13,75; \quad O_4 = 12,5; \quad O_5 = 8,75; \quad O_6 = 68,75;$$

$$O_7 = 88,75; \quad O_8 = 7,5; \quad O_9 = 22,5; \quad O_{10} = 78,75; \quad O_{11} = 23,75; \quad O_{12} = 76,25.$$

Дані для розрахунків заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Визначення типу виробництва

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| Операція | $T_{шт-к, хв.}$ | m_p | $P,$ | η_ϕ | O |
|-------------------------------|-----------------|-------|------|-------------|-------|
| 010 Фрезерно-центрувальна | 2,68 | 0,09 | 1 | 0,09 | 8,75 |
| 020 Токарно-гвинторізна | 5,3 | 0,19 | 1 | 0,19 | 21,25 |
| 025 Токарно-гвинторізна | 3,49 | 0,13 | 1 | 0,13 | 13,75 |
| 030 Токарно-гвинторізна з ЧПК | 3,66 | 0,12 | 1 | 0,12 | 12,5 |
| 035 Токарно-гвинторізна з ЧПК | 2,67 | 0,09 | 1 | 0,09 | 8,75 |
| 040 Горизонтально-фрезерна | 30,5 | 1,13 | 2 | 0,56 | 68,75 |
| 045 Горизонтально-фрезерна | 38,9 | 1,45 | 2 | 0,72 | 88,75 |
| 060 Круглошліфувальна | 2,08 | 0,08 | 1 | 0,08 | 7,5 |
| 065 Заточувальна | 5,32 | 0,2 | 1 | 0,2 | 22,5 |
| 070 Круглошліфувальна | 17,48 | 0,65 | 1 | 0,65 | 78,75 |
| 075 Круглошліфувальна | 5,57 | 0,21 | 1 | 0,21 | 23,75 |
| 080 Круглошліфувальна | 33,43 | 1,25 | 2 | 0,62 | 76,25 |

$$\sum O = 431,25;$$

$$\sum O_i = 431,25;$$

$$\sum P = 15.$$

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{431,54}{15} = 28,75 - \text{виробництво середньосерійне.}$$

Визначаємо добовий випуск виробів:

$$N_c = \frac{N}{254}, \quad (1.13)$$

$$N_c = \frac{3500}{254} = 14 \text{ шт.}$$

Визначаємо добову продуктивність поточної лінії:

$$Q_c = \frac{F_c}{T_{шк-ср}} \cdot \eta_{з.ф.ср.}, \quad (1.14)$$

$$T_{шк-ср.} = \frac{\sum T_{шт.кі.}}{n}, \quad (1.15)$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

$$\eta_{з.ф.ср.} = \frac{\sum_{s=1}^n \eta_{з.ф.i.}}{n} \quad (1.16)$$

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,09 + 0,19 + 0,13 + 0,12 + 0,09 + 0,56 + 0,72 + 0,08 + 0,2 + 0,65 + 0,21 + 0,62}{12} = 0,305;$$

$$T_{шк.-ср.} = \frac{2,68 + 5,3 + 3,49 + 3,66 + 2,67 + 30,5 + 38,9 + 2,09 + 5,32 + 17,48 + 5,57 + 33,43}{12} = 12,59 \text{ хв};$$

$$Q_c = \frac{952}{12,59} \cdot 0,305 = 23 \text{ шт.}$$

$$N_c > Q_c \cdot 0,6;$$

$$14 > 23 \cdot 0,6 = 13.$$

Розраховуємо такт випуску виробів[2]:

$$t_g = \frac{60 \cdot F_d}{N}, \quad (1.17)$$

$$t_g = \frac{60 \cdot 4059}{3500} = 69,6 \text{ хв.}$$

Отже, приймаємо середньосерійний тип виробництва з потоковою формою його організації.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

З погляду механічної обробки процес виготовлення протяжки дуже трудомісткий, вимагає спеціального устаткування і технологічного оснащення. При нарізанні стружкових канавок необхідно застосовувати верстати з ЧПУ.

«Конструкція проектного інструмента, у цьому випадку ріжучої частини шліцьової протяжки, дає можливість застосовувати заготовку прогресивного виду, близьку за формою й розмірами до готової деталі, а також припускає доступність всіх оброблюваних поверхонь для механічної обробки»[2].

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Також конструкція відповідає вимогам зборки й має зручні складальні бази, вимагає мінімум прогонних робіт. Використання нестандартного різального інструменту й оснащення не потрібно. Призначені точності розмірів, форми, параметри шорсткості й технічних вимог економічно досяжні. Є можливість утилізації обробленої ріжучої частини протяжки.

Однак конструкція ріжучої частини має й не технологічні елементи. До них ставляться канавки й шліці. Перші вимагають значних витрат основного часу, другі – допоміжного. А також зуби, які піддаються такої точної операції як заточення. Відповідальну роль у виготовленні відіграє шліфування, якому піддаються практично всі елементи протяжки й від якого залежить якість поверхні готового інструмента.

Коефіцієнт шорсткості знаходиться у межах $0 < K < 1$.

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{Ш_{cp}}; \quad (2.1)$$

$$Ш_{cp} = \frac{\sum Ш \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (2.2)$$

$$Ш_{cp} = \frac{0,2 \cdot 45 \cdot 32 \cdot 4 + 0,8 \cdot (3 + (45 \cdot 32)) + 1,6 \cdot 12}{7215} = 0,4.$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{0,4} = 0,6 < 0,8 - \text{деталь не технологічна по цьому показнику.}$$

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} \quad (2.3)$$

$$A_{cp} = \frac{\sum A \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 19 \cdot n_{19}}{n_1 + n_2 + \dots + n_{19}} \quad (2.4)$$

$$A_{cp} = \frac{2 \cdot 7 + 2 \cdot 8 + 9}{5} = 7,8$$

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{7,8} = 0,88 > 0,8 - \text{деталь технологічна по цьому показнику.}$$

Рівень технологічності за коефіцієнтом використання металу:

$$K_{в.м} = \frac{Q}{q}, \quad (2.5)$$

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

2.3. Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків

Розраховуємо припуск на найбільшу поверхню $\varnothing 43,22_{(-0,02)}$ для визначення найближчого стандартного діаметру прокату для заготовки. Розрахована поверхня - це зовнішня поверхня диска та діаметр найбільшого інструменту. Технічний шлях для обробки поверхні дорівнює $\varnothing 23,4f7$ складається з різкості часу до та після та до і остаточного шліфування.

«При загостренні заготовка визначається в центрі. У цьому відношенні помилка встановлення знаходиться в радіальному напрямку нуля, що призначений для обчисленого розміру. У цьому випадку це значення виключається з основної формули і обчислює мінімальний розрахунок. Технологічний маршрут заносимо в таблицю 2.1. Також записуємо відповідній заготовці й кожному технологічному переходу значення елементів припуску»[3].

Таблиця 2.1 Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічних переходах на обробку поверхні $\varnothing 23,4f7$

| Технологічні переходи | Елементи припуска, мкм. | | | | Розрахунковий припуск Z_{min} , мкм | розмір, $d_{розр}$, мм | Допуск T , мкм | Граничні розміри, мм | | Граничне значення припусків, мкм | |
|-----------------------|-------------------------|-----|----------|---------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| | Rz | h | Δ | ε | | | | d_{min} | d_{max} | Z_{min} | Z_{max} |
| Заготовка | 150 | 150 | 400 | 0 | | 23,27 | 1400 | 25,27 | 26,67 | - | - |
| Обточування попереднє | 50 | 50 | 24 | 0 | 700 | 23,87 | 330 | 23,87 | 24,2 | 1400 | 2470 |
| Обточування остаточне | 30 | 30 | 16 | 0 | 124 | 23,62 | 130 | 23,62 | 23,75 | 250 | 450 |
| Шліфування попереднє | 10 | 20 | 8 | 0 | 76 | 23,47 | 30 | 23,47 | 23,5 | 160 | 270 |

Сумарне відхилення:

$$\Delta z = \sqrt{\Delta_K^2 + \Delta_C^2}. \quad (2.6)$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

Відхилення кривизни:

$$\Delta_K = \Delta k \cdot l, \quad (2.7)$$

$$\Delta k = 0,4 \text{ мкм/м};$$

$$\Delta_K = 0,4 \cdot 170 = 68 \text{ мкм} = 0,068 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25T$$

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25 \times 1,6 = 0,40 \text{ мм}$$

де T – допуск на заготовку, $T = 1,6 \text{ мм}$.

$$\Delta = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ мкм};$$

$$\Delta = 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ мкм.}$$

$$\Delta = 0,02 \cdot 400 = 8 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min} = 2 \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (2.8)$$

оскільки $\varepsilon = 0$, то

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{i-1}) \quad (2.9)$$

Мінімальний припуск:

$$2z_{\min} = 2 \cdot (150 + 150 + 400) = 2 \cdot 700 \text{ мкм};$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot (50 + 50 + 24) = 2 \cdot 124 \text{ мкм};$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot (30 + 30 + 16) = 2 \cdot 76 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min} = 2 \cdot (10 + 20 + 8) = 2 \cdot 38 \text{ мкм.}$$

$$d_p = 23,395 + 0,072 = 23,47 \text{ мм};$$

$$d_p = 23,47 + 0,152 = 23,62 \text{ мм};$$

$$d_p = 23,62 + 0,25 = 23,87 \text{ мм};$$

$$d_p = 23,87 + 1,4 = 25,27 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\max 4}^{np} = 23,5 - 23,41 = 0,09 \text{ мм} = 90 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 3}^{np} = 23,75 - 23,5 = 0,25 \text{ мм} = 250 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = 24,2 - 23,75 = 0,45 \text{ мм} = 450 \text{ мкм};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$2Z_{\max 1}^{np} = 26,67 - 24,2 = 2,47 \text{ мм} = 2470 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 4}^{np} = 23,47 - 23,39 = 0,08 \text{ мм} = 80 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = 23,62 - 23,47 = 0,15 \text{ мм} = 150 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = 23,87 - 23,62 = 0,25 \text{ мм} = 250 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 1}^{np} = 25,27 - 23,87 = 1,4 \text{ мм} = 1400 \text{ мкм};$$

Розрахунковий найменший граничний діаметр прокату [1]:

$$D_{3_{MIN}} = D_{D_{MIN}} + 2z_{0_{MIN}}; \quad (3.10)$$

$$D_{3_{MIN}} = 23,4 + 1,9 = 25,3 \text{ мм};$$

Приймаємо $D_{3_{MIN}} = 26 \text{ мм}$.

$$z_{\max 1}^{np} - z_{\min 1}^{np} = 2470 - 1400 = 1070; T_3 - T_1 = 1400 - 330 = 1070;$$

$$z_{\max 2}^{np} - z_{\min 2}^{np} = 450 - 250 = 200; T_1 - T_2 = 330 - 130 = 200;$$

$$z_{\max 3}^{np} - z_{\min 3}^{np} = 250 - 150 = 100; T_2 - T_3 = 130 - 30 = 100;$$

$$z_{\max 4}^{np} - z_{\min 4}^{np} = 90 - 80 = 10; T_3 - T_4 = 30 - 20 = 10;$$

Схему графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 23,4f7$ представлено на рис. 2.1.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

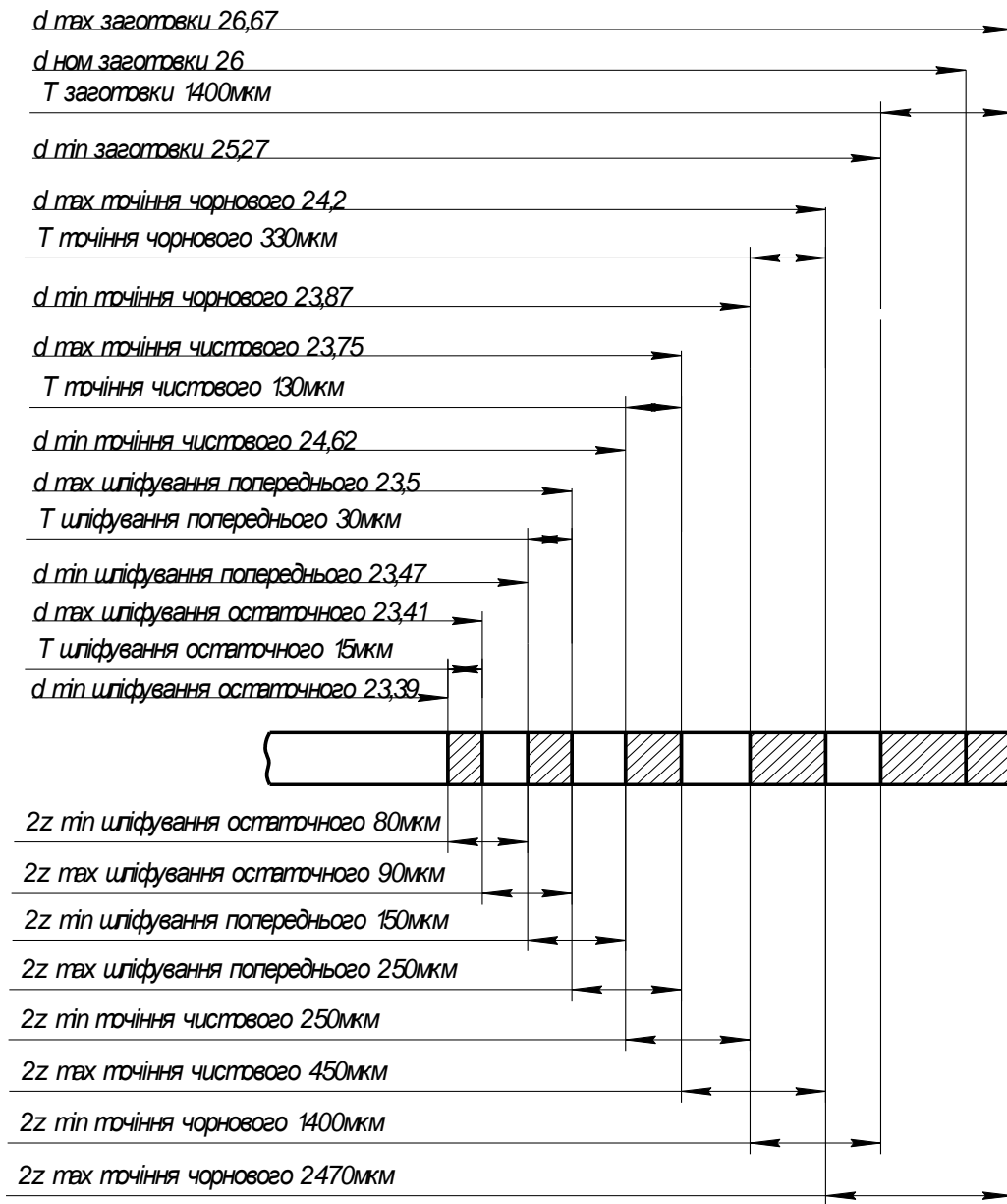


Рисунок 2.1 Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 23, 4f7$

2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу

«За допомогою розмірного аналізу визначаємо розміри заготовки і розміри припусків для технологічних операцій та зробимо висновок відносно якості запропонованого ТП»[4].

Розмірний аналіз в осьовому напрямку:

$$A_{01} = 17 f 8 \left(\begin{matrix} +0,027 \\ 0 \end{matrix} \right);$$

$$A_{02} = 21,4 f 7 \left(\begin{matrix} +0,021 \\ 0 \end{matrix} \right);$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$A_{03} = 22,9 f9\left({}_0^{+0,052}\right);$$

$$A_{04} = 24,9 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$A_{05} = 24,4 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$A_{06} = 26,9 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{020.1} = 20,4 f10\left({}_0^{+0,084}\right);$$

$$A_{020.2} = 19,4 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{020.3} = 22,4 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{025.1} = 15 f8\left({}_0^{+0,027}\right);$$

$$A_{025.2} = 24 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{025.3} = 15 f8\left({}_0^{+0,027}\right);$$

$$A_{030} = 22,4 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{035} = 22,6 f8\left({}_0^{+0,033}\right);$$

$$A_{070.1} = 20 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$A_{070.2} = 19 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$A_{070.3} = 22 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$A_{070.4} = 22 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$K_1 = 15 f8\left({}_0^{+0,027}\right);$$

$$K_2 = 22 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$K_3 = 22 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$K_4 = 19 f7\left({}_0^{+0,021}\right);$$

$$K_5 = 20 f7\left({}_0^{+0,021}\right).$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Наведемо всі необхідні розмірні ланцюги зі схеми рисунку 2.3.

$$Z_{020.1} = A_{03} - A_{020.1} = 22,9 - 20,4 = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{020.1}^{\max} = A_{03}^{\max} - A_{020.1}^{\min} = 22,952 - 20,4 = 2,552 \text{ мм};$$

$$Z_{020.1}^{\min} = A_{03}^{\min} - A_{020.1}^{\max} = 22,9 - 20,484 = 2,416 \text{ мм};$$

$$Z_{020.1} = 2,5_{-0,084}^{+0,052} \text{ мм};$$

$$Z_{020.2} = A_{02} - A_{020.2} = 21,4 - 19,4 = 2 \text{ мм};$$

$$Z_{020.2}^{\max} = A_{02}^{\max} - A_{020.2}^{\min} = 21,421 - 19,4 = 2,021 \text{ мм};$$

$$Z_{020.2}^{\min} = A_{02}^{\min} - A_{020.2}^{\max} = 21,4 - 19,433 = 1,967 \text{ мм};$$

$$Z_{020.2} = 2_{-0,033}^{+0,021} \text{ мм};$$

$$Z_{020.3} = A_{04} - A_{020.3} = 24,9 - 22,4 = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{020.3}^{\max} = A_{04}^{\max} - A_{020.3}^{\min} = 24,921 - 22,4 = 2,521 \text{ мм};$$

$$Z_{020.3}^{\min} = A_{04}^{\min} - A_{020.3}^{\max} = 24,9 - 22,433 = 2,467 \text{ мм};$$

$$Z_{020.3} = 2,5_{-0,033}^{+0,021} \text{ мм};$$

$$Z_{025.1} = A_{06} - A_{025.1} = 26,9 - 15 = 11,9 \text{ мм};$$

$$Z_{025.1}^{\max} = A_{06}^{\max} - A_{025.1}^{\min} = 26,933 - 15 = 11,933 \text{ мм};$$

$$Z_{025.1}^{\min} = A_{06}^{\min} - A_{025.1}^{\max} = 26,9 - 15,027 = 11,873 \text{ мм};$$

$$Z_{025.1} = 11,9_{-0,027}^{+0,033} \text{ мм};$$

$$Z_{025.2} = A_{05} - A_{025.2} = 24,4 - 24 = 0,4 \text{ мм};$$

$$Z_{025.2}^{\max} = A_{05}^{\max} - A_{025.2}^{\min} = 24,421 - 24 = 0,421 \text{ мм};$$

$$Z_{025.2}^{\min} = A_{05}^{\min} - A_{025.2}^{\max} = 24,4 - 24,033 = 0,367 \text{ мм};$$

$$Z_{025.2} = 0,4_{-0,033}^{+0,021} \text{ мм};$$

$$Z_{025.3} = A_{01} - A_{025.3} = 17 - 15 = 2 \text{ мм};$$

$$Z_{025.3}^{\max} = A_{01}^{\max} - A_{025.3}^{\min} = 17,027 - 15 = 2,027 \text{ мм};$$

$$Z_{025.3}^{\min} = A_{01}^{\min} - A_{025.3}^{\max} = 17 - 15,027 = 1,973 \text{ мм};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Z_{025.3} = 2 \pm 0,027 \text{ мм.}$$

$$Z_{030} = A_{025.2} - A_{025.1} = 24 - 15 = 9 \text{ мм};$$

$$Z_{030}^{\max} = A_{025.2}^{\max} - A_{025.1}^{\min} = 24,033 - 15 = 9,033 \text{ мм};$$

$$Z_{030}^{\min} = A_{025.2}^{\min} - A_{025.1}^{\max} = 24 - 15,027 = 8,973 \text{ мм};$$

$$Z_{030} = 9_{-0,027}^{+0,033} \text{ мм.}$$

$$Z_{035} = A_{025.2} - A_{035} = 24 - 22,6 = 1,4 \text{ мм};$$

$$Z_{035}^{\max} = A_{025.2}^{\max} - A_{035}^{\min} = 24,033 - 22,6 = 1,433 \text{ мм};$$

$$Z_{035}^{\min} = A_{025.2}^{\min} - A_{035}^{\max} = 24 - 22,633 = 1,367 \text{ мм};$$

$$Z_{035} = 1,4 \pm 0,033 \text{ мм.}$$

$$Z_{070.1} = A_{020.1} + e - A_{070.1} = 20,4 + 0,05 - 20 = 0,45 \text{ мм};$$

$$Z_{070.1}^{\max} = A_{020.1}^{\max} + e - A_{070.1}^{\min} = 20,484 + 0,05 - 20 = 0,534 \text{ мм};$$

$$Z_{070.1}^{\min} = A_{020.1}^{\min} + e - A_{070.1}^{\max} = 20,4 + 0,05 - 20,021 = 0,429 \text{ мм};$$

$$Z_{070.1} = 0,45_{-0,021}^{+0,084} \text{ мм.}$$

$$Z_{070.2} = A_{020.2} + e - A_{070.2} = 19,4 + 0,05 - 19 = 0,45 \text{ мм};$$

$$Z_{070.2}^{\max} = A_{020.2}^{\max} + e - A_{070.2}^{\min} = 19,433 + 0,05 - 19 = 0,483 \text{ мм};$$

$$Z_{070.2}^{\min} = A_{020.2}^{\min} + e - A_{070.2}^{\max} = 19,4 + 0,05 - 19,021 = 0,429 \text{ мм};$$

$$Z_{070.2} = 0,45_{-0,021}^{+0,033} \text{ мм.}$$

$$Z_{070.3} = A_{020.3} + e - A_{070.3} = 22,4 - 0,05 - 22 = 0,35 \text{ мм};$$

$$Z_{070.3}^{\max} = A_{020.3}^{\max} + e - A_{070.3}^{\min} = 22,433 - 0,05 - 22 = 0,383 \text{ мм};$$

$$Z_{070.3}^{\min} = A_{020.3}^{\min} + e - A_{070.3}^{\max} = 22,4 - 0,05 - 22,021 = 0,329 \text{ мм};$$

$$Z_{070.3} = 0,35_{-0,021}^{+0,033} \text{ мм.}$$

$$Z_{070.4} = A_{030} - A_{070.4} = 22,4 - 22 = 0,4 \text{ мм};$$

$$Z_{070.4}^{\max} = A_{030}^{\max} - A_{070.4}^{\min} = 22,433 - 22 = 0,433 \text{ мм};$$

$$Z_{070.4}^{\min} = A_{030}^{\min} - A_{070.4}^{\max} = 22,4 - 22,021 = 0,379 \text{ мм};$$

$$Z_{070.4} = 0,4_{-0,021}^{+0,033} \text{ мм.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Розмірний аналіз в радіальному напрямку:

$$A_{01} = 250 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,21 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{02} = 17,5 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,084 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{03} = 304,5 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,21 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{04} = 72,5 H11 \left(\begin{smallmatrix} +0,19 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{05} = 335,5 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,185 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{010.1} = 247,5 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,185 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{010.2} = 245 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,185 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{040.1} = 15 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,085 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{040.2} = 302 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,21 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{020} = 70 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,12 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$A_{025} = 333 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,23 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$K_1 = 345 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,23 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$K_2 = 15 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,085 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$K_3 = 302 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,21 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$K_4 = 70 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,12 \\ 0 \end{smallmatrix} \right);$$

$$K_5 = 333 H10 \left(\begin{smallmatrix} +0,23 \\ 0 \end{smallmatrix} \right).$$

Наведемо всі необхідні розмірні ланцюги зі схеми рисунку 2.2.

$$Z_{010.1} = A_{01} - A_{010.1} = 250 - 247,5 = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{010.1}^{\max} = A_{01}^{\max} - A_{010.1}^{\min} = 250,21 - 247,5 = 2,71 \text{ мм};$$

$$Z_{010.1}^{\min} = A_{01}^{\min} - A_{010.1}^{\max} = 250 - 247,685 = 2,315 \text{ мм};$$

$$Z_{010.1} = 2,5 \begin{smallmatrix} +0,21 \\ -0,185 \end{smallmatrix} \text{ мм};$$

$$Z_{010.2} = A_{010.1} - A_{010.2} = 247,5 - 245 = 2,5 \text{ мм}; [5]$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Z_{010.2}^{\max} = A_{010.1}^{\max} - A_{010.2}^{\min} = 247,685 - 245 = 2,685 \text{ мм};$$

$$Z_{010.2}^{\min} = A_{010.1}^{\min} - A_{010.2}^{\max} = 247,5 - 245,185 = 2,315 \text{ мм};$$

$$Z_{010.2} = 2,5 \pm 0,185 \text{ мм};$$

$$Z_{020} = A_{04} - A_{020} = 72,5 - 70 = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{020}^{\max} = A_{04}^{\max} - A_{020}^{\min} = 72,69 - 70 = 2,69 \text{ мм};$$

$$Z_{020}^{\min} = A_{04}^{\min} - A_{020}^{\max} = 72,5 - 70,12 = 2,38 \text{ мм};$$

$$Z_{020} = 2,5^{+0,19}_{-0,12} \text{ мм};$$

$$Z_{025} = A_{05} - A_{025} = 335,5 - 333 = 2,5 \text{ мм};$$

$$Z_{025}^{\max} = A_{05}^{\max} - A_{025}^{\min} = 335,73 - 333 = 2,73 \text{ мм};$$

$$Z_{025}^{\min} = A_{05}^{\min} - A_{025}^{\max} = 33,5,5 - 333,23 = 2,27 \text{ мм};$$

$$Z_{025} = 2,5 \pm 0,23 \text{ мм};$$

$$Z_{040.1} = A_{02} + A_{010.1} - A_{010.2} - A_{040.1} = 17,5 + 247,5 - 245 - 15 = 5 \text{ мм};$$

$$Z_{040.1}^{\max} = A_{02}^{\max} + A_{010.1}^{\max} - A_{010.2}^{\min} - A_{040.1}^{\min} = 17,584 + 247,685 - 245 - 15 = 5,269 \text{ мм};$$

$$Z_{040.1}^{\min} = A_{02}^{\min} + A_{010.1}^{\min} - A_{010.2}^{\max} - A_{040.1}^{\max} = 17,5 + 247,5 - 245,185 - 15,085 = 4,73 \text{ мм};$$

$$Z_{040.1} = 5^{+0,269}_{-0,27} \text{ мм};$$

$$Z_{040.2} = A_{01} + A_{03} - A_{040.2} - A_{010.1} = 250 + 304,5 - 302 - 247,5 = 5 \text{ мм};$$

$$Z_{040.2}^{\max} = A_{01}^{\max} + A_{03}^{\max} - A_{040.2}^{\min} - A_{010.1}^{\min} = 250,21 + 304,71 - 302 - 247,5 = 5,42 \text{ мм};$$

$$Z_{040.2}^{\min} = A_{01}^{\min} + A_{03}^{\min} - A_{040.2}^{\max} - A_{010.1}^{\max} = 250 + 304,5 - 302,21 - 247,685 = 4,605 \text{ мм};$$

$$Z_{040.2} = 5^{+0,42}_{-0,395} \text{ мм}.$$

Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерев (рисунок 2.4 і рисунок 2.5) та розмірних ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показує, що запропонований варіант може бути прийнятий. Перш за все, всі конструктивні розміри витримуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій. Тобто, похибки обробки будуть залежати тільки від точності технологічної системи [5].

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

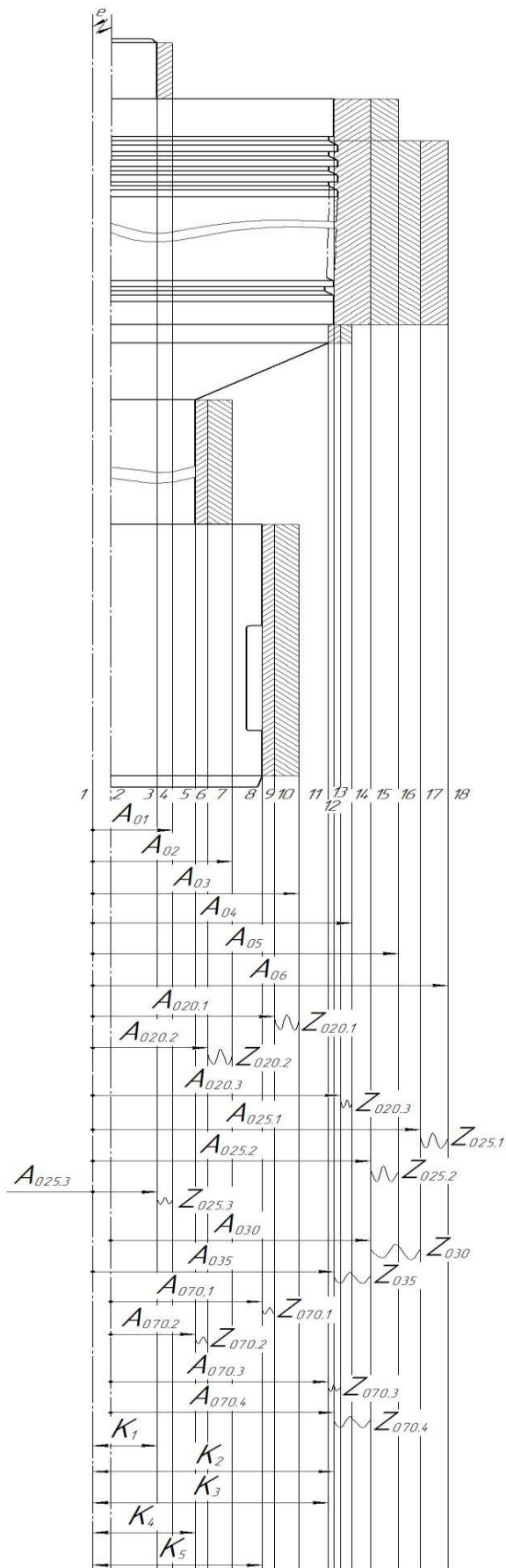


Рисунок 2.3 Розмірна схема лінійних розмірів в осьовому напрямку

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

2.5. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання

«Від точності розрахунку режимів різання буде залежати якість поверхні готової деталі, а також шарів металу, що перебуває в безпосередній близькості до поверхні різання. Розрахунок режимів різання можна робити двома способами: аналітичним і табличним»[6].

Початкові дані:

$$D=26 \text{ мм};$$

$$d=23,4 \text{ мм};$$

$$L=350 \text{ мм};$$

$$Ra = 1,25 \text{ мкм};$$

Матеріал заготовки: P6M5K5;

Заготовка – прокат.

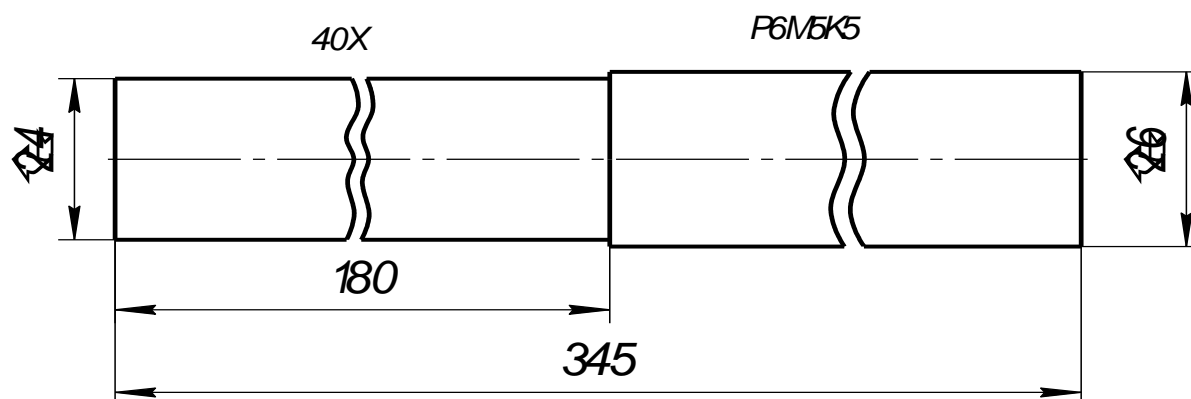


Рисунок 2.6 Ескіз заготовки

Залежно від габаритних розмірів деталі вибираємо тип і модель верстата, на якому проводитиметься обробка. Вибираємо верстат 16K20. Призначаємо глибину різання, що приймається рівною припуску на обробку.

$$t_{\text{чер}} = \frac{2Z_{\text{max}}^{\text{np}}}{2} = \frac{2,47}{2} = 1,24 \text{ мм}; \quad (2.11)$$

$$t_{\text{чист}} = \frac{2Z_{\text{max}}^{\text{np}}}{2} = \frac{0,45}{2} = 0,23 \text{ мм}. \quad (2.12)$$

Вибираємо режими різання для чорнового проходу.

$$S_{\text{чорн.}} = 0,5 \text{ мм/об.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.13)$$

За таблицями визначаємо необхідні коефіцієнти:

$$C_v = 340;$$

$$x = 0,15;$$

$$y = 0,45;$$

$$m = 0,20.$$

Поправочний коефіцієнт:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{mv} \cdot K_{lv}, \quad (2.14)$$

$$K_{mv} = K_\Gamma \left(\frac{750}{\delta_B} \right)^{n_v}; \quad (2.15)$$

$$K_\Gamma = 0,7;$$

$$n_v = 1,0;$$

$$\delta_B = 850 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$K_{mv} = 0,7 \cdot \left(\frac{750}{850} \right)^1 = 0,62;$$

$$V = \frac{340}{45^{0,2} \cdot 1,24^{0,15} \cdot 0,5^{0,45}} \cdot 0,51 = 97,1 \frac{M}{x\theta}.$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 97,1}{3,14 \cdot 26} = 1189,4 \text{ хв}^{-1} \quad (2.16)$$

Приймаємо $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ [6].

Визначаємо дійсну швидкість різання:

$$V_\theta = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 26 \cdot 1000}{1000} = 81,6 \frac{M}{x\theta};$$

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.17)$$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{rp} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \quad (2.18)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left(\frac{850}{750} \right)^{0,75} = 1,1; \quad (2.19)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$n = 0,75.$$

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта C_p і показників ступеня у формулах сили різання при чорновому і чистовому точінні

| | C_p | x | y | n |
|-------|-------|-----|------|-------|
| P_z | 300 | 1 | 0,75 | -0,15 |
| P_y | 243 | 0,9 | 0,6 | -0,3 |
| P_x | 339 | 1 | 0,5 | -0,4 |

Таблиця 2.3 – Кориговальні коефіцієнти, які враховують вплив геометричних характеристик ріжучої частини інструменту на величину сил різання

| | $K_{\phi p}$ | $K_{\eta p}$ | $K_{\lambda p}$ | $K_{\tau p}$ |
|-------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| P_z | 0,94 | 1,00 | 1,00 | - |
| P_y | 0,77 | 1,00 | 1,25 | - |
| P_x | 1,11 | 1,00 | 0,85 | - |

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,24^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 1000^{-0,15} \cdot 1,03 = 813,8H;$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 1,24^{0,9} \cdot 0,5^{0,6} \cdot 1000^{-0,3} \cdot 1,06 = 265,2H;$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 1,24^{1,0} \cdot 0,5^{0,5} \cdot 1000^{-0,4} \cdot 1,04 = 183,6H.$$

$$N_9 = \frac{813,8 \cdot 81,6}{1020 \cdot 60} = 1,1кВт; \quad (3.20)$$

$$N_9 \leq N_{\text{ог}} \cdot \eta = 11 \cdot 0,85 = 9,35кВт$$

Дія сили P_z [3]:

$$M_{\text{кр.}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{813,8 \cdot 26}{2000} = 10,6H \cdot м. \quad (2.21)$$

Призначаємо подачу для чистового проходу $S=0,12\text{мм}$.

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v$$

За таблицями визначаємо необхідні коефіцієнти:

$$C_v = 420$$

$$x = 0,15$$

$$y = 0,20$$

$$m = 0,20$$

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | |

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (2.22)$$

$$K_v = 0,62 \cdot 0,9 \cdot 0,92 = 0,51;$$

$$V = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 0,23^{0,15} \cdot 0,12^{0,20}} \cdot 0,51 = 152,1 \text{ м/хв};$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 152,1}{3,14 \cdot 24,13} = 2006,6 \text{ хв}^{-1}$$

$$n = 1600 \text{ хв}^{-1}.$$

Розраховуємо швидкість різання

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 24,13 \cdot 1600}{1000} = 121,2 \text{ м/хв};$$

Розраховуємо значення сил різання [2]:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (2.23)$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,23^{1,0} \cdot 0,12^{0,75} \cdot 1600^{-0,15} \cdot 1,03 = 46,9 \text{ Н};$$

$$P_y = 10 \cdot 243 \cdot 0,23^{0,9} \cdot 0,12^{0,6} \cdot 1600^{-0,3} \cdot 1,06 = 21,4 \text{ Н};$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,23^{1,0} \cdot 0,12^{0,5} \cdot 1600^{-0,4} \cdot 1,04 = 17,1 \text{ Н};$$

Потужність різання обчислюємо за формулою [3]:

$$N_s = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{46,9 \cdot 121,2}{1020 \cdot 60} = 0,1 \text{ кВт}; \quad (2.24)$$

$$N_s \leq N_{\text{об}} \cdot \eta = 11 \cdot 0,85 = 9,35 \text{ кВт};$$

Крутний момент на шпинделі верстата під дією сили P_z :

$$M_{\text{кр.рез.}} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 1000} = \frac{46,9 \cdot 24,13}{2000} = 0,57 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (2.25)$$

Розрахунок режимів різання при шліфуванні.

Початкові дані:

$$D = 26 \text{ мм};$$

$$d = 23,4 \text{ мм};$$

$$L = 350 \text{ мм};$$

$$Ra = 0,32 \text{ мкм};$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$V_{\text{нон.}} = 18 \text{ м / хв} , V_{\text{зост.}} = 30 \text{ м / хв};$$

Призначаємо швидкість обертання шліфувального круга:

$$V_{\text{к}} = 35 \text{ м / с};$$

Призначаємо глибину попереднього і остаточного шліфування:

$$t_{\text{нон.}} = 0,02 \text{ мм} ,$$

Призначаємо поздовжню подачу $t_{\text{ост.}} = 0,01 \text{ мм}$:

$$S_{\text{чорн.}} = (0,3 \div 0,7) B = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ м / хв} = 0,05 \text{ мм / об}; \quad (2.26)$$

$$S_{\text{чист.}} = (0,2 \div 0,4) B = 0,3 \cdot 35 = 7,5 \text{ м / хв} = 0,015 \text{ мм / об}; \quad (2.27)$$

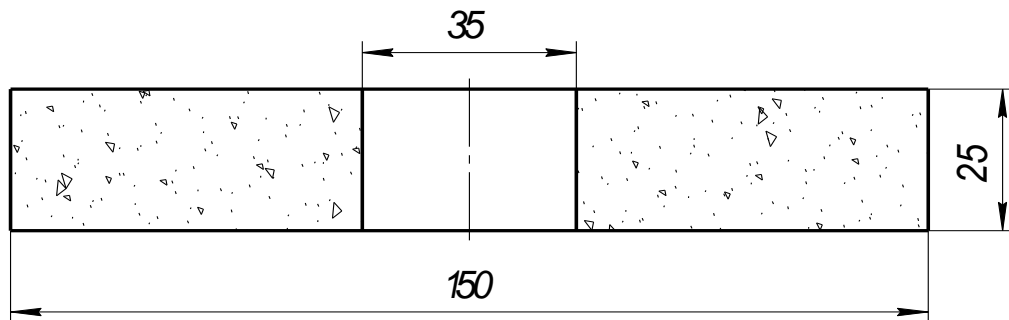


Рисунок 2.7. Геометричні розміри шліфувального круга

Ефективна потужність при шліфуванні [3]:

$$N = C_N \cdot V_3^r \cdot t^x \cdot S^y \cdot d^q; \quad (2.28)$$

$$C_N = 2,2; r = 0,5; x = 0,5; y = 0,55; q = 0.$$

- остаточне шліфування

$$C_N = 2,65; r = 0,5; x = 0,5; y = 0,55; q = 0.$$

Підставляємо знайдені значення у формулу (2.28):

$$N_{\text{чорн.}} = 2,2 \cdot 18^{0,5} \cdot 0,02^{0,5} \cdot 0,05^{0,55} \cdot 23,4^0 = 0,4 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{чист.}} = 2,65 \cdot 30^{0,5} \cdot 0,01^{0,5} \cdot 0,015^{0,55} \cdot 23,4^0 = 0,2 \text{ кВт}.$$

Розрахунок режимів різання табличним методом для інших поверхонь наведений в таблиці 2.4.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.4 - Розрахунок режимів різання табличним методом

| № операції | V, м/хв | t, мм | S, мм/об | S _м , об/хв | T _м , хв | T _{шт} , хв |
|----------------------------------|------------|------------|-------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 010 Фрезерно-центрувальна | 105 8 | 2,5 1,5 | 0,8 0,11 | 240 | 0,4 | 2,68 |
| 020 Токарно-гвинторізна: | | | | | | |
| - зняття фаски | 95 | 2,3 | 0,15 | - | | |
| - точіння хвостової частини | 85 | 2 | 0,5 | - | 3,05 | 5,3 |
| - точіння шийки | 90 | 2,5 | 0,4 | - | | |
| - точіння передньої направляючої | 80 | 1 | 0,4 | - | | |

Продовження таблиці 2.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|----|------|-------|-----|------|-------|
| 025 Токарно-гвинторізна: | | | | | | |
| - зняття фаски | 90 | 1 | 0,15 | - | | |
| - точіння задньої направляючої | 80 | 2 | 0,4 | - | 1,29 | 3,49 |
| - точіння ріжучої та калібруючої частини | 75 | 1,3 | 0,15 | - | | |
| 030 Токарно-гвинторізна з ЧПУ: | 70 | 1,5 | 0,4 | - | 1,2 | 3,66 |
| 035 Токарно-гвинторізна з ЧПУ: | 65 | 1,4 | 0,3 | 1,8 | 0,45 | 2,67 |
| 040 Горизонтально-фрезерна | 34 | 2,5 | 0,2 | - | 24,1 | 30,5 |
| 045 Горизонтально-фрезерна | 30 | 0,7 | 0,08 | - | 31,5 | 38,9 |
| 060 Круглошліфувальна | 15 | 0,4 | 0,01 | 8,2 | 0,78 | 2,08 |
| 065 Заточувальна | 18 | 0,15 | 0,04 | - | 3,8 | 5,32 |
| 070 Круглошліфувальна | 23 | 0,4 | 0,075 | 8,3 | 14,5 | 17,48 |
| 075 Круглошліфувальна | 20 | 0,2 | 0,005 | 8,4 | 3,9 | 5,57 |
| 080 Круглошліфувальна | 20 | 0,4 | 0,05 | 1,2 | 28,2 | 33,43 |

2.6. Нормування технологічного процесу

Технічні норми часу встановлюються розрахунково-аналітичним методом.

У серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу $T_{ш-к}$, хв.,

$$T_{ш-к} = T_{н-з} / n + T_{шт} \quad (2.29)$$

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{об.ом.}, \quad (2.30)$$

- для шліфувальних операцій:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{тех.} + T_{орг.} + T_{ом.}, \quad (2.31)$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

Допоміжний час T_{∂} , хв., складається з витрат часу на окремі прийоми:

$$T_{\partial} = T_{y.z.} + T_{z.o.} + T_{yn} + T_{вим}, \quad (2.32)$$

Час на обслуговування робочого місця $T_{об}$ при шліфуванні в серійному виробництві складається із часу на організаційне обслуговування $T_{орз}$ й часу на технічне обслуговування робочого місця $T_{тех}$.

$$T_{об.від.} = T_{орз} + T_{тех}; \quad (2.33)$$

$$T_{шт-к} = \frac{T_{n-3}}{n} + T_o + (T_{y.c} + T_{z.o} + T_{yn} + T_{уз}) \cdot k + T_{об.ом}. \quad (2.34)$$

Для шліфувальних операцій

$$T_{шт-к} = \frac{T_{n-3}}{n} + T_o + (T_{y.c} + T_{z.o} + T_{yn} + T_{уз}) \cdot k + T_{тех} + T_{орз} + T_{ом}. \quad (2.35)$$

В«изначення складу підготовчо-заключного часу: установка в центрах – бхв., установка інструмента – 2хв., установка люнета – 2,7хв., одержання інструмента й пристосувань до початку і після закінчення обробки – 8хв.» [5]:

$$T_{n-3} = 6 + 2 + 2,7 + 8 = 18,7 \text{ хв}; \quad (2.36)$$

Час на установку й зняття деталі, закріплення її і відкріплення [6]:

$$T_{y.c} + T_{z.o} = 0,07 + 0,015 = 0,085 \text{ хв}; \quad (2.37)$$

Час на прийоми керування: включити й виключити верстат кнопкою – 0,01хв., підвести або відвести різець до деталі при обробки – 0,025хв., переміщення каретки супорта в поздовжньому напрямку – 0,14хв.

$$T_{yn} = 0,01 + 0,025 + 0,14 = 0,175 \text{ хв};$$

Час, витрачений на вимір деталі – 0,07 хв., при 25% контрольованих деталей одержимо:

$$T_{уз} = \frac{0,07 \cdot 25}{100} = 0,0175 \text{ хв}; \quad (2.38)$$

Поправочний коефіцієнт на допоміжний час при середньосерійному виробництві $k=1,85$.

$$T_{\epsilon} = (0,085 + 0,175 + 0,0175) \cdot 1,85 = 0,51 \text{ хв};$$

Оперативний час

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | |

$$T_{орз} = \frac{(0,82+0,37) \cdot 1,7}{100} = 0,02 \text{ хв.}$$

$$T_{від.} = \frac{T_{он} \cdot P_{ом.}}{100}; \quad (2.45)$$

де $P_{від.} = 4\%$ [3].

$$T_{від} = \frac{(0,82+0,37) \cdot 4}{100} = 0,05 \text{ хв.}$$

Знайдені значення підставляємо у формулу (2.35):

$$T_{шт-к} = \frac{10}{15} + 0,69 + (0,085 + 0,03 + 0,0175) \cdot 1,85 + 0,1 + 0,02 + 0,05 = 1,83 \text{ хв.}$$

Нормування інших операцій робимо табличними методами й зводимо в таблицю 2.5 й 2.6.

Таблиця 2.5–Норми часу, хв.

| № операції | T_0 | T_d | | | $T_{оп}$ | $T_{об}$ | T_{n-3} | n | $T_{шт-к}$ |
|-------------------------------|--------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----|------------|
| | | $T_{v.c} + T_{3.0}$ | $T_{уп}$ | $T_{из}$ | | | | | |
| 010 Фрезерно-центрувальна | 0,15 0,25 | 0,22 | 0,175 | 0,12 | 1,35 | 0,08 | 25 | 60 | 2,68 |
| 020 Токарно-гвинторізна | 3,05 | 0,085 | 0,175 | 0,16 | 3,8 | 0,24 | 18,7 | 60 | 5,3 |
| 025 Токарно-гвинторізна | 1,29 | 0,085 | 0,175 | 0,18 | 2,31 | 0,15 | 18,7 | 60 | 3,49 |
| 030 Токарно-гвинторізна з ЧПУ | 1,2 | 0,13 | 0,09 | 0,15 | 2,9 | 0,17 | 25 | 60 | 3,66 |
| 035 Токарно-гвинторізна з ЧПУ | 0,45 | 0,24 | 0,1 | 0,03 | 1,15 | 0,07 | 22 | 60 | 2,67 |
| 040 Горизонтально-фрезерна | 24,1 | 0,25 | 0,2 | 2,6 | 29,7 | 0,18 | 10 | 60 | 30,5 |
| 045 Горизонтально-фрезерна | 31,5 | 0,24 | 0,9 | 2,5 | 38,2 | 0,24 | 7 | 60 | 38,9 |

Таблиця 2.6 – Технічні норми часу по шліфувальних операціях, хв.

| № операції | T_0 | T_d | | | $T_{оп}$ | $T_{об}$ | | T_{n-3} | n | $T_{шт-к}$ |
|-------------|-------|---------------------|----------|----------|----------|-----------|----------|-----------|-----|------------|
| | | $T_{v.c} + T_{3.0}$ | $T_{уп}$ | $T_{из}$ | | $T_{тех}$ | $T_{от}$ | | | |
| 060 Кругло- | 0,78 | 0,124 | 0,03 | 0,22 | 1,47 | 0,095 | 0,025 | 12 | 60 | 2,08 |

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|----|----|-------|
| шліфувальна | | | | | | | | | | |
| 065 Заточувальна | 3,8 | 0,89 | 0,1 | 0,16 | 4,5 | 0,18 | 0,07 | 12 | 60 | 5,32 |
| 070 Кругло-шліфувальна | 14,5 | 0,3 | 0,05 | 0,18 | 15,4 | 0,62 | 0,26 | 10 | 60 | 17,48 |
| 075 Кругло-шліфувальна | 3,9 | 0,124 | 0,1 | 0,16 | 4,6 | 0,19 | 0,08 | 8 | 60 | 5,57 |
| 080 Кругло-шліфувальна | 28,2 | 0,124 | 0,66 | 0,18 | 29,9 | 1,2 | 0,5 | 8 | 60 | 33,43 |

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Проектування технологічного оснащення

3.1.1 Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми

У технологічному процесі використовується верстатне пристосування патрон повідковий (рис. 3.1). Патрон призначений для закріплення деталей по зовнішній необробленій поверхні з одночасним підведенням центру.

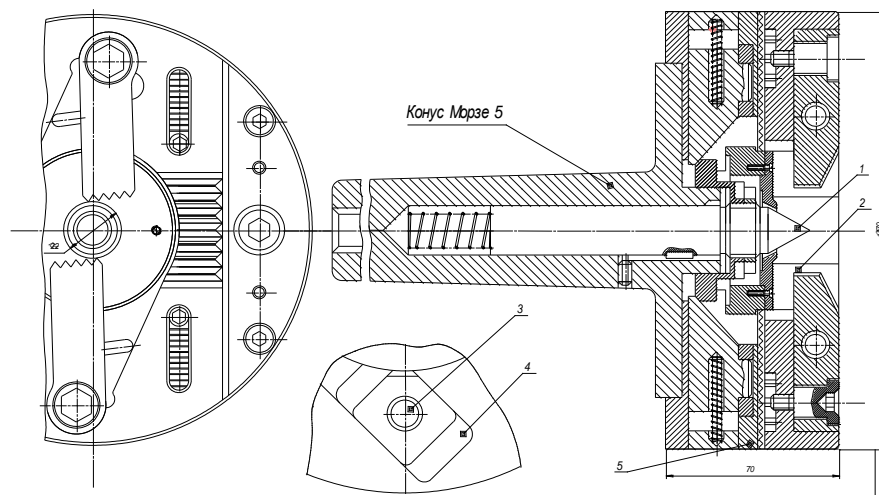


Рисунок 3.1 Пavidковий патрон з утопаючим центром

3.1.2. Силовий розрахунок параметрів приводу

Відцентрова сила прямо пропорційна квадрату частоти обертання шпинделя верстата й визначається:

$$P_u = 0,00102 \cdot m \cdot r \cdot n^2, \quad (3.1)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докum. | Підпис | Дата | | |

У конструкції патрона відстані від центра ваги кожного вантажу до осі шпинделя $r=0,05$ м. Тоді при $m=2$ кг, $n=1000$ хв^{-1} відцентрова сила, що діє на кожен кулачок за формулою (3.1) буде:

$$P_{ц} = 0,00102 \cdot 1,351 \cdot 0,172 \cdot 1000^2 = 240 \text{ Н.}$$

Сумарна сила: $P_{ц\Sigma} = 2 \cdot 240 = 480 \text{ Н.}$

«При токарній обробці на заготовку, закріплену в трьохкулачковому патроні, діють P_z , P_x , P_y (рисунок 3.2). Вертикальна сила різання P_z створює на оброблюваній заготовці крутний момент M , сила P_x прагне зрушити заготовку в осьовому напрямку, а радіальна сила P_y створює перекидаючий момент ($M_{опр.} = P_y/D$)»[5].

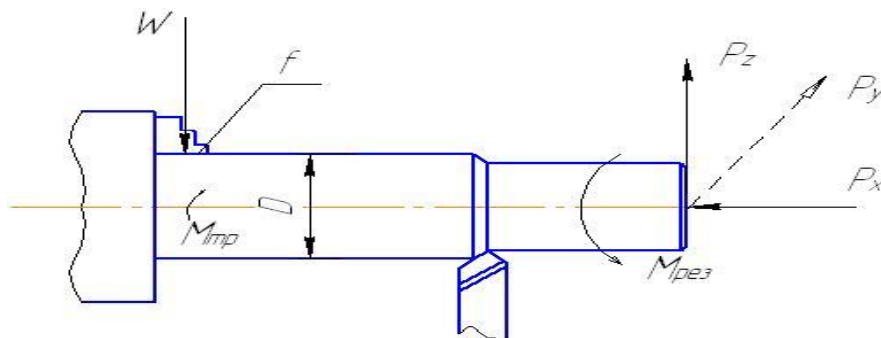


Рисунок 3.2 Складові сили різання при точінні заготовки, закріпленої в патроні

Момент тертя $M_{тр}$ і затиску $W_{сум}$ заготовки в патроні всіма кулачками в основному залежать від крутного моменту різання $M_{рез}$ і коефіцієнта тертя між поверхнями кулачків й оброблюваної заготовки:

$$M_{тр} = W_{сум} \cdot f \cdot R = k \cdot V = k \cdot P_z \cdot R_0; \quad (3.2)$$

$$W_{сум} = \frac{k \cdot V}{f \cdot R} = \frac{k \cdot P_z \cdot R_0}{f \cdot R}, \quad (3.3)$$

де $k = 1.3 \div 1.6$ [4];

$$P_z = 109,7 \text{ Н.}$$

$$W_{сум} = \frac{1,6 \cdot 87,5 \cdot 2,4}{0,2 \cdot 2,6} = 646 \text{ Н.}$$

Сила на одному кулачку:

$$W_0 = \frac{W_{сум}}{n} = \frac{646}{2} = 323 \text{ Н,} \quad (3.4)$$

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Знайдене значення $W_{\text{сум}}$ перевіряється на неможливість осьового зрушення заготовки при $P_x = 48,6\text{Н}$:

$$W_{\text{сум}} \geq \frac{k \cdot P_x}{f}; \quad (3.5)$$

$$670 \geq \frac{1,6 \cdot 26,5}{0,2} = 212 \text{ Н}.$$

Висновок: так як $P_z > W_{\text{сум}}$ ($670 > 212$), тоді затиск заготовки даним патроном забезпечується.

3.1.3. Розрахунок на точність

Тому що обточування виробляється в центрах, то похибка установки в радіальному напрямку: $\varepsilon_{y\partial} = 0$.

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\partial}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (3.6)$$

Похибка базування в осьовому напрямку дорівнює допуску на довжину заготовки [4]:

$$\varepsilon_{\partial L} = \delta = 0,9 \text{ мм};$$

«Похибка пристосування складається з погрішностей, що виникають у результаті зношування настановних елементів ε_u , з погрішностей, викликаних неточною установкою пристосування на верстаті ε_c й з погрішностей, які виникають у результаті неточного виготовлення й розташування установчих елементів $\varepsilon_{уст}$, тобто»[6]:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{2 \cdot \varepsilon_u^2 + \varepsilon_c^2} + \varepsilon_{уст}; \quad (3.7)$$

Зношування установчих елементів визначається по формулі:

$$I = \beta_1 \cdot N^n, \quad (3.8)$$

$$n = 0,3 \div 0,6$$

$$\varepsilon_{uL} = 0,05 \cdot 3500^{0,5} = 59,1 \text{ мкм},$$

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

$$\varepsilon_{cL} = 50 \text{ мкм}; \varepsilon_{устL} = 35 \text{ мкм} [4].$$

Таким чином, за формулою (3.7):

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{2 \cdot 59,1^2 + 50^2} + 35 = 130 \text{ мкм} = 0,13 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_3 = C \cdot P^{0,5}, \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_3 = 0,8 \cdot 26,5^{0,5} = 4,1 \text{ мкм} = 0,0041 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибка установки заготовки в пристосуванні за формулою (3.6) дорівнює:

$$\varepsilon_y = \sqrt{0,9^2 + 0,0041^2 + 0,13^2} = 0,91 \text{ мм.}$$

3.2 Проектування контрольного пристрою

3.2.1 Розрахунок на точність

Точність контрольного пристрою залежить від точності вимірювальних головок, штативу і опорних плит, на які встановлюється деталь. Оскільки плита має дуже малу шорсткість поверхні, то похибкою розміщення по цій плиті можна знехтувати.

Тоді, похибка вимірювання буде рівна:

$$\varepsilon_6 = \sqrt{\varepsilon_2 + \varepsilon_{шт}} = \sqrt{0,001^2 + 0,004^2} = 0,004 \text{ мм};$$

$\varepsilon_2 = 0,001 \text{ мм}$ – похибка вимірювальної головки;

$\varepsilon_{шт} = 0,004 \text{ мм}$ – похибка штативів.

3.2.2 Загальний опис конструкції, принцип дії

У якості контрольного пристосування використовується спеціальне пристосування для перевірки та контролю биття і паралельності. Спеціальне пристосування для контролю биття і паралельності представляє собою стіл 1, валики 4 та призми 3 за допомогою яких зажимаються передній 2 та задній 5 затискні центри. Контрольована протяжка встановлюється між центрами та затискається за допомогою рукояток на задньому затискному центрі. На стіл 1

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

встановлюється та закріплюється, за допомогою затискної гайки штатив з рукояткою на якій закріплений індикатор годинникового типу[7].

3.3. Розрахунок спеціального ріжучого інструменту

« Із збільшенням діаметру фрези зменшується кут підйому витків фрези, що сприятливо позначається на збільшенні точності, зменшується висота гребінців уздовж зубів колеса, збільшується число зубів, що покращує умови різання і відведення стружки. Можливість збільшення діаметру обумовлює забезпечення підвищення жорсткості і стійкості фрези. Проте із збільшенням діаметру фрези збільшується витрата матеріалу для її виготовлення, а також збільшуються кут контакту фрези із заготівкою і час різання»[7].

Орієнтовно діаметр фрези може бути визначений виходячи з бажаної величини підйому витків, який для підвищення точності зубообробки і зменшення шорсткості поверхні має бути по можливості менше (бажано τ не більш 3°).

З розгортки черв'ячної фрези по ділильному діаметру маємо:

$$\pi d_\phi = \frac{t_n}{\sin \tau_\phi} = \frac{\pi m_n}{\sin \tau_\phi}. \quad (3.10)$$

Звідси

$$d_\phi = \frac{m_n}{\sin \tau_\phi} = 48,21 \text{ мм}. \quad (3.11)$$

В чистових (однозахідних) фрезах профіль не модифікований (рисунок 3.3).

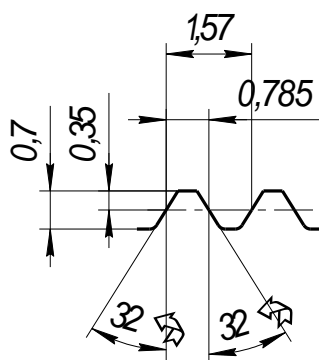


Рисунок 3.3 Розміри профілю зубів черв'ячної фрези в нормальному перетині

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

РОЗДІЛ 4
ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1. Уточнення типу виробництва

По фактичній трудомісткості уточнюємо тип виробництва.

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (4.1)$$

$$m_p = \frac{3500 \cdot 2,68}{60 \cdot 4059 \cdot 0,8} = 0,048; \quad P=1;$$

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання»[8]:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m}{P}. \quad (4.2)$$

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,048}{1} = 0,048.$$

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}. \quad (4.3)$$

$$O = \frac{0,8}{0,048} = 16,67.$$

Таблиця 4.1 – Визначення кількості верстатів та операцій

| Операція | $T_{ш-к}$ | m_p | P | $\eta_{з.ф.}$ | O |
|----------|-----------|-------|---|---------------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 015 | 2,68 | 0,048 | 1 | 0,048 | 16,67 |
| 020 | 5,3 | 0,095 | 1 | 0,095 | 8,42 |
| 025 | 3,49 | 0,063 | 1 | 0,063 | 12,7 |
| 030 | 3,66 | 0,066 | 1 | 0,066 | 12,12 |
| 035 | 2,67 | 0,048 | 1 | 0,048 | 16,67 |
| 040 | 30,5 | 0,55 | 1 | 0,55 | 1,45 |
| 045 | 38,9 | 0,7 | 1 | 0,7 | 1,14 |
| 060 | 2,08 | 0,037 | 1 | 0,037 | 21,62 |
| 065 | 5,32 | 0,096 | 1 | 0,096 | 8,33 |
| 070 | 17,48 | 0,31 | 1 | 0,31 | 2,58 |

| | | | | | |
|------------------------|-------|---------|---|---|---|
| Круглошліфу- вальна | ЗБ451 | 1,4x0,7 | 1 | 1 | 1 |
|------------------------|-------|---------|---|---|---|

Загальна кількість обладнання – 12.

Загальна питома площа:

$$F_{\text{вир.}} = 13 + 6 + 6 + 6 + 6 + 5 + 5 + 1 + 7 + 13 + 13 + 1 = 82 \text{ м}^2.$$

4.4. Розробка технологічного планування ділянки

На листі викреслюємо план ділянки в масштабі 1:200. На ділянці знаходиться 12 верстатів: 2 токарно-гвинторізних, 2 токарно-гвинторізних з ЧПУ, 1 фрезерно-центрувальний, 2 горизонтально-фрезерних, 1 заточувальний і 3 круглошліфувальних. Тому вибираємо сітку колон з шириною ділянки $L = 24 \text{ м}$ і кроком колон $t = 12 \text{ м}$. Розміри основних колон в поперечному перерізі приймаємо $0,5 \times 0,5 \text{ м}$.

4.5. Основні техніко-економічні показники ділянки

Основні техніко-економічні показники зведемо у таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники ділянки

| Найменування показників і одиниці вимірювань | По ділянці |
|---|-------------------|
| 1 | 2 |
| Загальні показники (основні дані) | |
| 1. Найменування виробу | Протяжка шліцьова |
| 2. Річна програма випуску, т. | 3,35 |
| 3. Працеемність виготовлення, год. | 8813 |
| 4. Кількість основного обладнання | |
| - дрібного | 9 |
| - середнього | 3 |
| - крупного | - |
| - особливо крупного | - |
| - всього | 12 |
| 5. Тип виробництва | багатосерійний |

| | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
| | | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

Продовження таблиці 4.3

| 1 | 2 |
|---|--------|
| 6. Кількість робітників, прац.: | |
| - основних | 19 |
| - допоміжних | - |
| - ІТП | - |
| - ЛКП | - |
| - МОП | - |
| - всього | - |
| 7. Виробничі площі, м ² : | |
| - основного виробництва | 82 |
| - допоміжного виробництва | |
| - складів і комор | |
| - магістральних проїздів | |
| - службово- побутових і адміністративних приміщень | |
| - всього | |
| Питомі показники (відносні) | |
| 1 | 2 |
| 1. Середній коефіцієнт завантаження обладнання | 0,23 |
| 2. Питома площа на один основний верстат, м ² : | |
| - загальна | 7,5 |
| - виробнича | 6,8 |
| 3. Річний випуск на один основний верстат, верстато-год. | 734,42 |
| 4. Річний випуск на одного основного робітника, верстато-год. | 463,8 |
| 5. Питома площа на одного основного робітника, м ² . | 4,3 |

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз стану охорони праці на підприємстві

Рівень травматизму від частоти та тяжкості:

$$P_{\text{чт.}} = 1000 \cdot 5 / 561 = 8,91;$$

$$P_{\text{тт}} = 18 / 5 = 3,6.$$

Показник непрацездатності - це число людино-днів непрацездатності, що припадає на 1000 працівників:

$$P_{\text{нп.}} = 1000 \cdot D / T; \quad (5.3)$$

$$P_{\text{нп.}} = 1000 \cdot 18 / 561 = 32,08 \text{ людино} - \text{днів.}$$

Деталі, що виготовляються у цьому цеху, обробляються на токарних, фрезерно-центрувальних, вертикально-фрезерних і шліфувальних верстатах. Механічна обробка передбачає виконання таких операцій, як фрезерування, точіння, шліфування тощо.

«У зв'язку з цим серед небезпечних і шкідливих чинників, які впливають на працівників, можна виділити високий рівень шуму та вібрації, запиленість і загазованість повітря, недостатню освітленість, ризик ураження електрострумом, а також відхилення мікрокліматичних умов від норми. Показники інтенсивності захворювань та непрацездатності, що розраховуються на 100 працюючих осіб, а також тривалість захворювання визначаються за такими формулами»[9]:

$$P_{\text{із.}} = 100 \cdot C / P; \quad (5.4)$$

$$P_{\text{нп.}} = 1000 \cdot D / P; \quad (5.5)$$

$$P_{\text{мп.}} = D / C; \quad (5.6)$$

де $C = 449$;

$P = 561$;

$D = 5387$.

$P_{\text{із.}} = 100 \cdot 449 / 561 = 80,036$;

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | |

$$P_{ит.} = 1000 \cdot 5387 / 561 = 960,25;$$

$$P_{тр.} = 5387 / 449 = 11,99 \approx 12.$$

5.2. Аналіз стану пожежної безпеки

Небезпечні та шкідливі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До загальних заходів безпеки належать такі:

- усі працівники повинні пройти інструктаж з безпечного виконання робіт;
- технічний стан обладнання, його справність мають регулярно перевіряти та усувати несправності;
 - робочі місця повинні бути правильно організовані та забезпечені необхідним устаткуванням;
 - всі рухомі та обертові частини встановленого обладнання мають бути надійно огорожені;
 - елементи, що проводять струм, повинні бути належним чином ізольовані та заземлені;
 - розташування технологічного обладнання повинно забезпечувати безперешкодний прохід людей та рух транспорту.

5.3. Вимоги безпеки при роботі на верстатах

Різець для обробки поверхні фіксується не менше ніж трьома болтами. Потрібен комплект прокладок різних товщин, довжин та ширин, що не менші за розміри опорної частини різця. При монтажі різців важливо дотримуватися максимальної обережності, щоб уникнути порізів. Зону обробки необхідно обгороджувати з обох боків: як зі сторони оператора, так і з протилежної для забезпечення безпеки персоналу, який працює на сусідньому обладнанні [9,10].

Для запобігання травмам під час установки патрона або планшайби на шпindel, слід підкласти під них дерев'яні прокладки з виїмкою, що відповідає їх формі.

| | | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | | | | | |

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Деталь протяжка є спеціалізованим інструментом, що використовується у металообробному виробництві для високоточного формоутворення внутрішніх або зовнішніх поверхонь за допомогою послідовного зняття шару металу. Завдяки своїй конструкції та принципу дії, протяжка забезпечує високу точність, якість оброблюваної поверхні та повторюваність розмірів, що є критично важливим для деталей, які працюють у відповідальних вузлах механізмів.

В якості матеріалу обрано швидкорізальну інструментальну сталь марки Р6М5К, яка відзначається стійкістю до зношування, високою твердістю у загартованому стані, термостійкістю до температур понад 600 °С, а також здатністю зберігати ріжучу здатність протягом тривалого часу навіть у жорстких умовах різання. Такий вибір матеріалу забезпечує надійність і довговічність інструменту при обробці складних у різанні конструкційних та легованих сталей.

Аналіз технічних умов на виготовлення протяжки засвідчив, що до інструменту висуваються підвищені вимоги щодо геометричної точності, якості поверхні, твердості робочої частини, а також контролю параметрів допусків. Це вимагає ретельно спланованого технологічного процесу, високої культури виробництва та використання якісного термічного зміцнення. Окрему увагу слід приділити контролю прямолінійності, радіусів заокруглення та точності профілю зубів, оскільки саме вони визначають ефективність і зносостійкість інструменту.

Таким чином, протяжка є складною деталлю з високим рівнем відповідальності, виготовлення якої потребує точного дотримання технологічного регламенту, якісного матеріалу та сучасних методів обробки. Її правильне проєктування й виготовлення безпосередньо впливають на ефективність усього технологічного процесу обробки отворів і пазів на виробах із конструкційних сталей.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічні основи машинобудування: метод. рекомендації до виконання розрах.-граф. роботи для студентів спец. 131 "Прикладна механіка", 133 "Галузеве машинобудування" всіх форм навчання./ уклад. С. П. Сапон. – Чернігів : НУЧП, 2020. – 39 с.
2. Технологія машинобудування. Практичні та лабораторні роботи: Навчальнометодичний посібник / Н.О. Балицька, Л.Є. Глембоцька, О.А. Громовий, В.М. Колеснік, Г.П. Кремєв, О.Л. Мельник, П.П. Мельничук, В.М. Ночвай, О.М. Пилипенко, Л.Г. Полонський, В.А. Яновський. – Житомир: «Житомирська політехніка», 2023. – 171 с.
3. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
4. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. 148 с.
5. Яковенко І. Е. Технологічні основи машинобудування : лаб. практикум / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2024. – 211 с.
6. Металорізальні інструменти : навчальний посібник / С. В. Швець. – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 272 с.
7. Кушніров П. В. Технологічна оснастка: навчальний посібник / П. В. Кушніров, А. В. Євтухов, І. М. Дегтярьов. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 140 с.
8. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» зі спеціальності 131 Прикладна механіка для підготовки освітнього рівня «магістр» / Укладачі : Комар Р.В., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С. – Тернопіль : 2022. – 42 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

9. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» зі спеціальності 131 Прикладна механіка для підготовки освітнього рівня «магістр» / Укладачі : Комар Р.В., Сенчишин В.С. – Тернопіль : 2021. – 36 с.

10. Курепін В. М. К93 Основи охорони праці: навчальний посібник для студентів закладів вищої освіти аграрної галузі. Миколаїв : МНАУ, 2022. 347 с.

11. Єгіазарян А. С. Умови праці та фактори їх формування. Перспективна техніка і технології – 2021 : матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених, аспірантів і студентів, 21-23 вересня 2021 р., м. Миколаїв. Т. 1 / Міністерство освіти і науки України ; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв : МНАУ, 2021. С. 40-43.

12. Основи охорони праці: змістовий модуль 1. «Правові та організаційні основи охорони праці». Тема 2. «Правові та організаційні основи охорони праці». конспект лекції / уклад. В. М. Курепін. – Миколаїв : МНАУ, 2021. – 25 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 013Б-25.00.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |