

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 23.24"**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ПМ-23м
спеціальності 131 – Прикладна механіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Скрипник А.А.
(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)

« 18 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ТАМ

д.т.н., проф. Козлов Л.Г.
(прізвище та ініціали)

« 19 » 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

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Скрипник Андрій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи

Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Вал 23.24".

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 23.24,
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	виконано прийнято
Основна частина	К.т.н., проф. Буренніков Ю.А.	24.09	18.12
Економічна частина	К.е.н., проф. Лесько О.Й.	1.10	10.12

7. Дата видачі завдання 24 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
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)

Скрипник А.А.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., проф. Буренніков Ю.А.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.374.415

Скрипник А.А. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу "Вал 23.24". 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

Skrypnyk A.A. Improvement of the technological process of mechanical processing of a workpiece of the type "Shaft 23.24". Master's qualification work in the 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	7
1.1 Аналіз впливу параметрів процесу на інтенсивність зміцнення та накопичення пошкоджень	7
1.2 Моделювання процесу обкочування заготовки роликом	10
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	30
2.4 Вибір способів механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні	40
2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз	42
2.6 Проектування маршруту механічної	46
2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу	47
2.8 Визначення припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричних поверхонь	52
2.9 Визначення за нормативами режимів різання	57
2.10 Визначення технічних норм часу на операції	61
3 ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОГО ЦЕХУ	66
3.1 Розрахунок приведеної програми	66
3.2. Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження	68
3.3. Розрахунок кількості робітників на ділянці	70
3.4 Розробка плану розташування обладнання	73
3.5 Проектування допоміжних відділень механічного цеху	73

3.6 Організація та обслуговування робочого місця: організація робочого місця верстатник; забезпечення робочого місця інструментом, заготовками і т.п.	76
4.ЕКОНОМІЧНА ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ	77
4.1 Проведення наукового аудиту науково-дослідної роботи	77
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи	79
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

На даний час все більше зростає потреба у високопродуктивному виробництві точних деталей з використанням гнучких технологічних процесів. Такий підхід до виробництва дозволяє переходити з одного типорозміру деталі на інший з мінімальними затратами часу на переналагодження оснащення та обладнання. При досить значних обсягах виробництва та розширеній номенклатурі виробів використання таких технологічних процесів стає все більш актуальним.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи (МКР) – удосконалення технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 23.24», 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 проектної якості 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 23.24»;
- обґрунтувати вибір чистових та чорнових технологічних баз;
- розробити удосконалені варіанти маршруту механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 23.24»;

- 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 23.24».

Методи дослідження. Метод теорії розмірних ланцюгів, який дозволив виконати розмірно-точносне моделювання технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Вал 23.24»; метод лінійного програмування (симплекс-метод), який дозволив визначити оптимальні режими різання та інструмент для обробки.

Новизна одержаних результатів. Змодельовано процес Вал 23.24, що дозволило обрати оптимальні режими обробки

Практичне значення одержаних результатів полягає в удосконаленні технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі типу «Корпус АВ 45» 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

1.1 Аналіз впливу параметрів процесу на інтенсивність зміцнення та накопичення пошкоджень

Однією із важливих задач при виготовленні деталей є забезпечення високої якості робочих поверхонь і покращення фізико-механічних характеристик поверхневого шару їх матеріалу. Одним із найбільш економічних та ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є зміцнення деталей поверхневим пластичним деформуванням (ППД), яке дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості конструкційних матеріалів в реальних деталях складної будови та в деталях з концентраторами напружень.

Поверхнєве пластичне деформування – розповсюджений і ефективний спосіб підвищення несучої здатності металевих деталей машин, який переважно застосовують, як кінцеву операцію.

Найвагоміший ефект зміцнення від застосування ППД досягається для циклічно навантажених деталей з конструктивними або експлуатаційними концентраторами напружень. ППД ефективно також і по відношенню до деталей, що піддаються при експлуатації зношуванню.

Поверхнєве деформування поверхневих шарів здійснюють різноманітними способами, які згідно з [2] можна поділити на дві групи. До першої відносять такі, що передбачають створення зусилля деформування від інструмента шляхом безперервного контакту з деталлю (статичні), до другої – ті, при яких здійснюється ударна дія по деталі робочих тіл або інструмента (динамічні). Не дивлячись на різноманіття способів ППД, їх поєднує спільність основних процесів та впливів на стан металу та оброблюваної поверхні. При різних умовах оброблювання проявляються або неперервні, або дискретні особливості матеріалів.

В результаті зміцнення поверхневих шарів при поверхневому деформуванні можна забезпечити покращення фізико-механічних властивостей металу внаслідок структурних перетворень, подрібнення зерен, а також формування в поверхневому шарі залишкових напружень стиску, що виникають за рахунок розвитку зсувів крис-

талічної ґратки. Експлуатаційні властивості деталей визначаються цими спільними факторами. Крім того відбувається покращення якості поверхні, що проявляється в зменшенні висоти нерівностей, більш похилої їх конфігурації, що важливо, наприклад, для поверхонь пар тертя.

В залежності від форми, розмірів, матеріалу деталі, вимог, що висуваються до геометричних параметрів та якості поверхні, виробничих та інших умов можуть застосовуватися різноманітні способи зміцнювального оброблювання ППД. Вони відрізняються за схемами силової дії на оброблювану деталь, продуктивністю, економічністю та іншими показниками (рис. 1.1). Як спільні класифікаційні ознаки можна використовувати швидкість деформування; схему контактування деформуючих тіл з поверхнею деталі; форму робочої ділянки деформуючого тіла; зв'язок деформуючих тіл з джерелом руху" спосіб передачі енергії до інструмента.

Найбільш розповсюдженим способом зміцнення пластичним деформуванням поверхні є обкатування деталей роликами. У той же час широко впроваджується обкатування пружними кульками, зміцнення дробеструйним і відцентрово-кульковим наклепом, зміцнення карбуванням. В останні роки усе ширше застосовується поверхнева термомеханічна обробка.

Деформація металу при обкатуванні починається з удавлення ролика в поверхню деталі. Вихідний контакт ролика з деталлю в залежності від конфігурації контактуючих тіл може бути крапковим або лінійним. Під дією прикладеної сили ролик вдавлюється в деталь, утворюючи на її поверхні відбиток, форма якого відіграє важливу роль у наступному процесі пластичної деформації при обкатуванні.

Відбиток еліптичної форми утвориться при обкатуванні деталі довільної форми роликом кругового профілю, якщо радіус його кривизни не дорівнює радіусові кривизни деталі, узятому з протилежним знаком. Ролики з робочим профілем, обкресленим в осьовому перерізі по окружності, тобто виготовлені у формі тора, бочки або сфери (зокрема, кульки), мають переваги, що забезпечують їм широке застосування у виробничій практиці.

Застосування роликів, що мають лінійний контакт із деталлю, для обкатування з подовжньою подачею вимагає вживання заходів, що знімають концентрацію кон-

тактних напруга на краю відбитка, протилежному напрямкові подачі; у цьому місці припиняється контакт деталі з роликом і остаточно формується обкачана поверхня.

Деформація поверхні залежить від сили обкатування, профільного радіуса ролика, подачі, співвідношення діаметрів деталі і ролика.

Найбільші деформації поверхні, що приводять до неприпустимого зменшення діаметра деталі (утворенню западини), спостерігаються на початку обкатаної поверхні. Глибина западини залежить від сили, радіуса профілю ролика і подачі; вона невелика при використанні роликів з великим профільним радіусом, характерним для чистового обкатування, і може досягати десятих часток міліметра при зміцненні.

Ширина западини росте в міру збільшення сили обкатування і зменшення твердості матеріалу деталі. Цю величину важливо знати при проектуванні технологічного процесу зміцнюючого обкатування, щоб вивести западину за межі, де необхідні точні розміри зміцнюючої ділянки вала. Узагальнення дослідних даних дозволило

Розглядаючи шорсткість поверхні як відхилення від номінальної форми деталі, можна говорити про обкатування роликами як про ефективний спосіб уточнення мікропрофілю деталей машин.

При зміцнюючому обкатуванні підвищується твердість поверхні, з'являються стискаючі залишкові напруги, збільшується зміцнююча міцність деталей. Зіставлення епюр напруг з відповідними графіками розподілу твердості в поверхневому шарі обкатаних валів показує, що найбільш деформований шар металу в поверхні не є найбільш напруженим. Поблизу поверхні відзначається спад напружень. З ростом сили обкатування збільшуються товщина шаруючи зі стискаючими залишковими напругами і глибина розташування їхнього максимуму. Напруги ж у поверхневому шарі спочатку збільшуються, потім починають зменшуватися. Збільшення радіуса профілю ролика при збереженні інших елементів режиму обкатування викликає деяке зменшення товщини шару зі стискаючими напругами і глибини розташування їхнього максимуму, але разом з тим приводить до зростання напруг у зоні максимуму й у поверхні.

Поверхневу пластичну деформацію використовують для обробки різних поверхонь: циліндричних, плоских поверхонь колінчастих і шліцьових валів, зубчастих

коліс, різьб та інших. Даний вид обробки забезпечує збільшення міцності і мікротвердості оброблених поверхонь, вони більш зносостійкі, ніж, наприклад, поверхні отримані за допомогою лез або абразивної обробки.

При розгляді процесу пластичної деформації поверхневого шару, зокрема при деформуванні роликом плоскій поверхні виникає цілий ряд завдань. Однією з них є визначення використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі. Розглянемо пластичний контакт при коченні з ковзанням жорсткого ролика вздовж плоскої поверхні ідеально-пластичного півпростору. При цьому вважаємо, що пластичне стан в зоні контакту є стаціонарним. Початкове рішення для ковзання циліндра з пластичного напівпростору розглянуто Б. А. Друяновим і Н.М. Михиным, кочення, гладкого циліндра досліджувався Е. А. Маршалом, В. Ф. Коллінз розглядав ковзання шорсткого циліндра. В. М. Сегалом запропоновано рішення задачі при довільному терті між роликом і матеріалом. При цьому досліджувалися зусилля і момент, які діють на циліндр і розподіл контактних напружень по поверхні матеріалу, який обробляється.

Отже вплив якості поверхневого шару на довговічність деталей необхідно розглядати на основі комплексного підходу, що враховує вплив всіх факторів. Такий підхід можливий тільки шляхом аналізу пластичної течії металу в осередковій деформації, з одного боку, і врахуванням механічних властивостей металу, з іншого.

1.2 Моделювання процесу обкочування заготовки роликом

Для розрахунку параметрів напружено-деформованого стану поверхневого шару заготовки в процесі обкочування роликом методом скінчених елементів було розглянуто розробки, що були у вільному використанні, проте вони не давала необхідної точності.

Тому ґрунтуючись на відомих результатах моделювання процесів ОМТ методом скінчених елементів нами було вирішено для розв'язку задачі пластичного деформування поверхневого шару заготовки використовувати програму LS-DYNA. Дана програма дозволяє моделювати напружено-деформований стан під час пласти-

чного формозмінення матеріалів, взаємодію контактних поверхонь інструмента та заготовки з врахуванням тертя.

Для цього створено 3dмодель обкатника. (рисунок 1.1). За прототип конструкції була прийнята інструментальна державка із спіральною пружиною, розроблена в Ленінградській лісотехнічній академії і описана в роботі [1]. Недоліком базової конструкції є односторонність притискання ковзного струмозійомника до інструментального ролика, що погіршує електричні і механічні характеристики, порівняно із запропонованою нижче симетричною схемою розташування струмозійомних елементів. Пристрій для електромеханічного зміцнення складається з циліндричного пустотілого корпусу 14 в якому розташований робочий шток 12. Шток сполучається з внутрішньою поверхнею корпусу по ковзній посадці з можливістю поздовжнього переміщення. Для обмеження ходу штоку служить поздовжній паз на поверхні штоку і два гвинта 15. На задню частину корпусу нагвинчується задня кришка 16. Між кришкою 16 і штоком 12 розміщена силова 17 пружина, при стисканні якої шляхом загвинчування кришки 16 створюється робоче навантаження до 200 Н. До корпусу пристрою приварена призматична планка 1, яка дозволяє встановлювати пристрій у різцеутримувачі токарного верстату (рис. 3). Для електроізоляції пристрою від корпусу верстату на планку 1 одітий текстолітовий кожух 19 з кріпленням гвинтами 20. Спереду корпус пристрою закритий кришкою 13. Передній кінець штоку 12 має різьбу, на яку нагвинчується вилка 10. У вилці 10 змонтований вузол інструментального ролика 5. Ролик 5 виготовлений з твердого сплаву ВК15 методом порошкової металургії з фінішною алмазноабразивною обробкою. Ролик 5 через бронзову втулку 6 встановлений на двох радіальноупорних підшипниках 4, які в свою чергу запресовані на вісь 8. Для електроізоляції інструментального ролика від корпусу пристрою вісь 8 опирається на дві текстолітові втулки 9, розміщені у корпусі вилки 10 і закріплені гвинтами 18. З іншого боку до ролика притиснена бронзова шайба 3. До торцевих поверхонь втулки 6 і шайби 3 щільно прилягають струмозійомники 7, виготовлені з бронзографітового матеріалу. Струмозійомники 7 через шину (на рисунку не показана) під'єднані до металевої планки 1 гвинтом 2. А планка може бути під'єднана до одного полюса електричного джерела живлення. Другий полюс дже-

рела електричного струму під'єднаний через бронзографітовий струмозійомник до циліндричної заготовки. Таким чином пристосування може використовуватися і для електромеханічного зміцнення (обробки) (ЕМО) заснованого на поєднанні термічного й силового впливу на поверхневий шар оброблюваної деталі. Сутність цього способу [1] полягає в тому, що в процесі обробки через місце контакту інструмента з виробом проходить струм великої сили й низької напруги, внаслідок чого виступаючі гребінці поверхні піддаються сильному нагріванню, під тиском інструмента деформуються й

Згладжуються, а поверхневий шар металу зміцнюється. Обкатування і розкочування при ЕМО здійснюють, як правило, роликami, що чинять тиск на поверхню оброблюваної деталі. При певному (робочому) зусиллі в зоні контакту деформуючих елементів і деталі інтенсивність напружень перевищує межу текучості, внаслідок чого відбувається пластична деформація мікронерівностей, змінюються фізико-механічні властивості і структура поверхневого шару (наприклад, збільшується мікротвердість або виникають залишкові напруження в поверхневому шарі). Об'ємна

на	деформація	деталі	зазвичай	незначна
----	------------	--------	----------	----------

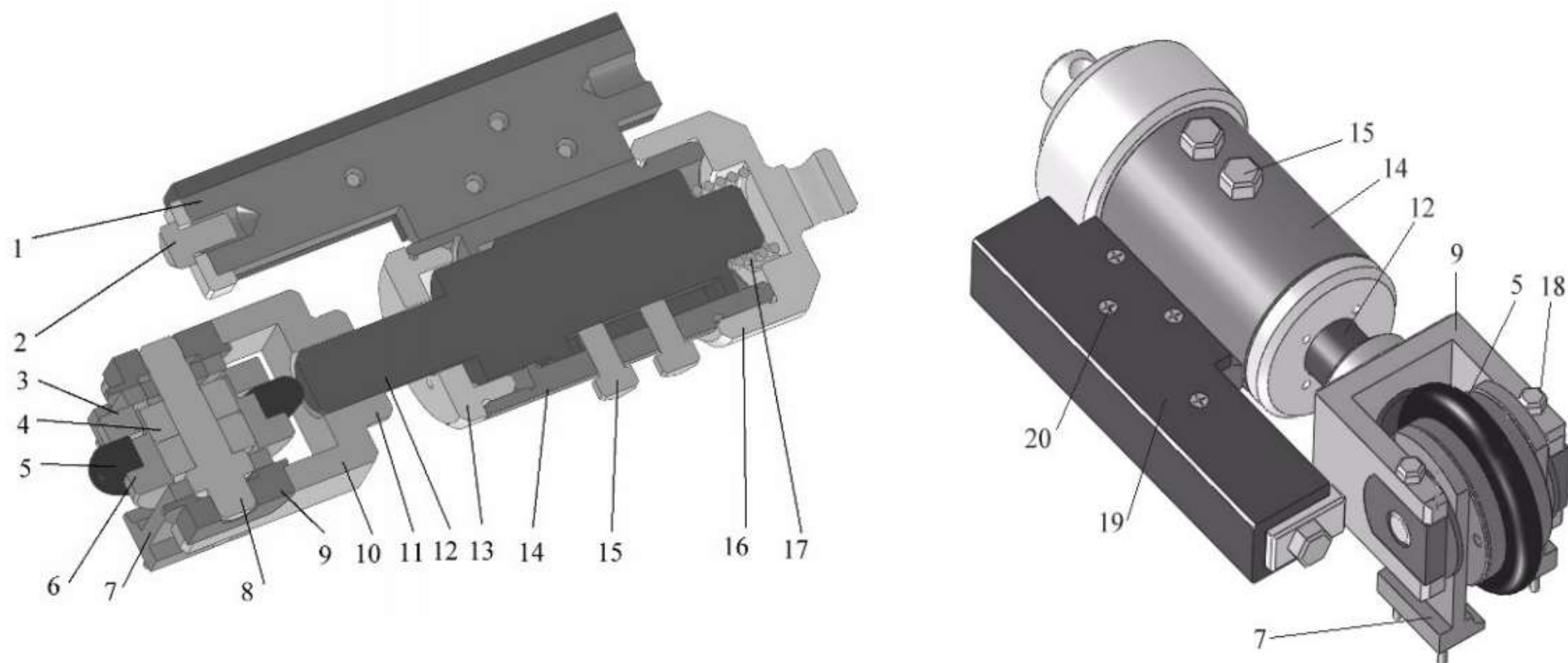


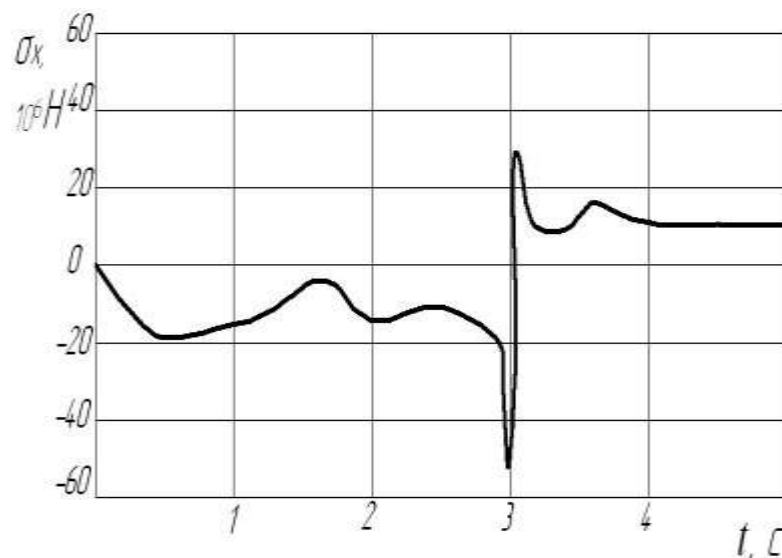
Рисунок 1.1 - 3d-модель обкатника

Таким чином, можна зробити висновок, що при аналізі процесу обточування роликом розрахунок параметрів НДС методом скінчених елементів дає не тільки якісну, але й кількісну оцінку розподілу характеристик напружено-деформованого стану.

Моделювання проходить у кілька етапів:

- геометрична модель будується
- задаються тип матеріалів і їх властивості;
- присвоюються атрибути (матеріал, тип кінцевого елемента) елементам геометричній моделі;
- розбивається модель на кінцеві елементи (рис. 3.1);
- задаються граничні умови (закріплення моделі і діючі сили);
- вирішується завдання;
- проглядаються результати.

В даній моделі розглядається обкатка сталевого валу (Сталь 45), роликом діаметром 50мм, з профільним радіусом – 5 мм. Аналіз отриманих результатів показує, що мають місце три зони деформування [3]: область випередження область налипання або область безпосередньо контакту ролика і деталі; область відставання.



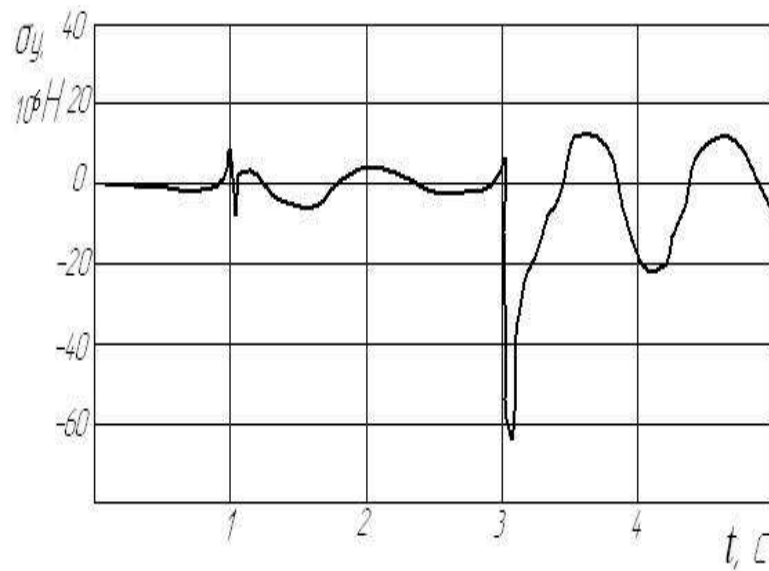
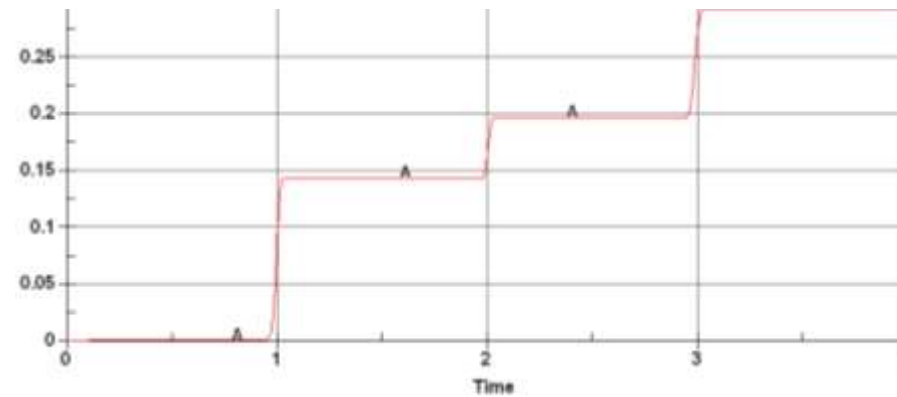


Рисунок 1.2- Нормальні напруження

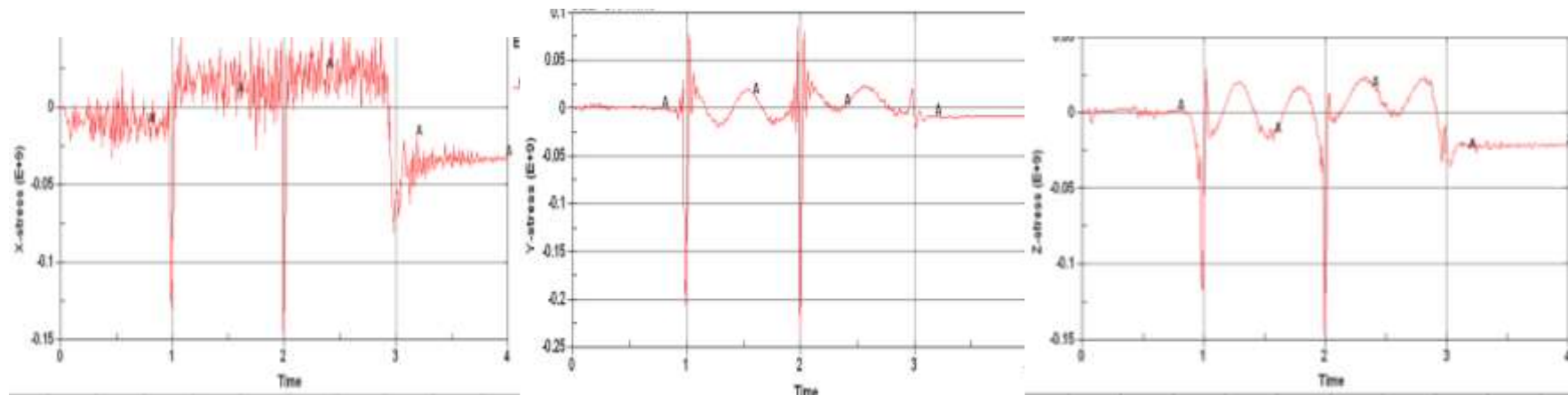
У зоні пластичної хвилі відбуваються значні деформації при несприятливій схеми напруженого стану (рис.4.9). Показник напруженого стану η в цій зоні

змінюється від $\eta=0,71$ до $\eta=1,6$, а параметра Надаї –Лоде μ_σ змінюється від $\mu_\sigma = -0,3$ до $\mu_\sigma = -0,4$.

В зоні контакту деталі та інструменту відбуваються основні деформації (рис. 4.10), однак збільшення використаного ресурсу пластичності незначно. У цій області показники $\eta=-0,75 \dots -0,7$, $\mu_\sigma=0,2 \dots 0,3$, тобто має місце схема всебічного стиснення. При переході частки з першої в другу зону внаслідок інтенсивних деформацій в умовах гідростатичного стиску можливо заліковування деяких дефектів.



а)



б)

Рисунок 1.2 - Пластична деформація (а) та головні напруження (б) отримані МСЕ

Таким чином, незворотна пошкодженість металу поверхневого шару деталі при обкачуванні відбувається в основному, в зоні пластичної хвилі, а саме в її вершині. Ця пошкодженість частково може лікуватися, а решта буде визначати експлуатаційні характеристики поверхневого шару деталі.

При переході частинки з першої в другу зону внаслідок інтенсивних деформацій в умовах гідростатичного стиснення можливо заліковування деяких дефектів. У зоні АВ відносно низький рівень приросту деформацій і відповідно зростання пошкодження незначний. (рисунок 4.13)

Таким чином, незворотня пошкодженість металу поверхневого шару деталі при обкочуванні відбувається здебільшого в зоні пластичної хвилі, а саме в її вершині. Ця пошкоджуваність частково може заліковуватися, а частина що залишиться буде визначати експлуатаційні характеристики поверхневого шару деталі.

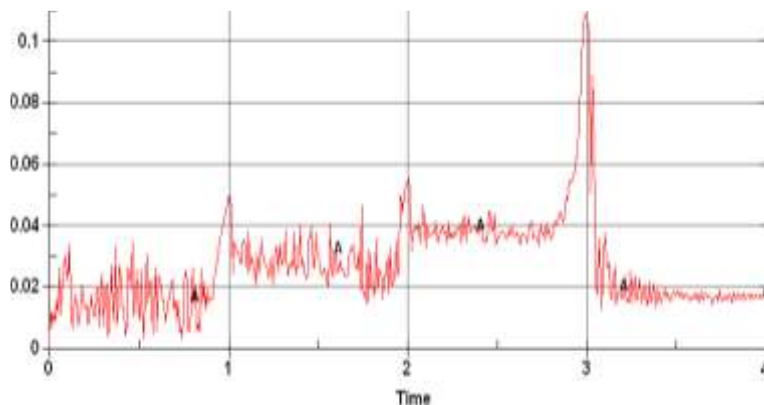


Рисунок 1.3 – Інтенсивність напружень

Отже в роботі виконано чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталей при обкочуванні роликом з використанням МСЕ, в результаті якого встановлено напружено-деформований стан матеріалу в залежності від параметрів обкочування.

Визначено напружено-деформований стан в осередку деформації при вдавлюванні тороїдального ролика з довільною кривизною робочої поверхні в поверхню довільної кривизни.

Виконано дослідження процесу обкочування та визначено вплив технологічних факторів на твердість поверхневого шару та шорсткість отримуваної поверхні.

Із отриманих залежностей можна зробити висновок, що після обкочування шорсткість поверхні деталей із Сталі 3 та Сталі 20 знизилася на 1 клас, а на деталі, виготовленій із сталі 45, вдалося отримати майже дзеркальну поверхню. Крім того встановлено, що твердість зростає при повторному обкочуванні, але на величини значно менші ніж отримані після першого проходу. Наприклад, при обкочуванні сталі 45, що мала вихідну твердість 211 МПа, після одноразового обкочування було досягнуто 278 МПа, а після триразового обкочування ця величина складала 286 МПа.

Шорсткість значно знижується після першого проходу, після другого залишається майже незмінною, а вже після 3-4 проходів клас шорсткості знову зростає.

Отже потрібно комплексно підходити до вибору всіх технологічних параметрів при обкочуванні деталей, що дозволить отримати якісну поверхню після обробки

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.

Прийняті такі коефіцієнти закріплення операцій:

$K_{з.о.} = 1$ – масове виробництво;

$1 < K_{з.о.} \leq 10$ – великосерійне виробництво;

$10 < K_{з.о.} \leq 20$ – середньосерійне виробництво;

$20 < K_{з.о.} \leq 40$ – дрібносерійне виробництво.

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 поверхонь $\varnothing 45$, $\varnothing 35$ та $\varnothing 50$. Для записаних в таблиці 1.1 переходів механічної обробки наближено визначено основний час механічної обробки $T_{осн}$, наприклад для точіння поверхні $\varnothing 35_{к6}$ на довжину 13мм (попереднє та остаточне точіння):

$$T_{осн} = 0,18 \cdot 2 \cdot 11 \cdot 35 \cdot 0,001 = 0,0936 \text{ (хв)}$$

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 :

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

Для точіння поверхні $\varnothing 35k6$ отримаємо:

$$T_{шт-к} = 0,0936 \cdot 1,98 = 0,19 \text{ (хв.)}$$

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

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

де $N = 6400$ 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:

$$C_{p1} = 6400 \cdot (0,19 + 0,1 + 0,9 + 0,5) / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,06$$

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 $\varnothing 35$ к6 він рівен 0,062.

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 $\varnothing 35$ к6 отримаємо:

$$O_1 = 0,75 / 0,062 = 12,17$$

Аналогічно виконано розрахунки для інших типових переходів механічної обробки. При попередньому і остаточному точінні поверхні $\varnothing 40$ та довжиною 32 мм і поверхні $\varnothing 50$ довжиною 53 мм:

$$T_{оч} = 0,18 \cdot 40 \cdot 32 \cdot 0,001 = 0,225 \text{ (хв.)};$$

$$T_{шт-к} = 0,225 \cdot 1,98 = 0,45 \text{ (хв.)};$$

$$T_{оч} = 0,2 \cdot 40 \cdot 32 \cdot 0,001 = 0,125 \text{ (хв.)};$$

$$T_{шт-к} = 0,125 \cdot 1,98 = 0,25 \text{ (хв.)};$$

$$T_{оч} = 0,18 \cdot 50 \cdot 53 \cdot 0,001 = 0,1 \text{ (хв.)};$$

$$T_{шт-к} = 0,1 \cdot 1,98 = 0,2 \text{ (хв.)};$$

$$T_{оч} = 0,2 \cdot 50 \cdot 53 \cdot 0,001 = 0,056 \text{ (хв.)};$$

$$T_{шт-к} = 0,056 \cdot 1,98 = 0,11 \text{ (хв.)};$$

$$C_{p1} = 6400 \cdot (0,45 + 0,25 + 0,2 + 0,11) / 60 \cdot 3890 \cdot 0,75 = 0,04;$$

$$O_1 = 0,75 / 0,04 = 20,44.$$

Сумарна кількість операцій, що можуть бути виконані на всіх робочих місцях

$$\sum O_i$$

$$\sum O_i = 12,17 + 20,44 = 32,61$$

Сумарна кількість прийнятих верстатів $\sum P = 2$

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

$$K_{з.о.} = 32,61 / 2 = 16,31$$

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 попере- дне Ø35к6 двічі	0,09	0,19	6400	3890	0,06	1	0,75	0,062	12,17	16,31
2.	Точіння остато- чне Ø35к6	0,052	0,1								
3	Точіння попере- дне Ø45 двічі	0,453	0,9								
4	Точіння остато- чне Ø45	0,252	0,5								
5	Точіння попере- дне Ø35 двічі	0,225	0,45			0,04	1		0,037	20,44	
6	Точіння остато- чне Ø35	0,125	0,25								
7	Точіння попере- дне Ø50 двічі	0,1	0,2								
8	Точіння остато- чне Ø50	0,056	0,11								
	Всього		2,69				2			32,61	

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;

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

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

Відповідно середній штучно-калькуляційний час виконуваних переходів становитиме:

$$T_{шт-\kappa_i} = (0,19 + 0,1 + 0,9 + 0,5 + 0,45 + 0,25 + 0,2 + 0,11) / 8 = 0,34 \text{ (хв.)}$$

Отже добова продуктивність лінії становитиме:

$$Q_o = \frac{952}{0,34 \cdot 0,8} = 2266 \text{ (шт)}$$

Потрібний добовий випуск виробів:

$$N_o = \frac{6400}{254} = 25,2 \text{ (шт)}$$

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).

$$n = \frac{6400 \cdot 12}{254} = 302,36$$

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

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

$$c = \frac{0,34 \cdot 302}{476 \cdot 0,75} = 0,27$$

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

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

$$n_{np} = \frac{476 \cdot 0,75 \cdot 1}{0,34} = 1133 \text{ (шт.)}$$

Приймаємо кількість деталей у партії 1133 шт.

Отже тип виробництва –серійне, форма організації роботи – групова, при цьому кількість деталей в партії для одночасного запуску складає 1133 шт.

2.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі

Деталь вал є складовою редуктора. Вал є ступінчастим і містить цілий ряд точних поверхонь. Багато вимог до форми поверхні і їх взаємного розташування, зокрема всі циліндричні поверхні мають бути співвісні. Зображення деталі наведено на рисунку 2.1.

Виготовляється вал із сталі 45 і піддається термічній обробці. Оскільки даний матеріал має погані ливарні властивості, то заготовка деталі буде отримуватися штампуванням або із прокату (що може бути більш доцільно враховуючи малі перепади діаметрів).

В цілому до нетехнологічних елементів можна віднести глухі отвори, виконані в тоорці деталі. Оскільки при їх свердлінні затруднений вивід стружки, що призводить до нагрівання інструменту, з тих же причин до нетехнологічних елементів відноситься паз під шпонку. Задані вимоги точності та шорсткості можуть бути забезпечені на токарних та свердлильних операціях механічної обробки, тому немає необхідності використовувати додаткові трудомісткі технологічні опе-

рації. А поверхні з підвищеними вимогами точності мають отримуватися на шліфувальних верстатах, або верстатах з підвищеними вимогами точності.

Деталь відноситься до типу тіл обертання, тому для обробки її поверхонь доцільно застосувати високопродуктивні методи обробки, такі як токарна, фрезерна та свердлильна механічні обробки.

Вказані на кресленні допустимі відхилення розмірів та шорсткості співрозмірні між собою та відповідають вимогам стандартів. Відхилення геометричної форми та розміщення поверхонь більші за відповідні показники верстатів – це дає можливість забезпечити вимоги точності на даному обладнанні.

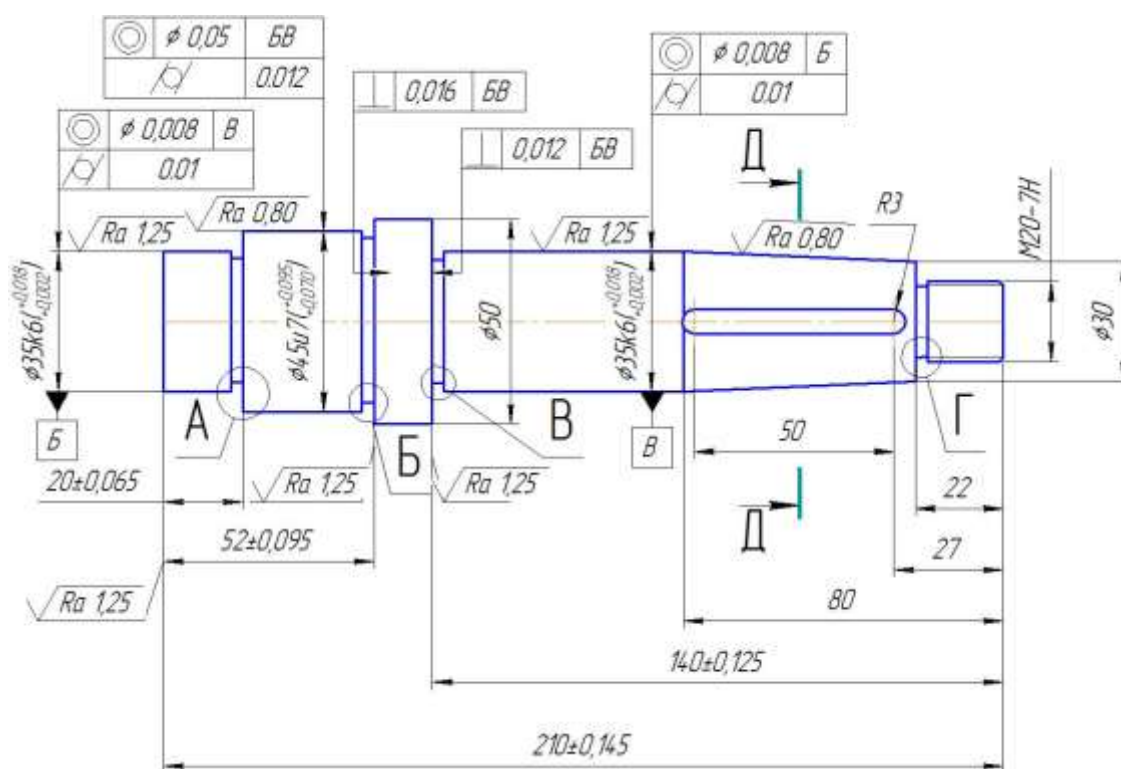


Рисунок 2.1 – Вал

Більшість розмірів даного креслення можуть безпосередньо вимірюватися за допомогою універсального вимірювального обладнання, окрім наступних: допуски співвісності та перпендикулярності, на цю контрольну операцію необхідно виготовити спеціальний вимірювальний пристрій або стенд.

В якості базових поверхонь можуть використовуватись розвинені зовнішні діаметральні поверхні, але доцільно використати і штучні технологічні бази – центровочні отвори, які в подальшому полегшать механічну обробку.

Технологічність деталі будемо оцінювати кількісно за допомогою трьох кількісних показників.

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.

$$K_y = (13 + 11 + 6 + 7 + 1) / (15 + 13 + 6 + 7 + 1) = 0,9047 > 0,6.$$

Отже, за даним показником деталь є технологічною.

Таблиця 2.2 – Коефіцієнт уніфікації

Лінійні розміри	Діаметральні розміри	Кутові розміри	Шорсткість	Різь метрична
22*	Ø35	45(6 пов)*	0,8(1пов)*	M20* (2 пов)
27	Ø35		1,25(5пов)*	
80*	Ø40*			
140*	Ø50*			
52	R0,5(4 пов)*			
20*	R1(4 пов)*			
210*	R1*			
10*				
6*				

1(2 пов)*				
3(4 пов)*				
$\Sigma_{\text{заг.}} = 15$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 13$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 6$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 7$	$\Sigma_{\text{заг.}} = 2$
$\Sigma_{\text{уніф.}} = 13$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 11$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 6$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 7$	$\Sigma_{\text{уніф.}} = 2$

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою:

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

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

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
0,8	2 (Ø35)	$0,8 \cdot 1 = 0,8$
1,25	5 (Ø40, Ø40, 52, 105, 43)	$1,25 \cdot 5 = 1,6$
6,3	29	$6,3 \cdot 29 = 176,4$
Всього:	35	184,25

Відповідно до наведених вище даних отримаємо:

$$\text{Ш}_c = 184,25 / 35 = 5,26 \text{ (мкм)}$$

$$K_{\text{ш}} = 1 / 5,26 = 0,1899 < 0,32.$$

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 2.3.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнт точності

Квалітет	Кількість розмірів	Розрахунок
6	2 (Ø35к6)	6·1=6
7	1 (Ø45)	7·1=7
9	1 (10)	9·1=9
11	4 (140, 52, 20, 210)	11·4=44
12	1 (6)	12·1=12
14	27	14·27=364
Всього	55	448

Відповідно отримаємо:

$$T_c = 448/35 = 12,8$$

$$K_T = 1 - 1/12,8 = 0,9219$$

Отже деталь технологічна за якісними і кількісними показниками.

2.3 Вибір способу виготовлення заготовки

Оскільки матеріал деталі Сталь 40Х, 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 штампів 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.

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.

Вхідні дані	Штамповка на КГШП (закриті штампи)								
Клас точності	Т3								
Марка матеріалу	М2								
Ступінь складності	С2								
Індекс	10								
Конфігурація поверхні роз'єму штампа	П								
Припуски Додаткові: На зміщення по по- верхні роз'єму штампа	0,3								
Для врахування вигнутості і ві- дхилення від площинності	0,4								
Радіуси заокруглень	2,5								
Основні припуски	Розрахункові розміри, мм								
	Ø35	Ø40	Ø50	Ø20	52	105	43	210	22
	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5	1,2	1,4
Розміри заготовки	39,2	49,2	54,4	24,4	52,3	107,7	43,22	214,8	22,2
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	1,6 +1.1 -0,5	1,6 +1.1 -0,5	2,2 +1.4 -0,8	1,4 +0,9 -0,5
По величині зміщення роз'ємну штампа	0,6								
По вигнутості від площинності і прямолінійності	0,5								
Радіусів заокруглень	0,5								
Допустима величина заусенця	5,0								

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 40Х, що відповідно містить 0,4% 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]:

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

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

Відповідно отримаємо:

$$M_{п.р.}=1,4 \cdot 1,3=1,82 \text{ (кг)}$$

Вал вписується у циліндр, маса якого складатиме:

$$M=24^2 \cdot 3,14 \cdot 190 \cdot 7,814 \cdot 10^{-6} \cdot 1,05^3=3,6 \text{ (кг)}$$

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

$$1,82/3,6=0,505$$

Отже згідно із ГОСТ 7505-89 поковка матиме 2 ступінь складності (С2).

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 Ø36 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 4.

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 (ТЗ) та найбільшого розміру заготовки (190 мм) в даному випадкові складає 0,4 мм відповідно.

З врахуванням прийнятих припусків при штампуванні на КГШП:

$$\text{Ø } 35 + (1,5 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 39,2 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø } 45 + (1,5 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 49,2 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø } 50 + (1,6 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 54,4 \text{ (мм);}$$

$$\text{Ø } 20 + (1,6 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = \text{Ø } 24,4 \text{ (мм);}$$

$$210 + (1,8 + 0,3 + 0,3) \cdot 2 = 214,8 \text{ (мм);}$$

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 45.

Розраховуємо граничні розміри заготовки:

$$\varnothing 50 + 2 \cdot 2 = 54 \text{ (мм)}.$$

Найближчий більший гостований прокат 55 ГОСТ 19903-74, [4].

Лінійний розмір 190 буде дорівнювати сумі номінального розміру і подвоєному припуску на підрізання торцю.

$$210 + 2 \cdot 5 = 220 \text{ (мм)}.$$

Отже, з гостованого 5500х $\varnothing 55$ мм прокату, врахувавши припуск на розрізку і обробку торцю прокату 220х $\varnothing 54$ - ми одержимо 25 заготовок, оскільки дана кількість кратна програмі випуску 6400 шт, то робимо висновок, що даний спосіб відрізання заготовок найоптимальніший.

При цьому прокат обирають виготовлений за 16 квалітетом точності, і відповідно допуски на отримувані розміри складатимуть: $220_{-2,9}$, $\varnothing 55_{-1,9}$.

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 $-3 - 5^0$.

Призначаємо 5^0 .

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

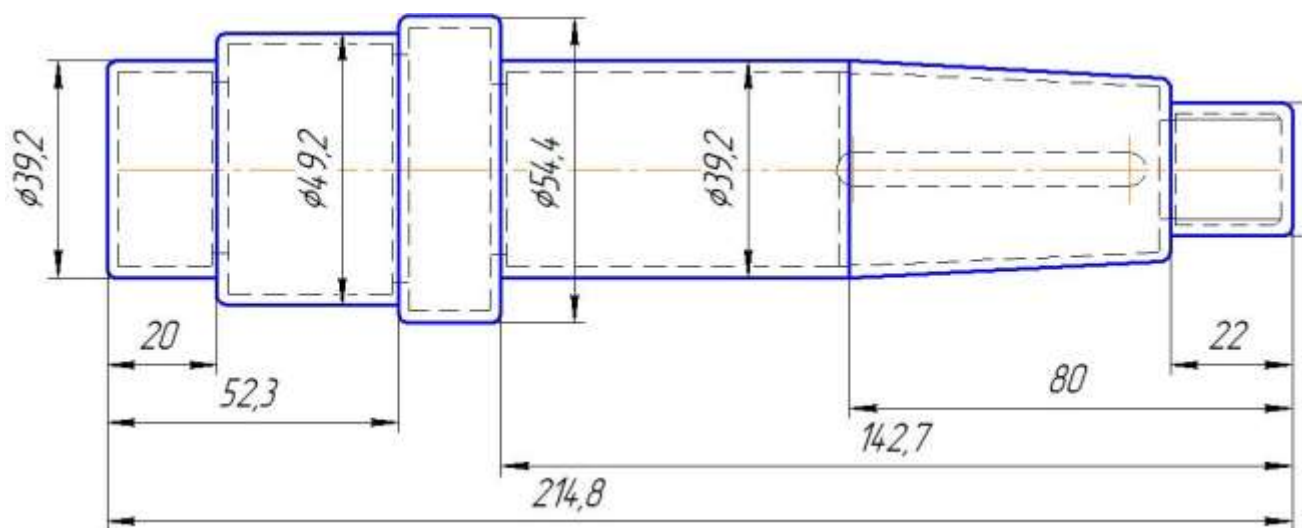


Рисунок 2.3- Заготовка отримана штампуванням на КГШП

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

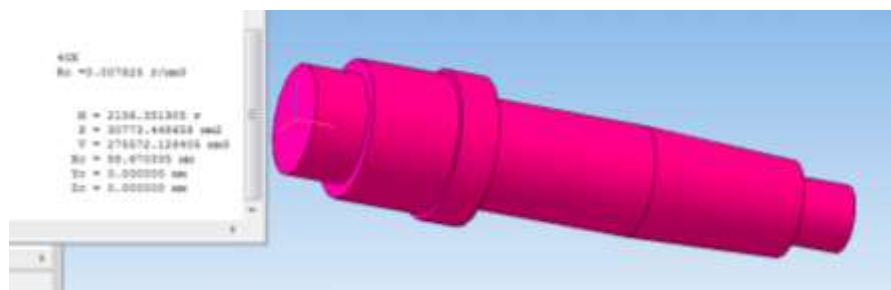


Рисунок 2.4 – МЦХ штамовки

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$\gamma = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}} = 1,68/2,15 = 0,78$$

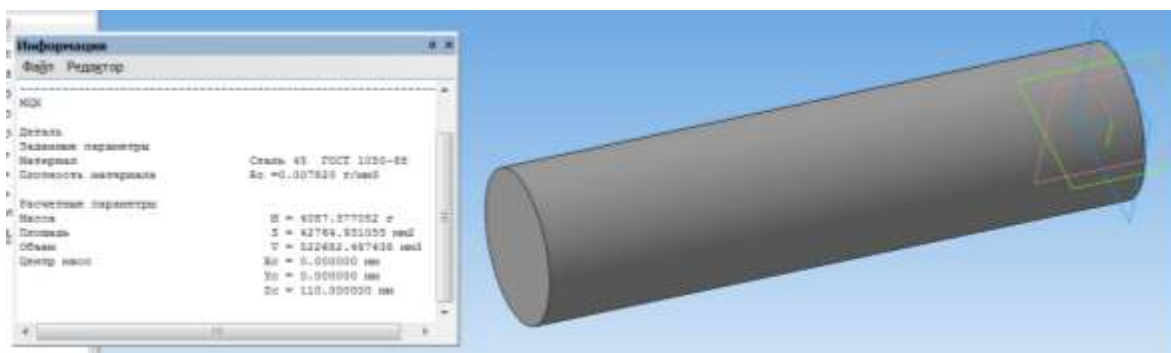


Рисунок 2.5 – МЦХ прокату

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$\gamma = G_{\text{дет}} / G_{\text{заг}} = 1,68/4,09 = 0,41$$

Коефіцієнт використання матеріалу при штампуванні на КГШП більший ніж при прокатуванні. Це означає, що при одержанні заготовки на пресах менше матеріалу знімається у вигляді стружки з поверхонь заготовки при механічній обробці, тобто заготовка більш наближена до готової деталі.

Вартість заготовки – це економічний показник, який впливає на собівартість виготовлення деталі. Для того, щоб надати перевагу якомусь способу штампування необхідно визначити вартість заготовок.

Вартість заготовки визначаємо за формулою, [4]:

$$C_{\text{заг.}} = \left(\frac{G_{\text{заг.}}}{1000} \cdot C_{\text{шт.}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} \right) - \left(\frac{G_{\text{заг.}} - G_{\text{дет.}}}{1000} \right) \cdot C_{\text{відх.}}, [\text{грн}] \quad (2.18)$$

де

$G_{\text{заг.}}$ = 2,15 кг – маса заготовки;

$G_{\text{дет.}}$ = 1,68 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_P – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва;

$C_{\text{відх}}$ – вартість 1 т. стружки, для сталі $C_{\text{відх}} = 1520$.

Призначаємо коефіцієнти: $K_T = 1$, $K_M = 1,0$, $K_C = 0,75$, $K_B = 1,33$, $K_P = 1,0$.

– Штампування на КГШП:

$$C_{\text{заг.шт.}} = \frac{2,15 \cdot 18730 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1,33 \cdot 1,0}{1000} - \frac{(2,15 - 1,68)}{1000} 1520 = 39,47 \text{ (грн.)}$$

Вартість заготовки визначаємо за формулою, [2]:

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

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

C_M – вартість 1 т матеріалу заготовки, грн;

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

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

$C_M = 5000$ грн, $C_{\text{відх}} = 1520$ грн

$$C_{\text{заг.шт.}} = \frac{4,09 \cdot 5000}{1000} - \frac{(4,09 - 1,68)}{1000} 1520 = 16,79 \text{ (грн.)}$$

Отже, після розрахунку вартості заготовок бачимо, що вартість прокатної заготовки менша ніж на КГШП пресах.

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:

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

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 $\varnothing 35$ довжиною 20мм та 60 мм, $\varnothing 45$ довжиною 32 мм, $\varnothing 50$ довжиною 18 мм, $\varnothing 35$ довжиною 53мм та $\varnothing 20$ довжиною 22 мм. Враховуючи, що для цього необхідно всі поверхні точити двічі, основний час складатиме:

$$T_{o1} = 0,17 \cdot 2 \cdot (35 \cdot 80 + 45 \cdot 32 + 50 \cdot 18 + 35 \cdot 53 + 20 \cdot 22) \cdot 0,001 = 2,53 \text{ (хв.)};$$

$$T_{\text{шт-к(шт.)}1} = 2,53 \cdot 2,14 = 5,41 \text{ (хв.)};$$

$$C_{\text{обр}} = 5,41 \cdot 0,63 / 1,3 = 2,62 \text{ (грн.)};$$

$$C_{\text{заг}} = 16,79 + 2,62 = 19,41 \text{ (грн.)}$$

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_3 – 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]. Створюючи маршрут обробки поверхні виходять з того, що кожен наступний метод повинен бути більш точним ніж попередній. Технологічний допуск на проміжний розмір і якість поверхні, що отримані на попередньому етапі обробки повинні мати числові значення, за яких можливе. Відповідно до наведених вище вимог визначимо кількість переходів і способи та методи попередньої та остаточної обробки для отвору $\varnothing 35k6$, враховуючи, що допуск точності заготовки (допуск після чорнового точіння) складає 0,62 мм:

$$\varepsilon = 0,62 / 0,02 = 31$$

Отже можна проводити обробка за чотири переходи і призначаємо:

$$\varepsilon_1 = 5$$

$$\varepsilon_2 = 4$$

Відповідно тоді ступень уточнення другого переходу складатиме:

$$\varepsilon_3 = \varepsilon / \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2$$

Тобто:

$$\varepsilon_3 = 31 / 5 \cdot 4 = 1,55$$

Допуск складатиме:

$$T_1 = 0,62 / 5 = 0,129 \text{ мм}$$

$$T_2 = 0,129 / 4 = 0,031 \text{ мм}$$

$$T_3 = 0,031 / 1,55 = 0,02 \text{ мм}$$

Остаточно приймаємо наступні переходи механічної обробки даної поверхні:

точіння попереднє (12 квалітет точності); точіння попереднє (9 квалітет точності);
точіння остаточне (7 квалітет точності); шліфування(6 квалітет точності)

2.5 Вибір чистових і чорнових технологічних баз

При виборі чистових баз ми маємо мінімізувати похибку базування на отримуваних розмірах. Відповідно в якості чистових баз запропонована схема базування в центрах, оскільки розміри ала є великі і необхідно уникнути биття і прогину заготовки під час механічної обробки.

Таблиця 2.6– Аналіз вибору технологічних баз на операції 010

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Токарна з ЧПК	Ø45, Ø35	відсутня	Діаметральний розмір
	20, 52, вимога співвідносно бази А,	відсутня	Обробка з одного установу
	Вимога співвідносно бази Б	відсутня	Виконується принцип суміщення вимірювальної та технологічної баз

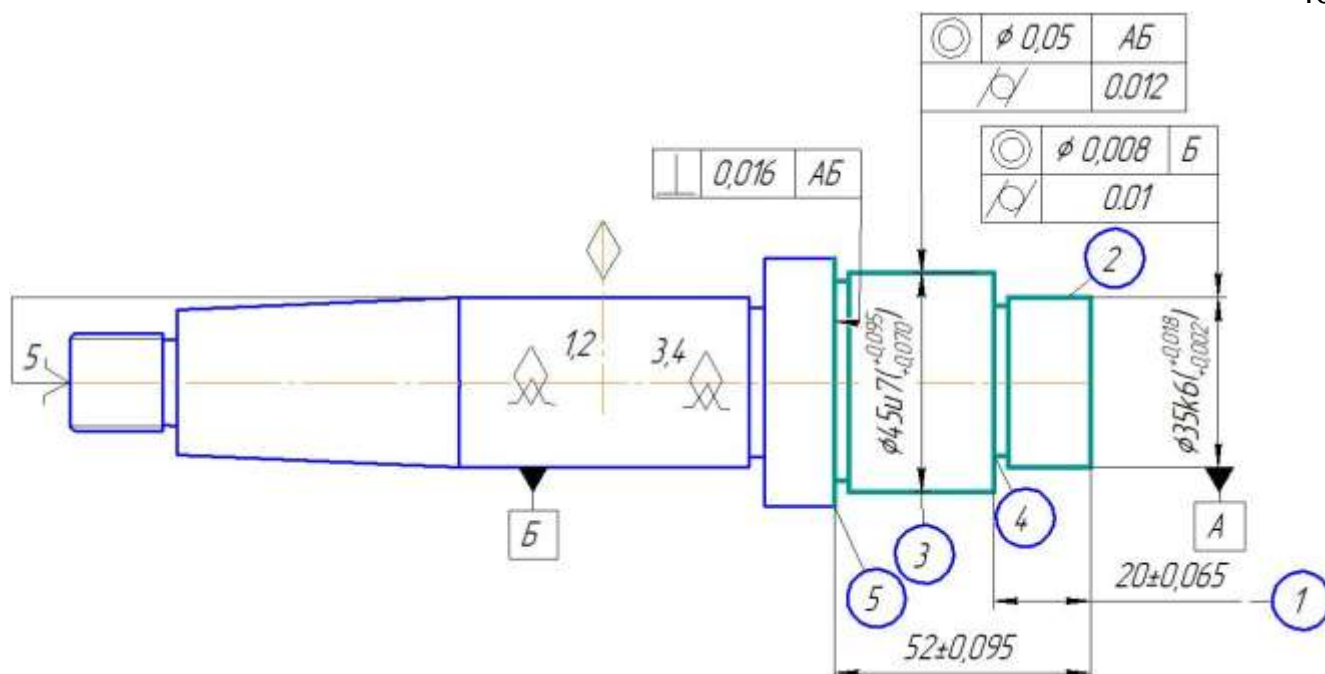


Рисунок 2.6 – Схема базування на операції 010 (чистові технологічні бази)

Таблиця 2.7– Аналіз вибору технологічних баз на операції 015

Назва операції	Розмір чи вимога точності	Відсутність чи наявність похибки базування	Фактор, який забезпечує відсутність чи зумовлює наявність похибки базування
Фрезерна	27	відсутня	Виконання принципу суміщення баз
	50,10	відсутня	Обробка з одного установка
	6	наявна	Рівна допускові на розмір $\varnothing 30$, що складає 0,02 мм. Це значно менше допуску на розмір 6 (0,2 мм).

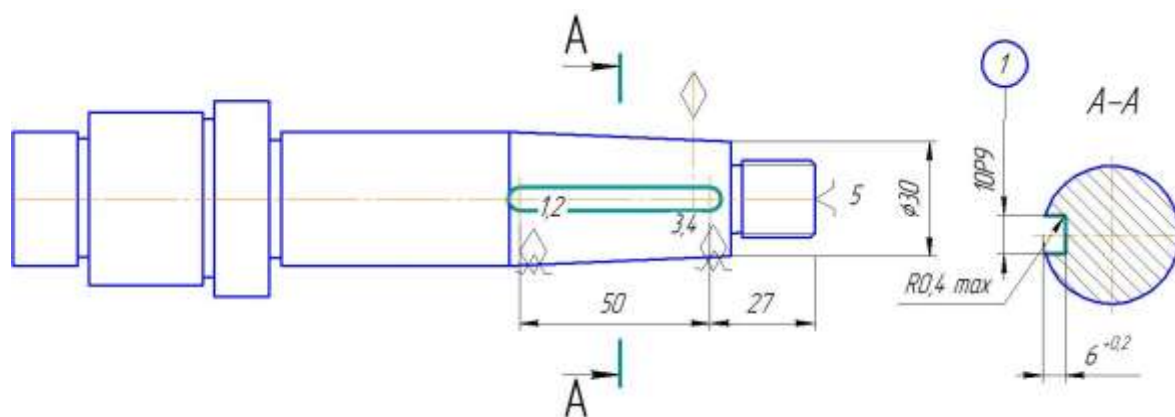


Рисунок 2.7 – Схема базування на операції 015 (чистові технологічні бази)

На операції 020 обробляється тонко циліндрична поверхня, при цьому похибка базування на діаметральні розміри рівна 0.

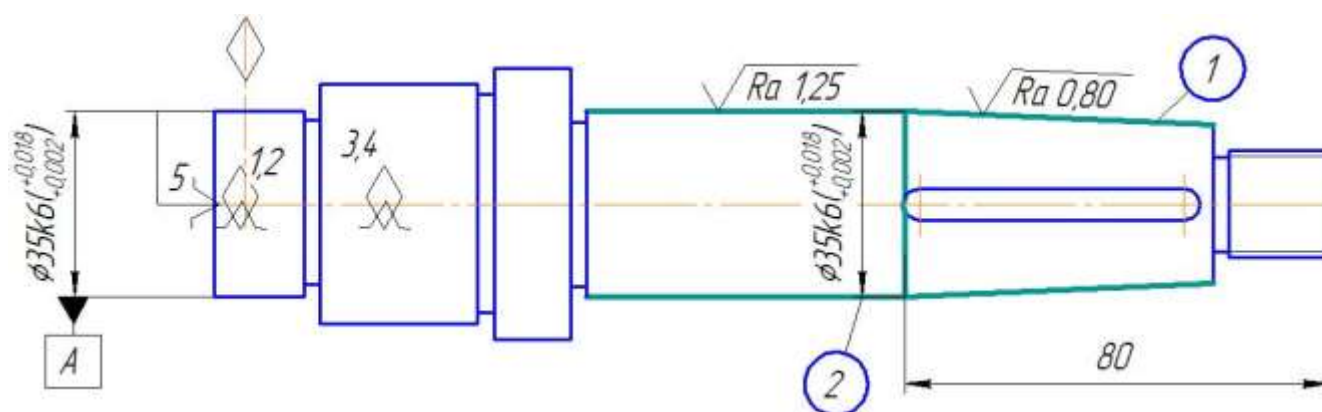


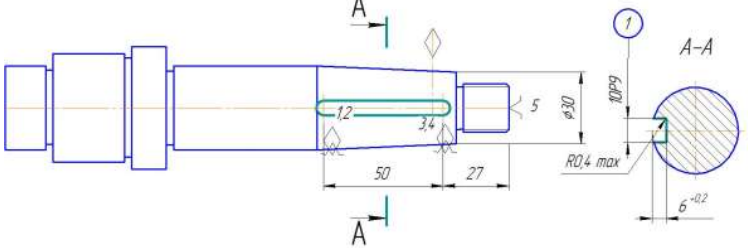
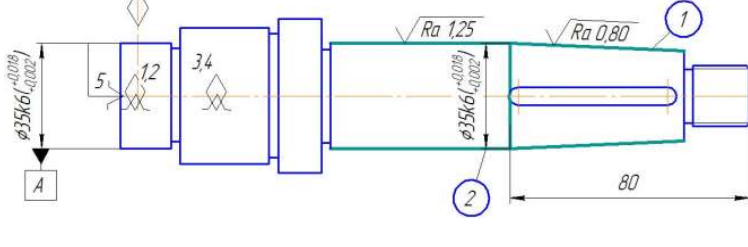
Рисунок 2.8 – Схема базування на операції 020 (чистові технологічні бази)

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

Таблиця 2.8 - Маршрут механічної обробки

№ операцій	Зміст операцій та переходів	Схема базування	Мо- дель вер- стата
1	2	3	4
005	Токарно-револьверна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити торець 1, поверхні 2,3,5 з підрізкою торця попередньо 3 Точити поверхні 3 та 5 попередньо 4 Точити канавки 4 та 6 5 Нарізати різь на поверхні 2 6 Точити остаточно поверхні 3 та 5 7 Зняти заготовку		Токарно-револьверний з ЧПК1П420ПФ30
010	Токарно-револьверна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити торець 1, поверхні 2,3 попередньо, 5 одноразово 3 Точити торець 1 остаточно, поверхню 3 попередньо 4 Точити канавку 4 5 Нарізати різь на поверхні 2 6 Точити остаточно поверхню 3 7 Зняти заготовку		Токарно-револьверний з ЧПК1П420ПФ30

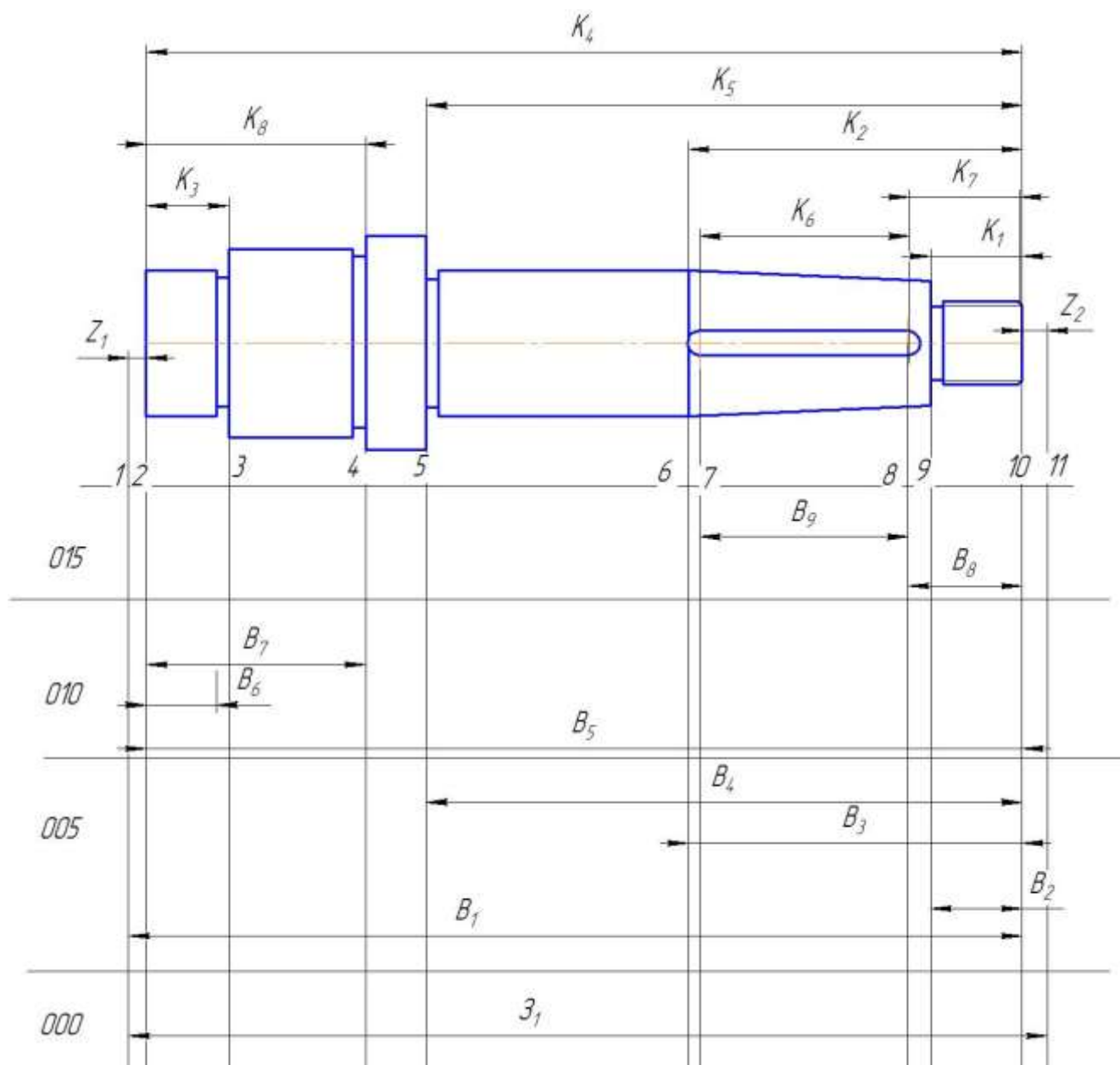
Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4
015	<u>Вертикально-фрезерна з ЧПК</u> 1 встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати паз 1 3 Зняти заготовку		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3
020	<u>Токарня з ЧПК</u> 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити поверхню 1 тонко 3 Зняти деталь		Токарний високої точності МК6801Ф3

2.7 Розмірний аналіз технологічного процесу

Головна задача розмірного аналізу технологічного процесу – правильне та обґрунтоване визначення проміжних та остаточних розмірів і допусків на них. Особливо цього потребують проміжні розміри, що зв'язують протилежні поверхні. Визначення припусків на такі поверхні розрахунково-аналітичним або табличним методом дуже трудомістке. В той же час робота на налагоджених верстатах потребує детальної проробки всіх проміжних розмірів з тим, щоб на заключних переходах автоматично забезпечувались остаточні розміри. Правильне розв'язання цієї задачі забезпечує 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.



Рисунки 2.10 – Розмірна схема першого технологічного процесу

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 припусків.

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. Відповідно припуск на розмір B_1 складатиме 0,29 мм, а на розмір заготовки Z_1 0,46 мм.

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

Граф, складений із конструкторських розмірів $K_1K_2...$ і припусків називається вихідним графом (деревом).

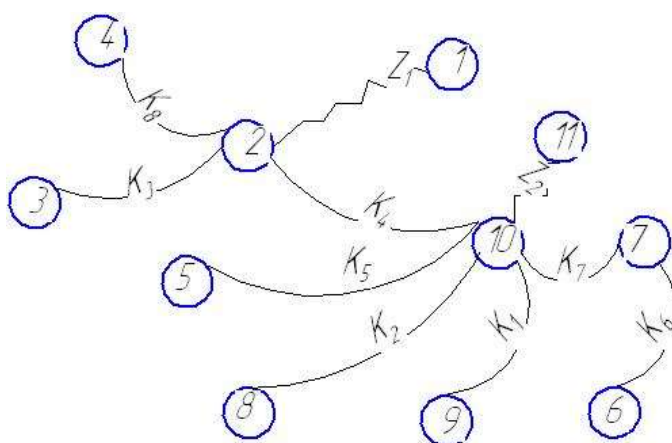


Рисунок 2.11 – Вихідний граф-дерево

Граф, складений із технологічних розмірів $B_1B_2...$ і розмірів заготовки $Z_1Z_2...$ називається похідним графом.

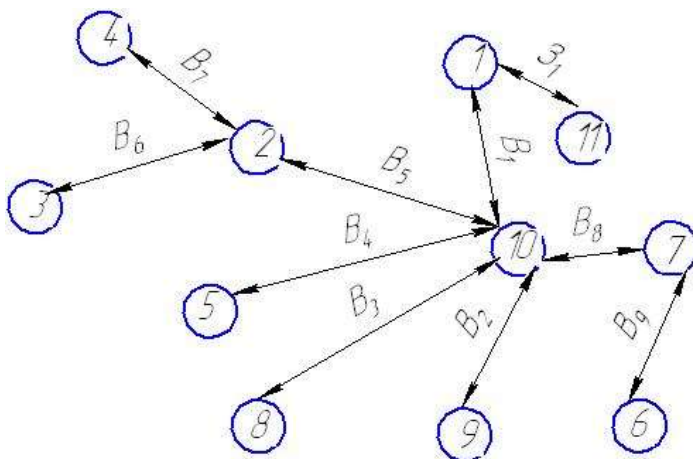


Рисунок 2.12 – Похідний граф-дерево

Суміщений граф являє собою графічне зображення ТП механічної обробки.

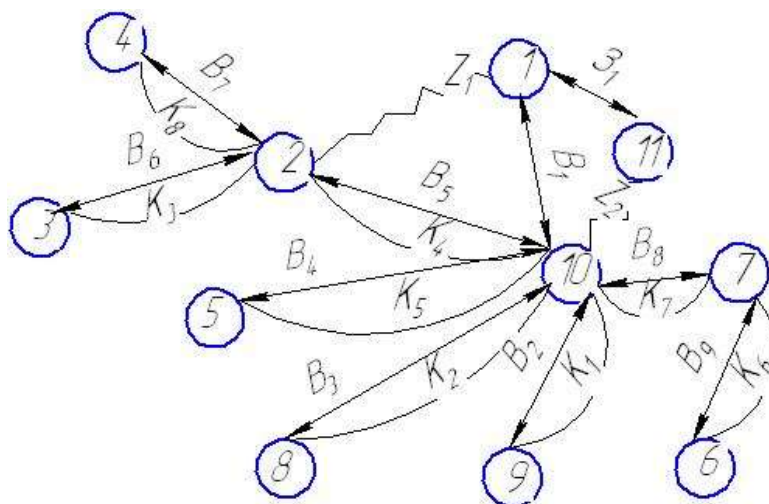


Рисунок 2.13 – Суміщений граф-дерево

Оскільки обробляється 2 торці, то припуски на їх точіння складатимуть 1,5 мм.

Використовуючи граф-дерева заносимо розрахункові рівняння до таблиці 4.6

Таблиця 2.9 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома лан-ка
1	$B_2 - K_1 = 0$	$B_2 = K_1$	B_2
2	$B_3 - K_2 = 0$	$B_3 = K_2$	B_3
3	$B_4 - K_5 = 0$	$B_4 = K_5$	B_4
4	$B_5 - K_4 = 0$	$B_5 = K_4$	B_5
5	$B_6 - K_3 = 0$	$B_6 = K_3$	B_6
6	$B_7 - K_8 = 0$	$B_7 = K_8$	B_7
7	$B_8 - K_7 = 0$	$B_8 = K_7$	B_8
8	$B_9 - K_6 = 0$	$B_9 = K_6$	B_9
9	$B_5 + Z_1 - B_1 = 0$	$Z_1 = B_1 - K_5$	B_1
10	$B_1 + Z_2 - 3_1 = 0$	$Z_2 = 3_1 - B_1$	3_1

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

$$B_2 = K_1 = 22^{\pm 0,26};$$

$$B_3 = K_2 = 43^{\pm 0,37};$$

$$B_4 = K_5 = 105^{\pm 0,125};$$

$$B_5 = K_4 = 210^{\pm 0,145};$$

$$B_6 = K_3 = 20^{\pm 0,065}$$

$$B_7 = K_8 = 52^{\pm 0,095}$$

$$B_8 = K_7 = 50^{\pm 0,26}$$

Знайдемо технологічні розміри за розмірним ланцюгом:

$$Z_{1 \min} = B_{1 \min} - B_{5 \max};$$

$$B_{1 \min} = 1,5 + 210,145 = 211,145 \text{ (мм)};$$

$$B_{1 \max} = B_{1 \min} + T(B_1) = 211,145 + 0,29 = 211,435 \text{ (мм)};$$

$$B_1 = 211,29^{\pm 0,145}; \text{ (мм)};$$

$$Z_{1 \max} = B_{1 \max} - K_{5 \min} = 211,435 - 209,855 = 1,58 \text{ (мм)};$$

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

$$Z_{1 \min} = 1,5 + 211,435 = 212,935 \text{ (мм)};$$

$$Z_{1 \max} = 212,935 + 0,46 = 213,395 \text{ (мм)};$$

$$Z_1 = 213,16^{\pm 0,23} \text{ (мм)};$$

$$Z_{2 \max} = Z_{1 \max} - B_{1 \min} = 213,395 - 211,145 = 2,25 \text{ (мм)}.$$

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.

Таблиця 2.10 –Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничні значення розмірів		Допуск	Номинальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
	Мінімальний розмір	Максимальний розмір				
Z_1	212,935	213,395	0,46	213,16		$213,16^{+0,23}$
B_1	211,145	211,435	0,29	211,29	$211,29^{+0,145}$	
B_2	21,74	22,26	0,52	22	$22^{+0,26}$	
B_3	42,63	43,37	0,74	43	$43^{+0,37}$	
B_4	104,875	105,125	0,25	105	$105^{+0,125}$	
B_5	209,855	210,145	0,29	210	$210^{+0,145}$	
B_6	19,935	20,065	0,13	20	$20^{+0,065}$	
B_7	51,905	52,095	0,19	52	$52^{+0,095}$	
B_8	26,74	27,26	0,52	27	$27^{+0,26}$	

Таблиця 2.11 – Припуски на механічну обробку

Припуск	Мінімальний, мм	Максимальний, мм
Z_1	1,5	1,58
Z_2	1,5	2,25

2.8 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні

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 $R_z=T=50\text{мкм}$, а на наступному переході відповідно 30мкм , при чистовому точінні – $R_z=20\text{мкм}$, $T=25\text{мкм}$, при шліфуванні - $R_z=10\text{мкм}$, $T=15\text{мкм}$.

Розрахунковий припуск рівен 0, оскільки поверхні утворюються за рахунок знімання напуску.

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

$$2Z_{imin}=2(R_{zi-1}+T_{i-1}+\rho_{i-1}) \text{ [мм]} \quad (2.25)$$

Мінімальний припуск під точіння:

Попереднє точіння:

$$2Z_{1min}=2(200+300+0)=2 \cdot 2370 \text{ (мкм)}$$

попереднє точіння:

$$2Z_{1min}=2(50+50+0)=2 \cdot 212,2 \text{ (мкм)}$$

остаточне точіння:

$$2Z_{2min}=2(30+20+0)=2 \cdot 54,49 \text{ (мкм)}$$

шліфування:

$$2Z_{2min}=2(25+20)=2 \cdot 45 \text{ (мкм)}$$

Розрахункові розміри

При шліфуванні маємо отримати розмір вказаний на кресленні:

$$d=35,002(\text{мм})$$

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

Для остаточного точіння:

$$d_1 = 35,002 + 2 \cdot 0,045 = 35,092 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$d_2 = 35,093 + 2 \cdot 0,05449 = 35,2 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$d_3 = 35,2 + 2 \cdot 0,2122 = 35,625 \text{ (мм)}$$

для заготовки

$$d_4 = 35,625 + 2 \cdot 2,37 = 40,36 \text{ (мм)}$$

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

Для шліфування допуск складає 16 мкм, відповідно для 6 квалітету; для чистового точіння, відповідно для 7 квалітету, допуск складає 35 мкм, для попереднього точіння для 10 і 12 квалітетів допуск відповідно рівний – 87 і 350 мкм та для заготовки, що має 15 квалітет точності, допуск складає 1400 мкм.

Граничні розміри

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:

$$40,4 + 1,4 = 41,8 \text{ (мм)}$$

$$35,63+0,35=35,98 \text{ (мм)}$$

$$35,2+0,087=35,287 \text{ (мм)}$$

$$35,093+0,035=35,127 \text{ (мм)}$$

$$35,002+0,022=35,024 \text{ (мм)}$$

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 шліфування:

$$2Z_{\min 4}=40,4-35,63=4,77 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 4}=41,8-35,98=5,82 \text{ (мм)}$$

для остаточного точіння:

$$2Z_{\min 3}=35,63-35,2=0,43 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 3}=35,98-35,287=0,693 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 2}=35,2-35,092=0,108 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 2}=35,287-35,127=0,16 \text{ (мм)}$$

для попереднього точіння:

$$2Z_{\min 1}=35,092-35,002=0,09 \text{ (мм)}$$

$$2Z_{\max 1}=35,127-35,024=0,103 \text{ (мм)}$$

Всі результати проведених розрахунків записано в таблицю 4.8

На основі даних розрахунку будуємо схему графічного розташування припусків і допусків по обробці циліндричної поверхні

Виконуємо перевірку вірності виконаних розрахунків:

Таблиця 2.12 - Розрахунок припусків і граничних розмірів по технологічним переходам

[illegible]

$$2Z_{\max 4}-2Z_{\min 4}=5820-4770=1050 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_1-\delta_2=1400-350=1050 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{\max 3}-2Z_{\min 3}=693-430=263 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_2-\delta_3=350-87=263 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{\max 2}-2Z_{\min 2}=160-108=52 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_3-\delta_4=87-35=52 \text{ (мкм)}$$

$$2Z_{\max 3}-2Z_{\min 3}=103-90=13 \text{ (мкм)}$$

$$\delta_2-\delta_1=35-22=13 \text{ (мкм)}$$

Отже всі проведені розрахунки є правильними і не потребують уточнення

2.9 Визначення режимів різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів

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 точіння по-

верхні Ø40: попередньо, попередньо та остаточно. При цьому знімаються припуски:

поверхня 1 – припуск 2,2 мм;

поверхня 2 – припуск 2,2 мм;

поверхня 3 – припуски: 2,2; 1,1; 0,4 (мм).

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

$$S_{от1}=0,74 \text{ мм/об};$$

$$S_{от2}= 0,55 \text{ мм}$$

$$S_{от3}= 0,4 \text{ мм}$$

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

1 Коефіцієнт, що залежить від виду інструментального матеріалу (в даному випадкові T14K8) $K_{SU}=1$

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

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

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

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

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

7 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:

$$S_{o1}=0.74 \cdot 0.77=0,567 \text{ (мм/об)};$$

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

Для чистового розточування поправочні коефіцієнти складають:

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

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

3 Коефіцієнт, що залежить від радіуса вершини різця $K_{sr}=0,8$;

4 Коефіцієнт, що враховує кінематичний кут в плані $K_{\phi K}=0,95$;

5 Коефіцієнт, що враховує виліт різця $K_{sl}=0,9$.

6 Коефіцієнт, що враховує квалітет оброблюваної деталі $K_{SK}=1$.

Загальний коефіцієнт становить:

$$K=1 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 1=0,8208$$

Відповідно подача складатиме:

$$S_{o3}=0,4 \cdot 0,8208=0,328 \text{ мм/об};$$

Швидкість різання визначається за таблицями і складає:

$$V_{\text{різ1}}=138 \text{ (м/хв)};$$

$$V_{\text{різ2}}=148 \text{ (м/хв)};$$

$$V_{\text{різ3}}=415 \text{ (м/хв)}.$$

При цьому потужність складає:

$$P_1=3,7 \text{ (кВт)};$$

$$P_2=3,4 \text{ (кВт)}.$$

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

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

2 Коефіцієнт, що враховує групу оброблюваності матеріалу $K_{vc}=1$;

3 Коефіцієнт, що враховує жорсткість верстату $K_{vj}=0,75$;

4 коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу $K_{vm}=1,3$;

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

6 Коефіцієнт, що враховує період стійкості ріжучої частини інструменту $K_{vt}=1,1$;

7 Коефіцієнт, що враховує наявність охолодження (без охолодження) $K_{vj\kappa}=0,75$

8 Коефіцієнт, що враховує вид обробки $K_{vo}=1,2$.

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:

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

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

$$V_{\text{різ3}}=415 \cdot 0,917=380,555 \text{ (м/хв.)}.$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n_3 = 1000 \cdot 105,5 / 3.14 \cdot 40 = 176,84 (\text{об/хв.});$$

$$n_4 = 1000 \cdot 113,1 / 3.14 \cdot 40 = 189,6 (\text{об/хв.});$$

$$n_5 = 1000 \cdot 380,555 / 3.14 \cdot 40 = 637,87 (\text{об/хв.}).$$

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

$$N_1 = 176 (\text{об/хв.});$$

$$N_2 = 189 (\text{об/хв.});$$

$$N_3 = 637 (\text{об/хв.}).$$

Хвилинна подача визначається за формулою:

$$S_M = n \cdot S_O \quad [\text{мм/хв.}] \quad (2.27)$$

В даному випадкові отримаємо:

$$S_{M1} = 176 \cdot 0,567 = 99,792 (\text{мм/хв.});$$

$$S_{M2} = 189 \cdot 0,421 = 79,569 (\text{мм/хв.});$$

$$S_{M3} = 637 \cdot 0,328 = 208,936 (\text{мм/хв.}).$$

2.10 Визначення технічних норм часу на операції

Технічна норма часу, що визначає затрати на механічну обробку (складання чи інші роботи) являється основною для оплати праці, калькуляції собівартості деталі і виробу.

Визначення технічних норм часу на операції. Для операції 005 детальне визначення норми часу. Для решти операцій норми часу і їх складові зведені у таблиці. Технічні норми часу в умовах серійного виробництва визначається як норма штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{ум-к}} = \frac{T_{nz}}{n} + T_{\text{ум}} [x\text{в}], \quad (2.28)$$

де T_{nz} - підготовчо-заклучний час, що для операції 005 в умовах середньосерійного типу виробництва рівний сумі

$$T_{nz} = T_{nz_1} + T_{nz_2} + T_{\text{пр.обр}} [x\text{в}], \quad (2.33)$$

де T_{nz_1} - норма часу на організаційну підготовку; T_{nz_2} - норма часу на наладку верстата, пристосування, інструмента, програмних пристроїв та час на пробні ходи за програмою або пробну обробку деталі; $T_{\text{пр.обр}}$ - норма часу на пробну обробку.

Для визначення вище вказаних норм підготовчо – заключного часу зведемо їх в таблиці 2.20.

$T_{\text{ум}}$ - норма штучного часу, що визначається за формулою:

$$T_{\text{ум}} = (T_{\text{ц.а}} + T_{\text{д}}) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{мех}} + a_{\text{орг.}} + a_{\text{вдн}}}{100}\right) [x\text{в}], \quad (2.29)$$

де $T_{\text{ц.а}}$ - час циклу автоматичної роботи верстата за програмою:

$$T_{\text{ц.а}} = T_{\text{О}} + T_{\text{МД}} [x\text{в}], \quad (2.35)$$

де $T_{\text{О}}$ - основний час:

$$T_{\text{О}} = \sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{x\text{в}.i}} = 2,04 (x\text{в}), \quad (2.30)$$

Таблиця 2.13 - Норми підготовчо – заключного часу

№	Зміст роботи	Час, хв
1	Організаційна підготовка	8
	Загальний час T_{nz_1}	8
2	Наладка верстата, пристосування, інструмента, програмних пристроїв: Встановити початкові режими роботи верстата (число обертів шпинделя, подачу тощо)	0,3
3	Встановити різальні інструменти (блоки) в револьверній голо- вці та зняти (п'ять інструментів)	0,3
4	Набрати програму на пульті управління пристрою ЧПК і пере- вірити її	$5 \cdot 1 = 5$ $0,4 \cdot 10 = 4$
5	Встановити початкові координати X та Z (настроїти нульове положення)	2,5 11,8
	Загальний час T_{nz_2}	
6	Пробна обробка	
7	Деталь має поверхні з допусками на діаметри вище IT11 та фа- ски	8,8
	Кількість інструментів у наладці – 5	8,8
	Загальний час $T_{пр.обр}$	
	Загальний підготовчо – заключний час на партію деталей: $T_{nz} = T_{nz_1} + T_{nz_2} + T_{пр.обр}$	28,6

$T_{мд}$ - машинно – допоміжний час при роботі верстата за керуючою програмою (на відведення деталі або інструменту від початкових точок в зони обробки та їх відведення, установку інструменту на розмір, зміну інструменту, зміну величину пряму подачі, час технологічних пауз і т.д.) $T_{мд} = 1 \text{ хв}$;

T_{∂} - допоміжний час, що можна знайти за формулою:

$$T_{\partial} = T_{\partial.y} + T_{\partial.on} + T_{\partial.вим} [\text{хв.}], \quad (2.31)$$

де $T_{\partial.y}$ - допоміжний час на зняття і установку деталі; $T_{\partial.on}$ - допоміжний час, пов'язаний з операцією, що не увійшла в керуючу програму; $T_{\partial.вим}$ - допоміжний час на контрольні вимірювання.

Отже підставивши відповідні значення отримаємо:

$$T_{\partial} = T_{\partial.y} + T_{\partial.on} + T_{\partial.вим} = 0,8 + 0,44 + 0,35 = 1,59 \text{ (хв.)},$$

де $a_{tex}, a_{орг.}, a_{вон}$ - час на організаційне обслуговування робочого місця, час на технічне обслуговування робочого місця, час перерв на відпочинок та особисті потреби відповідно. $a_{tex} + a_{орг.} + a_{вон} = 8 \text{ (хв.)}$;

Отже визначаємо штучний час на операції 005

$$T_{шт} = (T_{ц.a} + T_{\partial}) \cdot \left(1 + \frac{a_{tex} + a_{орг.} + a_{вон}}{100}\right) = (2,04 + 1,59) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 3,92 \text{ (хв.)}.$$

Штучно – калькуляційний час на операції 005:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{нз}}{n} + T_{шт} = \frac{28,6}{235} + 3,92 = 4,05 \text{ (хв.)}.$$

Оскільки

$$T_{шт-к} = \varphi_k \cdot T_O [\text{хв.}], \quad (2.32)$$

де φ_e - коефіцієнт який залежить від типу виробництва і виду верстату.

Для інших операцій механічної обробки, отримані значення технічних норм часу зводимо у таблицю 2.14.

Таблиця 2.14 – Значення технічних норм часу на операціях механічної обробки

№ операцій	Основний час t_o , хв	Штучний час $t_{шт}$, хв
005	3,15	4,10
010	1,75	2,27
015	0,30	0,42
020	0,99	1,29

3 ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

3.1. Розрахунок приведеної програми

При серійному типі виробництва можна використати приведену програму для подібних виробів, що дозволить розробляти технологічну документацію відразу на декілька виробів, а точніше розробляється технологічний процес на одну деталь представника, а всі інші приводяться до неї за допомогою коефіцієнта приведення, що визначається за такою формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (3.1)$$

де K_1 – коефіцієнт приведення по масі; K_2 – коефіцієнт приведення по серійності; K_3 – коефіцієнт приведення по складності.

$$K_1 = \sqrt[3]{\left(\frac{m_i}{m_{\text{пр}}}\right)^2} \quad (3.2)$$

m_i - маса i -ї деталі, $m_{\text{пр}}$ - маса представника

Для деталі вал 1 отримаємо:

$$K_{11} = \sqrt[3]{\frac{1.4}{1.68}} = 0,885$$

Коефіцієнт приведення по серійності:

$$K_2 = \left(\frac{N_{\text{пр}}}{N_i}\right)^\alpha \quad (3.3)$$

де N-програма випуску представника, програма випуску i-ї деталі, N- показник степені, що складає для середнього машинобудування 0,15, а для важкого машинобудування 0,2.

В даному випадкові отримаємо:

$$K_{21} = \left(\frac{6400}{5400} \right)^{0.15} = 1.026$$

Коефіцієнт приведення по складності:

$$K_3 = \left(\frac{\bar{K}_{Ti}}{\bar{K}_{T.пр.}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{\bar{R}_{ai}}{\bar{R}_{a.пр.}} \right)^{\alpha_2} \quad (3.4)$$

K_{Ti} , $K_{T.пр.}$ - середнє значення точності деталі і представника; R_{ai} , $R_{a.пр.}$ - середнє значення шорсткості деталі і представника.

Для даної деталі коефіцієнт визначається:

$$K_{31} = \left(\frac{12,5}{12,8} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{6,8}{5,26} \right)^{\alpha_2} = 1,125$$

Коефіцієнт приведення для золотника складає:

$$K_1 = 1,125 \cdot 0,885 \cdot 1,026 = 1,021$$

Отримані результати занесено до таблиці 4.1. Отже при подальших розрахунках кількості обладнання, працівників буде використовуватися приведена програма, тобто проектується діляниця, на якій вироблятиметься дві подібні деталі.

Таблиця 3.1 – Приведена програма виробництва

Найменування деталі	Маса, кг	Програм випуску, шт	Коефіцієнт приведення по			Коефіцієнт приведення	K·N
			масі	точності	серійності		
Вал	1,68	6400	1	1	1	1	640
Вал 1	1,4	5400	0,88	1,025	0,125	1,021	5515
Вал 2	1,4	4800	0,88	1,044	0,934	0,975	4682
Всього						16597	

3.2 Визначення кількості верстатів і коефіцієнтів завантаження

Кількість верстатів визначається за формулою:

$$C_p = T_{\text{пр}} / (\Phi_d \cdot m) \quad (3.5)$$

де $T_{\text{пр}}$ –сумарна трудомісткість деталей, год; Φ_d – ефективний річний фонд часу роботи верстата при роботі в одну зміну, год; m - кількість робочих змін

Відповідно для кожної операції отримаємо:

Операції 005-10:

$$C_p = (4,1 + 2,27) \cdot 16597 / 60 \cdot 2040 = 0,8637 \quad (C_{\text{пр}} = 1)$$

Операції 015:

$$C_p = 0,42 \cdot 16597 / 60 \cdot 2040 = 0,06 \quad (C_{\text{пр}} = 1)$$

Операція 020:

$$C_p = 1,29 \cdot 16597 / 60 \cdot 2040 = 0,1749 \quad (C_{\text{пр}} = 1).$$

Отримані результати занесемо до таблиці 4.2. Коефіцієнт завантаження для верстатів 1П420ПФ30 складатиме:

$$\eta_3 = 0,8637 / 1 = 0,8637$$

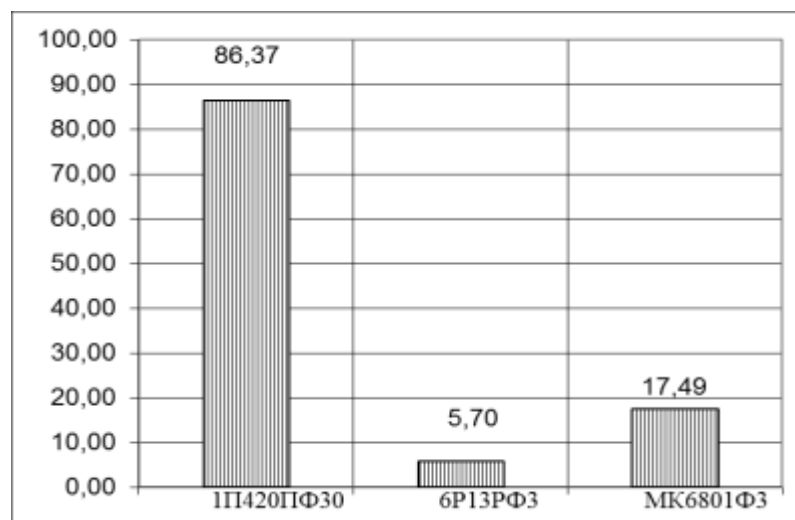


Рисунок 3.1 – Графік завантаження обладнання

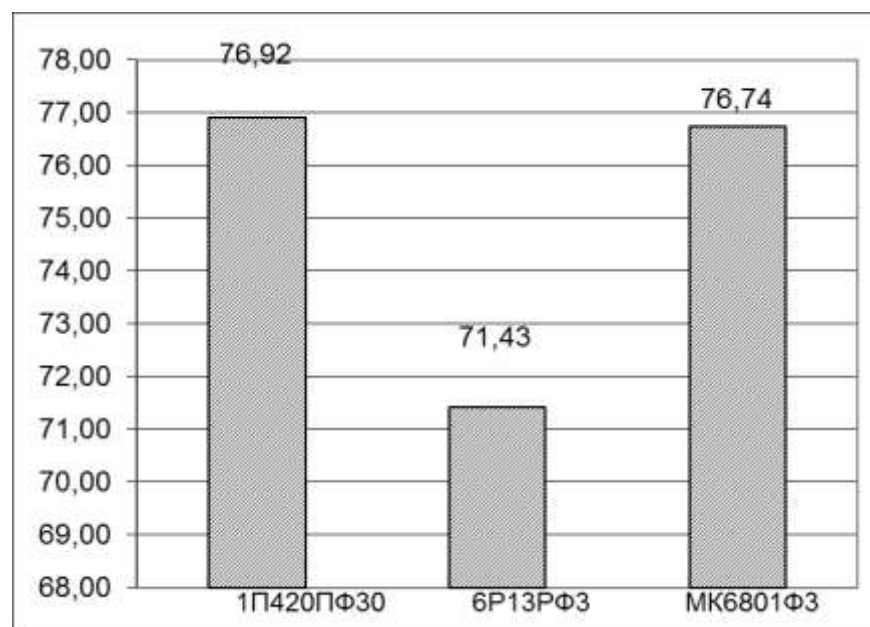


Рисунок 3.2 – Графік використання обладнання за основним часом

Аналогічно визначаються коефіцієнти завантаження інших верстатів, результати заносимо до таблиці.

Таблиця 3.2 - Розрахунок кількості обладнання

$N_{оп}$	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Коефіцієнт завантаження	Середній коефіцієнт завантаження	Коефіцієнт завантаження по основному часові.
005-010	0,86	1	0,86	0,36	0,7692
015	0,06	1	0,06		0,7143
020	0,17	1	0,17		0,7674

3.3. Розрахунок кількості робітників на дільниці

Кількість робітників-верстатників дільниці механічного цеху може бути підрахована в залежності від прийнятої кількості верстатів за формулою:

$$P = C_{пр} \cdot \Phi_d \cdot K_z / \Phi_v \cdot K_m \quad (3.6)$$

де $C_{пр}$ – прийнята кількість верстатів, шт; Φ_v – ефективний річний фонд роботи верстатника, год; K_m – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування.

Наприклад для роботи на токарно-револьверному верстаті необхідно:

$$P = 1 \cdot 2040 \cdot 0,8637 / 1 \cdot 1840 = 0,957$$

При розрахункові ефективний фонд роботи верстатника прийнятий рівним 1840 год (тривалість робочої неділі – 41 год, основної відпустки – 18 днів). Отже для виконання заданого обсягу роботи необхідний 1 робітник.

Аналогічно поводимо розрахунки для інших операцій, а результати записуємо до таблиці.

Таблиця 3.3 – Кількість робітників –верстатників

Назви верстатів	Прийнята кількість верстатів, С _{пр}	Ф _д , год	К _з	К _м	Р, чол	Р _{пр} , чол
Токарно-револьверний з ЧПК	1	1840	0,86	1	0,957	1
Фрезерний з ЧПК	1		0,06	1	0,061	1
Токарний з ЧПК	1		0,17	1	0,193	1

Оскільки вважаємо, що верстати мають довантажуватися іншими деталями, то приймаємо по одному робітнику на кожну операцію.

Згідно таблиці 4.3 сума всіх основних робочих -3 чол.

Кількість допоміжних робітників складає 20-25% від кількості верстатників, відповідно:

$$P_{др}=(0,2...0,25) \cdot 3=0,6...0,75$$

Приймаємо 1 допоміжного робітника.

При дрібносерійному виробництві кількість ІТР складає 21-15% від кількості верстатів, тобто:

$$P_{ІТР}=(0,15...0,21) \cdot 3=0,45...0,62$$

Приймаємо 1 чол ІТР.

Кількість службовців при серійному виробництві, та при чисельності основних робітників менше 75 чол., складає 2,2% від кількості основних робітників верстатників, отримаємо:

$$P_{\text{СКП}}=0,022 \cdot 3=0,066$$

Приймаємо 1 чол.

Кількість молодшого обслуговуючого персоналу складає 2% від кількості усіх працівників, тобто:

$$P_{\text{МОП}}=0,02 \cdot (3+1+1+1)=0,12$$

Приймаємо 1 чол молодшого обслуговуючого персоналу.

Отримані дані занесемо до таблиці

Таблиця 3.4 – Відомість складу працюючих дільниці

Категорії працюючих	Спосіб визначення	Розрахункова кількість	Прийнята кількість
Основні робітники-верстатники			3
Допоміжні робітники	20...25%	0,6-0,75	1
ІТР	15...21%	0,45-63	1
СКП	2,2%	0,066	1
МОП	2%	0,12	1

Отже на ділянці механічної обробки для виготовлення деталі по запропонованому маршруту механічної обробки, має бути розміщено 3 металорізальних верстатів, які обслуговуються 3 основними робітниками. Крім того для забезпечення нормальної роботи ділянки необхідно ще 4 робітника. Як показали розрахунки використання даного технологічного процесу забезпечить отримання деталі з відповідними кресленню показниками точності

3.4 Розробка плану розташування обладнання

При виборі варіанту розташування обладнання найдоцільніше розміщувати верстати в порядку технологічного процесу. Оскільки габарити верстатів дозволяють то вони будуть розташовані фронтальною стороною до проїзду, це оптимальний варіант, який забезпечує досить легкий доступ до верстата робітникові, відносно легко організувати подачу заготовок та вивіз оброблених деталей.

3.5 Проектування допоміжних відділень механічного цеху

На операціях 005-010 використовується токарний з ЧПК верстат, на 015 фрезерний верстат з ЧПК і на 020 токарний, вони відносяться до середніх (масою до 10 тонн) і тому питома площа може бути прийнята в межах 15-25 м². Приймаємо питому площу (з урахуванням габаритних розмірів верстатів) 25м². Отже, виробнича площа ділянки складає

$$25 \cdot 3 = 75 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Кількість верстатів заточувального відділення приймаємо 4% від кількості верстатів ділянки механічного цеху, тобто $004 \cdot 3 = 0,012 \approx 1$ верстат. Для обслуговування даної ділянки достатньо 1 заточувального верстату в складі заточувального відділення.

Приймаємо 2,22 м². Аналогічно розраховуємо площу складу готових деталей (для цеху)

$$S_{\text{скл. готов.}} = \frac{Q \cdot t}{p \cdot q \cdot K_B} = \frac{1,698 \cdot 16957 \cdot 8}{253 \cdot 3 \cdot 0,3} = 3,12 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Розмір площадки на ділянці

$$S_{\text{скл. інст.}} = \frac{Q \cdot t}{p \cdot q \cdot K_B} = \frac{1,68 \cdot 116 \cdot 0,5}{0,5 \cdot 3 \cdot 0,3} = 0,58 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Розмір площадки під проміжний склад для цеху

$$S_{\text{скл. проміжн.}} = \frac{0,0073 \cdot 1,08 \cdot 19710 \cdot 8}{253 \cdot 3 \cdot 0,3} = 3,36 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Площа інструментально-роздавального складу, що виділяється на розглядівану ділянку складає:

- для зберігання різального та допоміжного інструменту $2 \cdot 0,6 = 1,2 \text{ м}^2$.
- для зберігання вимірювального інструменту $2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ м}^2$.
- для зберігання пристосувань $2 \cdot 0,65 = 1,3 \text{ м}^2$.

Всього $S_{IPK} = 2,6 \text{ м}^2$.

На ділянці безпосередньо передбачаються лише площадки для зберігання заготовок, під проміжний склад та готових деталей:

$$S_{\text{скл. площ. з}} = 0,75 \text{ м}^2, S_{\text{скл. площ. проміжн}} = 0,58 \text{ м}^2, S_{\text{скл. площ. дет}} = 0,63 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Всі решта допоміжних приміщень передбачаються в структурі цеху. Площі, які потрібні для даної ділянки розраховані і вказані вище.

3.6 Організація та обслуговування робочого місця: організація робочого місця верстатник; забезпечення робочого місця інструментом, заготовками і т.п.

При раціональній організації робоче місце в умовах дрібносерійного виробництва повинно бути оснащено у відповідності з вимогами виробничого процесу та умовами виконання робіт з дотриманням правил санітарної гігієни та техніки безпеки.

Нормативами передбачено для кожного робітника мінімальну виробничу площу 45м^2 та мінімальний об'єм 15м^3 . Розташування обладнання на робочому місці, інвентарю, виробничих меблів, тари, стелажів для заготовок, та готової продукції планується з таким розрахунком, щоб не утворювались незручні умови праці, зайві витрати часу на переміщення по цеху та пошуки необхідних пристосувань.

Кількість інструмента та пристосувань на робочому місці повинна бути мінімально необхідною для забезпечення безперебійної роботи на протязі зміни з найменшими затратами часу на отримання та їх заміну. Інструмент постачається з інструментального складу в інструментальний ящик, розташований біля кожного верстату, а з нього – в робочу зону.

Заготовки з складу заготовок перекладаються в контейнер та за допомогою ручного візка переміщуються до верстату №1. Для обробки заготовки виймаються із контейнера для заготовок та після обробки перекладаються в контейнер для готових виробів. Після обробки всіх заготовок з контейнера за допомогою візка підвозиться наступний контейнер, а в пустий контейнер, в якому була попередня партія заготовок, складаються готові вироби. Верстатник, який працює на верстаті №2 при необхідності завантажує контейнер для готових виробів біля верстату №1 на візок, перевозить його до свого верстату та встановлює на місце контейнеру для заготовок. Після обробки деталі складаються в контейнер для готових виробів. Після обробки на останньому верстаті контейнер з готовими виробами перевантажується на візок та транспортується на проміжний склад.

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.	Козлов Л.Г.	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» 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 вантажних автомобілів;
- обладнання для напівприцепів вантажного автомобіля є досить перспективний проєктом, а потенційними покупцями цього товару можуть бути підприємства машинобудівної галузі;
- оскільки загальний ресурс обладнання з деталлю «Вал» 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 $T_p = (21...23)$ 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	15000	681,82	10	6818,18
Інженер-конструктор 1-ї категорії	12000	545,45	10	5454,55
Технік 1-ї категорії	9500	431,82	10	4318,18
Всього				16590,91

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:

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

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

$K_{\text{мкс}}$ – 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;

$T_{\text{зм}}$ – 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.
Токарно-револьверна з ЧПК	1,2	5	139,09	166,91
Фрезерна з ЧПК	1,8	5	139,09	250,75
Токарна з ЧПК	0,9	5	139,09	125,15
Всього				542,81

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

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

$$З_{доо}=0,11(16590,91+542,81)=1884,71 \text{ (грн)}$$

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:

$$З_н = (З_о + З_р + З_д) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \text{ [грн.]}, \quad (4.6)$$

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

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

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

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

$$З_н=(16590,91+542,81+1884,71) \cdot 22/100=4184,06 \text{ (грн)}.$$

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

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

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;

$Ц_в$ — 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 45	65	5,2	1,2	7,5	362,8
Всього:					362,8

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;

$$B_{\text{спец}} = 25000 \cdot 1,1 \cdot 1 = 27500 \text{ (грн)}$$

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:

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

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;

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

Проведені розрахунки зводимо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 - Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Офісне приміщення	50000	20	1	208,33
Виробниче прим.	120000	20	1	500
Ноутбук	25000	5	1	416,67
Токарно-револьверний з ЧПК	350000	15	1	1944,44
Фрезерний з ЧПК	220000	15	1	1222,22
Токарний підвищеної точності з ЧПК	340000	15	1	1888,89
Інше обладнання	10000	1	1	833,33
Всього				7013,89

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

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

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

t_i - тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

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

$K_{\text{вн}i}$ - коефіцієнт, що враховує використання потужності, приймаємо 0,75;

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

При цьому вартість електроенергії розраховується:

$$\Pi_e = (\Pi_{\text{опт}} + \Pi_{\text{розп}} + \Pi_{\text{пост}}) (1 + \frac{\text{ПДВ}}{100\%}) \quad (4.12)$$

$\Pi_{\text{опт}}$ - середня оптова ціна електроенергії, яка визначається оператором ринку, грн за 1кВт·год [17, 18]

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

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

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

Таблиця 4.7 – Таблиця витрат на силову електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук	0,3	160	330,3
Токарно-револьверний з ЧПК	10	1,2	82,57
Фрезерний з ЧПК	10	1,8	123,86
Токарний підвищеної точності з ЧПК	10	0,9	61,93
Інше обладнання	2	10	137,62
Всього			736,29

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

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

$$B_{cv} = 0,22(16590,91 + 542,81) = 3769,42 \text{ (грн)}.$$

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:

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

$$I_{\text{в}} = 0,5(16590,91 + 542,81) = 8566,86 \text{ (грн)}.$$

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.

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

$$H_{\text{нзв}} = 1,25(16590,91 + 542,81) = 21417,16 \text{ (грн)}.$$

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

$$B_{\text{заг}} = 16590,91 + 542,81 + 1884,71 + 4184,06 + 362,8 + 27500 + 7013,89 + 736,29 + 3769,42 + 8566,86 + 21417,16 = 92568,92 \text{ (грн)}$$

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

$$3B=92568,92 / 0,9=102854,4 \text{ (грн).}$$

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 », то майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних: збільшення кількості споживачів напівприцепів, оскільки в них досить часто саме ця деталь виходить з ладу і потребує заміни, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик – (50 шт за 2025 рік, 25 шт за 2026 рік, 20 штук за 2027 рік та 15 шт за 2028 рік); кількість споживачів, які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки – 300 шт; вартість пристрою (машини, механізму) у році до впровадження результатів розробки – 55000 грн; зміна вартості пристрою (зростання чи зниження) від впровадження результатів науковотехнічної розробки в аналізовані періоди часу 1000 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 ΔC_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;

C_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:

$$\Delta \Pi_1 = (1000 \cdot 300 + 55000 \cdot 35) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18 / 100) = 380089 \text{ (грн)};$$

$$\Delta \Pi_2 = (1000 \cdot 300 + 55000 \cdot (35 + 25)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18 / 100) = 614975,4 \text{ (грн)};$$

$$\Delta \Pi_3 = (1000 \cdot 300 + 55000 \cdot (60 + 20)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18 / 100) = 802884,6 \text{ (грн)};$$

$$\Delta \Pi_4 = (1000 \cdot 300 + 55000 \cdot (80 + 15)) \cdot 0,8333 \cdot 0,25 \cdot (1 - 18 / 100) = 943816,4 \text{ (грн.)}.$$

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

$$ПП = \sum_{i=1}^m \frac{\Delta \Pi_i}{(1 + \tau)^t} \text{ [грн]}, \quad (4.16)$$

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:

$$ПП = \frac{380089}{(1+0,1)^2} + \frac{614975,4}{(1+0,1)^3} + \frac{802884,6}{(1+0,1)^4} + \frac{943816,4}{(1+0,1)^5} = 1910580 \text{ (грн)}.$$

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

$$PV = k_{inv} \cdot 3B \text{ [грн]}, \quad (4.17)$$

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 $k_{inv} = 2 \dots 5$, приймаємо 2.

$$PV = 2 \cdot 122145 = 244290 \text{ (грн)}.$$

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

$$E_{abc} = (1910580 - 244290) = 1666290 \text{ (грн.)}.$$

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_v . Для цього користуються формулою:

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

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

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

$$E_{\epsilon} = \sqrt[5]{1 + \frac{1666290}{244290}} - 1 = 0,509 = 50,9\% .$$

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

Якщо величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки. В іншому випадку фінансування наукової розробки здійснюватися не буде.

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

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

Оскільки $E_B = 50,9\% > \tau_{\min} = 23\%$, 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.

$$T_{ок} = 1/0,67 = 1,47 \text{ (років)}.$$

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 $T_{ок} = 1,7$ роки. Крім того відносна ефективність вкладень $E_v = 67,85\%$ є більшою за мінімальну ставку дисконтування $\tau_{мін} = 23\%$, що може зацікавити у фінансуванні даної наукової розробки. Приведена вартість прибутків становить $ПП = 2740606$ грн.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз сучасного стану застосування методів поверхневого пластичного деформування та досліджено конструкції обкатників, які використовуються на сучасному етапі. Для дослідження процесу обкочування виконано моделювання роликового обкатника у програмі Ansys. Виконано чисельне моделювання процесу деформування поверхневого шару матеріалу деталей при обкочуванні роликом з використанням методу скінченних елементів, в результаті якого встановлено напружено-деформований стан матеріалу в залежності від параметрів обкочування.

Виконано дослідження процесу обкочування та визначено вплив технологічних факторів на твердість поверхневого шару та шорсткість отримуваної поверхні. Крім того встановлено, що твердість зростає при повторному обкочуванні, але на величини значно менші ніж отримані після першого проходу. Наприклад, при обкочуванні сталі 45, що мала вихідну твердість 211 МПа, після одноразового обкочування було досягнуто 278 МПа, а після триразового обкочування ця величина складала 286 МПа. А при подальшій обробці поверхневий шар починає руйнуватися. Досліджено вплив параметрів процесу ППД на стан поверхневого шару та відповідно технологічну спадковість виробу, та рекомендовано параметри обробки інструментом, для забезпечення оптимальних значень твердості, шорсткості, залишкових напружень.

Розроблені рекомендації з обкочування використано при проектуванні технологічного процесу механічної обробки деталі типу «Вал» визначено, що при даній програмі випуску виробництво буде серійним.

Проаналізувавши способи отримання заготовки за кількісними і якісними показниками та провівши техніко – економічний розрахунок вибрано оптимальний спосіб отримання заготовки – прокат; розроблено маршрут механічної обробки даної деталі, також розглянуто відомі маршрути механічної обробки подібних деталей в умовах даного типу виробництва; виконано розмірний аналіз технологічного процесу, складена схема технологічного процесу, похідний, вихідний графі – де-

рева та суміщений граф, визначено режими різання на обробку конструкторських баз і кріпильних отворів та технічні норми часу для всіх операцій; розраховано дільницю механічної обробки деталі «Вал», на якій буде знаходитися 6 верстатів.

Обладнання для обробки заготовки було вибрано з урахуванням нових тенденцій обробки металу різанням, з урахуванням можливості використання високопродуктивних методів обробки. Саме тому акцент було зроблено на виборі верстатів з ЧПК. Вибір моделей верстатів, способів виготовлення заготовки виконаний на основі техніко-економічних розрахунків, що дало можливість вибрати оптимальний варіант.

В розрахунку економічної ефективності було виконано прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів наукової-дослідної роботи, спрогнозовано комерційний ефект від реалізації результатів розробки та ефективність вкладених інвестицій і періоду їх окупності (1,47 роки). За результатами всіх розрахунків було виявлено доцільність проведення даної наукової-дослідної роботи оскільки вона є економічно виправданою

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 різевих 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_7IbFRyepPd9zYDUE_nX2QPlMyQUaAjmLEALw_wcB
5. FlowVision [Електронний ресурс].–Режимдоступу: <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, Yuseonggu, Taejon 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. Линчевський, 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 ділянки 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 ділянки 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 23.24"

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

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

Показники звіту подібності

Оригінальність	74	Схо- жість	26
----------------	----	---------------	----

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.

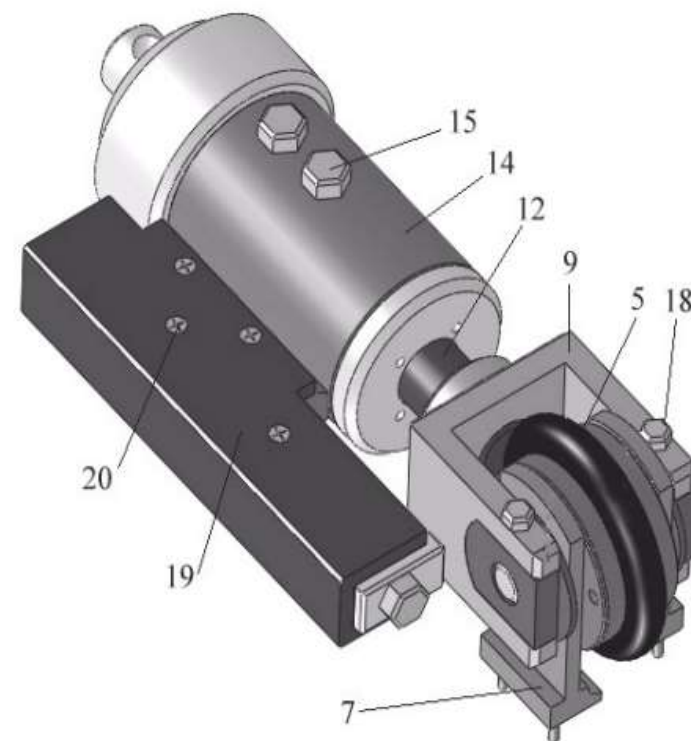
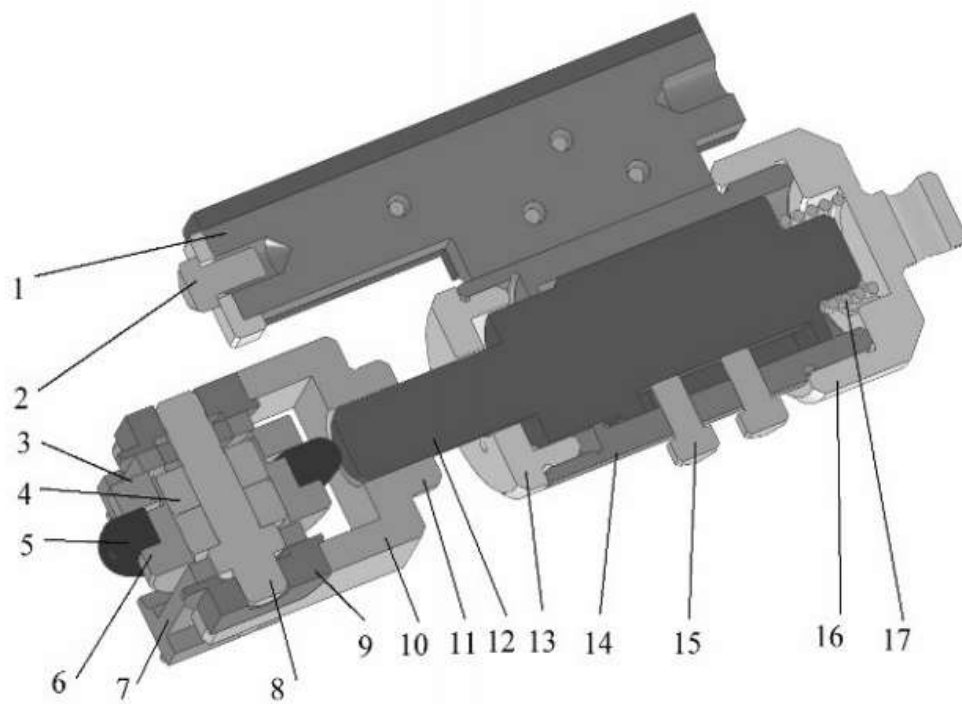
Особа, відповідальна за перевірку	<u>Сердюк О.В.</u>
(підпис)	(прізвище, ініціали)

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

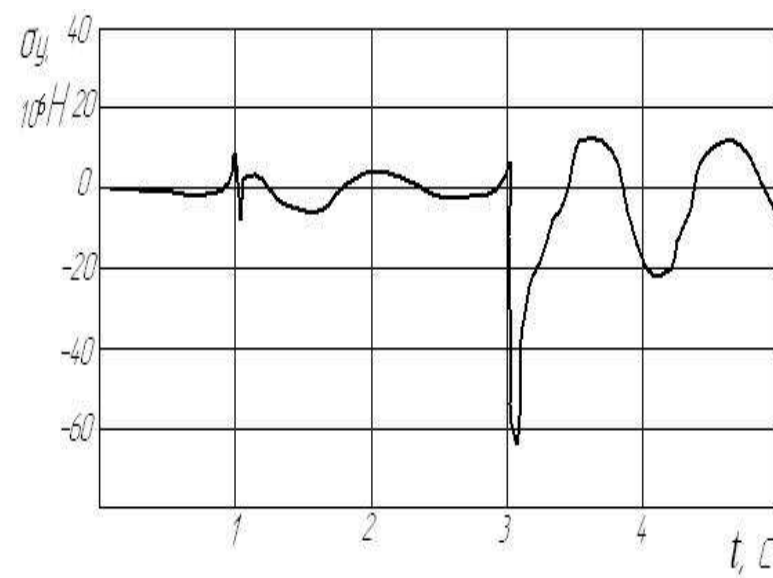
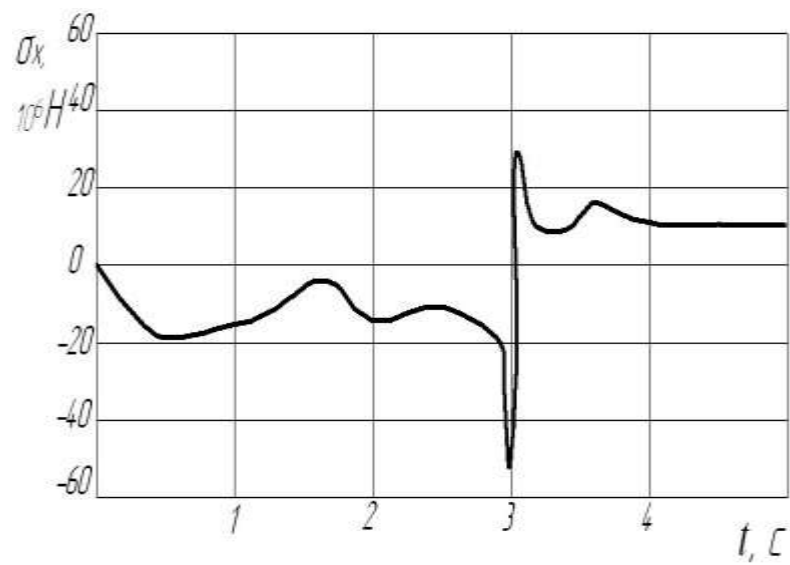
Автор роботи		<u>Скрипник А.</u>
(підпис)		(прізвище, ініціали)
Керівник роботи		<u>Сердюк О.В.</u>
(підпис)		(прізвище, ініціали)

Додаток Б

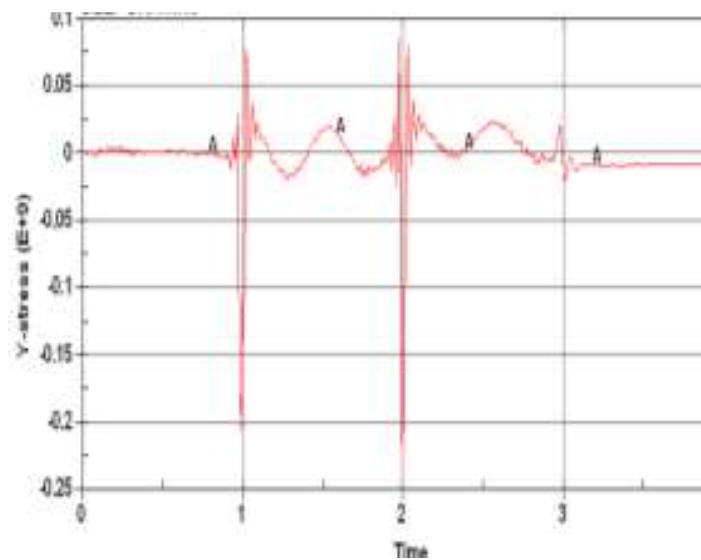
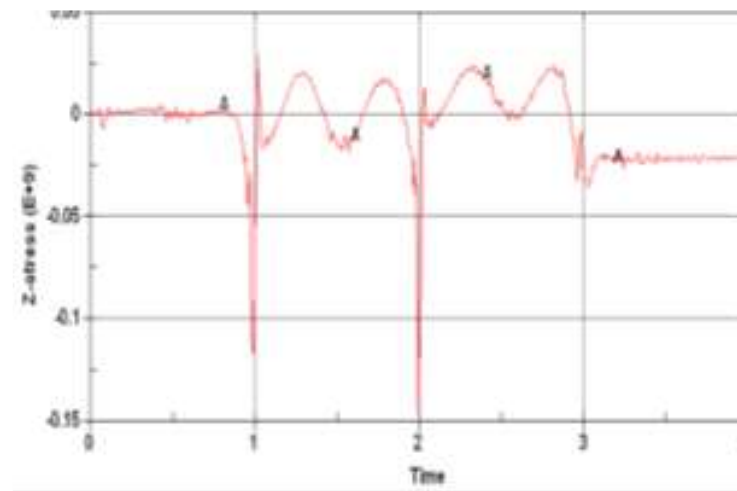
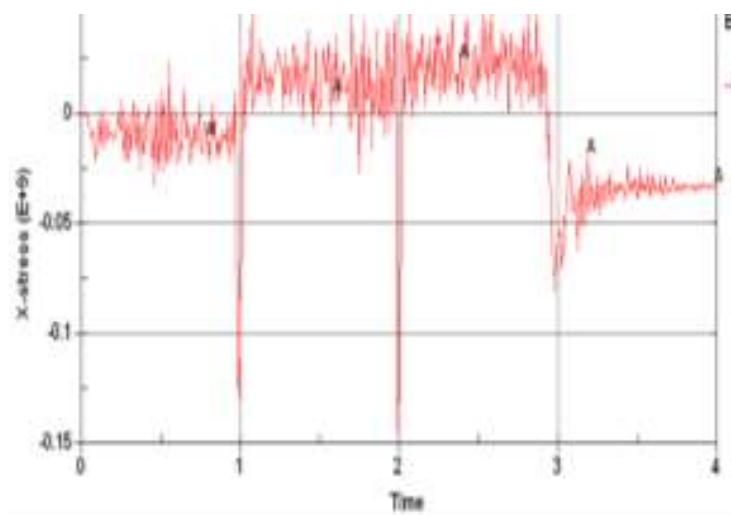
Графічна частина



3d-модель обкатника



Нормальні напруження



Головні напруження отримані МСЕ

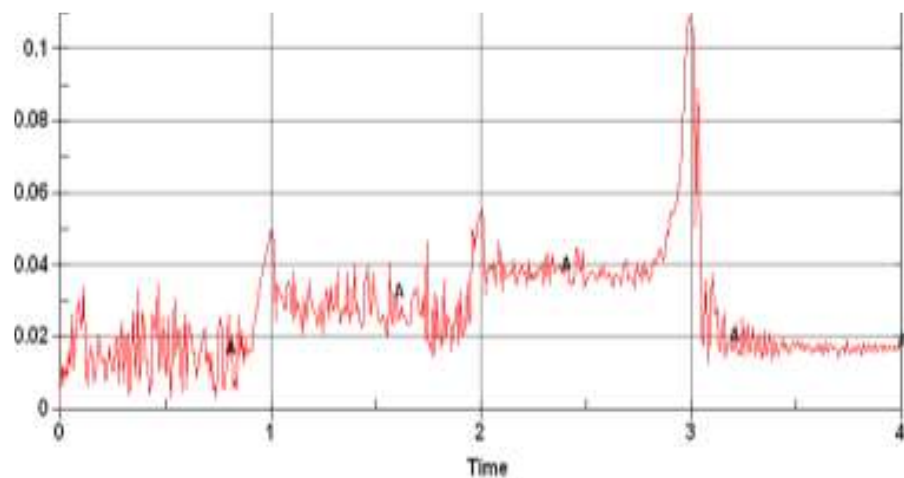
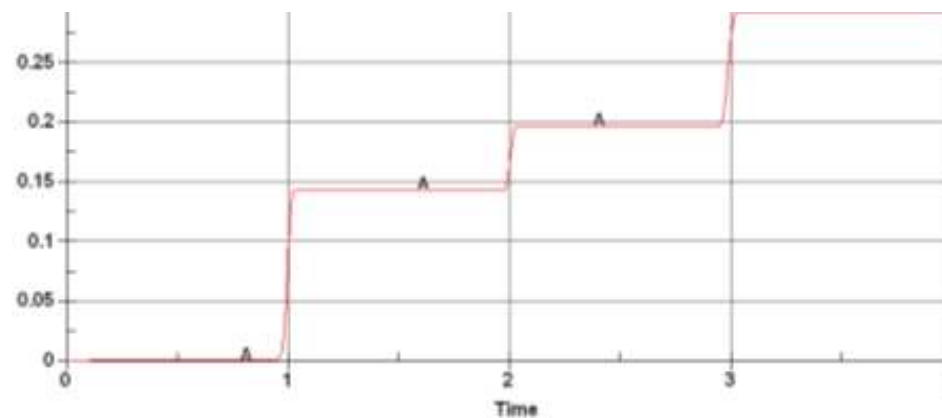
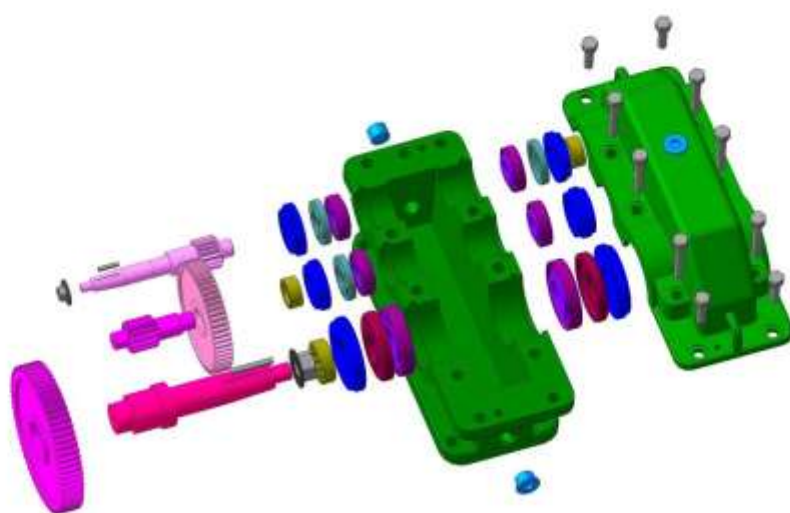
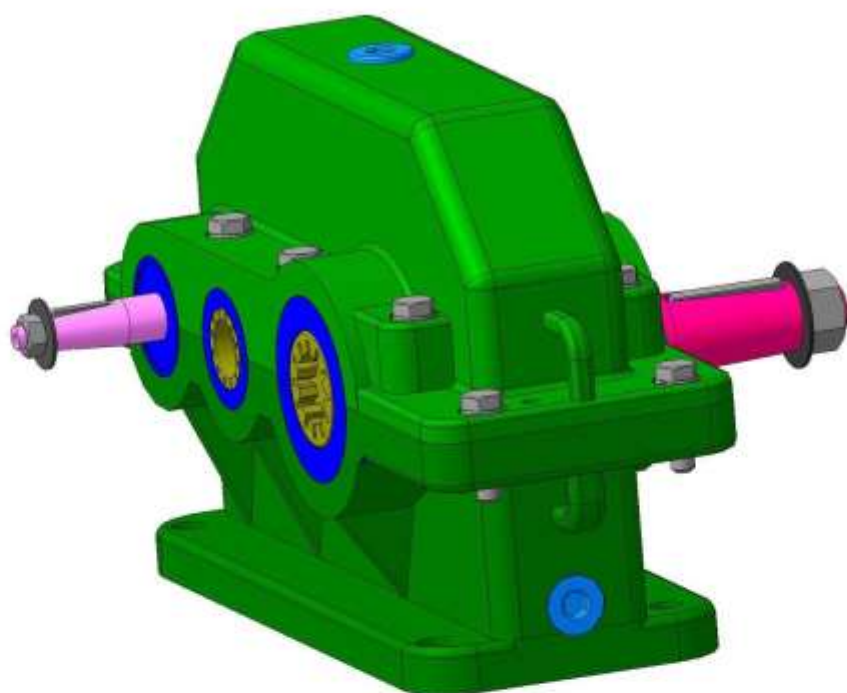
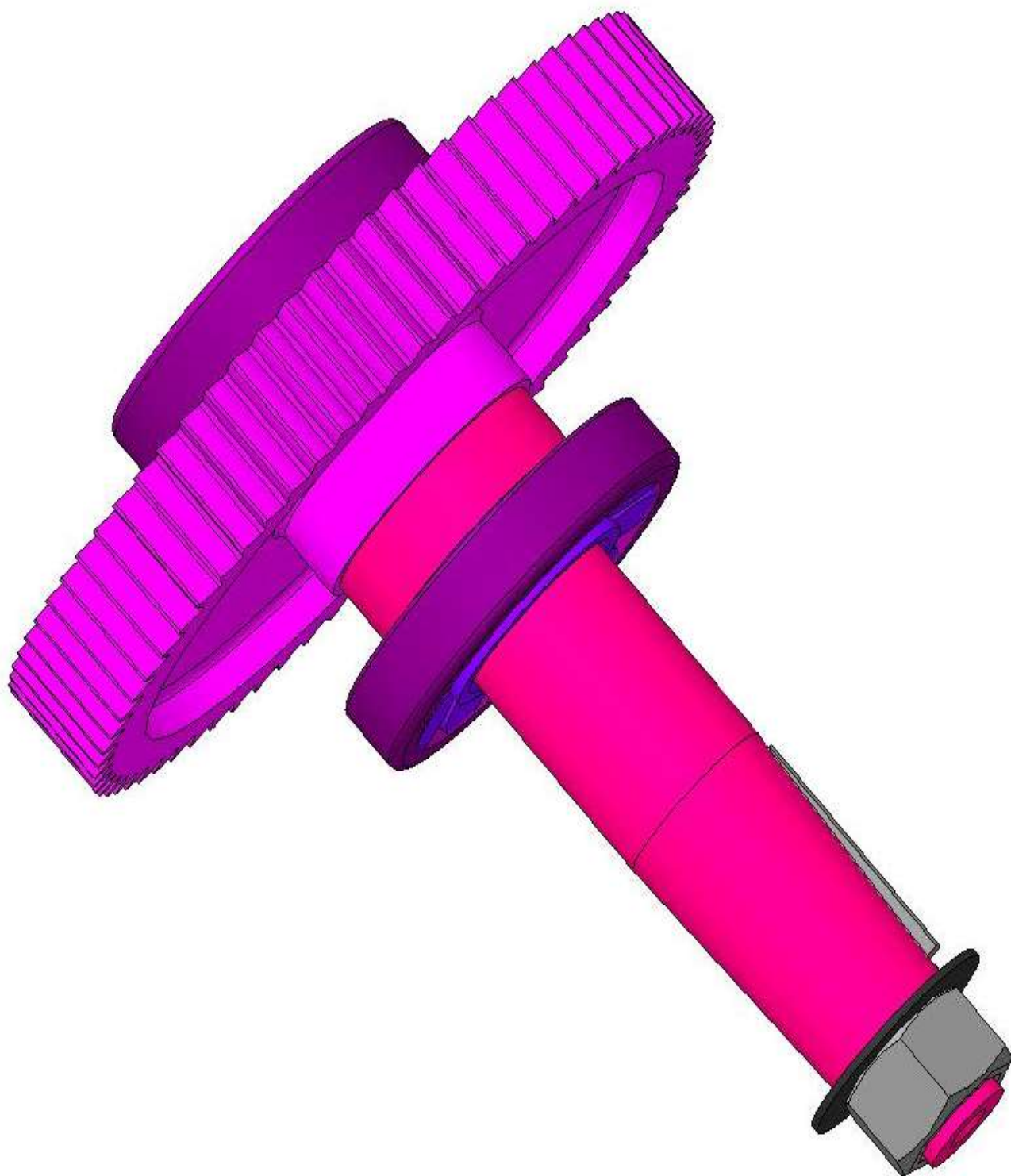


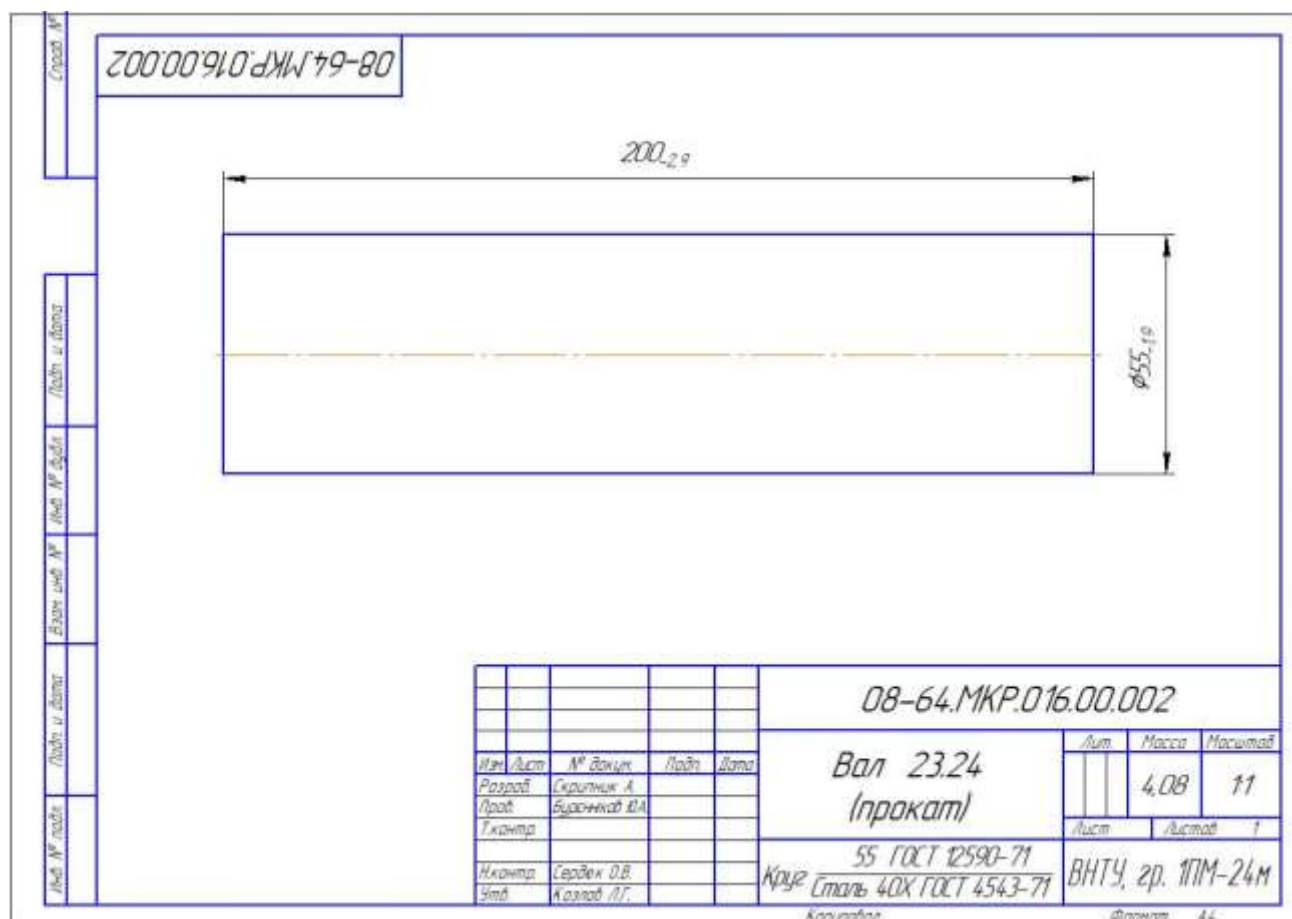
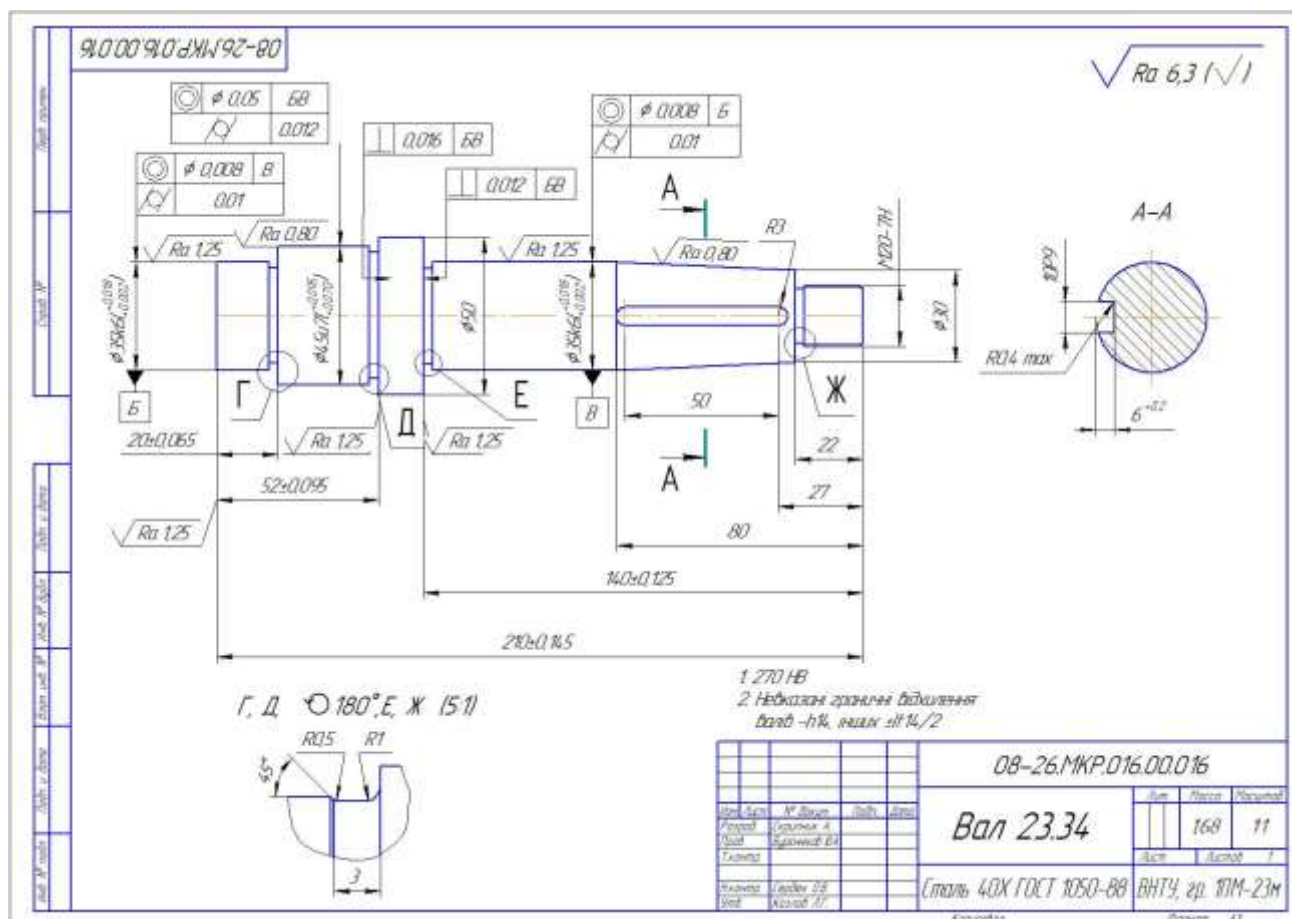
Рисунок 1.3 – Інтенсивність напружень



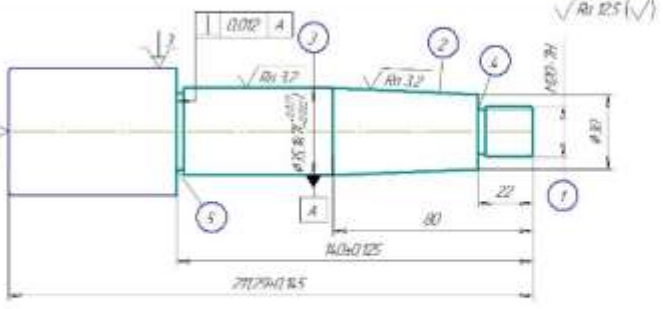
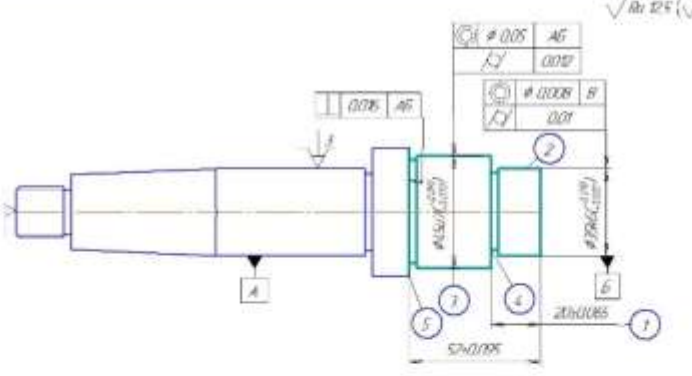
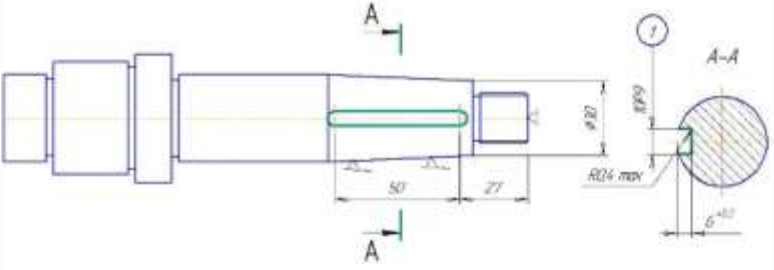
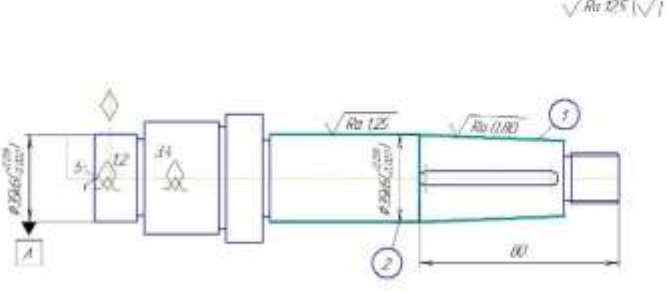
Пластична деформація



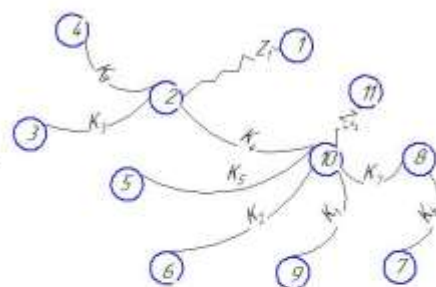
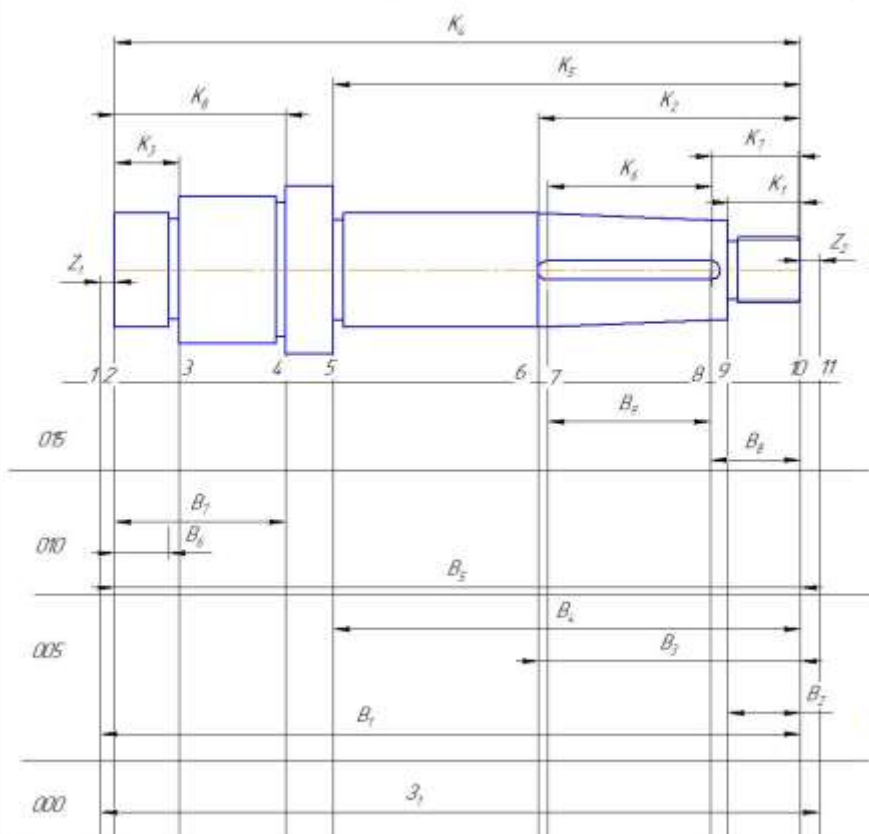




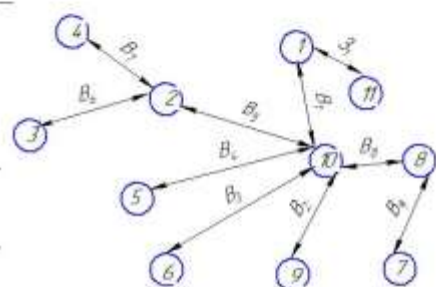
Маршрут механічної обробки

№	Операції, переходи	Ескіз деталі та схема установки	Моделі верстатів
005	Токарно-револьверна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити торець, поверхні 1 в розмір згідно ескізу поверхні 2, 3 в розміри $\phi 35,625(+0,35/-0,35)$ з підрізкою торця 5 попередньо в розмір $139(+\pm 0,12)$ 3 Точити торець та поверхню 1 остаточно в розмір згідно ескізу, поверхні 2, 3 попередньо в розмір $\phi 35,2(+0,087)$ 4 Нарізати різь на поверхні 1 витримуючи розміри вказані на ескізі 5 Точити канавки 4 та 5 витримуючи розміри вказані на ескізі 6 Точити остаточно поверхні 2 та 3 витримуючи розміри вказані на ескізі 7 Зняти заготовку	 Невказані графічні відхилення розмірів отвору IT6, валу IT6, інших IT6/2	Токарно-револьверний з ЧПК 17420ПФ30
010	Токарно-револьверна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Точити торець 1 в розмір $220,05(-0,26)$ поверхні 2, 3 в розміри $\phi 35,625(+0,35/-0,35)$ з підрізкою торця 5 попередньо 3 Точити торець 1 остаточно в розмір згідно ескізу, поверхні 2, 3 попередньо в розмір $\phi 35,2(+0,087)$ та $\phi 45,2(+0,087)$ 4 Точити канавки 4 та 5 витримуючи розміри вказані на ескізі 5 Точити остаточно поверхні 2 та 3 в розмір $\phi 35,092(+0,035/-0,035)$ та $\phi 45,092(+0,035/-0,035)$ 6 Точити тонко поверхні 2 та 3 витримуючи розміри вказані на ескізі 7 Зняти заготовку	 Невказані графічні відхилення розмірів отвору IT6, валу IT6, інших IT6/2	Токарно-револьверний з ЧПК 17420ПФ30
015	Вертикально-фрезерна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Фрезерувати поз 1 витримуючи розміри вказані на ескізі 3 Зняти заготовку		Вертикально-фрезерний з ЧПК 6P13PФ3
020	Токарна з ЧПК 1 Встановити і закріпити заготовку 2 Обкатити поверхні 1 та 2 тонко витримуючи розміри вказані на ескізі 3 Зняти заготовку	 Невказані графічні відхилення розмірів отвору IT6, валу IT6, інших IT6/2	Токарний високої точності 1746801Ф3

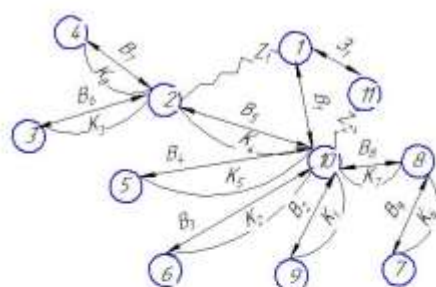
Розмірний аналіз технологічного процесу



Вихідне граф-дерево



Похідне граф-дерево



Суміщений граф

Таблиця 1 – Рівняння розрахунку розмірних технологічних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вихідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_2 - K_1 = 0$	$B_2 = K_1$	B_2
2	$B_3 - K_2 = 0$	$B_3 = K_2$	B_3
3	$B_4 - K_3 = 0$	$B_4 = K_3$	B_4
4	$B_5 - K_4 = 0$	$B_5 = K_4$	B_5
5	$B_6 - K_5 = 0$	$B_6 = K_5$	B_6
6	$B_7 - K_6 = 0$	$B_7 = K_6$	B_7
7	$B_8 - K_7 = 0$	$B_8 = K_7$	B_8
8	$B_9 - K_8 = 0$	$B_9 = K_8$	B_9
9	$B_3 + Z_1 - B_1 = 0$	$Z_1 = B_1 - K_3$	B_1
10	$B_1 + Z_2 - B_1 = 0$	$Z_2 = B_1 - B_1$	Z_1

Таблиця 2 – Значення технологічних розмірів, розмірів заготовки та їх допуски

Позначення розміру	Граничний розмір	значення	Допуск	Номінальний розмір	Значення розміру у технологічному документі	Значення розміру на кресленні вихідної заготовки
Z_1	212,935	213,395	0,46	213,16		213,16 $^{+0,23}_{-0,23}$
B_1	211,145	211,435	0,29	211,29	211,29 $^{+0,145}_{-0,145}$	
B_2	21,74	22,26	0,52	22	22 $^{+0,26}_{-0,26}$	
B_3	79,63	80,37	0,74	80	80 $^{+0,37}_{-0,37}$	
B_4	139,875	140,125	0,25	140	140 $^{+0,125}_{-0,125}$	
B_5	209,855	210,145	0,29	210	210 $^{+0,145}_{-0,145}$	
B_6	19,935	20,065	0,13	20	20 $^{+0,065}_{-0,065}$	
B_7	51,905	52,095	0,19	52	52 $^{+0,095}_{-0,095}$	
B_8	26,74	27,26	0,52	27	27 $^{+0,26}_{-0,26}$	

Таблиця 3 – Припуски на механічну обробку

Припуск	Мінімальний, мм	Максимальний, мм
Z_1	1,5	1,58
Z_2	1,5	2,25

