

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ ДЕТАЛІ ТИПУ "ВАЛ 15.24"**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ІПМ-23м
спеціальності 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Кумченко Ю.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., проф. каф. ТАМ

Буренніков Ю.А.

(прізвище та ініціали)

« 18 » 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., проф. каф. АТМ

Макаров В.А.

(прізвище та ініціали)

« 20 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ТАМ

Л.Г. Козлов

(прізвище та ініціали)

« 20 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
 Факультет Машинобудування та транспорту
 Кафедра Технологій та автоматизації машинобудування
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
 Галузь знань – 13-Механічна інженерія
 Спеціальність – 131 – Прикладна механіка
 Освітньо-професійна програма – Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.

24 вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кумченко Юрій Святославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи

Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Вал 15.24".

керівник роботи Буренніков Юрій Анатолійович, к.т.н., професор

затверджені наказом ВНТУ від 17.09.2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 17 грудня 2024 року

3 Вихідні дані до роботи: креслення деталі "Вал 15.24"
програма випуску 4200 шт

4. Зміст текстової частини:

Оптимізація конструкції деталі, технологічна частина, проектування ділянки механічної обробки, економічна частина

5. Перелік ілюстративного матеріалу

креслення деталі, заготовки, маршрут механічної обробки, карта налагодження, розмірний аналіз, планівка механоскладальної ділянки, результати дослідження на міцність деталі

6. Консультанти розділів роботи

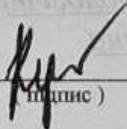
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	К.т.н., проф. Буренніков Ю.А.	24.09	18.12
Економічна частина	К.е.н., проф. Лесько О.Й.	24.09	10.11

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Підпис
1	Визначення об'єкта та предмету дослідження	до 25.10.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	до 25.10.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування методів досліджень	до 30.10.2024	
4	Розв'язування поставлених задач	до 20.11.2024	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	до 22.11.2024	
6	Виконання розділу «Економічна частина»	до 25.11.2024	
7	проходження рубіжного контролю	до 25.11.2024	
8	Попередній захист МКР	до 02.12.2024	
9	Перевірка роботи плагіат	до 04.12.2024	
10	Нормоконтроль МКР	до 13.12.2024	
11	Рецензування МКР	до 13.12.2024	
12	Захист МКР	до 25.12.2024	

Студент


 (підпис)

Кумченко Ю.С.

Керівник роботи


 (підпис)

к.т.н., проф. Буренніков Ю.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Кумченко Ю. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Вал 15.24". Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 131 – Прикладна механіка, освітня програма – технології машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2024. 104 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 34 назв; рис.: 26; табл. 43.

У магістерській кваліфікаційній роботі змодельовано процес обкочування циліндричним роликом, що дало можливість оцінити вплив технологічних факторів на якість отримуваної деталі. Результати досліджень використані при проектуванні технологічного процесу механічної обробки деталі вал. Що дозволило знизити собівартість отримуваної деталі.

У технологічній частині спроектовано заготовку валу, маршрут механічної обробки, виконано розмірний аналіз, що дозволило визначити технологічні розміри. Визначено режими обробки, норми часу та спроектовано ділянку механічної обробки. Крім того побудована карта налагоджень, де показано траєкторії переміщення інструменту та спроектовано ділянку механічної обробки.

В економічній частині розраховано собівартість виготовлення деталі та термін окупності такого проекту.

Ключові слова: обкочування, поверхнева пластична деформація, ролик, маршрут механічної обробки, напруження.

ABSTRACT

Kumchenko Yu. Improvement of the technological process of mechanical processing of a workpiece of the type "Shaft 15.24". Master's qualification work in specialty 131 - Applied mechanics, educational program - mechanical engineering technologies. Vinnytsia: VNTU, 2024. 104 p.

In Ukrainian. Bibliography: 34 titles; fig.: 26; table. 43.

In the master's qualification work, the process of rolling with a cylindrical roller was modeled, which made it possible to assess the influence of technological factors on the quality of the resulting part. The results of the research were used in the design of the technological process of mechanical processing of the shaft part. Which allowed to reduce the cost of the resulting part.

In the technological part of the designed shaft blank, the machining route, a dimensional analysis was performed, which allowed determining the technological dimensions. The machining modes, time standards and the machining section were determined. In addition, a setup map was built, which shows the tool movement trajectories and the machining section was designed.

In the economic part, the cost of manufacturing the part and the payback period of such a project were calculated.

Keywords: rolling, surface plastic deformation, roller, machining route, stress..

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ ВАЛІВ	8
1.1 Пристосування для обкочування тонких валів	8
1.2 Оцінка використаного ресурсу пластиності в поверхневому шарі металу	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Визначення типу і форми організації роботи	19
2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі	25
2.3 Вибір способу виготовлення заготовки	29
2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні	39
2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз	41
2.6 Проектування маршруту механічної	45
2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу	47
2.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь	54
2.9 Визначення за нормативами режимів різання	60
2.10 Визначення технічних норм часу на операції	63
3 ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	68
3.1 Розрахунок приведеної програми	68
3.2. Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	72
3.3. Розрахунок кількості робітників на дільниці	76
4. ЕКОНОМІЧНА ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ	78
4.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи	78
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи	80
4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	88

ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	96
Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної кваліфікаційної роботи	100
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина	101

ВСТУП

Актуальність. Однією з найважливіших задач машинобудівних технологій є забезпечення необхідної якості виробів, якомога меншої їх собівартості за умови забезпечення необхідної кількості їх виготовлення. Ефективним способом розв'язання цієї задачі є використання сучасних обладнання з ЧПК багатоцільових верстатів. Їх перевагою є універсальність, у поєднанні з можливістю автоматизації процесів механічної обробки, забезпечення необхідної якості виробів, можливість швидкого перенастроювання в переходах від одного типорозміру деталей до іншого. Використання таких верстатів скорочує простої, підвищує частку машинного часу, скорочує обсяг операцій контролю.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 15.24», що ґрунтується на використанні сучасних підходів до вибору прогресивного, оптимального способу виготовлення заготовки деталі, який дозволяє суттєво зменшити матеріаломісткість, обсяг подальшої механічної обробки, удосконалити технологію, застосувавши автоматизоване обладнання, принцип концентрації операцій при мінімальній кількості верстатів, працюючих, площ із забезпеченням проектною якістю оброблюваних деталей, зменшенні технологічної собівартості виконання операцій і собівартості продукції в цілому.

Для досягнення поставленої мети повинні бути виконані такі **завдання**:

- провести огляд технології виготовлення деталі типу «Вал»;
- на основі робочого креслення деталі виконати якісний та кількісний аналіз технологічності конструкції деталі;
- встановити тип виробництва та форму організації роботи;
- вибрати метод та оптимальний спосіб виготовлення заготовки, виконавши відповідне техніко-економічне обґрунтування;
- вибрати методи обробки поверхонь деталі «Вал 15.24»;

- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;
- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 15.24»;
- вибрати кращий з розроблених маршрутів механічної обробки за мінімумом приведених витрат;
- розрахувати режими різання, обрати оптимальні режими для обробки корпусу, з урахуванням ріжучого інструменту;
- виконати нормування операцій технологічного процесу;
- встановити приведену програму виробів;
- розрахувати кількість обладнання та працюючих, що необхідні для забезпечення механічної обробки деталі;
- провести розрахунок економічної доцільності впровадження удосконаленого ТП;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення деталей типу «Вал».

Предмет дослідження – удосконалений технологічний процес механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 15.24».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точносне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 15.24»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання та інструмент для обробки.

Новизна одержаних результатів. Змодельовано процес Вал 15.24, що дозволило обрати оптимальні режими обробки

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 15.24» на базі використання сучасних підходів до побудови технологічних процесів механічної обробки, впровадження прогресивного автоматизованого обладнання, що дозволяє підвищити якість оброблених деталей, зменшити їх собівартість, суттєво скоротити при цьому виробничі площі.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОБКОЧУВАННЯ ВАЛІВ

1.1 Пристосування для обкочування тонких валів

Поверхнєве пластичне деформування призводить до значного підвищення характеристик конструктивної міцності деталей машин, виготовлених зі сталей, чавуну, кольорових металів та сплавів; втомлю вальної міцності, контактної витривалості, контактної жорсткості, зносостійкості, корозійної стійкості та ряду інших.

В таблиці наведені результати дослідження мало циклової втомлюваності гладеньких зразків на базі 8-10 цикл / хв.

Як видно з цих результатів ППД дає суттєве підвищення довговічності в порівнянні із шліфуванням, причому найбільше підвищення довговічності (в 3-7,5 разів) було досягнуто при обкатуванні роликом.

Особливо ефективним є застосування обробки ППД деталей із різноманітними концентратами напружень. Збільшення границі витривалості при багатоцикловій втомлюваності тим вищі, чим більша концентрація напружень. В такому випадку ППД, як зміцнюючий метод обробки має перевагу у порівнянні з термічними і хімічно-термічними методами. Існують експериментальні роботи, що вказують на підвищення контактної витривалості деталей після обробки ППД. Зміцнення зразків зі сталі 20ХНЗА шариком, підвищили їхню довговічність при терті кочення на 34-50 % в порівнянні зі шліфованими після цементації і термічної обробки зразками.

Встановлено, що зразки, виготовлені зі сталі ШХ15 і зміцненні алмазним вигладжуванням, більш довговічні (при 50%-ній можливості руйнування – в 1.7, а при 10%-ній – в 3,5 рази), ніж зразки, оброблені суперфінішуванням. Після алмазного вигладжування отримуються добрі характеристики процесу, але по-перше він вимагає обов'язкового шліфування поверхні перед процесом вигладжування,

оскільки шорсткість вихідної поверхні не має перевищувати 0,8 мм, крім того це досить не продуктивний метод, оскільки наприклад для обробки Сталі 45 при обкатуванні пропонується використовувати подачу близько 0,5 мм/об, то при алмазному вигладжуванні таке значення складає 0,02 мм/об, що пов'язано із малим радіусом сфери алмазного зерна. Крім того алмаз, що використовується в процесі має бути близько 4 каратів, що звичайно призводить до відносної дороговизни цього способу. Тому прийнято до розгляду процес поверхневої пластичної деформації – обкатування.

Розроблена велика кількість конструкцій обкатників та розкатників. Деякі з них показані на слайдах. Наприклад пристосування з самоустановлюючимся роликом, або обкатники для зубчастих коліс, обкатник, який кріпиться на токарному верстаті і може виконувати обкатування та розкатування циліндричних поверхонь.

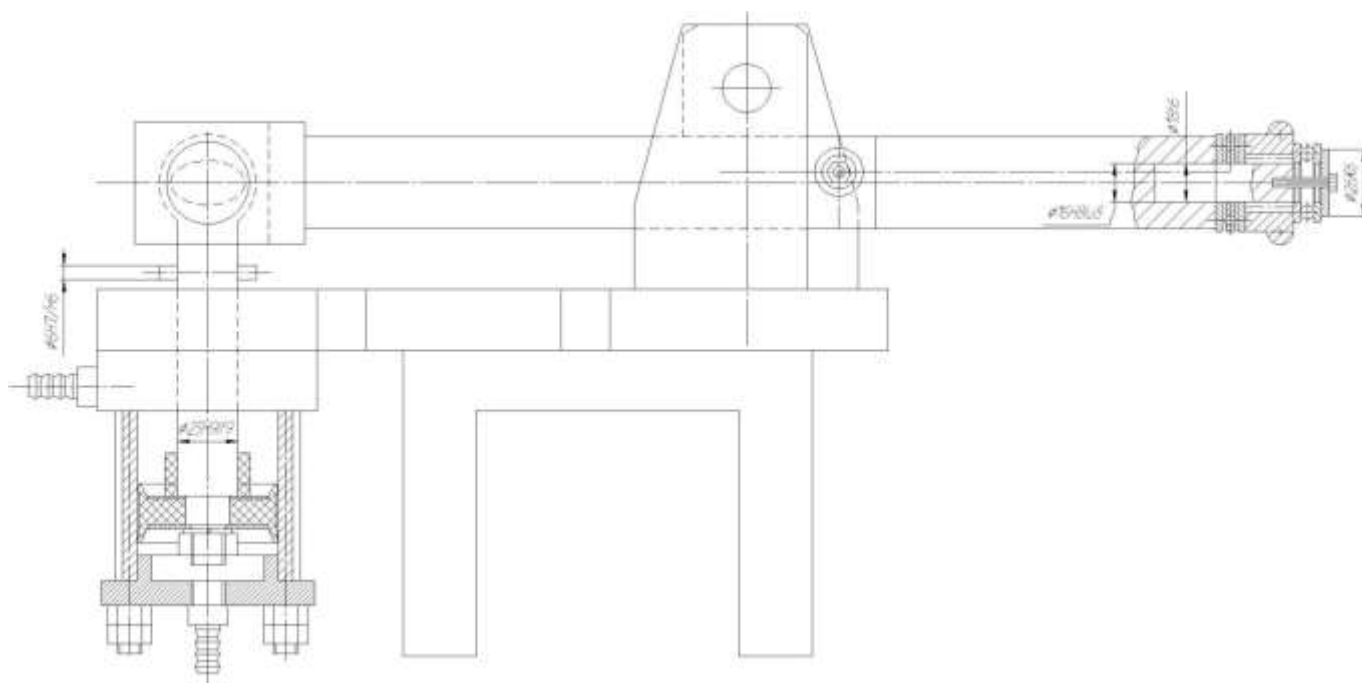


Рисунок 1.1 – Пристосування для обкочування

Крім того ми приділили увагу обкатуванню тонких валів, оскільки в цьому плані існує певна проблема, так як вал під дією ролика чи шарика прогинається і

відповідно виникає потреба у використанні підпору. Розроблено дві конструкції обкатників для валів які схематично показані на слайдах. Перший це шарикове комбіноване пристосування, яке дозволяє виконувати остаточне точіння та одночасно накатування поверхні.

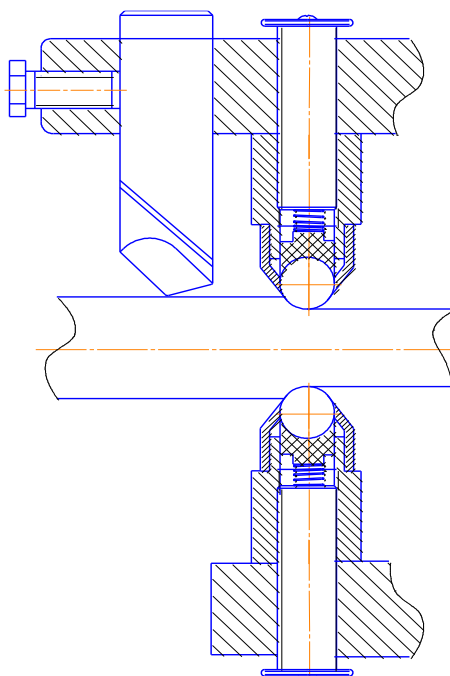


Рисунок 1.2 – Пристосування для одночасного точіння та обкочування валів

Дане пристосування може встановлюватися в різцетримач токарного верстату. Він складається із двох подібних частин, на одній розміщено різець та ролик, на іншій лише ролик, між ними встановлюється пластина, за рахунок неї можна в невеликому інтервалі, близько 10 мм змінювати діаметр оброблюваних валів. Перевагою шарикового пристосування є можливість само установа шарів, що не мають примусової осі обертання. В результаті цього практично відсутнє проковзування шарів відносно оброблюваної поверхні. Крім того мала площа контакту дозволяє забезпечити великі питомі контактні тиски при малих навантаженнях на стінки заготовки. Простота конструкції і виготовлення шарикових пристосувань,

можливість використання стандартних шарів від шарикопідшипників роблять рентабельними їх використання навіть в дрібносерійному виробництві.

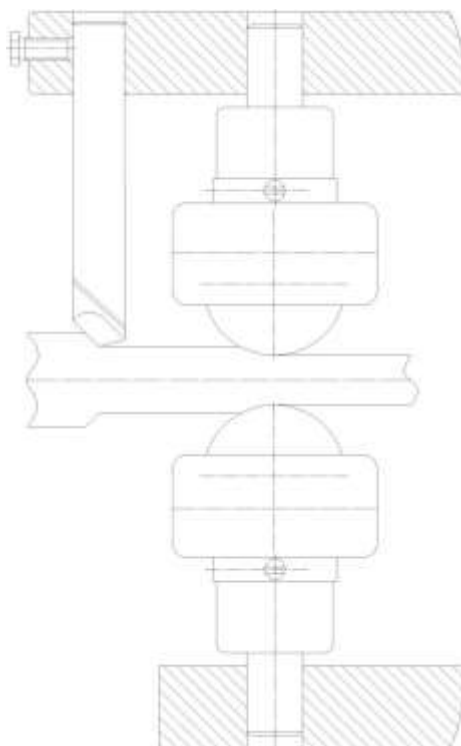


Рисунок 1.3 – Пристосування для одночасного точіння та обкочування валів

Більш продуктивним пристосуваннями є роликові, оскільки використання роликів в якості деформуючих елементів дозволяє значно збільшити осьову подачу інструмента в порівнянні з шариковими розкатниками.

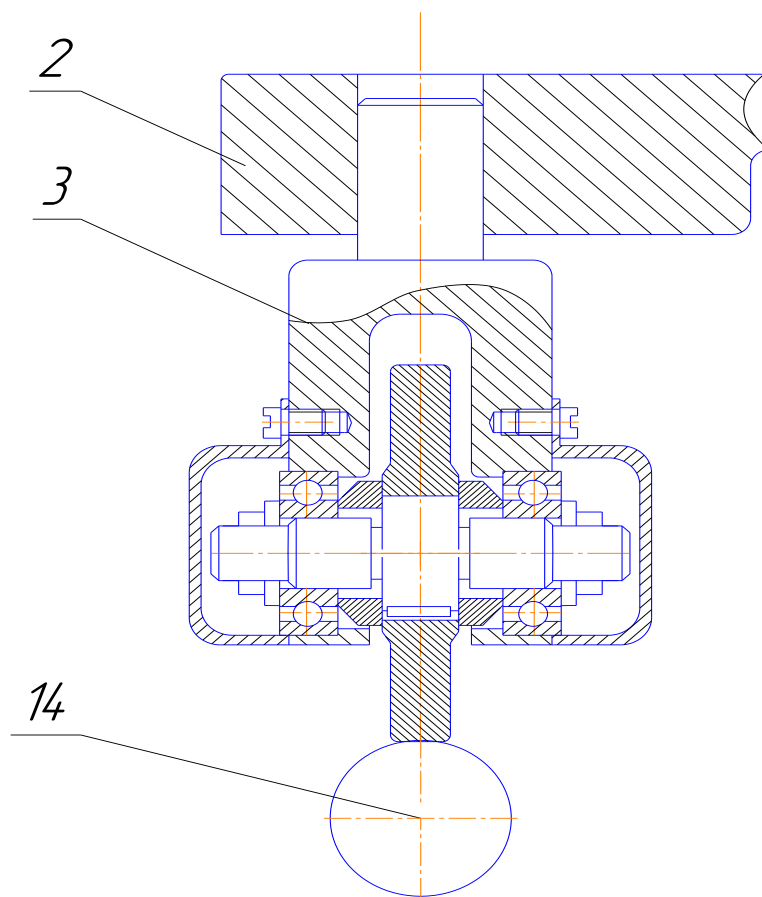


Рисунок 1.4 – Кріплення ролика

На рисунку 1.4 показано вузол установлення та кріплення ролика. І на рисунку 1.5 показано саме пристосування, що правда переріз виконано по роликовому вузлу і тому невидно різця, який розташований за ними. Пристосування містить стійку 1 з закріпленою на неї ричажною системою, що складається із двох ричагів 2, на кінцях яких встановлено ролики, а на кінці верхнього ричала ще й різець. Крім того зі стійкою 1 жорстко зв'язана державка 5 і відповідно гідравлічна система, що включає робочий 6, нагнітаючий 7, та управляючий 8 гідроциліндри, що встановлені в корпусі 9 і гідравлічно зв'язані між собою. При цьому плунжер робочого 6 6 циліндра шарнірно зв'язаний з іншим кінцем ричала 2, плунжер 11 циліндра управління зв'язаний із державкою 5. Поршень 12 нагнітаючого циліндра пов'язаний із механізмом регулювання робочого тиску 13.

Попередньо державку 5 закріплюють в різцетримачі токарного верстату. Встановлюють тиск в гідро циліндрах. При цьому Різець підводиться до деталі і пристрою дають поздовжню подачу.

При обертанні деталі, якщо вал має якісь випуклості, чи неточну геометричну форму, що призводить до того що збільшується навантаження на різець і ролики,

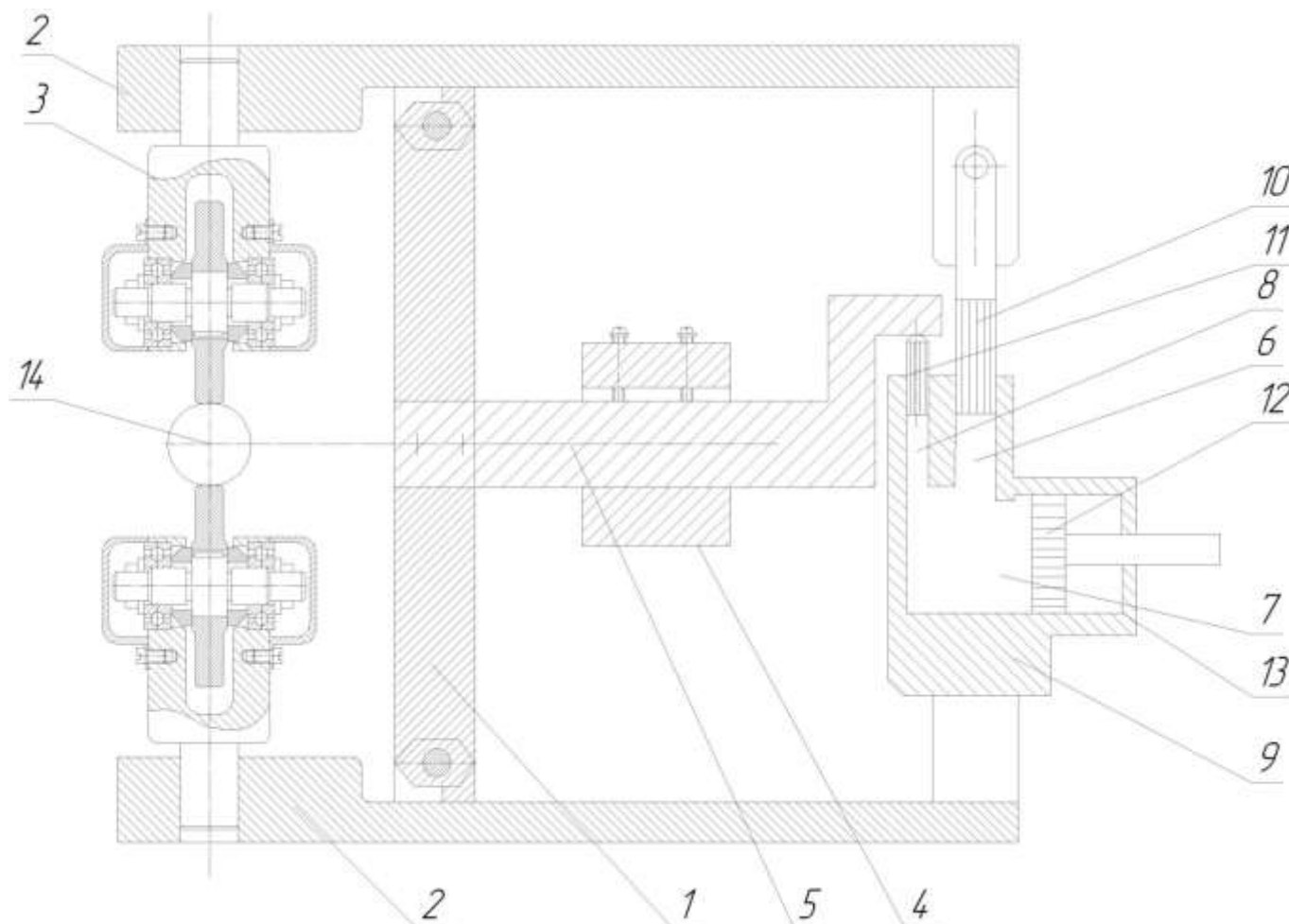


Рисунок 1.5 – Пристосування для суміщеного обкочування роликами

які можуть дещо відійти від деталі, тоді через державку 5 переміщується плунжер 11 управляючого гідро циліндра 8 внаслідок чого змінюється робочий тиск в системі і відповідно піднімається плунжер 10 робочого гідро циліндра збільшуючи силу прикладену до деформуючих елементів.

Таким чином, поверхневий шар на опуклих частинах отримує більшу ступінь деформації. Використання даного пристосування дозволяє досить ефективно усу-

вати короблення деталей від попередніх технологічних операцій, підвищує точність і якість обробки не жорстких валів і дає можливість виправляти

1.2 Оцінка використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі металу

В даний час вважається загальнопризнаним, що більше 80% випадків виходу із ладу машин, механізмів та пристроїв обумовлено руйнуванням, яке починається з поверхні. Однак дослідженням механіки руйнування поверхневого шару металу при поверхневому пластичному деформуванні до даного часу приділялось мало уваги, що, ймовірно пояснюється складністю процесів зародження та росту поверхневих тріщин та відсутністю відповідних теоретичних методів аналізу.

В даній роботі для оцінки пошкодженості поверхневого шару металу при поверхневій пластичній деформації використані методи прикладної теорії деформівності. В якості кількісної характеристики пошкодженості прийнята величина використаного ресурсу пластичності.

В роботі [87] для оцінки пластичності металів при немонотонному навантаженні запропоновано використовувати тензор пошкоджень, компоненти якого визначаються за формулою

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) \beta_{ij} de_u^*, \quad (1.1)$$

де $\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}$ - показник жорсткості напруженого стану,

$\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$ - середнє напруження,

μ_σ - параметр Надаї-Лоде,

$e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_u d\tau$ - ступінь деформації,

t – час деформування з моменту початку пластичної деформації до деформо-

ваного стану, який розглядається.

Компоненти направляючого тензора прирощень деформацій β_{ij} в (1.1) прийняті рівними

$$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\varepsilon_{ij}}{de_u}. \quad (1.2)$$

Функція $F(e_u, \eta, \mu_\sigma)$ залежить від фізико-механічних характеристик матеріалу і від історії навантаження. Умова руйнування запропонована в [5] має вид

$$\psi_{ij}\psi_{ij}=1. \quad (1.3)$$

З використанням умови руйнування (1.3) на даний час отримані розв'язки задач двохетапного, циклічного і складного навантаження, які підтверджують достовірність тензорної моделі (1.3).

Головні компоненти тензора β_{ij} дорівнюють

$$\begin{aligned} \beta_1 &= -\frac{1}{\sqrt{6}} \frac{\mu_\sigma - 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}, \\ \beta_2 &= \frac{1}{\sqrt{6}} \frac{2\mu_\sigma}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}, \\ \beta_3 &= -\frac{1}{\sqrt{6}} \frac{\mu_\sigma + 3}{\sqrt{\mu_\sigma^2 + 3}}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$\psi_1 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_1 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}$$

$$\psi_2 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_2 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \quad (1.5)$$

$$\psi_3 = \int_0^{e_u} \left(1 - a + 2a \frac{e_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)} \right) \beta_3 \frac{de_u}{e_p(\eta, \mu_\sigma)}.$$

Умова руйнування в розглядуваній моделі приймає вид

$$\psi_\sigma + \psi_\tau = 1 \quad (1.6)$$

де $\psi_\sigma = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta_1)}, \psi_\tau = \int_0^{e_u} \frac{de_u}{e_p(\eta_2)}.$

Умову руйнування можна використовувати для оцінки граничного фрмозмінення при немонотонному навантаженні. При цьому необхідно мати експериментально отриману поверхню граничних деформацій $e_p(\eta, \mu_\sigma)$. Розглянуту вище методику оцінки величини використаного ресурсу пластичності можна використовувати при поверхневому пластичному деформуванні, коли пластична деформація поверхневого шару металу реалізується за кілька проходів, тобто, коли має місце немонотонність навантаження, обумовлена послідовними розвантаженнями.

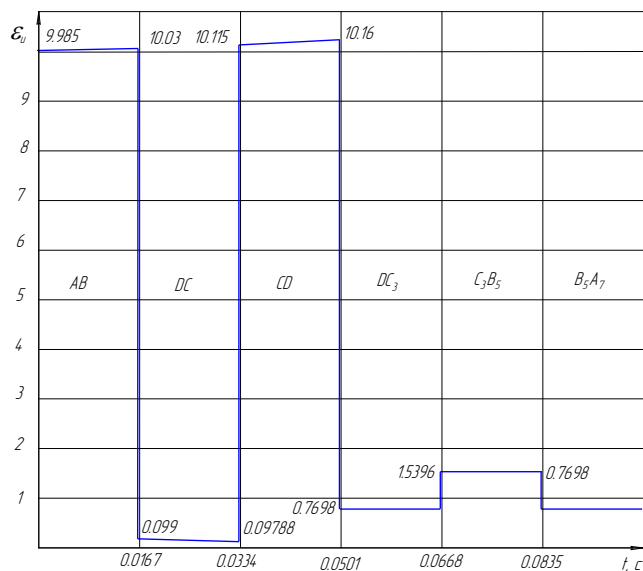


Рисунок 1.6 – Інтенсивність швидкостей деформацій в поверхневому шарі

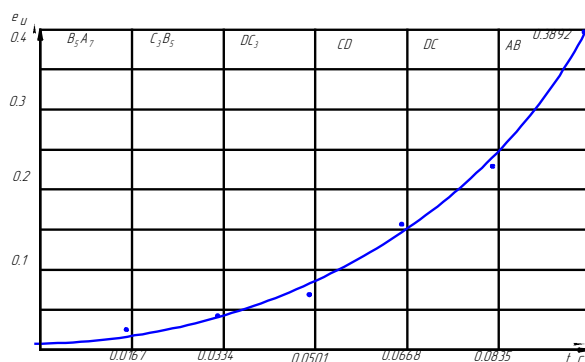


Рисунок 1.7 –Накопичена пластична деформація в поверхневому шарі

З даного графіку можна зробити висновок, що матеріал піддається формозміненню і в області пластичної хвилі, але все ж значно більше в областях випередження і відставання. В даному випадку, при обробці із обраними параметрами максимальна ступінь деформації складає 0,3892.

На основі отриманих результатів побудовано графіки залежності накопиченої деформації від лінійної швидкості переміщення ролика (рисунок 1.8), для трьох роликів діаметром 4, 7 та 10 мм, відповідно.

Із врахуванням отриманих формул визначені нормальні і дотичні напруження

в кожній області, при обробці латуні Л62-1.

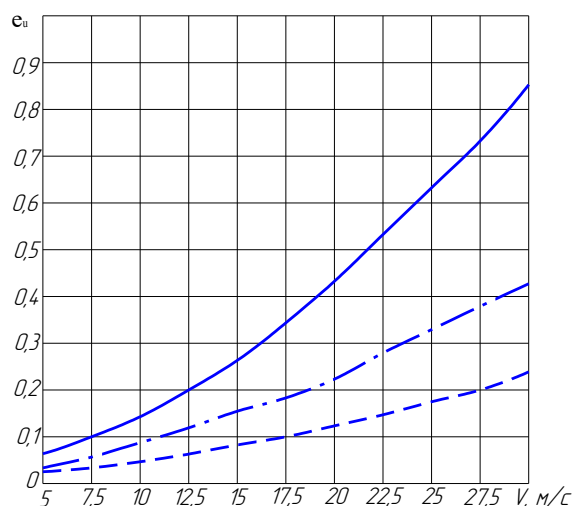


Рисунок 1.8 – Залежність накопиченої пластичної деформації від лінійної швидкості та діаметра ролика

В результаті досліджень виявлено, що при обкочуванні по двухроlikовій схемі в поверхневих шарах валів формуються остаточні напруження, що досягають при однопрохідній обробці значень до 650 МПа, при двоохпрохідній – 700МПа.

Величина остаточних напружень, що формуються при обкочуванні, найбільше залежить від схеми обкочування, зусилля обкочування, а також швидкості обертання валу в процесі обкочування.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення типу виробництва і форми організації роботи

Тип виробництва згідно ГОСТ 3.1121-84 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i}, \quad (2.1)$$

де $\sum O_i$ – кількість операцій, які виконуються на дільниці; $\sum P_i$ – кількість робочих місць на дільниці.

Вихідними даними для визначення $K_{з.о.}$, а значить і типу виробництва, є робоче креслення і річна програма випуску деталі.

Згідно креслення деталі встановлені найбільш характерні переходи механічної обробки деталі “Вал” і занесені до таблиці 1.1, це точіння попереднє та остаточне поверхонь Ø40 (на довжину 40), Ø45 (на довжину 42), Ø35 (на довжину 77), Ø40 (на довжину 40), Ø48 (на довжину 25). Для записаних в таблиці 1.1 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки $T_{осн}$, наприклад для попереднього і остаточного точіння поверхні Ø40 на довжину 40 (попереднє):

$$T_{осн} = (0,18 \cdot 40 \cdot 40 + 0,2 \cdot 40 \cdot 40 + 0,22 \cdot 40 \cdot 40) \cdot 0,001 = 0,96 \text{ (хв)}$$

Згідно рекомендацій, враховуючи масу деталі та програму випуску, наближено визначено тип виробництва, як серійний.

Штучно-калькуляційний час визначається $T_{шт-к}$, як добуток основного часу і коефіцієнта ϕ_k :

$$T_{шт-к} = T_{осн} \cdot \phi_k \text{ [хв]}. \quad (2.2)$$

Для розточування отвору Ø40 отримаємо:

$$T_{шт-к}=0,96 \cdot 1,5=1,44 \text{ (хв)}.$$

Для кожного переходу механічної обробки необхідна кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_{pi} = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 F_d \cdot \eta_{з.н.}}, [\text{шт}] \quad (2.3)$$

де $N = 5800$ шт. – річна програма випуску деталі “Вал”;

$T_{шт.к.}$ – штучно-калькуляційний час, хв;

F_d – дійсний фонд роботи обладнання при роботі в дві зміни ($F_d = 3890$ год);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання ($\eta_{з.н.} = 0,75$).

Відповідно необхідна кількість верстатів складає:

$$C_{pi}=5800 \cdot 1,44 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75=0,05$$

Одержану розрахункову кількість верстатів заокруглено до найближчого більшого числа і одержано прийняту кількість верстатів P , в даному випадкові 1 верстат.

Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання визначається за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{C_{pi}}{P_i}, \quad (2.4)$$

де C_{pi} – необхідна кількість верстатів для виконання даної операції;

P_i – кількість робочих місць для виконання даної операції.

При точінні поверхні Ø40 він рівен 0,048.

Кількість операцій, які виконуються на i -му місці можна визначити за формулою:

$$O_i = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.i}}, \quad (2.5)$$

де $\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання;

$\eta_{з.ф.i}$ – фактичний коефіцієнт завантаження обладнання, на i -ій операції.

Наприклад, при точінні поверхні Ø40 отримаємо:

$$O_1 = 0,75/0,048 = 15,72$$

Аналогічно виконано розрахунки для інших типових переходів механічної обробки. При попередньому і остаточному точінні поверхні Ø45 довжиною 42 мм:

$$T_{осн} = (0,18 \cdot 45 \cdot 42 + 0,2 \cdot 45 \cdot 42 + 0,22 \cdot 45 \cdot 42) \cdot 0,001 = 1,134 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт-к} = 1,134 \cdot 1,5 = 1,7 \text{ (хв)}$$

$$C_{p1} = 5800 \cdot 1,7 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,06$$

$$O_1 = 0,75/0,06 = 13,31$$

При попередньому і остаточному точінні поверхні Ø35 довжиною 77 мм:

$$T_{осн} = (0,18 \cdot 35 \cdot 77 + 0,2 \cdot 35 \cdot 77 + 0,22 \cdot 35 \cdot 77) \cdot 0,001 = 1,617 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт-к} = 1,617 \cdot 1,5 = 2,43 \text{ (хв)}$$

$$C_{p1} = 5800 \cdot 2,43 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,08$$

$$O_1 = 0,75/0,08 = 9,33$$

При попередньому і остаточному точінні поверхні Ø40 довжиною 42 мм:

$$T_{осн} = (0,18 \cdot 40 \cdot 42 + 0,2 \cdot 40 \cdot 42 + 0,22 \cdot 40 \cdot 42) \cdot 0,001 = 1,008 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт-к} = 1,008 \cdot 1,5 = 1,51 \text{ (хв)}$$

$$C_{p1} = 5800 \cdot 1,51 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,05$$

$$O_1 = 0,75/0,05 = 14,97$$

При попередньому і остаточному точінні поверхні Ø48 довжиною 25 мм:

$$T_{очн}=(0,18 \cdot 48 \cdot 25 + 0,2 \cdot 48 \cdot 25 + 0,22 \cdot 48 \cdot 25) \cdot 0,001 = 0,72 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт-к} = 0,72 \cdot 1,5 = 1,08 \text{ (хв)}$$

$$C_{pl} = 5800 \cdot 1,08 / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,04$$

$$O_1 = 0,75 / 0,04 = 20,96$$

Сумарна кількість операцій, що можуть бути виконані на всіх робочих місцях $\sum O_i$

$$\sum O_i = 15,72 + 13,31 + 9,33 + 14,97 + 20,96 = 74,29$$

Сумарна кількість прийнятих верстатів $\sum P = 5$

Коефіцієнт закріплення $K_{з.о.}$ відповідно складатиме:

$$K_{з.о.} = 74,29 / 5 = 14,86$$

Отже тип виробництва –серійне. Всі розрахункові дані занесені до таблиці 1.1.

Доцільність вибору групової чи потокової форми організації роботи визначається шляхом порівняння потрібного добового випуску виробів N_∂ і розрахункової добової продуктивності лінії Q_∂ . Якщо $N_\partial < Q_\partial$, то поточкову лінію використовувати недоцільно. Добовий випуск виробів і добову продуктивність лінії розраховують за формулами:

$$N_\partial = \frac{N}{254}, [\text{шт}] \quad (2.6)$$

де 254 кількість робочих днів в року;

$$Q_{\partial} = \frac{F_{\partial}}{T_{шт-\kappa_{сер}} \cdot \eta_3}, [\text{шт}] \quad (2.7)$$

де $T_{шт-\kappa_{сер}}$ – середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів, хв.;

η_3 – добовий коефіцієнт завантаження потокової лінії.

$$T_{шт-\kappa_{сер}} = \frac{\sum T_{шт-\kappa_i}}{\sum n_i}, [\text{хв}] \quad (2.8)$$

де $T_{шт-\kappa_i}$ – штучно-калькуляційний час виконання i -го переходу, хв.; $\sum n_i$ – сумарна кількість виконуваних переходів.

Таблиця 2.1 – Визначення типу виробництва

№ п/п	Зміст техно- логічних опе- рацій	Тосн, хв	Тшт, хв	N	Ф Д	Ср	Р	h з.н.	h з.ф.	О	Кз. о
1	Точіння пове- рхні Ø40	0,96	1,44	5800	3890	0,05	1	0,75	0,05	15,72	14,86
2	Точіння пове- рхні Ø45	1,13	1,7			0,06	1		0,06	13,31	
3	Точіння пове- рхні Ø35	1,617	2,43			0,08	1		0,08	9,33	
4	Точіння пове- рхні Ø40	1,008	1,51			0,05	1		0,05	14,97	
5	Точіння пове- рхні Ø48	0,72	1,08			0,04	1		0,04	20,96	
	Всього	5,44	8,15				5			74,29	

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-к_i} = (0,96 + 1,134 + 1,617 + 1,008 + 0,72) / 5 = 1,63 \text{ (хв)}$$

Отже добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_{\bar{a}} = \frac{952}{1,63 \cdot 0,8} = 466(\text{шт})$$

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_{\bar{a}} = \frac{5800}{254} = 23(\text{шт})$$

Оскільки потрібний добовий випуск виробів значно менший добової продуктивності лінії то відповідно обираємо групову форму організації роботи.

При груповій формі організації роботи визначається кількість деталей в партії для одночасного запуску

$$n = \frac{N \cdot a}{254}, [\text{шт}] \quad (2.9)$$

де a – періодичність запуску деталей на обробку, в днях (6 днів).

$$n = \frac{5800 \cdot 6}{254} = 137(\text{шт})$$

Розрахункове число змін на обробку всієї партії деталей на основних робочих місцях визначається за формулою:

$$c = \frac{T_{\text{шт-к.ср}} \cdot n}{476 \cdot 0,75} \quad (2.10)$$

$$c = \frac{1,63 \cdot 137}{476 \cdot 0,75} = 0,59$$

Визначаємо кількість деталей у партії, які необхідні для завантаження обладнання на основних операціях протягом цілого числа змін

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot c_{\text{пр}}}{T_{\text{шт-к.ср}}} [\text{шт}] \quad (2.11)$$

$$n_{\text{пр}} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot 1}{1,63} = 233 (\text{шт})$$

Приймаємо кількість деталей у партії 233 шт.

Отже тип виробництва –серійне, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 233 шт.

2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі

Деталь вал є складовою редуктора. Спростувати конструкцію є недоцільно, оскільки деталь відносно простої конструкції.

Конструкція деталі дозволяє використовувати високопродуктивні методи обробки та вести обробку на прохід, окрім шпоночних пазів.

Основними конструкторськими базами є поверхні $\varnothing 40\text{к6}$ та торці, до яких вказані найвищі вимоги точності та шорсткості. В якості технологічних баз доцільно використовувати центровочні отвори.

Всі розміри на креслені можуть бути безпосередньо виміряні і проконтрольовані за допомогою універсального інструменту.

Враховуючи невеликий перепад діаметрів, та середньо серійний тип виробництва в якості заготовки доцільно використати прокат.

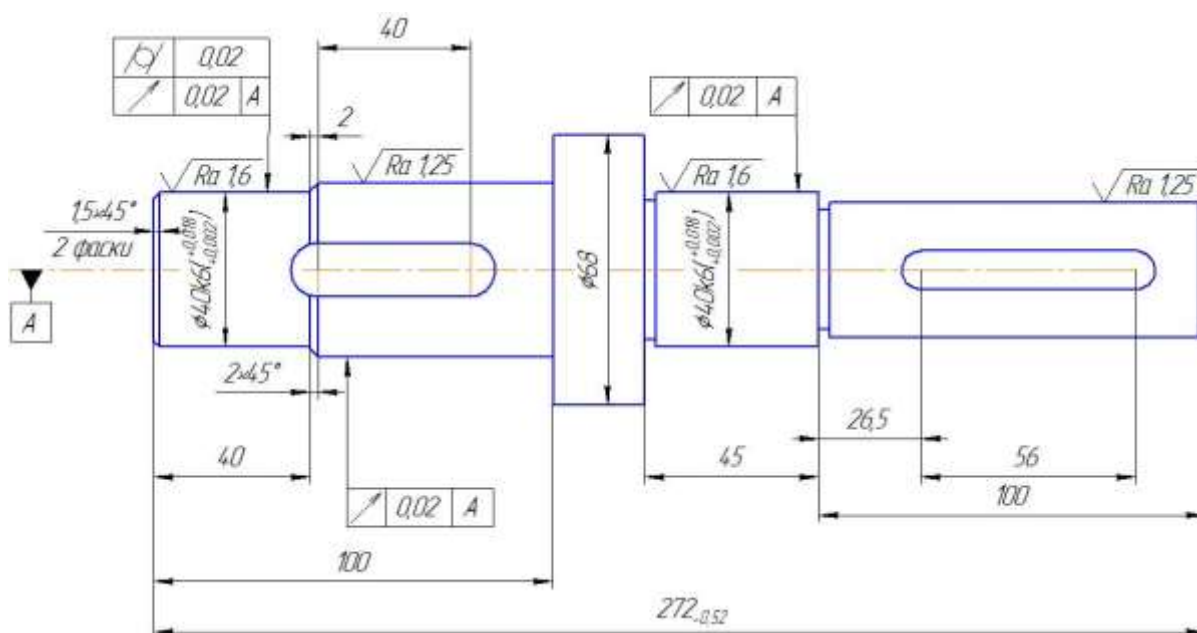


Рисунок 2.1 – Вал

Деталь має піддаватися термічній обробці, але вона не містить тонких стінок, які можуть піддаватися жолобленню при термічній обробці.

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою:

$$K_y = Q_{ye} / Q_e, \quad (2.12)$$

де Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів;

Q_e – загальна кількість елементів.

$$K_y = (8 + 16 + 4 + 24) / (9 + 19 + 4 + 24) = 0,928 > 0,6.$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт уніфікації

Діаметральні розміри	Лінійні розміри	Кутові розміри	Шорсткість
Ø40*	40*	45° *(4 пов.)	1,25 * (4 пов.)
Ø48*	42*		3,2 * (2 пов.)
Ø40*	45*		1,6 * (4 пов.)
Ø45*	6.5		6,3* (12 пов.)
Ø35	56*		
R0.5*	80*		
R1*	272 (2 пов)		
R0.5*	14(2 пов)*		
R1*	10(2 пов)*		
	5,5		
	5*		
	3 (2 пов)*		
	1,5 (2 пов)*		
	0,25 (2 пов)*		
$\Sigma_{\text{заг.}} = 9$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 19$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 4$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 24$
$\Sigma_{\text{уніф.}} = 8$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 16$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 4$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 24$

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою:

$$K_{\text{ш}} = 1 / \text{Ш}_{\text{ср}} ; \quad (2.13)$$

$$\text{Ш}_{\text{ср}} = \frac{\sum \text{Ш}_i \cdot n_i}{n_i} , \quad (2.14)$$

де Ш_i – шорсткість i -ої поверхні;

n_i – кількість поверхонь з шорсткістю Ш_i . Всі дані для розрахунку коефіцієнта шорсткості наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.3- Коефіцієнт шорсткості

Шорсткість	Кількість поверхонь	Розрахунок
1,25	4 (Ø45, Ø40, Ø35, Ø40)	$1,25 \cdot 4 = 5$
1,6	4 (14-2 пов, 10-2 пов)	$1,6 \cdot 4 = 6,4$
3,2	2 (5,5; 5)	$3,2 \cdot 2 = 6,4$
6,3	12	$6,3 \cdot 12 = 75,6$
Всього:	24	93,4

Відповідно до наведених вище даних отримаємо:

$$Ш_c = 93,4 / 24 = 3,89$$

$$K_{ш} = 1 / 3,89 = 0,257 < 0,32.$$

Отже, за даним показником деталь є також технологічною.

3) Коефіцієнт точності визначається:

$$K_T = 1 - \frac{1}{T_{cp}} \quad (2.15)$$

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{n_i}, \quad (2.16)$$

де T_i – квалітет точності i -го розміру;

n_i – кількість розмірів з квалітетом T_i . Дані для розрахунку наведено в таблиці

2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
6	4(Ø40, Ø45, Ø40, Ø35)	$6 \cdot 4 = 24$
9	4 (14-2 пов, 10-2 пов)	$9 \cdot 4 = 36$
12	3 (5,5; 5; 232)	$12 \cdot 3 = 36$
14	11	$14 \cdot 11 = 154$
Всього	24	250

Відповідно отримаємо:

$$T_c = 250/24 = 10,42$$

$$K_T = 1 - 1/10,42 = 0,904$$

За даним показником деталь є також технологічною.

Отже деталь технологічна за якісними і кількісними показниками.

2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Оскільки матеріал деталі Сталь 50, в якій ливарні властивості відносно погані, то заготовка може бути виготовлена штампуванням, або з прокату. При штампуванні мінімальний діаметр отвору що отримується 30 мм.

Більшість поверхонь деталі мають 14 квалітет точності, тому доцільно обрати метод виготовлення заготовки, що забезпечує дану ступінь точності, це дозволить мінімізувати механічну обробку заготовки. Використовувати штампування на молотах недоцільно, так як даний метод є малопродуктивним і отримувати заготовки мають низьку точність (13...17 квалітет точності та шорсткість 320...40 мкм), крім того процес важко механізувати та автоматизувати, а умови праці важкі. При штампуванні на кривошипних гарячештампувальних пресах продуктивність значно вища,

вища також точність заготовок і відповідно вищий коефіцієнт використання матеріалу, відсутні ударні навантаження, кращі умови праці, але вища вартість обладнання, необхідність в додаткових проміжних операціях, зокрема нагрівання металу. Проміжне положення між двома вище вказаними способами отримання заготовки займає штампування на гвинтових пресах. В даному випадку заготовки мають достатню точність – 13-15 квалітет, пристосування є тихохідне і досить легко процес можна механізувати та автоматизувати. При використанні гідравлічних пресів отримуються заготовки високої точності, але стійкість штампів низька, необхідність в охолодженні штампів і як наслідок висока собівартість заготовок. Тобто використовуючи для отримання заготовки штампування на гідравлічних пресах ми можемо отримати отвір, тобто матимемо досить високий коефіцієнт використання матеріалу заготовки, що важливо, оскільки виробництво є серійним. Крім того заготовку можна отримати із прокату, оскільки деталь містить цілий ряд отворів, які не можуть бути отримані під час штампування через їх невеликі розміри.

Отже на основі проведеного аналізу обрано два способи отримання заготовки:

- 1) штампування на кривошипних гарячештампувальних пресах (КГШП);
- 2) прокат.

При цьому штампування на КГШП може бути у відкритих або закритих штампах, або в штампах для витискування.

Штампування у відкритих штампах характеризуються тим, що у зазор між верхньою і нижньою частинами штампа (що є змінним) впливає надлишок металу, що утворює облой. Останній є небажаним відходом.

При штампуванні в штампах для витискування поковки мають високу якість поверхні, щільну мікроструктуру. Однак вимагаються ретельна підготовка вихідних заготовок під штампування, висока точність виготовлення і налагодження штампів, використання спеціальних змащувальних сумішей. Широке застосування стримується високими питомими зусиллями деформування, великими енерговитратами і низькою стійкістю штампів.

Штампування в закритих штампах відрізняються тим, що невеликий зазор між верхньою і нижньою частинами штампа забезпечує лише їх взаємне переміщення і в

процесі деформування металу залишається постійним. Відсутність облою у закритих штампах зменшує витрату металу, виключає необхідність в обрізанні облою. Цей тип штамів застосовується для порівняно простих деталей, в основному тіл обертання, і вимагає використання точних заготовок з каліброваного прокату чи попередньо оброблених, що можливо в даному випадку. Тому буде використовуватися штампування в закритих штампах.

Згідно ГОСТ 7505-89 на КГШП при штампуванні в закритих штампах отримуються заготовки Т2-Т3 класу точності, для серійного типу виробництва приймаємо 3 клас точності (Т3).

Деталь виготовляється із Сталі 50, що відповідно містить 0,5% вуглецю, тобто даний матеріал відноситься до другої групи (М2).

Для того, щоб визначити ступінь складності вилівка, що є одною із конструктивних характеристик форми поковок, необхідно попередньо обчислити масу штамповки. Скористаємося формулою для орієнтовного розрахунку[4]:

$$M_{п.р.}=M_{д}\cdot K_p, [кг] \quad (2.17)$$

де $M_{п.р.}$ – розрахункова маса поковки; $M_{д}$ – маса деталі; K_p – розрахунковий коефіцієнт, що для деталі даної конфігурації рівен (1,3-1,6) 1,3 [1].

Відповідно отримаємо:

$$M_{п.р.}=2,26\cdot 1,3=2,93 \text{ (кг)}$$

Вал вписується у циліндр, маса якого складатиме:

$$M=24^2\cdot 3,14\cdot 232\cdot 7,814\cdot 10^{-6}\cdot 1,05^3=3,79 \text{ (кг)}$$

Відношення маси заготовки до маси фігури, в яку вона вписується:

Таблиця 2.5 - Розрахунок розмірів штампованої заготовки

Вхідні дані		Штамповка на КГШП (закриті штампи)					
Клас точності		Т3					
Марка матеріалу		М2					
Ступінь складності		С1					
Індекс		10					
Конфігурація поверхні роз'єму штампа		П					
Припуски Додаткові: На зміщення по поверхні роз'єму штампа		0,3					
Для врахування вигнутості і відхилення від площинності		0,4					
Радіуси заокруглень		2,5					
Основні припу- ски	Розрахункові розміри, мм						
	Ø40	Ø48	Ø38	40	45	80	272
	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8
Розміри загото- вки	Ø44,2	Ø52,2	Ø42,2	40,3	45,1	80,2	276,8
Допуски: розмірів	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	$1,6^{+1.1}_{-0,5}$	$1,6^{+1.1}_{-0,5}$	$1,6^{+1.1}_{-0,5}$	$1,6^{+1.1}_{-0,5}$	$1,4^{+0,9}_{-0,5}$	$2,2^{+1.4}_{-0,8}$
По величині зміщення роз'є- му штампа	0,6						
По вигнутості від площиннос- ті і прямоліній- ності	0,5						
Радіусів заок- руглень	0,5						
Допустима ве- личина заусен- ця	5,0						

$$2,93/3,79=0,77$$

Отже згідно із ГОСТ 7505-89 поковка матиме 1 ступінь складності (С1)

Роз'єм встановлюється в площині найбільших габаритних розмірів. В цьому випадкові полості штампа є неглибокими, полегшується їх заповнення, зменшуються напуски. З врахуванням наведеного вище обрано площину роз'єму штампа, що є плоскою.

Згідно [1] вихідний індекс з врахуванням отриманих вище даних складатиме – 10 при штампуванні на КГШП.

Припуск на механічну обробку включає основний, а також додаткові припуски, що враховують відхилення форми поверхні. Основний припуск на механічну обробку поковок визначається в залежності від вихідного індексу, лінійних розмірів та шорсткості поверхні деталі для кожного розрахункового розміра. Наприклад для

Ø40 згідно [1] він складає 1,5 мм при вихідному індексі 10 і шорсткості 0,8 мкм (в межах до 1,25 мкм). Аналогічно визначається припуск на інші поверхні, результати занесено до таблиці 3.1.

Додатковий припуск на зміщення по поверхні роз'єму штампа складають 0,3 мм [4]. Додатковий припуск для врахування вигнутості і відхилення від площинності, прямолінійності визначається в залежності від класу точності (Т3) та найбільшого розміру заготовки (232 мм) в даному випадкові складає 0,4 мм відповідно.

З врахуванням прийнятих припусків при штампуванні на КГШП:

$$\text{Ø } 40 + (1,5 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 44,2 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø } 48 + (1,5 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 52,2 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø } 38 + (1,5 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 42,2 \text{ (мм);}$$

$$272 + (1,8 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = 276,8 \text{ (мм);}$$

$$40 + 1,8 - 1,5 = 40,3 \text{ (мм);}$$

$$80 + 1,8 - 1,6 = 80,2 \text{ (мм);}$$

$$45 + 1,6 - 1,5 = 45,1 \text{ (мм).}$$

Допустимі відхилення лінійних розмірів поковок призначаються в залежності від вихідного індекса і розмірів поковки за [1]. Отримані дані заносимо до таблиці

Допустиме відхилення по вигнутості від площинності і прямолінійності для

плоских поверхонь складає 0,5 мм при виготовленні заготовки на КГШП. Дана величина не враховує перепади по висоті чи ширині поковки.

Оскільки, одним із варіантів обрано заготовку із прокату, то за довідником обрано прокат із сталі 50.

Розраховуємо граничні розміри заготовки:

$$\varnothing 48 + 2 \cdot 1 = 50 \text{ (мм)}.$$

Найближчий більший гостований прокат 50 ГОСТ 19903-74, [4].

Лінійний розмір 232 буде дорівнювати сумі номінального розміру і подвоєному припуску на підрізання торцю.

$$232 + 2 \cdot 5 = 242 \text{ (мм)}.$$

Доцільно отримувати матеріал довжиною 0,5м, що дозволить отримати із кожного 2 заготовки. При цьому прокат обирають виготовлений за 14 квалітетом точності.

Нахили призначаються для полегшення виймання заготовки з матриць і запобігання заклинювання пуансона при штампуванні. Вибирається в залежності від виду обладнання. При виді обладнання КГШП – зовнішні нахили $-3 - 5^{\circ}$.

Призначаємо 5° .

Радіуси заокруглень відповідно до ГОСТ 7505-89 вибирають в залежності від маси поковки та глибини порожнини штампа. Враховуючи, що максимальний діаметр заготовки $\varnothing 52,2$ мм, то глибина порожнини штампа 26,1мм, що входить в межі від 25 до 50, а маса лежить в межах від 1 до 6 кг, відповідно мінімальні радіуси заокруглення зовнішніх поверхонь складає 2,5 мм.

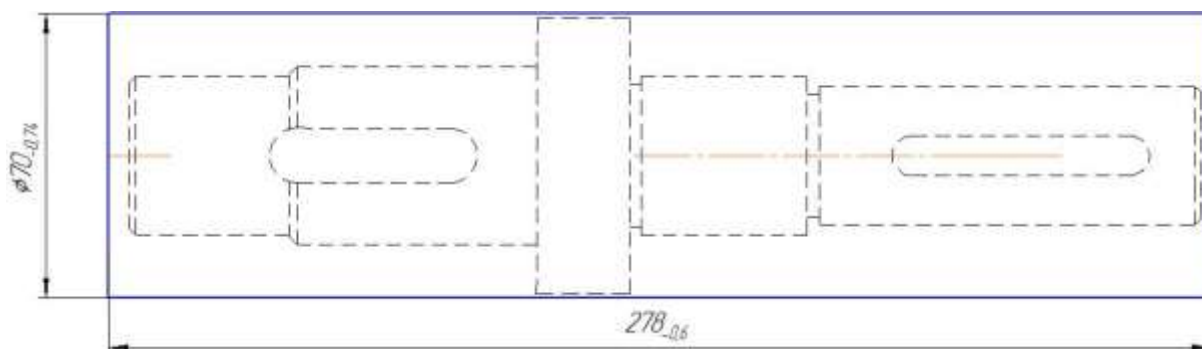


Рисунок 2.2 – Заготовка з прокату

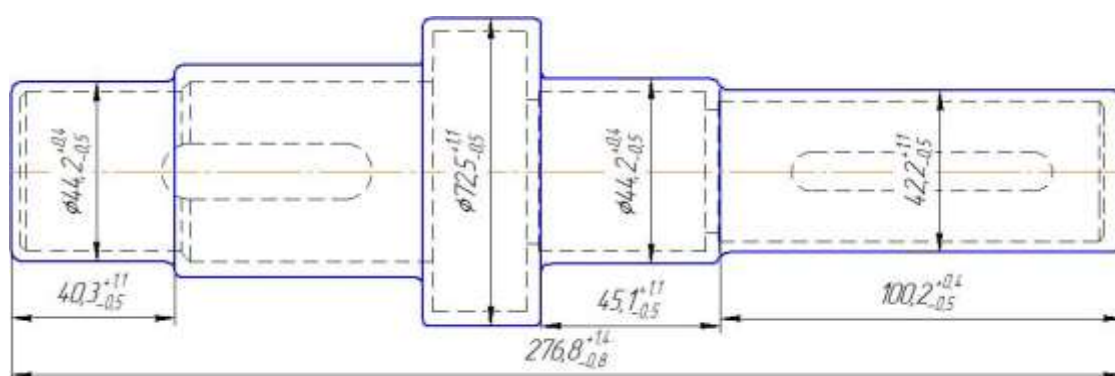


Рисунок 2.3- Заготовка отримана штампуванням на КГШП

Масу заготовок, аналогічно масі деталі, обчислюємо за допомогою КОМПАС-3D.

– КГШП:

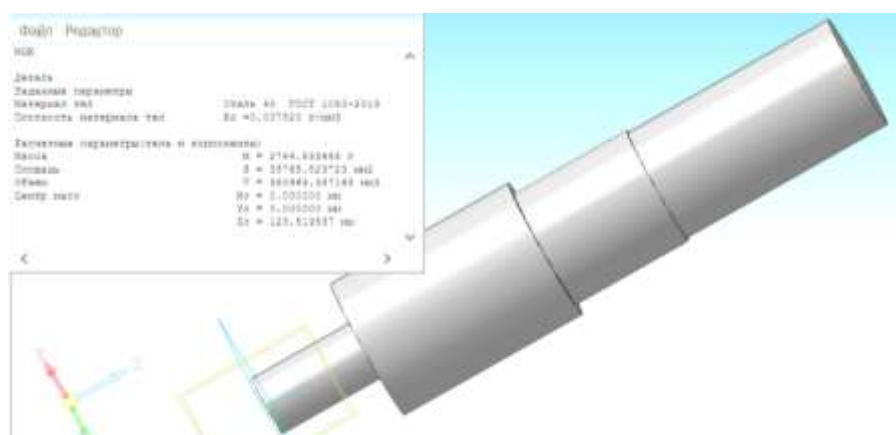


Рисунок 2.4 – Заготовка отримана штампуванням на КГШП

де $G_{\text{заг}}=2,74$ кг – маса заготовки;

$G_{\text{дет}}=2,26$ кг – маса деталі;

$C_{\text{шт}}=18730$ – базова вартість 1т штамповки;

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовок;

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки;

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки;

K_B – коефіцієнт, що враховує масу заготовки, вибираємо згідно;

K_{Π} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т. стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 2500$.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$, $K_M = 1,0$, $K_C = 0,75$, $K_B = 1,33$, $K_{\Pi} = 1,0$.

– Штампування на КГШП:

$$C_{\text{заг.шт.}} = \frac{2,74 \cdot 18730 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1,33 \cdot 1,0}{1000} - \frac{(2,74 - 2,26)}{1000} 2500 = 49,99 \text{ (грн.)}$$

Вартість заготовки визначаємо за формулою, [2]:

$$C_{\text{пр.}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{1000} \cdot C_{\text{м}} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}})}{1000} \cdot C_{\text{відх.}}, [\text{грн}] \quad (2.19)$$

де $Q_{\text{заг.}}$ – маса заготовки, 3,84 кг;

$C_{\text{м}}$ – вартість 1т матеріалу заготовки, 13500 грн;

$Q_{\text{дет.}}$ – маса готової деталі, кг;

$C_{\text{відх.}}$ – вартість 1т відходів, 2500 грн;

$$C_{\text{заг.шт.}} = \frac{3,84 \cdot 13500}{1000} - \frac{(3,84 - 2,26)}{1000} 2500 = 47,89 \text{ (грн.)}$$

Отже, після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість прокатної

заготовки менша ніж на КГШП.

Для прийняття остаточного рішення відносно вибору варіанту одержання заготовки крім вартості заготовок, коефіцієнтів використання матеріалу та вагової точності потрібно порівняти маршрути механічної обробки деталі. Якщо є операції, які відрізняються внаслідок різних способів одержання заготовки, то собівартість їх виконання потрібно включити у вартість відповідної заготовки. Тобто тоді повна собівартість заготовки:

$$C_{\text{заг}} = C_{\text{заг.шт.}} + \Sigma C_{\text{обр.}}, [\text{грн}] \quad (2.20)$$

де $\Sigma C_{\text{обр}}$ – технологічна собівартість виконання тих операцій, якими відрізняються маршрути механічної обробки деталі внаслідок різних способів одержання заготовки.

$$C_{\text{обр}} = C_{\text{п.-з.}} \cdot T_{\text{шт-к(шт)}} / K_v, [\text{грн}] \quad (2.21)$$

$C_{\text{п.-з}}$ – хвилинні приведені витрати, грн. – вибираємо згідно [4];

$T_{\text{шт-к(шт.)}}$ –штучно-калькуляційний чи штучний час на операцію, хв.;

K_v - коефіцієнт виконання норм, $K_v \approx 1,3$;

$C_{\text{п.-з}} = 37,9$ грн/год, тобто $0,63$ грн/хв.- собівартість точіння на токарному верстаті 16K20.

Штучно калькуляційний час визначається за формулою:

$$T_{\text{шт-к(шт.)}} = T_o \cdot \phi_k, [\text{хв}] \quad (2.22)$$

Де основний час при точінні:

$$T_o = 0,17 dI [\text{хв}] \quad (2.23)$$

Відповідно, для того щоб отримати заготовку аналогічно за формулю отримуваний після КГШП необхідно обточити поверхні Ø44,2 довжиною 40,3мм, Ø44,2 довжиною 45,1 мм, Ø42,2 довжиною 80,2 мм. Враховуючи, що для цього необхідно всі поверхні точити, основний час складатиме:

$$T_{01} = 0,17 \cdot (44,2 \cdot 40,3 + 44,2 \cdot 45,1 + 42,2 \cdot 80,2) \cdot 0,001 = 1,21 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{шт-к(шт.)}1} = 1,21 \cdot 1,35 = 1,63 \text{ (хв.)};$$

$$C_{\text{обр}} = 1,63 \cdot 0,63 / 1,3 = 0,78 \text{ (грн.)};$$

$$C_{\text{заг}} = 47,89 + 0,78 = 48,67 \text{ (грн.)}.$$

Отже, врахувавши токарну обробку, ми бачимо, що прокат дешевший за КГШП. Тобто за основний спосіб отримання заготовки обираємо прокат.

2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні

Відповідно до службового призначення різні поверхні деталі виконують різні функції. Тому вимоги до них можуть бути найрізноманітніші: за точністю, шорсткістю, твердістю тощо. Забезпечуються ці вимоги використанням різних технологічних методів обробки. Їх вибирають з урахуванням габаритних розмірів, методу одержання та параметрів точності вихідної заготовки, властивостей матеріалу, наявності необхідного обладнання та інших факторів.

Визначення кількості ступенів механічної обробки виконується на основі розрахунків за формулою:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{T_3}{T_D} = \frac{T_3}{T_1} \cdot \frac{T_1}{T_2} \cdot \dots \cdot \frac{T_i}{T_{i-1}} \cdot \dots \cdot \frac{T_n}{T_D} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \dots \cdot \varepsilon_i = \prod_{i=1}^n \varepsilon_i ; \quad (2.24)$$

де ε – загальне уточнення;

ε_i – окремі ступені уточнення;

n – число ступенів обробки;

T_d – допуск деталі.

T_z – допуск заготовки;

T_i – окремого ступеня обробки.

Але оскільки в даному випадку заготовкою є литий напівфабрикат, то визначаємо кількість переходів механічної обробки за точністю та шорсткістю поверхонь, які потрібно отримати, припуски при цьому визначаються за [3]. Технологічний допуск на проміжний розмір і якість поверхні, що отримані на попередньому етапі обробки повинні мати числові значення, за яких можливе нормальне використання дальшого методу обробки, що планується.

Поверхня $\varnothing 40k6$ отримується обробкою на одній операції. Ескіз із технічними вимогами показаний на рис. 4.1.

Заготовка – прокат. Допуск діаметрального розміру у вихідній заготовці складає 0,62 мм .

Визначимо загальне уточнення

$$\varepsilon_z = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} = \frac{620}{16} \approx 38,75$$

Припустимо, що таке уточнення може бути досягнуто за три переходи механічної обробки. Прийmemo: $\varepsilon_1 = 5$; $\varepsilon_2 = 4$.

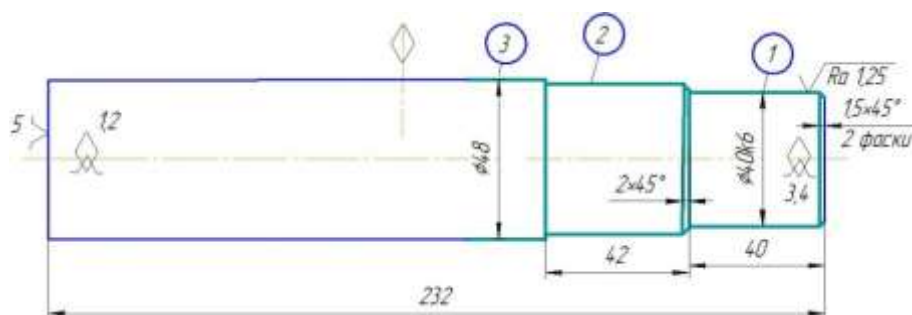


Рисунок 2.6 – Обробка поверхні $\varnothing 40$

Знайдемо уточнення, яке має бути забезпечене на третьому (останньому) переході

$$\varepsilon_3 = \frac{\varepsilon_{\Sigma}}{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2} = \frac{38,75}{5 \cdot 4} = 1,9375.$$

Визначимо розрахункові значення допусків технологічних розмірів

$$T_1 = \frac{T_{\text{заг}}}{\varepsilon_1} = \frac{620}{5} = 124 \text{ (мкм)};$$

$$T_2 = \frac{T_1}{\varepsilon_2} = \frac{124}{4} = 31 \text{ (мкм)};$$

$$T_3 = T_{\text{дет}} = \frac{T_2}{\varepsilon_1} = \frac{31}{1,9375} = 16 \text{ (мкм) (IT6)}.$$

Отримані розрахункові значення допусків технологічних розмірів, що мають бути забезпечені на першому і другому переходах, змінимо до найближчих нормативних значень [6]. Таким чином, приймемо остаточно: $T_1 = 160 \text{ мкм (IT10)}$; $T_2 = 39 \text{ мкм (IT8)}$.

Виберемо способи механічної обробки. З урахуванням необхідності забезпечення шорсткості в межах 1,25 мкм вибираємо як спосіб механічної обробки для усіх трьох переходів точіння (чорнове, чистове і тонке).

2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

При виборі чорнових баз має вирішуватися одна із двох задач: зняття рівномірного мінімального припуску при подальшій механічній обробці або зв'язок оброблених і необроблюваних поверхонь. В даному випадку вирішується перша задача,

оскільки заготовка закріплюється в трьохкулачковому самоцентруючому патроні за зовнішню поверхню, яка в подальшому буде оброблятися.

При виборі чистових баз необхідно, щоб похибка базування була мінімальною. На операції 010 деталь встановлюється в центах і обробляються зовнішні поверхні.

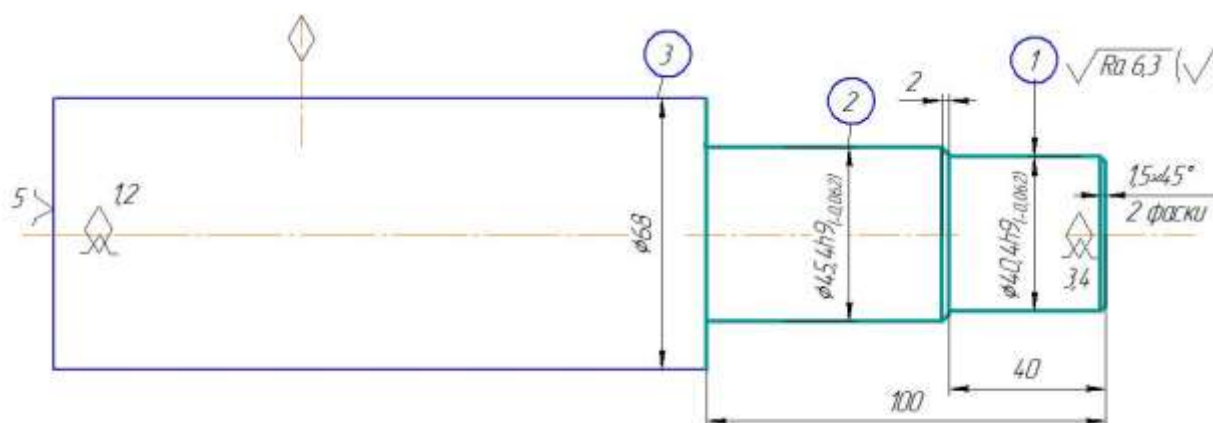


Рисунок 2.7 – Схема базування на операції 010 (установ 1)

Таблиця 2.6 – Визначення похибки базування на операції 010 (установ1)

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Токарна з ЧПК	Ø40 Ø45, Ø68	Відсутня	Діаметральний розмір
	40	Відсутня	Обробка з одного установова
	100	Відсутня	Виконання принципу суміщення баз

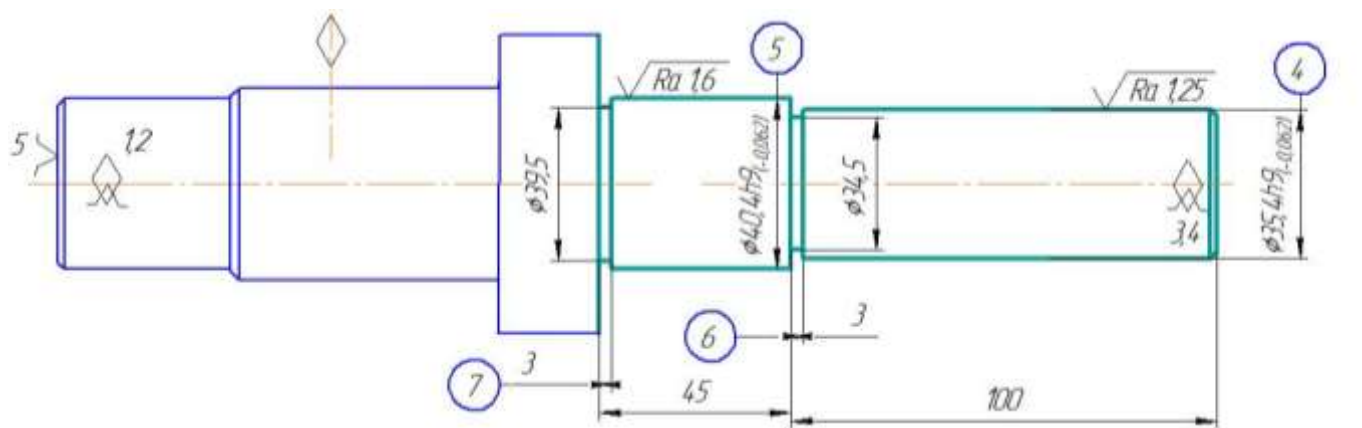


Рисунок 2.8 – Схема базування на операції 010 (установ 2)

Таблиця 2.7 – Визначення похибки базування на операції 010 (установ 2)

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Токарна з ЧПК	Ø40, Ø35	Відсутня	Діаметральний розмір
	45, 3	Відсутня	Обробка з одного установи
	100	Відсутня	Виконання принципу суміщення баз

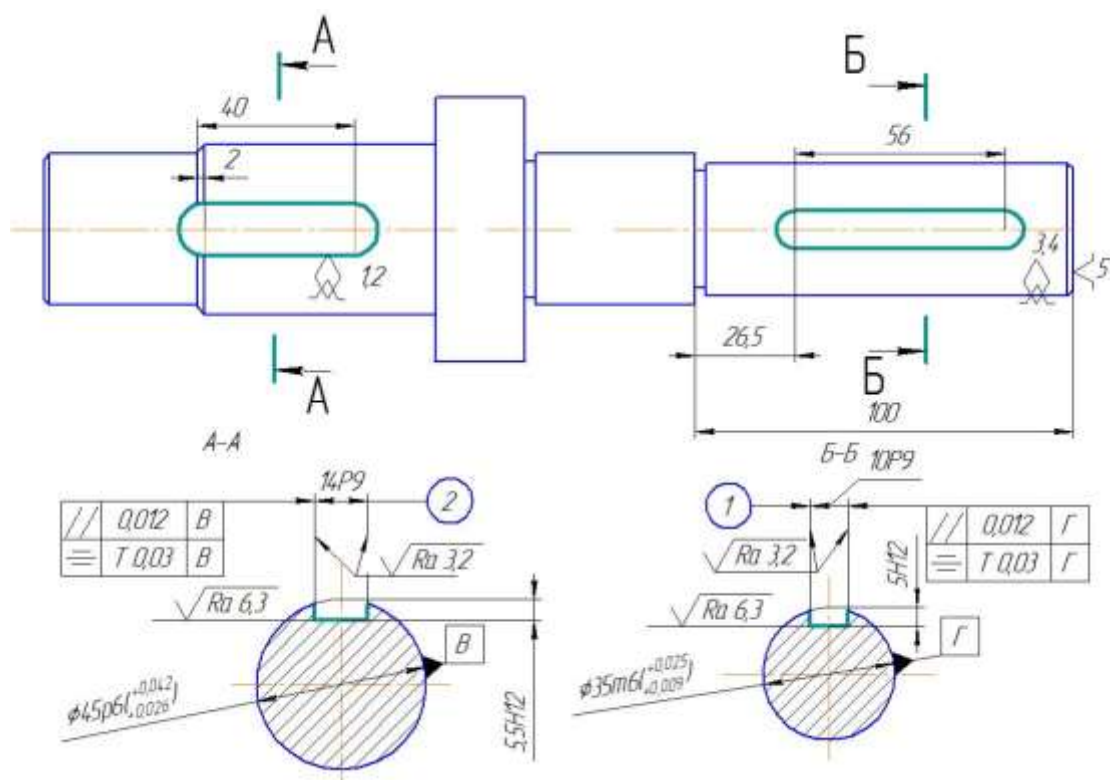


Рисунок 2.9 – Схема базування на операції 015

Таблиця 2.8 – Визначення похибки базування на операції 015

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Фрезерна з ЧПК	40	Відсутня	Обробка з одного установова
	56	Відсутня	Обробка з одного установова

Виникає похибка базування на розміри 6,5 та 42:

$$\varepsilon_{\text{баз}42} = IT(40) + IT(232) = 0,46 + 0,25 = 0,71 < IT(42) = 1,0$$

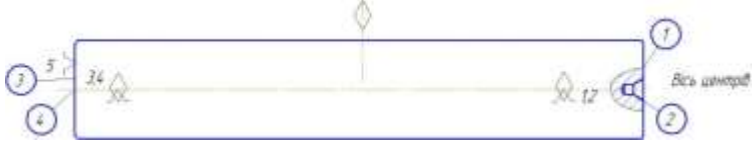
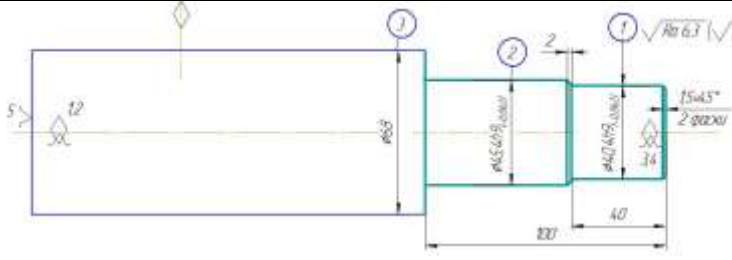
$$\varepsilon_{\text{баз}6,5} = IT(80) = 0,3 < IT(6,5) = 0,36$$

Отже похибка базування значно менша за допуск розміру, відповідно схема базування може використовуватися при обробці деталі.

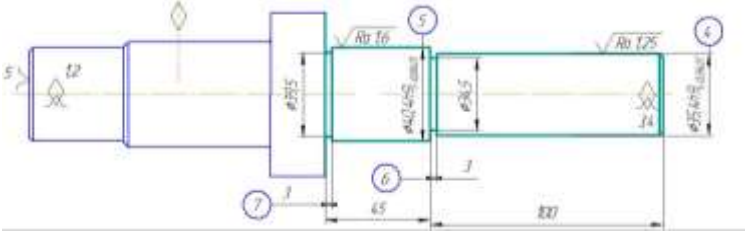
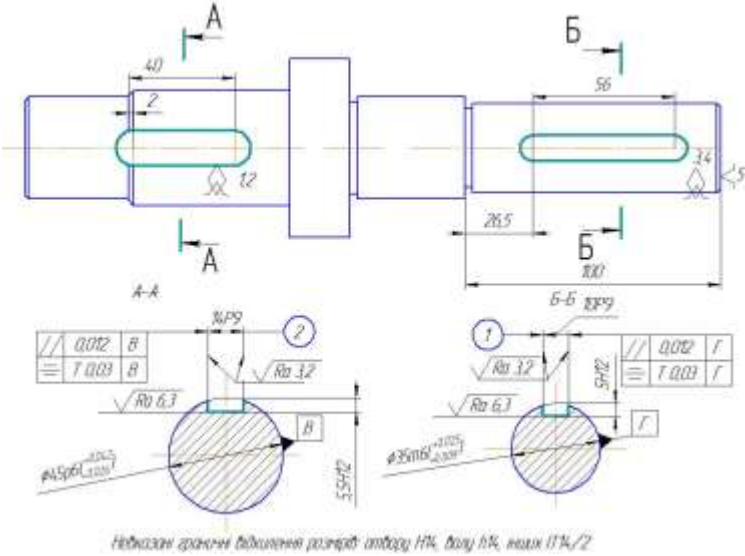
2.6 Проектування маршруту механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та зображенням схем базування

Створюючи маршрут обробки поверхні, виходять з того, що кожен наступний метод повинен бути більш точним ніж попередній.

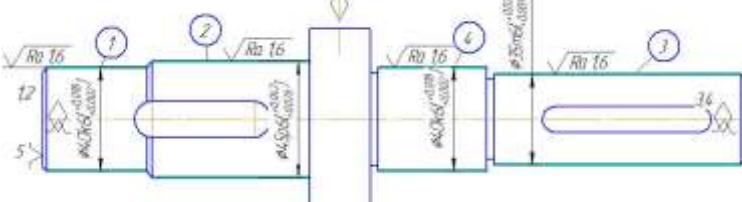
Таблиця 2.9 – Маршрут механічної обробки

№ операцій	Зміст операцій та переходів	Схема базування	Модель верстата
1	2	3	4
005	Фрезерно-центрувальна 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати торці 1 та 2 3 Центрувати отвори 3 та 4 4 Зняти заготовку		Фрезерно -центрувальний 2A931
010	Токарна з ЧПК Установ 1 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити поверхні 1, 2, 3 з підрізкою торців попередньо		Токарна з ЧПК 16K20T1

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
010	3 Точити поверхні 1, 2, попередньо 4 Зняти заготовку Установ 2 5 Встановити і закріпити заготовку 6 Точити поверхні 4,5 з підрізкою торців попередньо 7 Точити поверхні 4,5 попередньо 8 Точити канавки 6 та 7 9 Зняти заготовку		Токарна з ЧПК16K20T1
015	Фрезерна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати паз 1 3 Фрезерувати паз 2 4 Зняти заготовку	 Невідомі граничні відхилення розмірів: отвори H7k, валу h7k, шийки H7k/2	Фрезерний з ЧПК 6P13Ф3

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
020	Токарна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити поверхні 1, 2 попередньо 3 Точити поверхні 3,4 попередньо 4 Точити поверхні 1, 2 остаточно 5 Точити поверхні 3,4 остаточно 6 Зняти заготовку		Токарний з ЧПК МК6801Ф3

2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу

Технологічні розміри доцільно розміщувати таким чином, щоб вони співпадали з конструкторськими. В таких випадках немає потреби проводити додаткові розрахунки для визначення технологічних розмірів. Це можливо тоді, коли технологічні бази співпадають з вимірювальними або поверхні, між якими заданий конструкторський розмір оброблюється на одній операції.

В решті випадків технологічні розміри необхідно проставляти від технологічних баз і при побудові розмірних ланцюгів, ці розміри будуть складовими ланками. Розмір, що буде отримуватись в ході виконання операції буде замикаючою ланкою. Замикаючими ланками для даної деталі є конструкторські розміри та величини при-

пусків.

Допуски технологічних розмірів визначаються виходячи з точності механічної обробки. Таблиці економічної точності на металорізальних верстатах наведені у відповідних таблицях. Згідно цим таблицям середня точність однократної обробки відповідає 12-му квалітету. Тому приймаємо допуски розмірів після чорнової (однократної) обробки по 12-му квалітету і записуємо в таблицю.

Таблиця 2.10– Допуски технологічних розмірів

Розміри заготовки	$З_1$	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}	B_{11}	B_{12}
Попередні значення допусків	1,15	0,72	0,46	0,62	0,62	0,74	0,62	0,3	0,3	0,74	0,36	0,62	0,24

Визначені допуски використовуються при подальших розрахунках технологічних розмірів.

Одним із перших етапів розмірного аналізу є побудова розмірної схеми технологічного процесу.

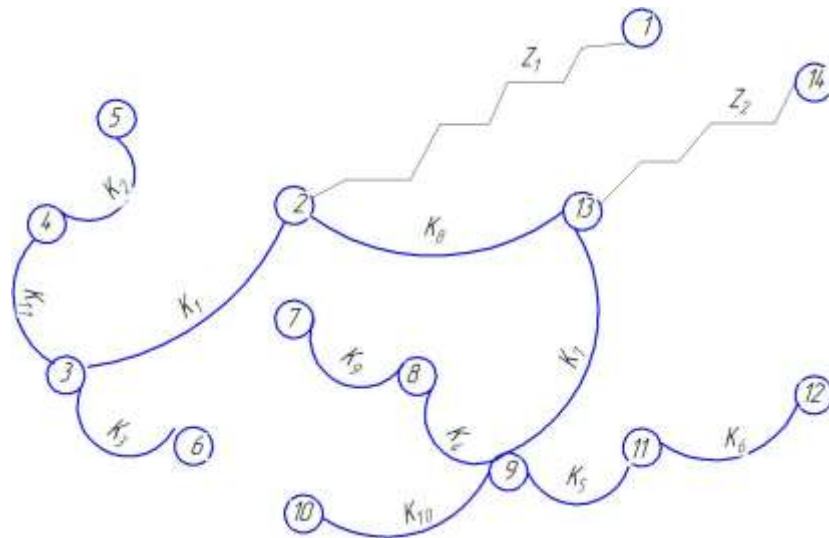


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

Граф, складений із технологічних розмірів $V_1V_2\dots$ і розмірів заготовки $Z_1Z_2\dots$ називається похідним графом.

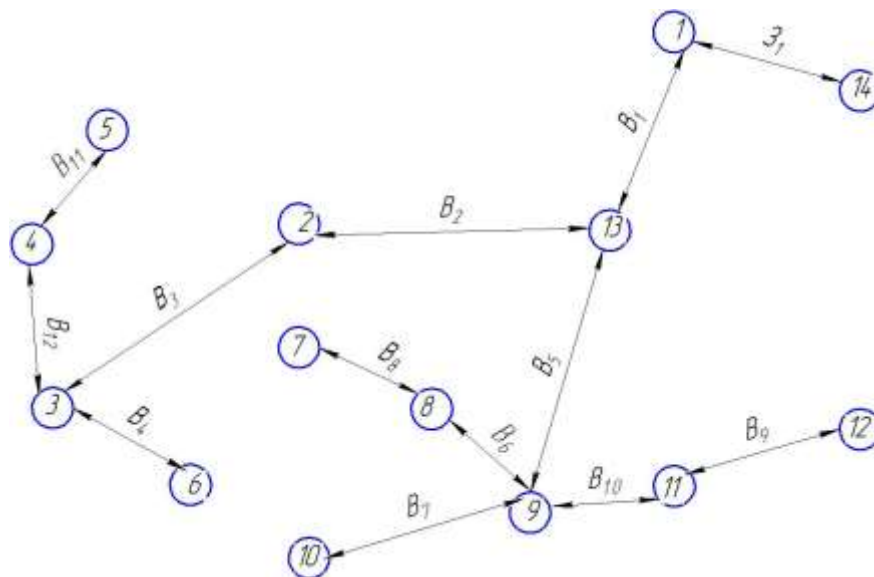


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП механічної обробки.

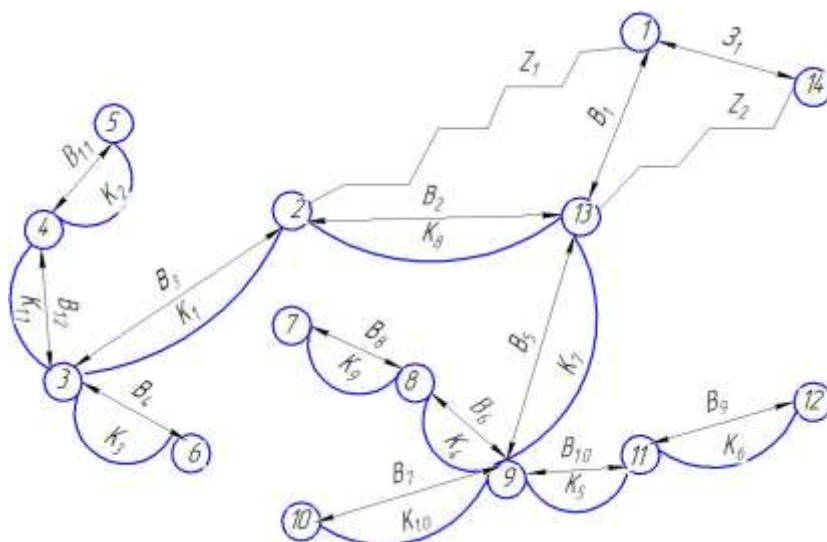


Рисунок 2.13 – Суміщений граф-дерево

Таблиця 2.11 – Мінімальні припуски

Припуски	Z_1	Z_2
$Z_{\min}$	0,4	0,4

Використовуючи граф-дерева заносимо розрахункові рівняння до таблиці 4.8

Таблиця 2.12 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_2 - K_8 = 0$	$B_2 = K_8$	B_2
2	$B_3 - K_1 = 0$	$B_3 = K_1$	B_3
3	$B_4 - K_3 = 0$	$B_4 = K_3$	B_4
4	$B_5 - K_7 = 0$	$B_5 = K_7$	B_5
5	$B_6 - K_4 = 0$	$B_6 = K_4$	B_6
6	$B_7 - K_{10} = 0$	$B_7 = K_{10}$	B_7

7	$B_8 - K_9 = 0$	$B_8 = K_9$	B_8
8	$B_9 - K_6 = 0$	$B_9 = K_6$	B_9
9	$B_{10} - K_5 = 0$	$B_{10} = K_5$	B_{10}
10	$B_{11} - K_2 = 0$	$B_{11} = K_2$	B_{11}
11	$B_{12} - K_{11} = 0$	$B_{12} = K_{11}$	B_{12}
12	$B_1 - Z_1 - K_8 = 0$	$Z_1 = B_1 - B_2$	B_1
13	$Z_1 - Z_2 - B_1 = 0$	$Z_2 = Z_1 - B_1$	Z_1

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру цього межі:

Відповідно до визначених вище технологічних рівнянь визначимо для кожного розміру цього межі:

$$1. B_2 = K_8 = 272^{+0,46}(\text{мм});$$

$$2. B_3 = K_1 = 40 \pm 0,31(\text{мм});$$

$$3. B_4 = K_3 = 62 \pm 0,31(\text{мм});$$

$$4. B_5 = K_7 = 100 \pm 0,37(\text{мм});$$

$$5. B_6 = K_4 = 45 \pm 0,31(\text{мм});$$

$$6. B_7 = K_{10} = 3 \pm 0,15(\text{мм});$$

$$7. B_8 = K_9 = 3 \pm 0,15(\text{мм});$$

$$8. B_9 = K_6 = 56 \pm 0,37(\text{мм});$$

$$9. B_{10} = K_5 = 6,5 \pm 0,18(\text{мм});$$

$$10. B_{11} = K_2 = 40 \pm 0,31(\text{мм});$$

$$11. B_{12} = K_{11} = 2 \pm 0,12(\text{мм});$$

$$12. Z_{1 \min} = B_{1 \min} - B_{2 \max};$$

$$B_{1 \min} = 0,4 + 232 = 232,4 (\text{мм});$$

$$B_{1 \max} = 232,4 + 0,72 = 233,12(\text{мм});$$

$$B_2 = 233,32^{+0,72}(\text{мм});$$

$$Z_{3 \max} = B_{1 \max} - K_{8 \min} = 273,12 - 231,64 = 41,48 (\text{мм});$$

$$9. Z_{2 \min} = Z_{1 \min} - B_{1 \max}$$

$$Z_{1 \min} = 0,4 + 273,12 = 273,52 \text{ (мм);}$$

$$Z_{1 \max} = 273,52 + 1,15 = 274,67 \text{ (мм);}$$

$$Z_1 = 274,67_{-1,15} \text{ (мм);}$$

$$Z_{4 \max} = Z_{1 \max} - B_{1 \min} = 274,67 - 273,12 = 1,55 \text{ (мм).}$$

Таблиця 2.13 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на креслені вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
Z_1	273,52	274,67	1,15	274,67		$274,67_{-1,15}$
B_1	272,4	273,32	0,72	273,32	$273,32_{-0,72}$	
B_2	231,64	232	0,46	232	$232_{-0,46}$	
B_3	39,69	40,31	0,62	40	$40_{\pm 0,31}$	
B_4	61,69	62,31	0,62	62	$62_{\pm 0,31}$	
B_5	99,63	100,37	0,74	100	$100_{\pm 0,37}$	
B_6	44,69	45,31	0,62	45	$45_{\pm 0,31}$	
B_7	2,85	3,15	0,3	3	$3_{\pm 0,15}$	
B_8	2,85	3,15	0,3	3	$3_{\pm 0,15}$	
B_9	55,63	56,37	0,74	56	$56_{\pm 0,37}$	
B_{10}	6,32	6,68	0,36	6,5	$6,5_{\pm 0,18}$	
B_{11}	39,69	40,31	0,62	40	$40_{\pm 0,31}$	
B_{12}	1,88	2,12	0,24	2	$2_{\pm 0,12}$	

Отже визначено технологічні розміри при механічній обробці, припуски та розміри заготовки, на їх основі можна розробляти технологічний процес та усю документацію пов'язану із ним.

2.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь

Визначення значень R_z і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [14], враховуючи, що для заготовки дані параметри рівні $R_z=200\text{мкм}$ $T=300\text{ мкм}$. При попередньому точінні приймаємо $R_z=T=100\text{ мкм}$, а на наступному переході відповідно 50 мкм , при чистовому точінні – $R_z=30\text{ мкм}$, $T=30\text{ мкм}$, при тонкому точінні - $R_z=10\text{ мкм}$, $T=20\text{ мкм}$.

Сумарне значення просторових відхилень згідно (1) визначається:

$$\rho = \sqrt{\rho_{\text{жол}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2} \text{ [мкм]} \quad (2.25)$$

де $\rho_{\text{жол}}$ – просторові відхилення спричинені жолобленням

$\rho_{\text{зм}}$ – відхилення за рахунок зміщення поверхні з якої знімається припуск, під час самої обробки, відносно технологічних баз

$$\rho_{\text{жол}} = 0,08 \cdot 232 = 18,56 \text{ (мкм)}$$

$$\rho_{\text{ц}} = \sqrt{1,5^2 + 0,25^2} = 1,52 \text{ (мм)}$$

$$\rho = \sqrt{0,1856^2 + 1,52^2} = 1,53 \text{ (мм)}$$

При подальших переходах механічної обробки:

$$\rho_{\text{п}} = k \cdot \rho_{\text{заг}} \text{ [мкм]} \quad (2.26)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 1530 = 92,4 \text{ (мкм);}$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 1530 = 61,6 \text{ (мкм);}$$

$$\rho_2 = 0,02 \cdot 1530 = 30,8 \text{ (мкм).}$$

Розрахунковий припуск

На основі отриманих вище даних проводимо розрахунок мінімальних значень міжопераційних припусків, користуючись формулою:

$$2Z_{imin}=2(R_{zi-1}+T_{i-1}+\rho_{i-1}) \text{ [мкм]} \quad (2.27)$$

Мінімальний припуск під точіння:

Попереднє точіння:

$$2Z_{1min}=2(200+300+1530)=2\cdot 2030 \text{ (мкм);}$$

попереднє точіння:

$$2Z_{1min}=2(100+100+91,8)=2\cdot 291,8 \text{ (мкм);}$$

остаточне точіння:

$$2Z_{2min}=2(50+50+61,2)=2\cdot 161,2 \text{ (мкм);}$$

шліфування:

$$2Z_{2min}=2(30+30+30,6)=2\cdot 90,6 \text{ (мкм);}$$

Розрахункові розміри

При тонкому точінні маємо отримати розмір вказаний на креслені:

$$d=40,002 \text{ (мм)}$$

Наступні розміри отримуємо послідовним додаванням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу. Таким чином отримуємо:

Для остаточного точіння:

$$d_1 = 40,002 + 2 \cdot 0,0906 = 40,1832 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$d_2 = 40,1832 + 2 \cdot 0,1612 = 40,5056 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$d_3 = 40,5056 + 2 \cdot 0,2918 = 41,0892 \text{ (мм)}$$

для заготовки

$$d_3 = 41,0892 + 2 \cdot 2,03 = 45,149 \text{ (мм)}$$

Значення допусків кожного переходу приймаються по таблицям відповідно до квалітету того чи іншого виду обробки:

Для тонкого точіння допуск складає 16 мкм, відповідно для 6 квалітету; для чистового точіння, відповідно для 8 квалітету, допуск складає 39 мкм, для попереднього точіння для 10 і 12 квалітетів допуск відповідно рівний – 100 і 250 мкм та для заготовки, що має 14 квалітет точності, допуск складає 620 мкм.

Мінімальні граничні розміри отримуються по розрахунковим розмірам заокругленим до точності допуску відповідного переходу.

Максимальні граничні розміри визначаються шляхом додавання до найменших граничних розмірів допусків відповідних переходів.

Тобто:

$$40,183 + 0,039 = 40,222 \text{ (мм)}$$

$$40,51 + 0,1 = 40,61 \text{ (мм)}$$

$$41,09 + 0,25 = 41,34 \text{ (мм)}$$

$$45,15 + 0,62 = 45,77 \text{ (мм)}$$

Мінімальні граничні значення припусків $Z_{\min}$ рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуваного і попереднього переходів, а максимальне значення $Z_{\max}$ — відповідно різниця найменших граничних розмірів.

Отже, для тонкого точіння:

$$2Z_{\min 4} = 40,183 - 40,002 = 0,181 (\text{мм})$$

$$2Z_{\max 4} = 40,222 - 40,018 = 0,204 (\text{мм})$$

для остаточного точіння:

$$2Z_{\min 3} = 40,51 - 40,183 = 0,327 (\text{мм})$$

$$2Z_{\max 3} = 40,61 - 40,222 = 0,388 (\text{мм})$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 2} = 41,09 - 40,51 = 0,58 (\text{мм})$$

$$2Z_{\max 2} = 41,34 - 40,61 = 0,73 (\text{мм})$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 1} = 45,15 - 41,09 = 4,06 (\text{мм})$$

$$2Z_{\max 1} = 45,77 - 41,34 = 4,43 (\text{мм})$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 4.10

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

$$2Z_{\max 4} - 2Z_{\min 4} = 0,204 - 0,181 = 0,023 (\text{мм})$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 0,039 - 0,016 = 0,023 (\text{мм})$$

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = 0,388 - 0,327 = 0,061 (\text{мм})$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 0,1 - 0,039 = 0,061 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 2} - 2Z_{\min 2} = 0,73 - 0,58 = 0,15 \text{ (мм)}$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 0,25 - 0,1 = 0,15 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 3} - 2Z_{\min 3} = 4,43 - 4,06 = 0,37 \text{ (мм)}$$

$$\delta_2 - \delta_1 = 0,62 - 0,25 = 0,37 \text{ (мм)}$$

Отже всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення

Таблиця 2.14- Припуски на циліндричні поверхні

Розмір деталі	Стадія обробки	Припуск на перехід	Отримуваний розмір
Ø35m6	Точіння попереднє	2.03	36.08 _{-0.62}
	Точіння попереднє	0.291	35.50 _{-0.25}
	Точіння остаточне	0.161	35.18 _{-0.1}
	Точіння тонке	0.09	35 _{-0.039}
Ø45p6	Точіння попереднє	2.03	46.08 _{-0.62}
	Точіння попереднє	0.291	45.50 _{-0.25}
	Точіння остаточне	0.161	45.18 _{-0.1}
	Точіння тонке	0.09	45 _{-0.039}

Використовуючи дослідно- статичний метод визначимо припуски на

Таблиця 2.14 - Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам

Технологічні переходи об- робки повер- хні Ø40	Елементи припуску, мкм			Розрахунко- вий припуск $2Z_{\min}$	Розра- хунко- вий ро- змір d_p	Допуск мм δ	Граничний розмір		Граничні зна- чення припусків	
	R_z	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	200	300	1530		45,149	620	45,15	45,77		
Точіння по- переднє	100	100	91,8	2·2030	41,0892	250	41,09	41,34	4,06	4,43
Точіння по- переднє	50	50	61,2	2·291,8	40,5056	100	40,51	40,61	0,58	0,73
Точіння ос- таточне	30	30	30,6	2·161,2	40,1832	39	40,183	40,222	0,327	0,388
Точіння то- нке	10	20		2·90,6	40,002	16	40,002	40,018	0,181	0,204

циліндричні поверхні валу, а результати заносимо до таблиці 4.10

Згідно з дослідно- статичним методом загальні та проміжні припуски визначаються за таблицями, в яких узагальнено і систематизовано виробничі дані передових машинобудівних підприємств. Недоліком цього методу є те, що припуски, як правило, визначаються без урахування конкретних умов виконання технологічних операцій та переходів. Дослідно- статичні припуски в багатьох випадках завищені, оскільки вони орієнтовані на такі умови обробки, коли для уникнення браку припуск повинен бути максимальним. Дослідно- статичний метод простий, однак змушує технолога приймати рішення догматично, не аналізуючи умов виконання операцій та не шукаючи шляхів економії металу.

2.9 Визначення режимів різання

Режими обробки деталі – найважливіший фактор протікання технологічного процесу. Режим різання металу містить такі основні елементи:

- глибину різання t , мм;
- подачу s , мм/об;
- швидкість різання v , м/хв (частота обертання шпинделя верстата n , об/хв, або число подвійних ходів n , подв. х/хв).

Елементи режимів різання повинні підібратися так, щоб досягти бажаної продуктивності праці при найменшій собівартості операції. Ця вимога досягається використанням інструмента раціональної конструкції (правильно підібраний матеріал ріжучої частини, найвигідніша геометрія, достатня міцність і жорсткість), а також якщо верстат не обмежує його різальних властивостей. Таким чином. режими різання встановлюються, виходячи з властивостей оброблюваної деталі, характеристики різального інструмента і верстата. Спочатку встановлюють глибину різання, потім подачу і в останню чергу – швидкість різання.

Наведемо приклад розрахунку режимів різання за нормативами для установу 1, операції 010. При цьому знімаються припуски:

поверхня 3 – припуск 1 мм;

поверхні 1 та 2 – припуски: 1,1; 0,4 (мм).

При точінні рекомендовані подачі при чорновій, напівчистовій та чистовій обробці складають:

$$S_{от1}=0,74 \text{ мм/об};$$

$$S_{от2}= 0,55 \text{ мм}$$

Але для того, щоб врахувати конкретні умови роботи інструменту визначимо комплекс коефіцієнтів, для чорнового та напівчистового точіння::

Коефіцієнт, що залежить від виду інструментального матеріалу (в даному випадкові Т14К8) $K_{SU}=1$;

Коефіцієнт, що залежить від способу кріплення пластини (механічне кріплення) $K_{SP}=1,1$;

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу $K_{sm}=1,2$;

Коефіцієнт, що залежить від стану поверхні $K_{сп}=0,85$;

Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця $K_{S\phi}=0,95$;

Коефіцієнт, що враховує виліт різця $K_{Sl}=0,95$.

Коефіцієнт, що враховує діаметр деталі $K_{SD}=0,8$.

Загальний коефіцієнт становить:

$$K=1 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1,2=0,767$$

Відповідно подача складатиме:

$$S_{o1}=0,74 \cdot 0,77=0,567 \text{ (мм/об)};$$

$$S_{от2}= 0,55 \cdot 0,767=0,421 \text{ (мм/об)}$$

Швидкість різання визначається за таблицями і складає $V_{тpиз1}=138 \text{ (м/хв)}$;
 $V_{тpиз2}=148 \text{ (м/хв)}$

При цьому потужність складає $P_1=3,7$ (кВт); $P_2=3,4$ (кВт).

Але для того щоб врахувати умови в яких виконується процес, вид інструменту і стан деталі введемо поправочні коефіцієнти:

Коефіцієнт, що враховує вид інструментального інструменту K_{vi} рівен 1;

Коефіцієнт, що враховує групу оброблюваності матеріалу K_{vc} рівен 1;

Коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату K_{vj} рівен 0,75;

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу K_{vm} рівен 1,3;

Коефіцієнт, що враховує геометричні параметри різця K_{vf} рівен 0,95;

Коефіцієнт, що враховує період стійкості ріжучої частини інструменту K_{vt} рівен 1,1;

Коефіцієнт, що враховує наявність охолодження (без охолодження) K_{vj} рівен 0,758 Коефіцієнт, що враховує вид обробки K_{vo} рівен 1,2.

Загальний коефіцієнт складає:

$$K_1=1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,3 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 0,75=0,7641$$

$$K_2=1 \cdot 1,2 \cdot 0,75 \cdot 1,3 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 0,75=0,917$$

Отже швидкість різання складатиме:

$$V_{\text{різ1}}=138 \cdot 0,7641=105,5 \text{ (м/хв.)};$$

$$V_{\text{різ2}}=148 \cdot 0,7641=113,1 \text{ (м/хв.)}$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \text{ [об/хв.]} \quad (2.28)$$

Відповідно отримаємо:

$$n_1 = 1000 \cdot 105,5 / 3.14 \cdot 40 = 840 (\text{об/хв.});$$

$$n_2 = 1000 \cdot 113,1 / 3.14 \cdot 40 = 900 (\text{об/хв.});$$

Оскільки на верстаті безступінчаста коробка швидкостей, то приймаємо частоту обертання:

$$N_1 = 176 (\text{об/хв.});$$

$$N_2 = 189 (\text{об/хв.});$$

Хвилинна подача визначається за формулою:

$$S_M = n \cdot S_O \quad [\text{мм/хв.}] \quad (2.29)$$

В даному випадкові отримаємо:

$$S_{M1} = 840 \cdot 0,567 = 476 (\text{мм/хв.});$$

$$S_{M2} = 900 \cdot 0,421 = 379 (\text{мм/хв.})$$

2.10 Визначення технічних норм часу

Нормування в машинобудуванні – це встановлення технічно обґрунтованих норм часу. Нормування технологічних процесів здійснюють для кожної операції. Технічною нормою часу називають час, необхідний для виконання технологічної операції в певних організаційно-технічних умовах конкретного виробництва.

Наведемо приклад розрахунку на операцію 005. Норма штучного часу згідно [23] визначається за формулою:

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ц.а.}} + T_{\text{в}}) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}}}{100}\right) \quad [\text{хв}] \quad (2.30)$$

де $T_{\text{ц.а.}}$ – час на цикл роботи за програмою, складається із двох складових:

$$T_{\text{ц.а.}} = T_o + T_{\text{мд}} \quad [\text{хв}] \quad (2.31)$$

T_o – основний час роботи верстата за програмою, $T_{мд}$ – машинно-допоміжний час.

Основний час роботи верстата за програмою при фрезеруванні визначається за формулою:

$$T_o = (l_0 + l_1 + l_2 + l_3) / S_m, \text{ [хв]} \quad (2.32)$$

де l_0 - довжина оброблюваної поверхні, 50 мм; l_1 - довжина підводу, 5 мм; $(l_2 + l_3)$ – довжина врізання та перебігу, 15 мм; S_m – хвилинна подача.

Відповідно для чорнового, напівчистового та чистового фрезерування отримаємо:

$$T_{o1} = (50 + 5 + 15) / 2819,46 = 0,1765 \text{ (хв.)};$$

В даному випадкові відстань від вихідної точки до виходу фрези на еквідистанту обрано рівною 100 мм, 100 мм, 300 мм відповідно по осям координат x , y та z . При переході до наступної стадії обробки фреза переміщується одночасно по осям координат z (на глибину фрезерування) и y (на величину 60,5 мм для забезпечення зміщеної схеми установки фрези) з подачою холостого ходу 6000 мм/хв..

Довжина холостого ходу для відповідних переходів механічної обробки складає:

$$L_{xx1} = \sqrt{100^2 + 100^2 + 300^2} = 332 \text{ (мм)};$$

$$L_{xx2} = 60,5 \text{ (мм)};$$

$$L_{xx3} = 60,5 \text{ (мм)}.$$

Машинно-допоміжний час визначається за формулою:

$$T_{\text{мд}} = T_{\text{мді}} + T_{\text{мдх}}, [\text{хв}] \quad (2.33)$$

$T_{\text{мді}}$ – машинно-допоміжний час на автоматичну зміну інструмента, складає 0,1 хв; $T_{\text{мдх}}$ – машинно-допоміжний час на виконання автоматичних допоміжних ходів і технологічної паузи:

$$T_{\text{мдх}} = 332 \cdot 2 / 6000 + 60,5 / 6000 + 60,5 / 6000 = 0,09 \text{ (хв)}.$$

При свердлінні, зенкуванні, зенкеруванні та розвертанні довжина робочого ходу визначається за формулою:

$$T_o = (l_0 + l_1 + l_2 + l_3) / S_m, [\text{хв}] \quad (2.34)$$

де l_0 - довжина оброблюваної поверхні; l_1 - довжина підводу; l_2 – довжина врізання; l_3 – довжина перебігу; S_m – хвилинна подача.

$$T_o = (5 + 5 + 3) / 279,36 = 0,013 \text{ (хв.)}$$

Для визначення машинно-допоміжного часу на виконання автоматичних допоміжних ходів на дані переходи визначають величину швидкого підводу інструмента від вихідної точки (100 мм для отвору $\varnothing 5$). Величина підводу інструмента в вихідну точку для кожного переходу складається із цих двох величин та довжини холостого ходу, що рівна величині робочого ходу. Відповідно для свердління отворів $\varnothing 5$ відповідно отримаємо:

$$T_{\text{мвх4}} = (2 \cdot 100 + 84) / 6000 = 0,04 \text{ (хв)};$$

Відповідно час автоматичної роботи верстата по програмі для операції 010 складатиме:

$$T_{ц.а.}=0,1765*2+0,09+0,04+0,013*2=0,626 \text{ (хв).}$$

Допоміжний час складається із:

$$T_B = T_{\text{вуст}} + T_{\text{воп}} + T_{\text{ввим}} \text{ [хв]} \quad (2.35)$$

$T_{\text{вуст}}$ - допоміжний час на установку і зняття деталі, згідно довідника для даної операції складає 0,05хв;

$T_{\text{воп}}$ - допоміжний час пов'язаний із операцією, включає в себе час на:

- встановлення заданого взаємного розташування деталі і інструмента по координатам – 0,04 хв;
- перевірку приходу інструмента в задану точку після обробки – 0,06 хв.

$$T_{\text{воп}}=0,06+0,04=0,1 \text{ (хв);}$$

$T_{\text{ввим}}$ – допоміжний час на контрольні вимірювання, що складається в даному випадкові із десяти замірів штангенциркулем, шести замірів пробкою.

В сумі час затрачений на вимірювальні операції складає $T_{\text{ввим}}=0,04(\text{хв})$

Відповідно допоміжний час складатиме:

$$T_B=0,05+0,1+0,04=0,19 \text{ (хв).}$$

Час на організаційне і технічне обслуговування робочого місця і особисті потреби приводяться в відсотках від оперативного часу і складають:

$$a_{\text{тех}} + a_{\text{орг}} + a_{\text{від}} = 9\% \quad (4.13)$$

Отже норма штучного часу складатиме:

$$T_{ui} = (0,626 + 0,19) \cdot \left(1 + \frac{9}{100}\right) = 0,8764 \text{ (хв)}$$

Аналогічно виконуються розрахунки на інші операції. Результати показано в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Норми часу

№ операції	Основний час, хв	Штучний час, хв
005	0,626	0,87
010	3,267	4,24
015	0,58	0,806
020	3,539	4,6

З ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

3.1. Розрахунок приведеної програми

Приведена програма може бути розрахована за формулою

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi}. \quad (3.1)$$

Для визначення коефіцієнтів K_1 , K_2 , K_3 скористаємося даними таблиці 5.1.

Таблиця 3.1 – Дані для розрахунку приведеної програми

Деталі	Маса	Програма	Точність/Шорсткість									
Вал 12.13 (розрахунковий представник)	2,26	5800	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			4			4			3		11	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	
				4	4		2	12				
Вал	2,1	12600	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	1	4	2	-	4	8	-	22	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50		
			-	1	4	2	-	12	22		-	
Кришка	2,05	13400	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
			-	2	4	-	2	-	14	-	25	
			0,8	1,25	1,6	2,5	3,2	6,3	12,5	50	-	
			-	2	4		2	14	25		-	

Розрахуємо коефіцієнт K_1 для кожного з найменувань виробів. Оскільки в групі об'єднані подібні деталі, то K_1 може бути розрахований за формулою

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{p.np}}\right)^2}, \quad (3.2)$$

де m – маса деталі розглядуваного виробу;

$m_{p.np}$ – маса розрахункового представника.

Таким чином коефіцієнт K_1 складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника)

– для розрахункового представника

$$K_{1C} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\kappa}}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,26}{2,26}\right)^2} = 1,0;$$

– вала

$$K_{1\phi} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_{\kappa 15}}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,1}{2,26}\right)^2} = 0,95;$$

– для кришки

$$K_{1BK} = \sqrt[3]{\left(\frac{m_K}{m_{p.np}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(\frac{2,05}{2,26}\right)^2} = 0,93;$$

Коефіцієнт K_2 складатиме (для деталей, що приводяться до розрахункового представника)

– для розрахункового представника

$$K_{2C} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_{\kappa}}\right)^{\alpha} = \left(\frac{5800}{5800}\right)^{0,15} = 1,0;$$

– для вала

$$K_{2\phi} = \left(\frac{N_{p.np}}{N_{\kappa 15}}\right)^{\alpha} = \left(\frac{5800}{12600}\right)^{0,15} = 0,89;$$

– для кришки

$$K_{2BK} = \left(\frac{N_{p,np}}{N_K} \right)^\alpha = \left(\frac{5800}{13400} \right)^{0,15} = 0,88;$$

K_3 – коефіцієнт, що враховує точність, шорсткість, складність конструкції деталі та конструктивні показники.

Знайдемо значення коефіцієнта K_{31} для кожної деталі

– вала

$$\overline{K_{Tp,np}^{\kappa 15}} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 4 + 9 \cdot 2 + 11 \cdot 4 + 12 \cdot 8 + 14 \cdot 22}{1 + 4 + 2 + 4 + 8 + 22} = 12,3;$$

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_T^{\kappa 15}}}{\overline{K_{Tp,np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{12,3}{10,42} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,87}{0,976} = 0,89;$$

– для кришки

$$\overline{K_{Tp,np}^K} = \frac{\sum K_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{\sum n_{\kappa}} = \frac{7 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 10 \cdot 2 + 12 \cdot 14 + 14 \cdot 25}{2 + 4 + 2 + 14 + 25} = 12,46;$$

$$K_{31} = \left(\frac{\overline{K_T^K}}{\overline{K_{Tp,np}}} \right)^{\alpha_1} = \left(\frac{12,46}{10,42} \right)^{\alpha_1} = \frac{0,854}{0,976} = 0,875;$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_{32} для кожної деталі

– для розрахункового представника

$$\left(\overline{R_a^K} \right)^{\alpha_2} = (3,89)^{\alpha_2} = 1,044;$$

- вала

$$\overline{R_a^{\kappa 15}} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{1,25 \cdot 1 + 1,6 \cdot 4 + 2,5 \cdot 2 + 6,3 \cdot 12 + 12,5 \cdot 22}{1 + 4 + 2 + 12 + 22} = 8,86;$$

$$K_{32}^{\kappa 15} = \left(\frac{\overline{R_a^\Phi}}{\overline{R_a^{p,np}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{8,86}{3,89} \right)^{\alpha_2} = \frac{0,96}{1,044} = 0,919;$$

– для кришки

$$\overline{R_a^K} = \frac{\sum R_a \cdot n_{нов}}{\sum n_{нов}} = \frac{1,25 \cdot 2 + 1,6 \cdot 4 + 3,2 \cdot 2 + 6,3 \cdot 14 + 12,5 \cdot 25}{2 + 4 + 2 + 14 + 25} = 8,85;$$

$$K_{32}^K = \left(\frac{\overline{R_a^K}}{\overline{R_a^{p,np}}} \right)^{\alpha_2} = \left(\frac{8.85}{3.9} \right)^{\alpha_2} = \frac{0.96}{1.044} = 0.919;$$

Знайдемо значення коефіцієнта K_3 для кожної деталі:

— для розрахункового представника

$$K_{3C} = K_{31}^{\alpha_1} \cdot K_{32}^{\alpha_2} = 1.0 \cdot 1.0 = 1.0;$$

— для вала

$$K_{3\phi} = K_{31}^{\alpha_1} \cdot K_{32}^{\alpha_2} = 0.89 \cdot 0.919 = 0.82;$$

— для кришки

$$K_{3BK} = K_{31}^{\alpha_1} \cdot K_{32}^{\alpha_2} = 0.875 \cdot 0.919 = 0.804;$$

Значення коефіцієнта K_{np} для кожного виробу

$$K_{npP.PP} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 1.0;$$

$$K_{np\kappa 15} = 0.95 \cdot 0.89 \cdot 0.82 = 0.69;$$

$$K_{np} = 0.93 \cdot 0.88 \cdot 0.804 = 0.66;$$

На основі приведених вище розрахунків приведена програма становитиме

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi} = 5800 \cdot 1.0 + 12600 \cdot 0.69 + 13400 \cdot 0.66 = 23462 (шт.)$$

Таблиця 3.2 – Розрахунок приведеної програми

Найменування виробу	Річний випуск, шт	Маса од-ного ви-робу, кг	Коефіцієнт приведення				Приведена програма випуску
			по масі	по серій-ності	по склад-ності	загаль-ний	
Вал 12.13	5800	2,26	1,0	1,0	1,0	1,0	5800
Вал	12600	2,1	0,95	0,89	0,82	0,69	8758
Кришка	13400	2,05	0,93	0,88	0,804	0,66	8964
Всього							23462

3.2. Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

В умовах серійного виробництва обробку деталей ведуть партіями. При детальному проектуванні цехів та ділень, кількість верстатів визначається по кожному типорозміру обладнання на основі даних про верстатомісткість ($T_{ум-к}$).

Необхідна кількість верстатів по кожній операції механічної обробки:

$$C_p = \frac{T_{ум-к.p.нр} \cdot N_{нр}}{F_{\phi} \cdot m \cdot 60}. \quad (3.3)$$

$$C_{p005} = \frac{T_{ум-к.p.нр005} \cdot N_{нр}}{F_{\phi} \cdot m \cdot 60} = \frac{0,8764 \cdot 23462}{2040 \cdot 60} = 0,166;$$

$$C_{p010} = \frac{T_{ум-к.p.нр010} \cdot N_{нр}}{F_{\phi} \cdot m \cdot 60} = \frac{4,25 \cdot 23462}{2040 \cdot 60} = 0,814$$

$$C_{015} = \frac{T_{ум-к.p.нр015} \cdot N_{нр}}{F_{\phi} \cdot m \cdot 60} = \frac{0,806 \cdot 23462}{2040 \cdot 60} = 0,154$$

$$C_{p020} = \frac{T_{ум-к.p.нр020} \cdot N_{нр}}{F_{\phi} \cdot m \cdot 60} = \frac{4,6 \cdot 23462}{2040 \cdot 60} = 0,88;$$

Прийнята кількість обладнання на кожній операції механічної обробки складає один верстат.

Середній коефіцієнт завантаження верстатів ділянки визначається відношенням сумарної розрахункової кількості верстатів C_p до сумарної прийнятої кількості C_{np}

$$\eta_{з.сер.} = \sum C_p / \sum C_{np}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт завантаження для верстатів на операції 005 складатиме:

$$\eta_3 = 0,166/1 = 0,16642$$

Операціях 010:

$$\eta_3 = 0,814/1 = 0,814$$

Середній коефіцієнт завантаження верстатів ділянки визначається відношенням сумарної розрахункової кількості верстатів C_p до сумарної прийнятої кількості C_{np}

$$\eta_{з.сер.} = \sum C_p / \sum C_{np}. \quad (3.5)$$

$$\eta_{з.сер.} = (0,166 + 0,814 + 0,88 + 0,154)/4 = 0,5044$$

Коефіцієнт використання верстатів за основним (технологічним) часом η_o свідчить про частку основного (машинного часу) в загальному часі роботи верстата. Він визначається як відношення основного часу до штучного (для масового) або штучно-калькуляційного часу (для серійного, одиничного виробництва):

$$\eta_o = T_o / T_{шт}, \quad (3.6)$$

Коефіцієнт використання верстатів за основним (технологічним) часом для верстатів на операції 005 складатиме:

$$\eta_3 = 0,62 / 0,8764 = 0,7126$$

Операціях 010:

$$\eta_3 = 3,26 / 4,25 = 0,7671$$

По значеннях η_o на всіх операціях визначається середній (як середнє арифметичне) $\eta_{o.сep.}$ верстатів дільниці (цеху)

$$\eta_{o.сep.} = \sum T_o / \sum T_{um-k} \cdot \quad (3.7)$$

$$\eta_{o.сep.} = (0,7126 + 0,7671 + 0,7674 + 0,7196) / 4 = 0,7416$$

Таблиця 33 – Кількість обладнання та коефіцієнти завантаження і використання верстатів за основним часом

№ операції	Назва операцій	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів $C_{пр.шт.}$	$\eta_{3,i}$	$\eta_{3.сep.}$	$\eta_{o,i}$	$\eta_{o.сep.}$
005	Фрезерно-центрувальна	0,166	1	0,166	0,504	0,71	0,741
010	Токарна з ЧПК	0,814	1	0,814		0,76	
015	Фрезерна	0,154	1	0,154		0,719	
020	Токарна з ЧПК	0,88	1	0,88		0,76	

Аналіз графіка завантаження обладнання свідчить про те, що верстати завантажені в достатній мірі, лише верстати з 005 та 015 операцій можуть використовуватися для виготовлення інших деталей. Коефіцієнт завантаження за основним часом може бути підвищений за рахунок впровадження засобів механізації та автоматизації. Це дасть можливість в першу чергу скоротити допоміжний час, а також час технічного обслуговування. Відповідно доля основного часу в структурі штучно-калькуляційного зросте і підвищиться коефіцієнт використання за основним часом.

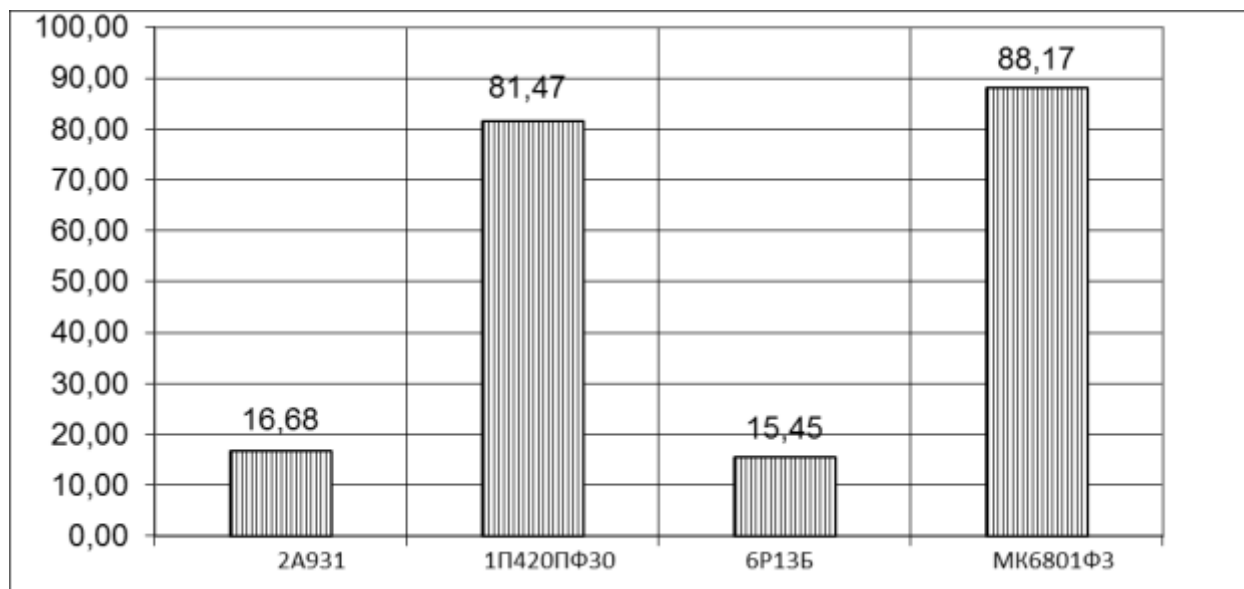


Рисунок 3.1 – Графік завантаження верстатів

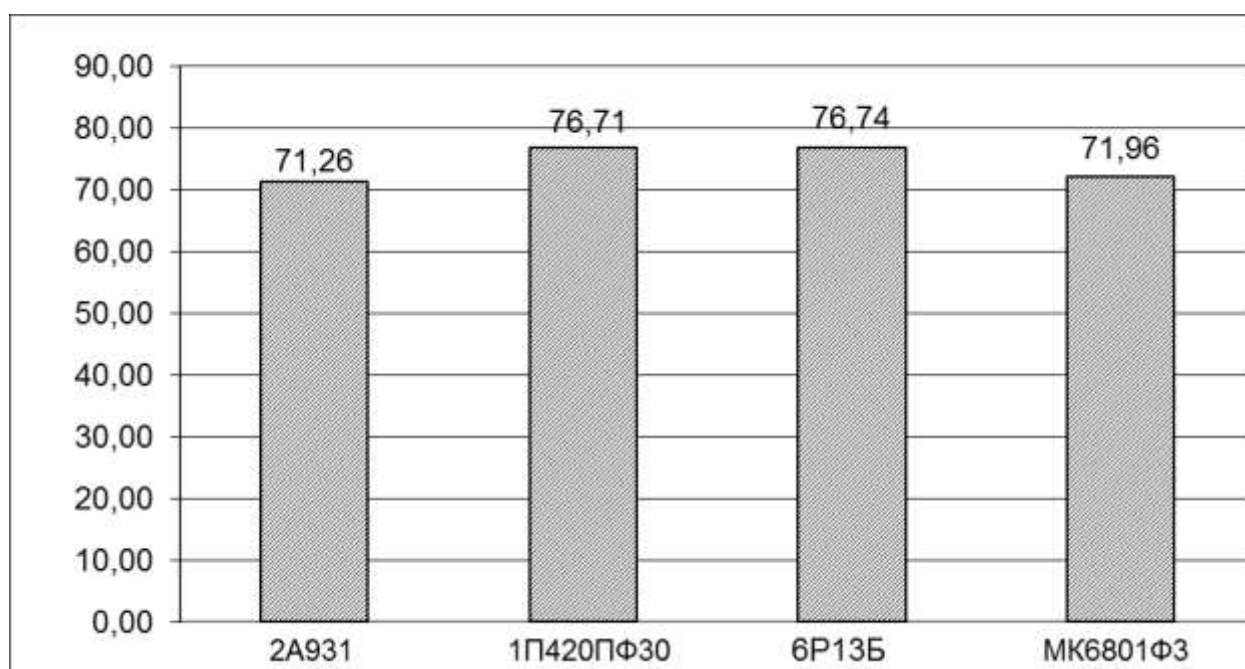


Рисунок 3.2 – Графік використання верстатів за основним часом

3.3. Розрахунок кількості робітників на дільниці

До складу працюючих цеху (дільниці) входять:

- основні та допоміжні робітники;
- інженерно-технічні робітники (ІТР);
- службові;
- молодший обслуговуючий персонал (МОП).

До основних відносяться робітники, які безпосередньо виконують технологічні операції по виготовленню продукції.

Кількість основних робітників, зайнятих виконанням операцій технологічного процесу:

$$P_{005} = \frac{T_{\text{шт}-\kappa 010} \cdot N_{\text{np}}}{F_{\text{оп}} \cdot K_{\text{с}} \cdot 60} = \frac{0,87 \cdot 23462}{1860 \cdot 1 \cdot 60} = 0,184;$$

$$P_{010} = \frac{4,25 \cdot 23462}{1860 \cdot 1 \cdot 60} = 0,903;$$

$$P_{015} = \frac{(0,336 + 0,47) \cdot 23462}{1860 \cdot 1 \cdot 60} = 0,157;$$

$$P_{020} = \frac{4,6 \cdot 23462}{1860 \cdot 1 \cdot 60} = 0,977;$$

На основі зроблених розрахунків остаточно приймаємо кількість працюючих на кожній операції:

$$P_{005} = 1 \text{ чол.} \quad P_{010} = 1 \text{ чол} \quad P_{015} = 1 \text{ чол} \quad P_{020} = 1 \text{ чол}$$

Оскільки кількість допоміжних робітників становить 20...25% від основних, то приймаємо 1 чол. Так як для обслуговування дільниці необхідні послуги наладчика верстатів та контролер, який перевіряє точність виготовленої продукції, необхідно ввести ці посади. Зважаючи на те, що обслуговування дільниці не дає можли-

вості повної зайнятості працівників, досить доречно поєднати обслуговування даної ділянки разом з іншими ділянками механообробного цеху.

Аналогічним чином призначаються інженерно-технічні працівники, службовці.

Молодший обслуговуючий персонал призначається виходячи з нормативу 1 робітник на 500...600 м² площі.

Таблиця 3.4 – Відомість працюючих на ділянці

Працюючі (категорія)	Загальна кількість	Розподіл по професіям
Основні робітники	4	Оператор – 2
		Оператор – 2
Допоміжні працівники	1	Контролери – 0,5 ставки
		Наладчик – 0,5 ставки
Інженерно-технічні робітники	1	Технологи – 0,5 ставки
		Майстри – 0,5 ставки
Службовці	0,1	Бухгалтер – 0,1 ставки на ділянці
Молодший обслуговуючий персонал	0,2	Прибиральник – 0,2
Загальна кількість	6,3	

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

4.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання *комерційного потенціалу розробки*, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки здійснюється за 12-ма критеріями [16]. Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зводимо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Сердюк О.В.	Дерібо О.В.	Савуляк В.В.
1	2	3	4
1. Технічна здійсненність концепції	3	3	3
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	4	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	2	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	4	3	3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	2	3	3
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	3	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	3
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	4
Сума балів	СБ ₁ =33	СБ ₂ =35	СБ ₃ =34
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{33+35+34}{3} = 34$		

Згідно результатів оцінювання можна охарактеризувати рівень комерційного потенціалу розробки «вище середнього» ($\overline{СБ}=34$), а також розкрити такі аспекти:

- розробка може бути реалізована на таких підприємствах як АТ Барський машинобудівний завод, ООО «Турбівський машинобудівний завод»;
- за рахунок удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал 54.10» забезпечується підвищення продуктивності випуску продукції та економія енергетичних ресурсів, що дозволяє покращити співвідношення ціна-якість;
- ринками збуту продукції можуть бути підприємства України, що займаються виготовлення обладнання для крупомольного обладнання, млинів;
- обладнання для млинів, а саме вал, який відносно часто внаслідок значних навантажень виходить з ладу і потребує заміни, є досить перспективний проєктом, а потенційними покупцями цього товару можуть бути власники млинів;
- оскільки загальний ресурс обладнання з деталлю «Вал 54.10» є досить великим, тому будемо вважати, що його покупка підприємством буде разовою. Також оцінивши новизну, та техніко економічні показники можна припустити, що пристрій буде зберігати свою актуальність протягом 15 років.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_o , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн.]}, \quad (4.2)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн. У 2024 році величини окладів рекомендується брати до 15372 грн. за місяць для працівників професійної, наукової та технічної діяльності;

T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21 \dots 23)$ дні, Приймаємо 22 робочих дні;

t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Таблиця 4.2 – Розрахунки основної заробітної плати розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.
Керівник проєктувальник	14500	659,09	10	6590,91
Інженер-конструктор 1-ї категорії	11500	522,73	10	5227,27
Технік 1-ї категорії	10500	477,27	10	4772,73
Всього				165590,91

Основна заробітна плата робітників Z_p , якщо вони беруть участь у виконанні даного етапу роботи і виконують роботи за робочими професіями у випадку, коли вони працюють в наукових установах бюджетної сфери, розраховується за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n t_i \cdot C_i \text{ [грн.]}, \quad (4.3)$$

де t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

n – число робіт по видах та розрядах;

C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу. C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_{MKC} \cdot K_c}{T_p \cdot T_{3M}} \text{ [грн./год]}, \quad (4.4)$$

де M_m – розмір мінімальної місячної заробітної плати,
 $M_m=8000,00$ грн./міс.;

K_{mks} – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду: 1,35 – 3 розр.; 1,7 – 5 розр.; 2 – 6 розр.;

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати: приймаємо 1,8.

T_p – число робочих днів в місяці; Прийняте $T_p = 22$ дні;

T_{zm} – тривалість зміни, год.

Тоді

$$C_5 = \frac{8000 \cdot 1,7 \cdot 1,8}{22 \cdot 8} = 139,09 \text{ (грн/год);}$$

Таблиця 4.3 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, год.	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка. грн.	Величина оплати на робітника грн.
Токарна з ЧПК	2,1	5	139,09	292,09
Фрезерна з ЧПК	0,65	5	139,09	90,55
Токарна з ЧПК (підвищеної точності)	0,3	5	139,09	41,72
Всього				524,36

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10...12% від суми основної заробітної плати розробників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = H_{\text{доп}} (Z_o + Z_p) \text{ [грн.]}, \quad (4.5)$$

$$Z_{\text{доп}} = 0,11(165590,91 + 424,36) = 1871,68 \text{ (грн)}$$

Відрахування на соціальні заходи. До статті «Відрахування на соціальні заходи» належать відрахування внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування та для здійснення заходів щодо соціального захисту населення (ЄСВ — єдиний соціальний внесок). Розраховуються за формулою:

$$З_n = (З_o + З_p + З_d) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (4.6)$$

де $З_o$ — основна заробітна плата розробників, грн.;

$З_p$ — основна заробітна плата робітників, грн.;

$З_d$ — додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

$H_{zn}=22\%$ — норма нарахування на заробітну плату.

$$З_n = (165590,91 + 424,36 + 1871,68) \cdot 22/100 = 4155,13 \text{ (грн.)}.$$

Сировина та матеріали. Витрати на матеріали M , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot Ц_v \text{ [грн.]}, \quad (4.7)$$

де H_i — витрати матеріалу i -го найменування, кг;

$Ц_i$ — вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i — коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ приймаємо 1,1;

B_i — маса відходів матеріалу i -го найменування, кг;

$Ц_v$ — ціна відходів матеріалу i -го найменування, грн/кг;

n — кількість видів матеріалів.

Таблиця 4.4 - Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн./кг	Вартість витраченого матеріалу, грн.
Прокат Сталь 40Х	65	3,6	1,2	7,5	248,4
Всього:					348,4

Вал виготовляється і продається окремо, як ремонтна одиниця, тому комплектуючі відсутні.

Спецустаткування для наукових робіт. Проектування та удосконалення деталі вал виконувалася на ноутбучі ASUS VivoBook X571GT-BQ073 Star Black. Балансова вартість спецустаткування розраховується за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_1^k C_i \cdot C_{\text{пр.}j} \cdot K_j \text{ [грн.]}, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$) приймаємо 1,1;

k – кількість найменувань устаткування;

$$B_{\text{спец}} = 28000 \cdot 1,1 \cdot 1 = 30800 \text{ (грн)}$$

Програмне забезпечення для наукових робіт

При виконанні МКР використовуються програми, які є у вільному доступі та на підприємстві.

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи. Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування A в цілому бути розраховані за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_б} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн]}, \quad (4.10)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_б$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

Паливо та енергія для науково-виробничих цілей. Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} t_i Ц_e K_{ени}}{\eta_i} \text{ [грн]}, \quad (4.11)$$

W_{yi} – встановлена потужність обладнання на певному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$Ц_e$ – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії);

$K_{ени}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, приймаємо 0,75;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, приймаємо 0,8.

При цьому вартість електроенергії розраховується:

$$C_e = (C_{opt} + C_{розп} + C_{пост})(1 + \frac{ПДВ}{100\%}) \quad (4.12)$$

C_{opt} - середня оптова ціна електроенергії, яка визначається оператором ринку, грн за 1кВт·год [17, 18]

$C_{розп}$ - вартість розподілу електроенергії окремою енергорозподільчою компанією (без ПДВ) для ПАТ «Вінницяобленерго», грн за 1кВт·год [19];

$C_{пост}$ - вартість постачання електроенергії від енергорозподільчої компанії до конкретного споживача (без ПДВ), грн за 1кВт·год [20].

$$C_e = (5243,53 + 344,82 + 528,57) \cdot (1 + 0,2) / 10^3 = 7,34 \text{ грн}$$

Таблиця 4.7 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук	0,3	160	330,3
Токарний з ЧПК	10	2,1	144,51
Свердлильний з ЧПК	10	0,65	44,73
Токарний підвищеної точності з ЧПК	10	0,3	20,64
Інше обладнання	2	10	137,62
Всього			677,8

Службові відрядження Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуються як 20...25% (приймаємо 22%) від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$B_{св} = \frac{H_{св}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (4.13)$$

$$B_{св} = 0,22(165590,91 + 424,36) = 3743,36 \text{ (грн).}$$

Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації. До статті «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» належать витрати на проведення досліджень, що не можуть бути виконані штатними працівниками або наявним обладнанням організації, а виконуються на договірній основі іншими підприємствами, установами і організаціями незалежно від форм власності та позаштатними працівниками.

Таких робіт не передбачено під час виготовлення зразка. Адже всі дослідження проведено на нашому підприємстві. Тому витрати на цю статтю дорівнюють 0.

Інші витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників:

$$I_{\text{в}} = \frac{H_{\text{ів}}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (4.14)$$

$$I_{\text{в}} = 0,5(165590,91 + 424,36) = 8507,63 \text{ (грн)}.$$

Накладні (загальновиробничі) витрати. До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

$$B_{\text{нзв}} = \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%} (3_o + 3_p) \text{ [грн.]}, \quad (4.15)$$

$$H_{\text{нзв}} = 1,25(165590,91 + 424,36) = 21269,08 \text{ (грн)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи. Цей показник розраховуються як сума всіх попередніх статей витрат:

$$B_{\text{заг}} = 16590,91 + 424,36 + 1871,68 + 4155,13 + 248,4 + 30800 + 7308,33 + 677,8 + 3743,36 + 8507,63 + 21269,08 = 95596,69 \text{ (грн)}$$

Загальні витрати ЗВ на завершення науково—дослідної (науково— технічної) роботи та оформлення її результатів, із врахуванням того розробка знаходиться на стадії розробки впровадження зразка:

$$ЗВ = 95596,69 / 0,9 = 106218,54 \text{ (грн)}.$$

4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

Оскільки у нас удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 54.10», то майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних: збільшення кількості споживачів млинів, оскільки в них досить часто саме ця деталь виходить з ладу і потребує заміни, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик – (100 шт за 2025 рік, 40 шт за 2026 рік, 20 штук за 2027 рік та 10 шт за 2028 рік); кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки – 3000 шт; вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки – 6500 грн; зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науковотехнічної розробки в аналізовані періоди часу 1400 грн.

За нашими розрахунками, результати нашої розробки можуть бути впроваджені з 1 січня 2025 року, а її результати будуть виявлятися протягом 2025-го, 2026-го, 2027-го та 2028-го років.

З 2029 року ми не плануємо отримання прибутків для потенційних інвесторів, оскільки високою є ймовірність, що з'являться нові, більш якісні розробки.

Розрахуємо очікуване збільшення прибутку Π_i , що його можна отримати потенційний інвестор від впровадження результатів нашої розробки, для кожного із років, починаючи з першого року впровадження:

$$\Delta \Pi_i = \sum_1^n (\Delta \Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot (1 - g/100) \text{ [грн]}, \quad (4.16)$$

де $\Delta \Pi_o$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником є збільшення ціни нової розробки, грн.;

N – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки;

Π_o – основний оціночний показник, який визначає обсяг діяльності у даному році після впровадження результатів розробки, грн.;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати $\rho = 0,2 \dots 0,3$; візьмемо $\rho = 0,25$;

g – ставка податку на прибуток. $g = 18\%$.

Тоді, збільшення чистого прибутку для потенційного інвестора Π_i протягом першого року від реалізації нашої розробки (2025 р.) складе:

$$\Delta \Pi_1 = (1400 \cdot 3000 + 6500 \cdot 50) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 828508,53 \text{ (грн)};$$

$$\Delta \Pi_2 = (1400 \cdot 3000 + 6500 \cdot 75) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 872923,42 \text{ (грн)};$$

$$\Delta\Pi_3 = (1400 \cdot 3000 + 6500 \cdot 95) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 895130,86 \text{ (грн)};$$

$$\Delta\Pi_4 = (1400 \cdot 3000 + 6500 \cdot 110) \cdot 0.8333 \cdot 0.25 \cdot (1 - 18/100) = 906234,58 \text{ (грн.)}.$$

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^m \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t} \text{ [грн]}, \quad (4.17)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від реалізації результатів нашої розробки, складе:

$$ПП = \frac{828508,53}{(1 + 0.1)^2} + \frac{872923,42}{(1 + 0.1)^3} + \frac{895130,86}{(1 + 0.1)^4} + \frac{906234,58}{(1 + 0.1)^5} = 2514645 \text{ (грн)}.$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{inv} \cdot 3B \text{ [грн]}, \quad (3.17)$$

де k_{inv} – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{inv} = 2...5$, приймаємо 2.

$$PV = 2 \cdot 106218,08 = 212437,08 \text{ (грн).}$$

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{abc} = (ПП - PV) \text{ [грн]}, \quad (4.18)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн;

Якщо $E_{abc} \leq 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження буде збитковим і вкладати кошти в проведення цих досліджень ніхто не буде.

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Тоді

$$E_{abc} = (2514645 - 212437,08) = 2302207,92 \text{ (грн).}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів роботи може бути доцільним.

Але це ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлене у фінансуванні даного проекту. Він буде зацікавлений це роботи тільки тоді, коли ефективність вкладених інвестицій буде перевищувати певний критичний рівень.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_B . Для цього користуються формулою:

$$E_g = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{абс}}{PV}} - 1 \quad (4.19)$$

де $E_{абс}$ – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = \sqrt[5]{1 + 2302207,79 / 212437,08} - 1 = 0,47 = 47\%$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування $\tau_{мін}$, яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{мін}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.20)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,16...0,22)$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,2)$, але може бути і значно більше.

Спочатку спрогнозуємо величину $\tau_{мін}$. Припустимо, що за даних умов:

$$\tau_{мін} = 0,22 + 0,1 = 0,23 = 23\%.$$

Оскільки $E_B = 67,84\% > \tau_{мін} = 23\%$, то інвестора може бути зацікавлений у вкладенні грошей в дану наукову розробку.

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}} \text{ [років]}. \quad (4.21)$$

Якщо $T_{ок} < 3 \dots 5$ -ти років, то фінансування даної наукової розробки в принципі є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування.

$$T_{ок} = 1/0,67 = 1,5 \text{ (років)}.$$

Це свідчить про можливу доцільність фінансування даної наукової розробки. При оцінці економічної ефективності наукового дослідження було визначено та розраховано кошторис капітальних витрат на розробку нового технічного рішення, на його виробництво та впровадження, а також оцінено економічну ефективність інноваційного рішення.

Визначення капітальних витрат на розробку нового технічного рішення включало витрати на основну і додаткову заробітну плату розробників та робітників, амортизацію обладнання, витрати на електроенергію, матеріали і таке інше. В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності. За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової роботи оскільки вона є економічно виправданою. Термін окупності вкладених коштів у реалізацію наукового проекту становить $T_{ок} = 1,5$ роки. Крім того відносна ефективність вкладень $E_{\epsilon} = 67\%$ є більшою за мінімальну ставку дисконтування $\tau_{мін} = 23\%$, що може зацікавити у фінансуванні даної наукової розробки. Приведена вартість прибутків становить $ПП = 2514645$ грн.

ВИСНОВКИ

В магістерській кваліфікаційній роботі в повній мірі використані всі сучасні тенденції розвитку машинобудування та досягнення комп'ютерних технологій. Враховуючи серійність виробництва та сучасні тенденції, запропонований технологічний процес орієнтований на використання виробництва на базі верстатів з ЧПК.

Отже, в результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено модернізований технологічний процес механічної обробки деталі «Вал», який дозволяє знизити собівартість, енерговитрати та трудомісткість механічної обробки, та підвищити продуктивність праці. Згідно розрахунку тип виробництва – серійний. Деталь не містить важкодоступних для обробки місць. В результаті аналізу і виконаних розрахунків в якості заготовки обрано прокат. Визначивши кількість ступенів механічної обробки для кожної поверхні, та обравши технологічні бази спроектовано технологічний процес механічної обробки. При цьому технологічні розміри визначені за допомогою розмірного аналізу. Розраховано режими різання і норми часу на всі переходи та операції відповідно. Крім того виконано попереднє проектування ділянки механічної обробки. Визначено приведену програму та згідно неї кількість верстатів – 4, що дозволяють обробити задану програму випуску. Верстати завантажені, середній коефіцієнт завантаження верстатів складає 50%.

Для фінішної обробки поверхонь валу запропоновано обрати спосіб обкочування, що вимагає дослідження даного способу в умовах обробки заданої деталі.

Розглянуто способи зміцнення поверхневого шару деталі. Для деталі «Вал» обрано обкочування роликом. Наведено залежності параметрів якості оброблюваної поверхні від конструктивних параметрів обкатника і технологічних параметрів процесу. Обрано режими обробки, які дозволять отримати необхідну твердість поверхневого шару та шорсткість при задовільному використаному ресурсів пластичності.

Рівень комерційного потенціалу нової розробки високий. Розраховані показники абсолютної та відносної ефективності свідчать, що даний інвестиційний проєкт може зацікавити інвестора, оскільки рівень доходності даного проєкту перевищує депозитні доходи і є менш ризикованим. Термін окупності розробленого проєкту складає 1,5 років.

Таким чином, проведені в економічній частині розрахунки свідчать про доцільність розробки способу обробки обкочуванням та перспективність виходу нового пристосування на вітчизняний ринок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „металорізальні верстати та системи”/ І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Китичок і ін. – Житомир:ЖІТІ, 2001 – 516 с.
2. Браславский В. М. Технологія обкатування великих деталей роликами. М., «Машинобудування», 1975. 159 с. з іл.
3. Огородніков В. А. Напружений стан на кінцевій стадії видавлювання різових канавок на внутрішній поверхні / В.А. Огородніков, В. Г. Нагайчук, М. В. Любін // Вісник вінницького політехнічного інституту, 1996. - №4. – С. 53-55.
4. SolidWorks [Електронний ресурс].–Режим доступу: https://solidworks.softico.ua/?gclid=Cj0KCQjwov3nBRDFARIsANGsdoHhEbPKovBmOWEXjEfp-VepRN_7lbFRyepPd9zYDUE_nX2QPlMyQUaAjmLEALw_wcB
5. FlowVision [Електронний ресурс].–Режим доступу: <https://sapr.ru/article/21879>
6. ANSYS documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sharcnet.ca/help/index.php/ANSYS>
7. Prediction of shrinkage and warpage in consideration of residual stress in integrated simulation of injection molding. Computer Aided Materials Processing Laboratory ME3227, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 373-1 Gusongdong, Yuseong, Taejeon 305-701, South Korea
8. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навч. посіб. / А.Г.Фесенко та [ін.] – Д.: РВВ ДНУ, 2015. – 104 с.
9. П.П.Мельничук. Технологія машинобудування: підручник/ П.П.Мельничук, А.І.Боровик, П.А.Лінчевський, Ю.В.Петраков.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 882с
10. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. / П. О.Руденко. — К.: Вища школа, 1993. — 414 с.

11. Якимов О.В., Гусарев В.С., Якимов О.О., Линчевський П.А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К. 1994. – 400 с
12. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування :навчальний посібник / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
13. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навчальний посібник / О. В. Дерібо. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.
14. Дерібо О. В. Технології для верстатів з числовим програмним керуванням: електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання / Дерібо О. В., Лозінський Д. О., Сердюк О. В. — Вінниця : ВНТУ, 2023. — 116 с. Електронний ресурс:
https://iq.vntu.edu.ua/method/getfile.php?fname=5927.pdf&card_id=1949&id=5927
15. Мельничук П. П. Технологія машинобудування: підручник / П. П. Мельничук, А. І. Боровик, П. А. Лінчевський, Ю. В. Петраков.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 882с.
16. Якимов О. В., Гусарев В. С., Якимов О. О., Линчевський П. А. Технологія автоматизованого машинобудування. – К. 1994. – 400 с
17. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. / П. О. Руденко. — К.: Вища школа, 1993. — 414 с.
18. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки : навчальний посібник / [Дусанюк Ж. П., Шиліна О. П., Репінський С. В. та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.
19. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин / Ж. П. Дусанюк, С. В. Дусанюк. — Вінниця : ВНТУ, 2004. — 90 с.
20. Дусанюк Ж. П. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний посібник / [Ж. П.Дусанюк, О. П. Шиліна, С. В. Репінський та ін.]. — Вінниця : ВНТУ, 2009. — 199 с.
21. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А.Кирилович, П. П, Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.

22. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Гаряче об'ємне штампування / [Дусанюк Ж. П., Сивак І. О, Дусанюк С. В., Репінський С. В.]. — Вінниця : ВНТУ, 2006. — 105 с.
23. Руденко П. О. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин. / Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. — К. : ІСДО, 1993. — 304 с.
24. Кирилович В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А.Кирилович, П. П, Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. — Житомир : ЖІТІ, 2001. — 600 с.
25. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни Механоскладальні дільниць та цехи в машинобудуванні/ Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк, С.В Репінський, О.В. Сердюк – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 142 с.
26. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва / А. І. Боровик. — К. : Кондор. 2008. — 728 с.
27. Дусанюк Ж.П. Посібник до практичних занять з дисципліни " Механоскладальні дільниць та цехи в машинобудуванні"/ Ж.П. Дусанюк, С.В. Дусанюк, С.В Репінський, О.В. Сердюк – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 142 с.
28. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні. Методика і особливості виконання курсової роботи: навчальний посібник / В.В.Кавецький, В.О.Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2013.-100 с.
29. Закон України «Про оплату праці» від 24.03.1995, № 108/95-ВР. [сайт]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/108/95-Вр>.

Додатки

Додаток А

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Вал 15.24".

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ Кафедра технологій та автоматизації машинобудування, ФМТ
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності

Оригінальність	<u>71</u>	Схожість	<u>29</u>
----------------	-----------	----------	-----------

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку	<u>Сердюк О.В.</u>
(підпис)	(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою turnitin щодо роботи.

Автор роботи	<u>Кумченко Ю.</u>
(підпис)	(прізвище, ініціали)
Керівник роботи	<u>Сердюк О.В.</u>
(підпис)	(прізвище, ініціали)

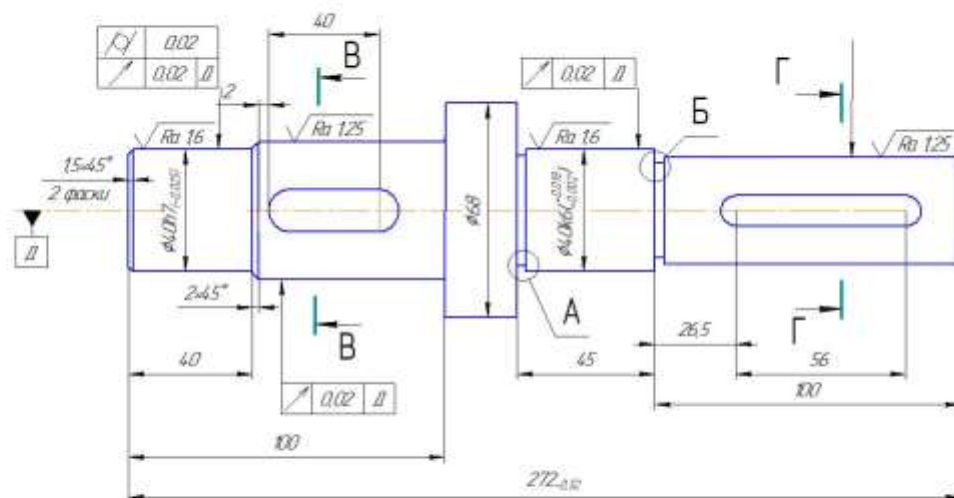
Додаток Б

Графічна частина

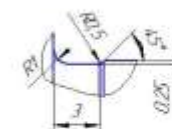
Маршрут механічної обробки

№	Операції, переходи	Ескіз деталі та схема установки	Моделі верстатів
005	Фрезерно-центрувальна 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати торці 1 та 2 3 Центрувати отвори 3 та 4 4 Зняти заготовку		Фрезерно-центрувальний 2A931
010	Токарна з ЧПК Установка 1 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити поверхню 1 в розмір $\Phi 40,8(-0,25)$ поверхню 2 в розмір $\Phi 45,8(-0,25)$ та поверхню 3 в розмір згідно ескизу 3 Точити поверхню 1 та 2 в розмір згідно ескизу Установка 2 4 Точити поверхню 4 в розмір $\Phi 35,8(-0,25)$ та поверхню 5 в розмір $\Phi 40,8(-0,25)$ 5 Точити поверхню 4 та 5 остаточно 6 Точити канавки 6 та 7 витримуючі розміри 7 Зняти заготовку	Неблизькі значення відхилення розмірів отвору H9, діалу h8, інколи IT9/7	Токарний з ЧПК 174.2017Ф30
015	Фрезерна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати паз 1 витримуючі розміри вказані на ескизі 3 Фрезерувати паз 2 витримуючі розміри вказані на ескизі 4 Зняти заготовку	Неблизькі значення відхилення розмірів отвору H9, діалу h8, інколи IT9/7	Фрезерний з ЧПК 6P13Ф3
	Токарна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити поверхню 1 та 2 попередньо в розміри $\Phi 40,6(-0,1)$, $\Phi 45,18(-0,1)$ відповідно 3 Точити поверхню 3 та 4 попередньо в розміри $\Phi 35,18(-0,1)$, $\Phi 40,6(-0,1)$ відповідно 4 Точити точно поверхню 1 та 2 витримуючі розміри вказані на ескизі 5 Обкатити поверхню 3 та 4 витримуючі розміри вказані на ескизі 6 Зняти деталь		Токарний високої точності НК6801Ф3

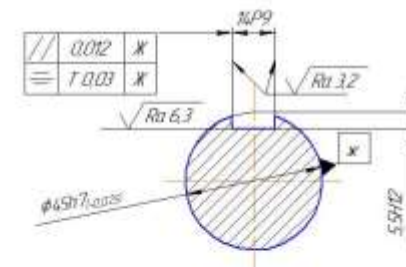
08-64.МКР.007.00.001

 $\sqrt{Ra\ 6.3\ (\checkmark)}$ 

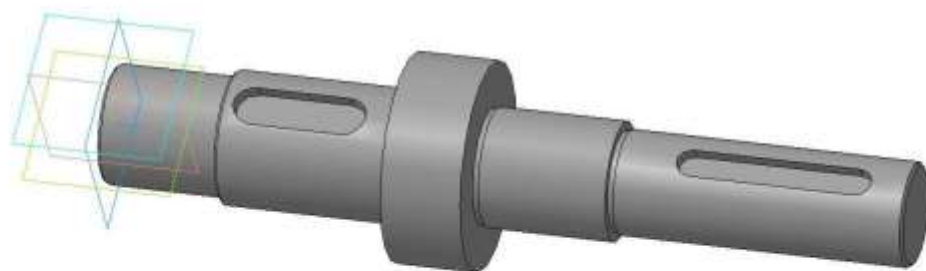
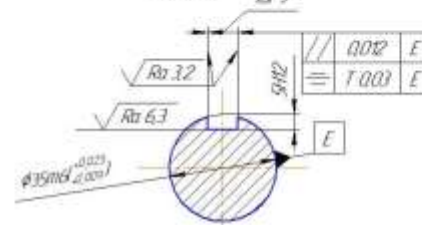
A-B-B



B-B-O



Г-Г-O



1. Твердость H6230.260

2. Наказаны граничные отклонения отборот - по H14, диаметр - по h14.

итд - по $\frac{IT14}{2}$.

08-64.МКР.007.00.001

Ван 15.24

Ав	Про	Нормат
2.26	11	

Сталь 50 ГОСТ 1050-74 ВНТ4-зр 11М-23М

Контракт

Лист 42

08-64.MKP.007.00.003

Лист 1/1

Стр. 1/1

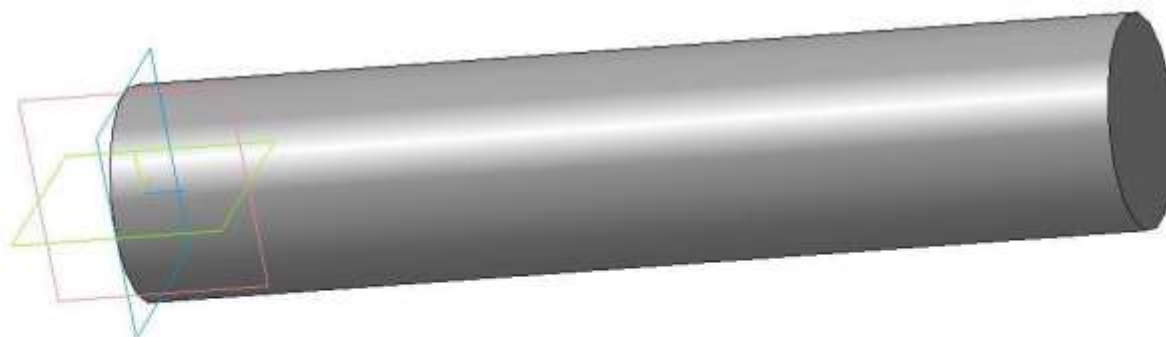
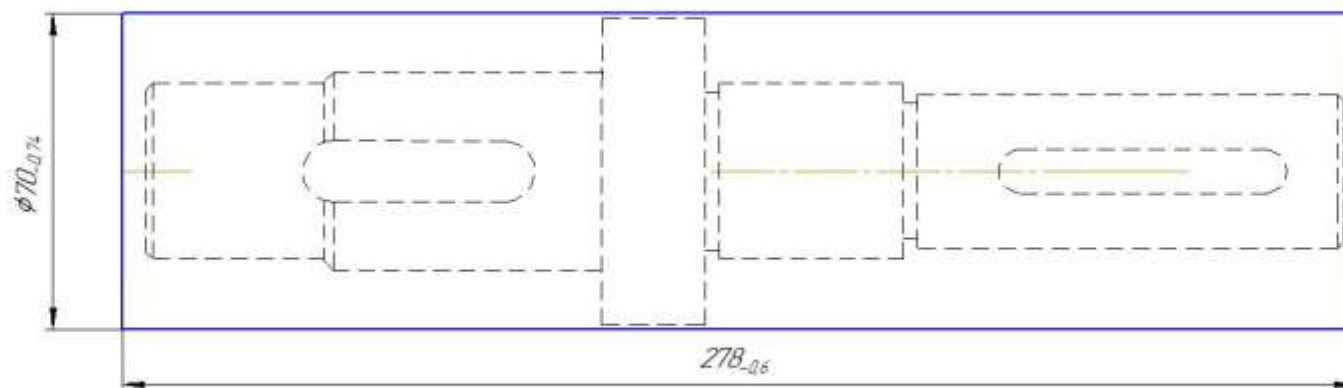
Лист 1/1

Лист 1/1

Лист 1/1

Лист 1/1

Лист 1/1

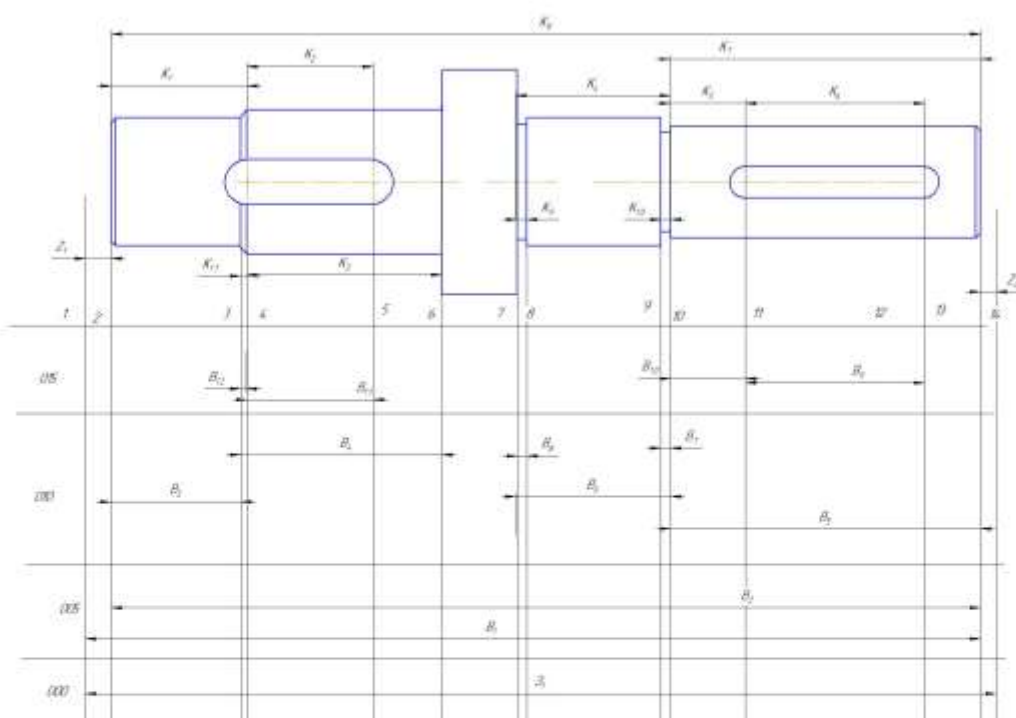


08-64.MKP.007.00.003							
Вал 15.24 (заготовка)					Лит.	Масса	Масштаб
						384	1:1
70 ГОСТ 12590-71					Лист	Листов	1
Круг Сталь 50 ГОСТ 1050-74					ВНТУ, зр 11М-23М		
Копировал					Формат А3		

Изм. Лист № докум. Подп. Дата
Разработчик Кученко В.
Проб. Буренко В.
Техник

Начальник Сердюк О.В.
Удм. Козлов Л.Г.

Розмірний аналіз технологічного процесу



Таблиця 1 – Значення розмірів/допусків технологічних розмірів

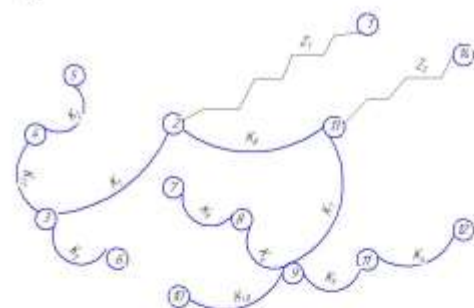
№	Розмірний розмір	Допуск	Значення
1	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
2	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
3	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
4	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
5	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
6	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
7	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
8	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
9	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
10	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
11	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1
12	$K_1 - K_2 \pm 0$	$K_1 - K_2$	K_1

Таблиця 2 – Допуски

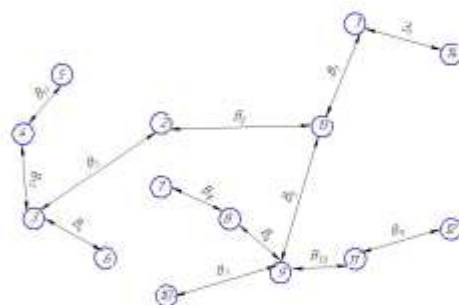
Допуск	K_1	K_2
Δ_{K_1}	0,1	0,1
Δ_{K_2}	0,1	0,1

Таблиця 3 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допусків

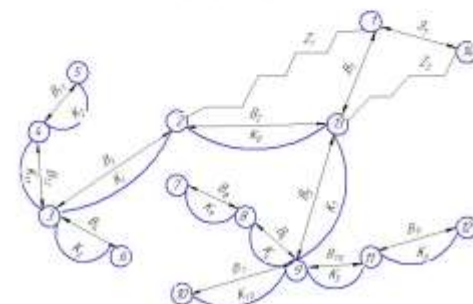
Позначення розміру	Граничні значення розмірів	Допуск	Поміжний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні заготовки
B_1	273,52	274,67	1,15	274,67	274,67 _{±0,15}
B_2	272,4	273,32	0,72	273,32	273,32 _{±0,12}
B_3	231,64	232	0,46	232	232 _{±0,18}
B_4	39,69	40,31	0,62	40	40 _{±0,11}
B_5	61,69	62,31	0,62	62	62 _{±0,11}
B_6	99,63	100,37	0,74	100	100 _{±0,17}
B_7	44,69	45,31	0,62	45	45 _{±0,11}
B_8	2,85	3,15	0,3	3	3 _{±0,17}
B_9	2,85	3,15	0,3	3	3 _{±0,17}
B_{10}	55,63	56,37	0,74	56	56 _{±0,17}
B_{11}	6,32	6,68	0,36	6,5	6,5 _{±0,18}
B_{12}	39,69	40,31	0,62	40	40 _{±0,11}
B_{13}	1,88	2,12	0,24	2	2 _{±0,17}



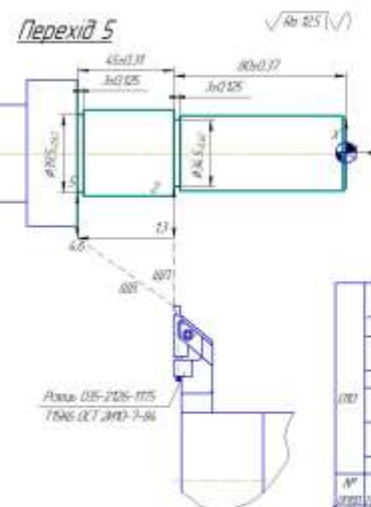
Вихідне граф-дерево



Похідне граф-дерево



Суміщений граф



(10)	1	Точность подбора 4 и 5 исполнений	730	0,5	365	0,2
	2	Точность подбора 6 по 7	90	0,5	45	0,1
	3	Точность под 4 и 5 поперечных	480	1	480	2,3
	4	Поперечные/поперечные	—	—	—	—
	5	Точность под 1 и 2 поперечных	180	0,5	90	0,2
	6	Точность под 1 и 2 поперечных под 3 поперечных	360	1	360	1,3
	7	Поперечные/поперечные	—	—	—	—
№	№	Точность в %		Точность в мм		
1	2	3	4	5	6	7
08-64/MKP.027.00.006 KH Корпус насосно-обогревательный ИЗГОТОВИТЕЛЬ ИЗГОТОВИТЕЛЬ						

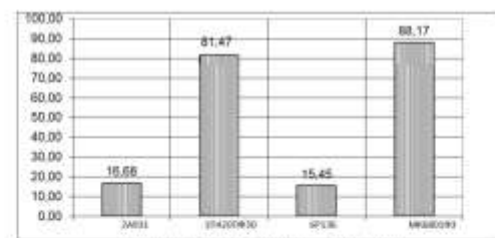
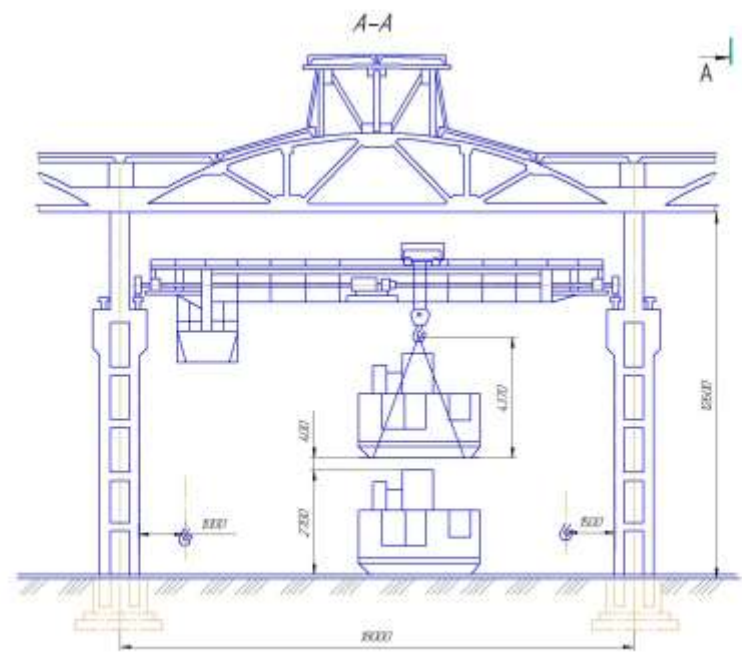
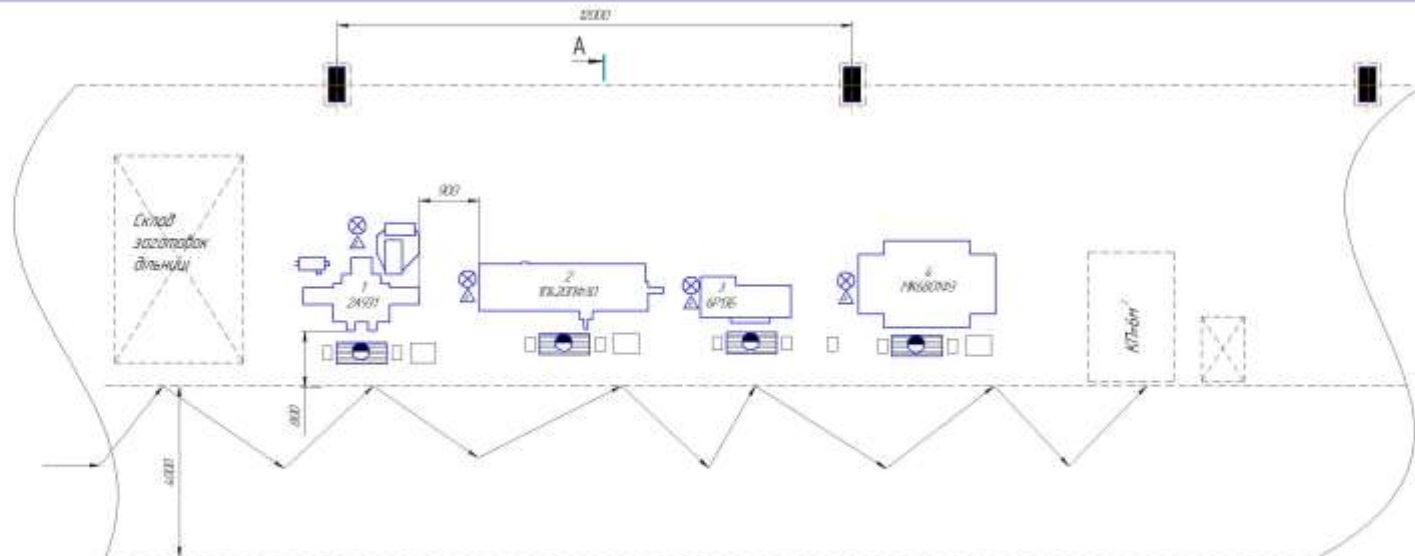


Рисунок 1 - Графік завантаження верстатів

Технічна характеристика дільниці

- Площа дільниці (м²)
загальна - 130 м²
виробнича - 100 м²
- Кількість працівників (чол.)
робітників основних - 4
допоміжних - 1
ІТР - 1
СНП - 1
МДП - 1
- Верстатів - 4

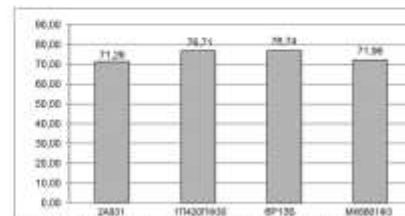


Рисунок 2 - Графік використання верстатів за основним часом

08-64-MK-P.007.00.008-30			
План дільниці механічної обробки			
Лист	1	Знак	11
Всього	1	Знак	11
874-234			

Лист

Всього