

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня
магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: “Удосконалення технологічного процесу виготовлення та ремонту
колінчастого валу двигуна MEM3-245 (комплексна тема)”

Виконали: студенти
спеціальності

6 курсу, групи МАМ-63
274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

Тарасюк М.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Пальчак В.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник
(підпис) Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль
(підпис) Хорошун Р.В.
(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри
(підпис) Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)

Рецензент
(підпис) Буховець В.М.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«11» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

студенту Тарасюку Максиму Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення та ремонту колінчастого валу двигуна MEM3-245 (комплексна тема)

Керівник роботи Цьонь О.П., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2024 року № 4/7-1080

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики колінчастого вала двигуна MEM3-245

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Характеристика об'єкта дослідження. 2. Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталей. 3. Визначення типу і організаційної форми виробництва.

4. Обґрунтування вибору технологічних баз. 5. Методика розрахунку припусків і допусків між операціями обробки. 6. Підбір інструментів для різання та вимірювання.

7. Технічне нормування розробленого технологічного процесу. 8. Проектування свердл з внутрішньою подачею та патрона. 9. Розробка кругової протяжки для обробки шийок колінчастого валу. 10. Роль алмазного вигладжування у забезпеченні якості поверхонь деталей. 11. Вплив параметрів технологічного циклу вигладжування на шорсткість обробленої поверхні. 12. Основні шляхи та заходи підвищення стійкості роботи об'єкту в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Пристосування для проточування. Складальне креслення А1. Схема установки шліфувального пристрою А1. Пристрій для шліфування шатунних шийок колінчастих валів Складальне креслення А1. Верстат вертикально-свердлильний 2Н125. Вигляд загальний А1. Схема балансуєючої машини з електромагнітними компенсаторами А1.

Стенд балансувальний. Складальне креслення А1. Пристрій 9571 - 49 для комплексної перевірки колінчастого вала. Складальне креслення А1. Пристрій для контролю лінійних розмірів А1.

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 11.11.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Тарасюк М.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

ЦЬОНЬ О.П.
(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«11» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

студенту Пальчаку Володимирі Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення та ремонту колінчастого валу двигуна МЕМЗ-245 (комплексна тема)

Керівник роботи Цьонь О.П., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2024 року № 4/7-1080

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики колінчастого вала двигуна МЕМЗ-245

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз технологічності конструкції деталі. 2. Сучасні інновації в технологіях, обладнанні та оснащенні для виробництва аналогічних виробів. 3. Обґрунтування методу отримання заготовки. 4. Структурний аналіз та оптимізація технологічного маршруту обробки.

5. Розмірний аналіз технологічного процесу. 6. Параметри різання та технічне нормування для всіх операцій (переходів). 7. Підбір обладнання з визначенням його технічних характеристик та кількості. Створення графіків завантаження та ефективного використання обладнання. 8. Пристосування для свердління мастильних каналів і нарізування різьби.

9. Проектування державки вигладжувача. 10. Дослідження механізму формування поверхневого шару при алмазному вигладжуванні. 11. Вибір інструментальних матеріалів для широкого вигладжування. 12. Вимоги техніки безпеки на виробництві згідно міжнародних конвенцій.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) Випробувальний стенд за схемою перехресні циліндрів А1. Карта ескізів А1.

Карта ескізів А1. Аналіз напружень колінчастого валу 2А1. Обладнання для проведення досліджень А1. Експериментальні дослідження А1. Дільниця для відновлювання колінчастих валів А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 11.11.2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	29.11.2024 р.	
2	ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	06.12.2024 р.	
3	КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	13.12.2024 р.	
4	НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	16.12.2024 р.	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		
6	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	17.12.2024 р	
7	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	18.12.2024 р	
8	ДОДАТКИ	18.12.2024 р	

Студент _____
(підпис)

Пальчак В.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Цьонь О.П.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	8
ВСТУП	10
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Характеристика об'єкта дослідження	12
1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі	16
1.3 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	21
1.4 Сучасні інновації в технологіях, обладнанні та оснащенні для виробництва аналогічних виробів	24
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Визначення типу і організаційної форми виробництва	27
2.2 Обґрунтування методу отримання заготовки	29
2.3 Обґрунтування вибору технологічних баз	33
2.4 Структурний аналіз та оптимізація технологічного маршруту обробки	36
2.5 Методика розрахунку припусків і допусків між операціями обробки	48
2.6 Розмірний аналіз технологічного процесу	51
2.7 Підбір інструментів для різання та вимірювання	54
2.8 Параметри різання та технічне нормування для всіх операцій (переходів)	58
2.9 Технічне нормування розробленого технологічного процесу	64
2.10 Підбір обладнання з визначенням його технічних характеристик та кількості. Створення графіків завантаження та ефективного використання обладнання	68
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Проектування свердл з внутрішньою подачею та патрона	73
3.2 Пристосування для свердління мастильних каналів і нарізування різьби	76
3.3 Розробка кругової протяжки для обробки шийок колінчастого валу	82

3.4 Проектування державки вигладжувача	83
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	
4.1 Роль алмазного вигладжування у забезпеченні якості поверхонь деталей	86
4.2 Дослідження механізму формування поверхневого шару при алмазному вигладжуванні	89
4.3 Вплив параметрів технологічного циклу вигладжування на шорсткість обробленої поверхні	97
4.4 Вибір інструментальних матеріалів для широкого вигладжування	106
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
5.1 Основні шляхи та заходи підвищення стійкості роботи об'єкту в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру	109
5.2 Вимоги техніки безпеки на виробництві згідно міжнародних конвенцій	111
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	114
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	116

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення та ремонту колінчастого валу двигуна МЕМЗ-245».

Виконано всебічний аналіз технологічності деталі та основного технологічного процесу. За результатами аналізу визначено потребу в удосконаленні технологічного процесу, та поставлено такі завдання:

- розробити оптимальну для визначеного обсягу виробництва структуру технологічного процесу механічної обробки колінчастого валу із застосуванням високопродуктивного обладнання та оснащення;
- дослідити вплив параметрів процесу на шорсткість поверхні деталей під час алмазного вигладжування;
- створити технологічне оснащення, що сприятиме підвищенню точності, якості та ефективності механічної обробки деталі;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

У загально-технічному розділі розглянуто характеристику об'єкта дослідження, а також проаналізовано технологічність конструкції деталі. Вивчено основний технологічний процес виготовлення колінчастого валу та сучасні інновації в технологіях і обладнанні для виробництва аналогічних виробів. На основі проведеного аналізу виявлено необхідність удосконалення існуючого технологічного процесу з метою підвищення якості та економічної ефективності.

Технологічний розділ присвячений вибору організаційної форми виробництва, обґрунтуванню методу отримання заготовки та вибору технологічних баз. Здійснено структурний аналіз та оптимізацію технологічного маршруту обробки. Наведено методику розрахунку припусків і допусків між операціями, проведено розмірний аналіз процесу, а також підібрано інструменти для різання та вимірювання. У розділі також

розглянуто параметри різання та технічне нормування операцій, визначено необхідне обладнання і складено графіки його завантаження.

У конструкторському розділі розроблено конструкції необхідного оснащення: свердл з внутрішньою подачею, патрона, пристосувань для свердління мастильних каналів, нарізування різьби, а також кругової протяжки для обробки шийок колінчастого валу. Особлива увага приділена проектуванню державки вигладжувача, що сприяє підвищенню точності та якості обробки.

У науково-дослідному розділі досліджено роль алмазного вигладжування у забезпеченні якості поверхонь деталей. Розглянуто механізм формування поверхневого шару при такій обробці та вплив параметрів технологічного циклу вигладжування на шорсткість обробленої поверхні. Також здійснено вибір інструментальних матеріалів, що підвищують ефективність процесу вигладжування.

Розділ охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях містить аналіз основних шляхів та заходів для підвищення стійкості роботи об'єкта в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру. Розглянуто вимоги техніки безпеки на виробництві згідно з міжнародними стандартами, що забезпечують безпечні умови праці та зменшують ризики для персоналу.

У висновках підведено підсумки досліджень і розробок, обґрунтовано доцільність запропонованих удосконалень у технологічному процесі та їх вплив на підвищення експлуатаційної надійності та якості колінчастого валу двигуна МЕМЗ-245.

ВСТУП

У сучасних умовах автомобільної галузі, коли зростає потреба в надійності та тривалому терміні експлуатації двигунів внутрішнього згоряння, особливо важливо приділяти увагу якості виготовлення та ремонту ключових компонентів, таких як колінчастий вал. Колінчастий вал є одним із найбільш навантажених елементів двигуна, що забезпечує перетворення зворотно-поступального руху поршнів у обертальний рух, необхідний для роботи автомобіля. Підвищення його надійності та довговічності вимагає постійного удосконалення технологічних процесів як при виробництві, так і при ремонті цього компонента.

Одним із широко застосовуваних двигунів на легкових автомобілях є двигун МЕМЗ-245, що використовується на автомобілях ЗАЗ. Проте в умовах інтенсивної експлуатації двигуни цього типу зазнають значних механічних навантажень, що призводить до поступового зношування колінчастого валу. У зв'язку з цим актуальним стає питання розробки та вдосконалення технологічних процесів, спрямованих на підвищення ефективності відновлення експлуатаційних характеристик цього компонента та продовження терміну служби двигуна.

Метою цієї роботи є розробка вдосконаленого технологічного процесу виготовлення та ремонту колінчастого валу двигуна МЕМЗ-245, що дозволить підвищити якість компонентів, зменшити затрати на ремонт та збільшити тривалість експлуатації двигуна. У роботі розглянуто сучасні технології обробки матеріалів, методи контролю якості та оптимізації процесів, що дозволить підвищити ефективність виробничих і ремонтних процедур для забезпечення надійної роботи колінчастого валу впродовж всього життєвого циклу двигуна.

Одним із ключових аспектів роботи є аналіз сучасних технологій обробки металів та їх застосування для виготовлення колінчастого валу з покращеними експлуатаційними характеристиками. Удосконалення процесу

обробки дозволить знизити рівень внутрішніх напружень у матеріалі та підвищити стійкість до зношування і корозії, що є критичним для таких навантажених компонентів. Крім того, важливим етапом дослідження стане оцінка методів дефектоскопії, що забезпечують виявлення мікротріщин та інших дефектів ще на початкових етапах зношування. Це дозволить не лише забезпечити своєчасний ремонт, але й попередити можливі аварійні ситуації під час експлуатації автомобіля.

Корінні шийки діаметром 50 мм (рис. 1.2, поз. 16) призначені для надійної фіксації колінчастого вала в опорах картера двигуна. Шатунні шийки діаметром 45 мм (поз. 17) служать для приєднання до нижніх головок шатунів. У конструкції колінчастого вала передбачено мастильні отвори (поз. 19, 20, 21), які забезпечують подачу масла від шатунних шийок до корінних, з нарізаною різьбою М6 (поз. 22) для встановлення заглушок. Додатково, отвори діаметром 5 мм (поз. 16) забезпечують змащення корінних і шатунних шийок.

На передньому кінці вала, хвостовику, виконані різьба М20 (поз. 30) та шпоночний паз (поз. 34) для встановлення шків, який передає рух на водяний насос і газорозподільний механізм. Задній кінець вала, або фланець, має отвори з різьбою М8 (поз. 25) для кріплення маховика, а також заглиблення (поз. 23) на торці, яке слугує місцем для встановлення підшипника ведучого вала коробки передач. Щоки (поз. 18) вала виконують функцію з'єднання корінних та шатунних шийок, забезпечуючи структурну цілісність і точність роботи всієї системи.

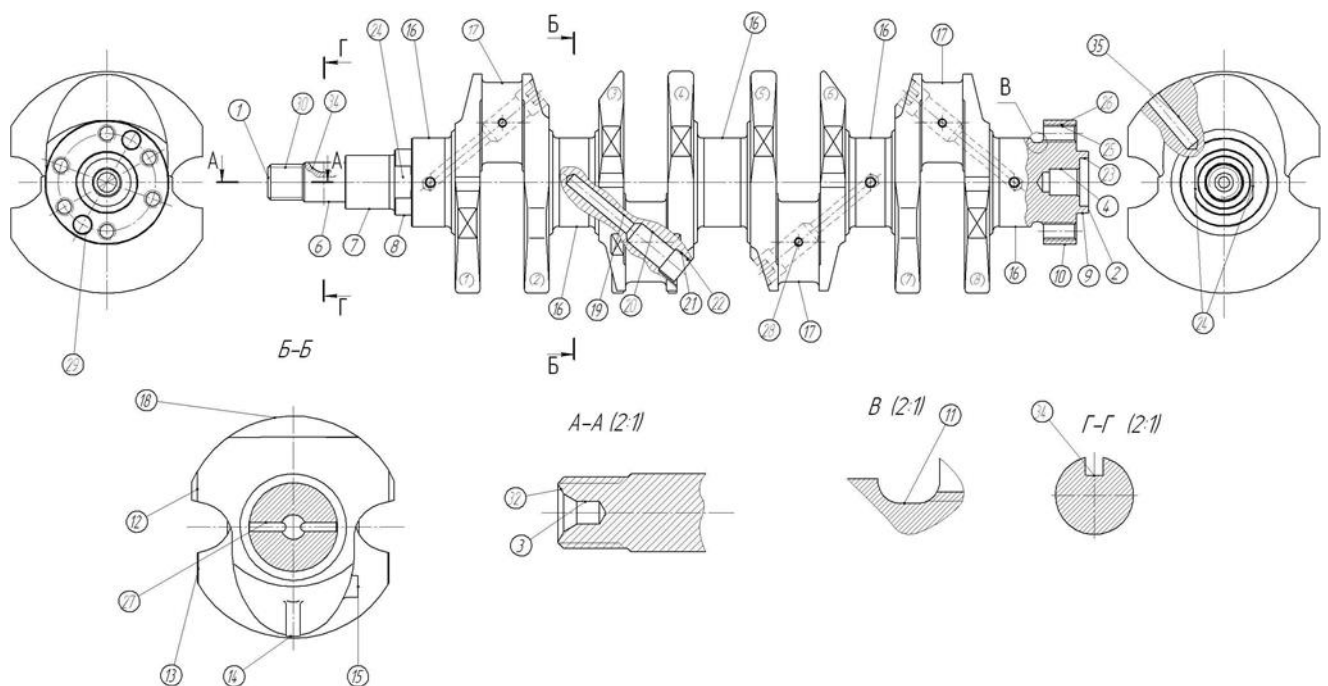


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд деталі з позначеними оброблюваними поверхнями

Після ознайомлення з конструктивними особливостями деталі проводиться аналіз технічних умов для визначення технологічних задач обробки колінчастого вала. Основними критичними поверхнями є корінні ($\varnothing 50$ мм) та шатунні шийки ($\varnothing 45$ мм), які потребують високої точності обробки з шорсткістю $Ra 0,2$. Вимоги до геометрії включають максимально допустимі відхилення на конусність і овальність у межах $0,01$ мм. Паралельність осей корінних і шатунних шийок має бути витримана з відхиленням не більше $0,01$ мм на всій довжині кожної шийки, а максимальне биття не повинно перевищувати $0,02$ мм.

Додатково, шийки під манжети виготовляються з тією ж шорсткістю $Ra 0,2$, причому биття підманжетних шийок повинно перебувати в діапазоні від $0,02$ до $0,4$ мм.

Визначивши найбільш відповідальні поверхні, вибираються методи кінцевої обробки, що забезпечують необхідну точність і якість. Також розглядаються ефективні методи контролю технічних вимог для забезпечення відповідності деталям високим стандартам надійності й експлуатаційної довговічності.

Таблиця 1.2 – Аналіз технічних умов

Познач. поверхні	Технічна умова або вимога	Метод виконання	Метод контролю
16, 17	Забезпечити точність розмірів по 7-му квалітету і шорсткість поверхонь $Ra0,2$	Забезпечується шліфуванням чорновим і чистовим	Контроль розмірів здійснюється шаблонами, а якості обробки – зразками шорсткості
29, 25, 4	Забезпечити точність розміру по 7-му квалітету, співвідношення отворів – 0,016 мм і шорсткість поверхонь $Ra0,8$	Забезпечується свердлінням і розвертуванням	Контроль розмірів пробками, співвідношеності – спеціальним пристроєм, а якості обробки – зразками шорсткості
19, 20, 21	Забезпечити точність розміру по 10-му квалітету	Забезпечується свердлінням	Контроль розмірів пробками
7,10	Забезпечити точність розміру по 8-му квалітету і шорсткість поверхні не більше $Ra0,2$	Забезпечується шліфуванням чорновим та алмазним вигладжуванням	Контроль розміру здійснюється мікрометром, а якості магнітним дефектоскопом
1, 2, 12, 13, 24	Забезпечити точність розмірів по 12-му квалітету	Забезпечується фрезеруванням чорновим	Контроль розмірів здійснюється штангенциркулем

Колінчастий вал є однією з найскладніших і найбільш навантажених деталей у кривошипно-шатунному механізмі, що витримує значні навантаження від тиску газів і сил інерції. Складні умови роботи вимагають підвищених характеристик матеріалу для його виготовлення. Для виготовлення валу застосовується високоміцний чавун ВЧ 700-2, який характеризується високою границею міцності ($\sigma_B = 700$ МПа) і відносним видовженням при розтягу ($\sigma = 2$ МПа). Високоміцний чавун отримується шляхом модифікування сірого чавуну магнієм і цезієм, вміст якого становить 0,01–0,03% від маси рідкого металу, що надає матеріалу шарикоподібну форму графітових включень.

Колінчастий вал підлягає контролю за 80–90 параметрами, що охоплюють розміри, форму та взаємне положення оброблюваних поверхонь.

Серед ключових параметрів контролюються паралельність осей шийок, положення шатунних шийок відносно корінних (зокрема, радіуси кривошипів), кутове розташування шатунних шийок одна відносно одної, точне положення канавки для шпонки щодо кривошипів, а також положення торця фланця відносно осі корінних шийок.

Завдяки такому рівню контролю забезпечується висока якість і надійність колінчастого вала, що сприяє стабільній роботі двигуна навіть за інтенсивних експлуатаційних навантажень.

1.2 Аналіз технологічності конструкції деталі

Одним із ключових факторів, що впливають на вибір технологічного процесу, є технологічність конструкції виробу та його компонентів. При розробці виробів необхідно враховувати не лише експлуатаційні вимоги, але й забезпечувати найекономічніші умови для їх виробництва. Виріб вважається технологічним, якщо він має низьку трудомісткість та собівартість виготовлення. Тому перед проєктуванням технологічного процесу обов'язково проводиться аналіз виробу на технологічність.

Відповідно до ГОСТ 14.202-73, оцінка технологічності конструкції виробу буває якісною та кількісною. Якісна оцінка охоплює такі аспекти, як матеріал деталі, оброблюваність, а також методи отримання заготовок.

Колінчастий вал, як тіло обертання, обертається в підшипниках ковзання, що вимагає підвищених показників зносостійкості та втомної міцності поверхонь шийок. Оцінка якісних показників свідчить про такі переваги конструкції:

- всі поверхні колінчастого вала доступні для обробки;
- проєктування поверхонь виконано з урахуванням вимог до точності;
- заготовка може бути отримана методом прогресивного лиття;

- під час обробки застосовуються високопродуктивні режими;
- контрольовані розміри деталі доступні для безпосереднього вимірювання.

Однак у конструкції присутні й нетехнологічні елементи, зокрема:

- недостатня жорсткість деталі;
- неможливість обробки всієї деталі за одну установку;
- складність виготовлення шатунних шийок через наявність двох осей симетрії вала.

Зважаючи на можливість використання різних інструментів для обробки поверхонь, а також на можливість зміни типів обробки, можна зробити висновок, що колінчастий вал має достатню технологічність для ефективного виробництва.

Кількісна оцінка технологічності базується на визначенні співвідношення між досягнутими показниками та базовими значеннями, що визначають оптимальний рівень продуктивності й економічності виробництва. У ГОСТ 14.201-83 наведено типовий перелік показників технологічності, з якого розробник повинен вибрати мінімальну, але достатню кількість для оцінки.

Найбільш використовувані показники включають:

- Рівень технологічності конструкції за трудомісткістю виготовлення: цей показник враховує час і витрати на виробництво деталі, визначаючи, наскільки її конструкція відповідає вимогам зниження трудомісткості. Чим менше трудовитрат на виготовлення деталі, тим вищий рівень її технологічності.

Окрім трудомісткості, можуть також враховуватися інші кількісні показники, такі як:

- Матеріалоємність: характеризує обсяг матеріалу, необхідного для виробництва деталі.

- Коефіцієнт використання матеріалу: відношення корисної частини матеріалу до загальної його кількості в заготовці, що дозволяє оцінити економічність використання матеріалу.

- Собівартість виготовлення: відображає загальні витрати на виробництво деталі, включаючи матеріали, обладнання та робочу силу.

Розробка технологічної конструкції з урахуванням цих показників забезпечує оптимальне співвідношення між продуктивністю та економічністю виробничого процесу.

$$K_T = \frac{T_\partial}{T_\phi}, \quad (1.1)$$

$$T_\partial = \sum_{i=1}^p t_{um,i}, \quad (1.2)$$

Для нашого випадку $T_\partial = 29,62$ хв, $T_\phi = 36,2$ хв, отже

$$K_T = \frac{29.62}{36,2} = 0,81.$$

Технологічність конструкції деталі з точки зору трудомісткості та собівартості виробництва остаточно встановлюється після розробки і нормування технологічного процесу. Рівень технологічності конструкції за ефективністю використання матеріалу обчислюється за формулою.

$$K_{BM} = \frac{M_\partial}{M_M}, \quad (1.4)$$

Технологічність конструкції деталі щодо використання матеріалу остаточно визначається після вибору методу виготовлення заготовки та

розрахунку припусків на обробку. У нашому випадку маса деталі (M_d) становить 10,2 кг, а маса матеріалу (M_m) – 11,45 кг.

$$K_{BM} = \frac{10,2}{11,45} = 0,89.$$

Рівень технологічності конструкції за точністю обробки

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{T_{сер}}, \quad (1.5)$$

$$T_{сер} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i}, \quad (1.6)$$

$$T_{сер} = \frac{7 \cdot 17 + 10 \cdot 8 + 12 \cdot 4}{29} = 8,3;$$

$$K_{TЧ} = 1 - \frac{1}{8,4} = 0,89.$$

Рівень технологічності конструкції за шорсткістю поверхонь визначається відповідністю поверхонь деталі заданим показникам шорсткості, які забезпечують необхідну якість та експлуатаційні характеристики. Чим менша необхідна шорсткість досягається простішими методами обробки, тим вищий рівень технологічності деталі.

$$K_u = 1 - \frac{1}{III_{сер}}, \quad (1.7)$$

$$III_{сер} = \frac{\sum III_i n_i}{\sum n_i}, \quad (1.8)$$

Показники технологічності за шорсткістю та точністю можуть бути визначені відразу після внесення відповідних змін у креслення, що забезпечує відповідність поверхонь деталі необхідним вимогам якості та точності.

$$Ш_{сер} = \frac{0,2 \cdot 2 + 0,32 \cdot 10 + 1,6 \cdot 7 + 3,2 \cdot 10}{29} = 3,5;$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{3,5} = 0,71.$$

Існує також низка інших показників, які дозволяють конкретизувати конструктивні недоліки та намітити шляхи підвищення технологічності. До них належать рівень уніфікації деталей та їх конструктивних елементів, стандартизація марок і сортamentів матеріалів, типів різьби, посадок тощо.

Результати визначення цих показників технологічності узагальнюються у таблиці 1.5, на основі якої розраховується комплексний показник технологічності. Як показано в таблиці 1.5, кількісні показники технологічності деталі відповідають встановленим вимогам.

Таблиця 1.1 – Показники технологічності деталі

№ п/п	Назва показника технологічності	Позначення	Ваговий коефіцієнт	Числове значення
1	Показник оброблюваності матеріалу	$K_{ом}$	0,5	1,00
2	Коефіцієнт точності	$K_{тч}$	0,6	0,89
3	Коефіцієнт шорсткості	$K_{ш}$	0,6	0,71
4	Коефіцієнт трудомісткості	$K_{т}$	0,7	0,81
5	Коефіцієнт використання матеріалу	$K_{вм}$	1,0	0,89
6	Комплексний показник технологічності	$K_m = \frac{\sum K_i \varphi_i}{\sum \varphi_i}$		0,86

1.3 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

Предметом аналізу є технологічний процес виготовлення деталі «Колінчастий вал» (арт. 245.1005015) у великосерійному виробництві з річним обсягом випуску 70,000 штук.

На операції 005 виконується фрезерування торців, центрування валу та обробка базових поверхонь щік. Заготовки подаються на автоматичну лінію за допомогою крокового конвеєра і кранбалки з тельфером. Вал встановлюється на робочій позиції у самоцентруючі призматичні зажимні губки, орієнтуючись по поверхнях першої та п'ятої корінних шийок. Осьова фіксація здійснюється по третій і шостій щоках, а кутова орієнтація — по першій шатунній шийці.

На операції 010, яка виконується на токарному гідрокопіювальному багаторізцевому напівавтоматі TRMV11M, обробляються хвостовик і фланець під маховик. Встановлення деталі здійснюється в центри верстата з упором в необроблений кінець. Передача крутного моменту на заготовку відбувається через поводок, закріплений на шийці вала.

На операції 015 виконується токарна обробка корінних та шатунних шийок на спеціальному багаторізцевому півавтоматі з центральним приводом. Вал встановлюється по центровим отворах, осьова фіксація здійснюється по центру фланця, а кутова орієнтація — за базовими площадками на третій і четвертій щоках. Передача крутного моменту забезпечується центральним приводом через щоки вала, а обробка проводиться широкими фасонними різцями з гідравлічною подачею супортів.

На операції 025 здійснюється свердління змащувальних каналів. Це досить складний процес через малий діаметр та значну глибину отворів, а також через необхідність скоординованого розташування перетинів каналів. Свердління проводиться на автоматичних лініях, де використовуються багатошпindelні свердлильні автоматизовані верстати з функцією

автоматичного багаторазового виведення свердла для видалення стружки. Спеціальний запобіжний механізм запобігає заклинюванню свердел. У випадку заміни свердел налаштування здійснюються поза лінією обробки, що дозволяє уникнути підналадки верстата. Деталь фіксується по центровим отворах, у кутовому положенні по шатунних площадках, а осьове положення визначається по лівому торцю буртика п'ятої корінної шийки.

На операції 075 виконується шліфування корінних та шатунних шийок на круглошліфувальному верстаті. Заготовка базується в центрах верстата, з осьовим орієнтуванням по торцю оброблюваної корінної шийки. Орієнтація забезпечується механізмом осьового орієнтування. Режими різання включають: шліфувальний круг 24A40C17K5 зі швидкістю обертання 50 м/с; частота обертів заготовки — 60 об/хв; величина врізної подачі варіюється від 1 до 5 мм/хв залежно від етапу шліфування. Завершується процес обов'язковим виходжуванням.

На операціях 080 і 085 проводиться завершальне шліфування фланця і хвостовика за допомогою торцешліфувальних верстатів. Заготовки фіксуються в центрових отворах верстата, після обробки 5–7 деталей шліфувальний круг піддається правці для забезпечення стабільної якості.

Операція 120 включає обробку шпонкового паза на хвостовику колінчастого валу, призначеного для передачі крутного моменту на ведучу шестерню. Ця операція виконується на горизонтально-фрезерному верстаті, де деталь базується в призмах пристосування по корінним шийкам (1 та 5), а осьова орієнтація забезпечується упором у фланець.

Завершальні операції включають балансування колінчастого валу, суперфінішування та слюсарну обробку.

На базовому підприємстві для виготовлення цієї деталі застосовується потужне та дорогівартісне обладнання, що відповідає наявному верстатному парку. Існує можливість оптимізувати процес шляхом підбору раціональнішого обладнання, що може знизити собівартість виробництва. У чинному технологічному процесі застосовується стандартне та спеціальне

оснащення. Для підвищення продуктивності й якості обробки можна впровадити сучасний інструмент і оснащення.

Загалом базовий технологічний процес відповідає виробничим вимогам, але потребує вдосконалення для покращення ефективності та зниження витрат.

Таблиця 1.1 – Базовий технологічний процес виготовлення деталі
245.1005015

№	Найменування операції	Найменування обладнання
1	2	3
005	Автоматно-лінійна	А/л 6621020
010	Спеціальна токарна	TRMV - 11М
015	Токарна	1Н713Н3466
020	Спеціальна токарна	TRMV - 11М
025	Автоматно-лінійна	А/л 6621021
030	Автоматно-лінійна	А/л 6621022
035	Різьбофрезерна	5993П
040	Промивання	МК 7178
045	Контроль	Стіл ОТК
050	Загартування	AEG ELOTHERM
055	Промивання	МК 7178
060	Фаскозачистна	2Н135
065	Фаскозачистна	2Н135
070	Спеціальна шліфувальна	ХШ4-12Н88
075	Спеціальна шліфувальна	РАГ 1100/6А
080	Спеціальна шліфувальна	ХШ2-16Н49
085	Спеціальна шліфувальна	ХШ2-16Н49
090	Обкатка	TRMV - 11М
090	Спеціальна фрезерна	6П11Ф3- 1
95	Промивання	МК 7178
100	Слюсарна	Верстак слюсарний

105	Балансування	2HK35
110	Суперфінішно-полірувальна	SFM 7210/694 40 Грієскабер
115	Промивання	МК 7178
120	Слюсарна	Верстак слюсарний
125	Промивання	МК 7178
130	Рихтувальна	UVAFORM
135	Контрольна	Стіл ВТК

1.4 Сучасні інновації в технологіях, обладнанні та оснащенні для виробництва аналогічних виробів

Сучасне машинобудування зазнало значного прогресу в розвитку нових методів обробки матеріалів, таких як електрофізичні та електрохімічні методи. Фізико-хімічні методи обробки (ФХО) включають підходи, що забезпечують зняття матеріалу шляхом фізико-хімічних процесів. Залежно від механізму руйнування та зняття матеріалу, фізико-хімічні методи обробки поділяються на три основні групи:

1. Електрофізичні методи обробки (ЕФО): базуються на тепловому впливі на матеріал. Під час обробки використовуються теплові ефекти, що виникають від електричного струму, який створює в зоні обробки високу щільність теплової потужності. Основні види ЕФО включають:

- Лазерна обробка — передбачає вплив на матеріал сфокусованого монохроматичного або поліхроматичного випромінювання, яке спричиняє нагрівання, плавлення чи випаровування. Лазерна обробка застосовується для операцій вирізання заготовок, нанесення маркування, локального легування, паяння тощо.

- Плазмова обробка - використовує низькотемпературну плазму для зміни складу, структури або фізичного стану матеріалу, що призводить до корекції форми чи розмірів. Робочий інструмент для плазмової ЕФО — плазмотрони або генератори низькотемпературної плазми.

2. Електрохімічні методи обробки (ЕХО): один із сучасних способів формування деталей із металів і сплавів із заданими параметрами форми, розмірів та якості поверхні. ЕХО поділяються на кілька видів:

- Анодна електрохімічна обробка - ґрунтується на анодному розчиненні металу, особливо ефективна для матеріалів, складних для механічної обробки. Цей метод не потребує контакту між інструментом і заготовкою, що робить його підходящим для тонкостінних деталей, які легко деформуються, або для крихких матеріалів, що схильні до тріщин. Основні переваги анодної ЕХО включають:

- практично відсутній знос інструменту;
- поліпшення якості поверхні деталі;
- високу точність обробки.

Суттєвим недоліком електрохімічної обробки є те, що висока електропровідність електролітів призводить до низької локалізації процесу, спричиняючи розчинення металу не тільки у визначеній зоні, а й у сусідніх ділянках поверхні деталі.

1. Катодна електрохімічна обробка (ЕХО): передбачає протікання електричного струму в електрохімічній системі, де іони металу осідають на катоді, який має форму деталі. Після досягнення потрібної товщини шару металу копію відокремлюють від форми, отримуючи деталь.

- Переваги: висока точність копіювання геометрії та рельєфу поверхні; зниження трудомісткості виготовлення деталей порівняно з традиційними механічними методами, скорочення кількості робітників.

- Недолік: у стаціонарних гальванічних ваннах процес займає тривалий час і може спричиняти шорсткості.

1. Комбіновані методи обробки: кожен із методів ФХО має унікальні

технологічні можливості, але загалом вони є більш енерговитратними та менш продуктивними порівняно з механічною обробкою. Установки для ФХО також дорожчі та складніші, потребують більших виробничих площ. Застосування ФХО доцільне в таких випадках:

- обробка конструкційних матеріалів з низькою оброблюваністю (високолеговані сталі, тверді сплави, напівпровідники);
- обробка деталей складної геометрії з важкооброблюваних матеріалів (прес-форми, лопаті турбін);
- обробка мініатюрних тонкостінних деталей складної форми.

Ефективність ФХО особливо проявляється при обробці деталей складної форми з високими фізико-механічними характеристиками, коли механічна обробка є малоефективною. Основні застосування ФХО:

1. Заготівельні операції: різання заготовок із жаростійких сталей і титанового сплаву;
2. Формоутворюючі операції: копіювання, прошивання, електрохімічне точіння;
3. Калібрування: покращує точність і зменшує шорсткість після механічної обробки шнеків;
4. Оздоблювальні операції: видалення задирок, полірування у важкодоступних місцях;
5. Полірування: покращує мікрогеометрію деталей, знижує шорсткість і надає дзеркального блиску.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Визначення типу і організаційної форми виробництва

У машинобудуванні виділяють три основні типи виробництва: масове, серійне та одиничне.

- Масове виробництво передбачає безперервне виготовлення продукції протягом кількох років. Характерна риса масового виробництва - виконання на більшості робочих місць лише однієї фіксованої операції.

- Серійне виробництво полягає у виготовленні серій виробів, які повторюються через визначені проміжки часу. Відмінною рисою серійного виробництва є виконання на робочих місцях кількох повторюваних операцій.

- Одиничне виробництво передбачає виготовлення продукції широкого асортименту у невеликих кількостях, що не повторюється або повторюється через невизначені проміжки часу.

Тип виробництва визначається двома основними чинниками: заданою програмою випуску та трудомісткістю виготовлення продукції. На основі заданої програми розраховується такт випуску виробів, а трудомісткість визначається середнім штучним часом виконання операцій згідно з діючим чи аналогічним технологічним процесом. Відношення цих показників називається коефіцієнтом серійності.

$$k_c = \frac{t_B}{T_{шт}^{cp}} \quad (2.1)$$

Прийняті наступні коефіцієнти серійності:

для масового виробництва $k_c = 1$;

для великосерійного виробництва $k_c = 2 \div 10$;

для середньосерійного виробництва $k_c = 10 \div 20$;

для дрібносерійного виробництва $k_c > 20$.

Орієнтовно тип виробництва вибирається виходячи з програми випуску і ваги оброблюваних деталей, потім після розробки техпроцесу уточнюється по k_c .

При програмі випуску $N = 70000$ шт. в рік і масі $m = 10,2$ кг орієнтовно тип виробництва – масовий.

Для масового виробництва розраховується такт випуску по формулі:

$$t_B = \frac{F_o \cdot 60}{N}, \text{ хв/дет} \quad (2.2)$$

$$t_B = \frac{3804 \cdot 60}{70000} = 3,8 \text{ хв/дет};$$

Для масового виробництва оптимальна кількість деталей в партії $\backslash (n \backslash)$ для одночасного запуску розраховується за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{F}, \text{ шт.} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{70000 \cdot 3}{254} = 826,77 \cong 827 \text{ шт.}$$

$$T_{um}^{cp} = \frac{0,257 + 0,618 + 1,267}{3} = 0,714$$

$$k_c = \frac{2,8}{0,714} = 4,57$$

Так як $k_c = 2 \div 10$, відповідно, виробництво великосерійне.

2.2 Обґрунтування методу отримання заготовки

Порівняння вартості заготовки для двох методів литва - литва в землю та литва в оболонкові форми - показує, що литво в оболонкові форми значно ефективніше, хоча й потребує додаткових витрат на обладнання.

Литво в землю:

- маючи великі припуски, потребує більше токарних і шліфувальних операцій для досягнення точності, що збільшує загальні витрати на механічну обробку;

- додатково потребує більше обрубних та очисних робіт.

Литво в оболонкові форми:

- забезпечує вищу точність відбитку, меншу шорсткість поверхні і, як результат, меншу потребу в механічній обробці (скорочує її обсяг на 40-50%);

- зменшує об'єм обрубних і очисних робіт на 50%, витрати металу на 30–50%, а витрати формувальної суміші - в 10–20 разів;

- дозволяє повністю механізувати процес виготовлення заготовок, що знижує виробничі витрати на одиницю продукції.

Таким чином, литво в оболонкові форми, хоча і може вимагати більших початкових інвестицій, є більш економічним і технологічно вигідним рішенням у довгостроковій перспективі.

Обґрунтування економічнішого варіанту заготовки визначаємо по коефіцієнту використання матеріалу (K_{BM}) і по порівнянню вартості варіантів заготовки ($S_{заг}$):

$$K_{BM} = \frac{M_{dem}}{M_{заг}}, \quad (2.4)$$

Обчислення вартості заготовки:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_{1\text{тонни}}}{1000} \cdot M_{заг} \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_n \right) - (M_{заг} - M_{\partial}) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (2.5)$$

де K_c , K_v , K_n – коефіцієнти серійності, маси матеріалу, складності заготовки;

$C_{1\text{тонни}}$ – базова вартість 1 т заготовок (173600 грн.);

$S_{відх}$ – ціна 1 тонни відходів, грн. для лиття в землю:

$$K_{BM} = \frac{10,2}{12,7} = 0,803.$$

$$S_{заг} = \left(\frac{173600}{1000} \cdot 12,7 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \right) - (12,7 - 10,2) \frac{1400}{1000} = 220 \text{ грн.}$$

1) для лиття в оболонкові форми:

$$K_{BM} = \frac{10,2}{11,45} = 0,89.$$

$$S_{заг} = \left(\frac{17360}{1000} \cdot 11,45 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \right) - (11,45 - 10,2) \frac{1400}{1000} = 216 \text{ грн.}$$

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика

Вид заготовки	K_{BM}	Вартість заготовки, грн
лиття в землю	0,80	220
лиття в оболонкові форми	0,89	216

На основі порівняння коефіцієнтів використання матеріалу та вартості заготовки можна зробити висновок, що економічнішим варіантом є заготовка, отримана методом литва в оболонковій формі.

Мінімальна товщина стінок заготовки призначається з урахуванням необхідної розрахункової міцності та вимог технологічного процесу для обраного методу литва. Визначення найменшої товщини стінок здійснюється залежно від приведенного габариту заготовки.

$$N = \frac{(2l + b + h)}{3}, \quad (2.6)$$

$$N = \frac{(2 \cdot 0,4625 + 0,114 + 0,1235)}{3} = 0,3875_{\text{мм.}}$$

Мінімальні значення товщини стінок виливка, згідно з таблицею 25, становлять 4 мм. Мінімальний діаметр отворів, виконаних методом литва, вибирається так, щоб уникнути надмірного перегрівання та пригару стержня до стінок отвору. Можливість спікання стержневої суміші та пригару визначається масою металу, тому мінімальний розмір литих отворів залежить від товщини стінки (довжини стержня) і може бути розрахований за формулою:

$$d_{\min} = d_0 + 0,1S \quad (2.7)$$

де d_0 – вихідний діаметр, мм;

S – товщина стінки, мм.

Початковий діаметр вибирається по таблиці 21 [16] залежно від матеріалу виливків для чавунів – 7 мм. Початковий діаметр для литва в оболонковій формі – 7,5 мм.

$$d_{\min} = 7,5 + 0,1 \cdot 3,5 = 7,85_{\text{мм.}}$$

Оскільки вказаний на кресленні діаметр отвору (7 мм) менший за розрахунковий мінімальний розмір, його не виготовляють литтям. Допуски на лінійні розміри виливків встановлюються відповідно до ДСТУ 8981:2020, залежно від класу точності та номінального розміру.

Припуски на механічну обробку виливків (на одну сторону) поділяються на основні та додаткові. Основні припуски (див. таблицю 6) обираються відповідно до допусків на заданий розмір виливка та ряду припусків [16, таблиця 2]. Додатковий припуск призначений для компенсації відхилень у розташуванні елементів виливка, таких як викривлення та зміщення по площині роз'єму.

Таблиця 2.2 – Припуски і допуски на оброблювані поверхні

№ поверхні	Номінальний розмір деталі, мм	Припуск, мм			Допуск по 7 класу точності, мм	Розміри заготовок, мм
		Основний	Допоміжний	Загальний		
1	462,5	1,5	0,5	3,5	1,1	466±0,5
2	Ø50	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø 53 ^{+0,82} _{+0,18}
3	Ø45	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø 48 ^{+0,82} _{+0,18}
4	Ø30	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø 33 ^{+0,82} _{+0,18}
5	Ø20	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø 23 ^{+0,82} _{+0,18}
6	Ø22	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø 25 ^{+0,82} _{+0,18}
7	Ø35	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø38 ^{+0,82} _{+0,18}
8	Ø70	1,5	0,25	3,5	0,64	Ø73 ^{+0,82} _{+0,18}

Формувальні нахили призначаються на вертикальних стінках виливка для полегшення видалення моделі з форми та стержня із стержневого ящика. Нахили встановлюються відповідно до ДСТУ 3212–98, залежно від розмірів заглибин, висоти формувальної поверхні, методу лиття та типу модельного комплекту:

- нахил на кінцях валу: 0°41' та 1°16';
- нахил на щоках валу: 0°30'.

2.3 Обґрунтування вибору технологічних баз

Система установки та фіксації, технологічні платформи, опорні та затискні елементи пристрою мають забезпечувати точне позиціонування заготовлі відносно різальних інструментів, забезпечувати її стабільне кріплення і незмінність основи протягом всього часу обробки за даної настройки. Поверхні, обрані як основи для заготовки, та їх взаємне розташування повинні дозволяти використовувати просте і надійне кріплення, забезпечувати легкість установлення, фіксації, знімання та роз'єднання, а також можливість застосування необхідних затискних сил і доступ різальних інструментів в потрібних місцях.

При виборі основ для обробки важливо дотримуватися основних принципів кріплення. Зазвичай, повний цикл обробки деталі з чорнової фази до фінальної виконується з послідовною зміною основ. Однак, для зниження помилок і підвищення продуктивності, потрібно намагатися зменшити кількість перестановок заготовки під час обробки.

Основами для колінчастого валу служать поверхні його опорних шийок. Проте не на всіх етапах обробки можливо використовувати ці основи. В окремих випадках, на певних операціях, як технологічні основи обираються поверхні центрових отворів.

Під час операції 005 відбувається фрезерування базових поверхонь і свердління центрових отворів. Заготовка розміщується в спеціальних призмах пристосування по корінним шийкам 1 і 5 і орієнтується вздовж осі валу, з упором в торець щоки. На позиціях 3 і 4 деталь фіксується в центри спеціального пристосування з упором в торець фланця.

На операції 010 здійснюється проточка хвостовика і фланця колінчастого валу. Деталь встановлюється в центри токарного верстату з упором на необробленому кінці валу. Крутний момент передається від шпинделя верстату до

заготовки через поводок. Кутове положення деталі визначається положенням поводка, розташованого на шийці вала.

На операції 015 виконується протягування корінних і шатунних шийок. У цій операції деталь встановлюється за центровими отворами, при цьому осьова фіксація здійснюється по центровому отвору в фланці, а кутова орієнтація – за допомогою фрезерованих базових площадок на 3 і 4 щоках. Крутний момент передається через щоки валу від центрального приводу.

На операції 025 відбувається свердління змащувальних каналів. Заготовка фіксується в центри спеціального пристосування, а її орієнтація виконується за допомогою механізму осьового повертання.

Під час операцій 060, 065, 070 проводиться відновлення технологічних баз після зняття основної частини припуску. Встановлення заготовки здійснюється в патроні верстата та люнеті підтримуючого пристрою, з фіксацією осьового положення через упор в одну зі щок.

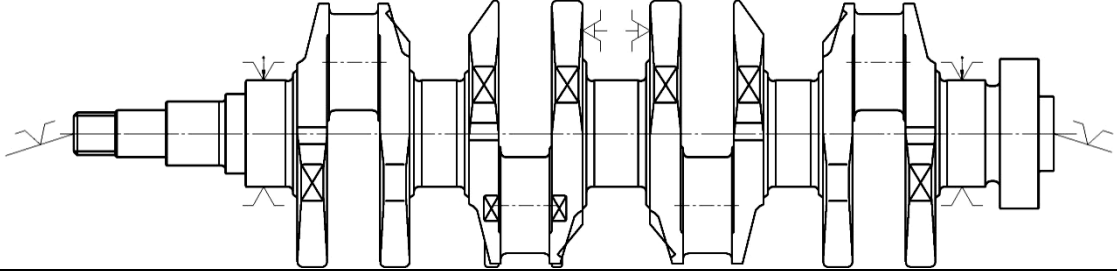
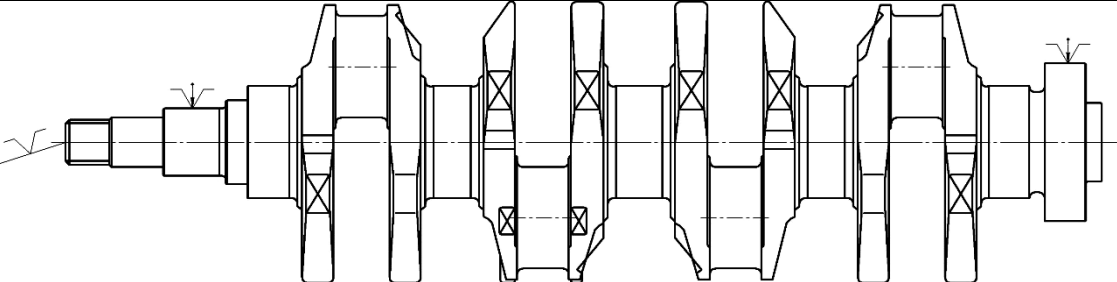
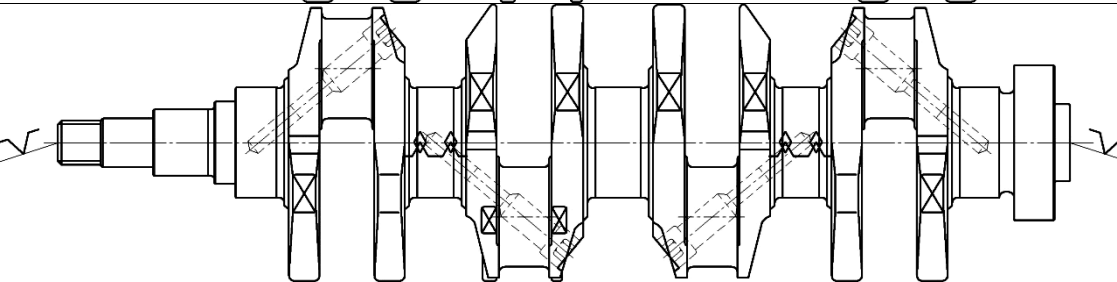
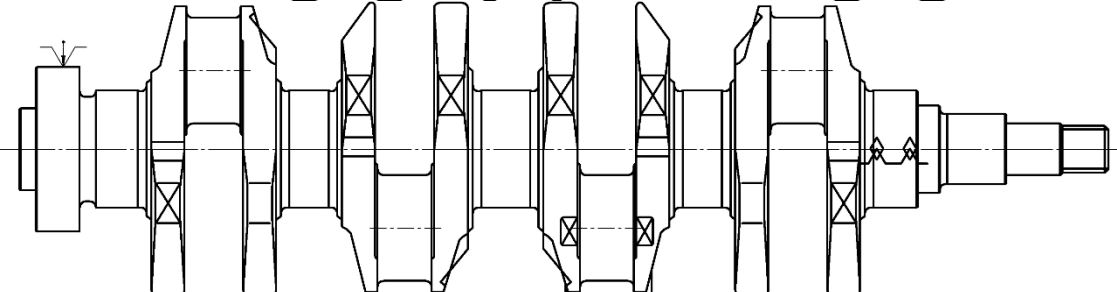
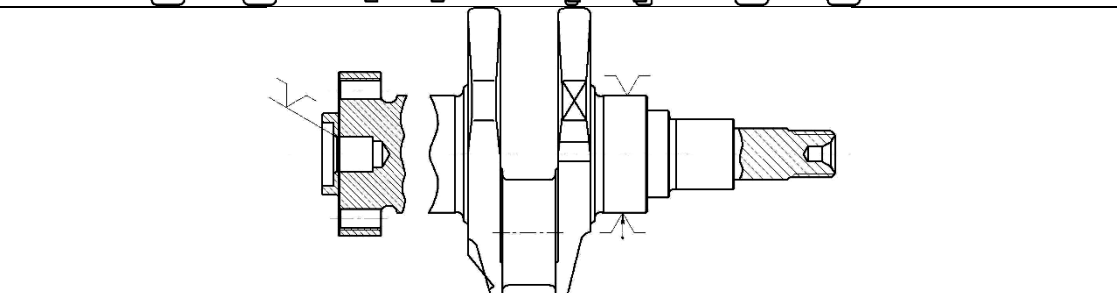
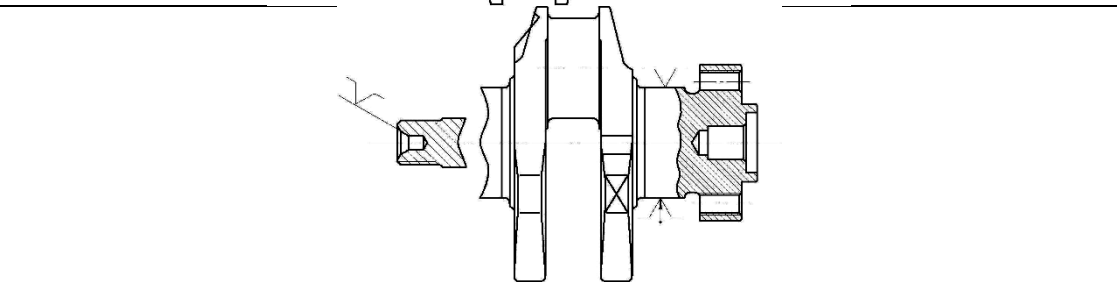
На операції 075 виконується шліфування корінних і шатунних шийок колінчастого валу. Для цього деталь базується в центрах круглошліфувального верстата, осьова орієнтація забезпечується торцем оброблюваної корінної шийки.

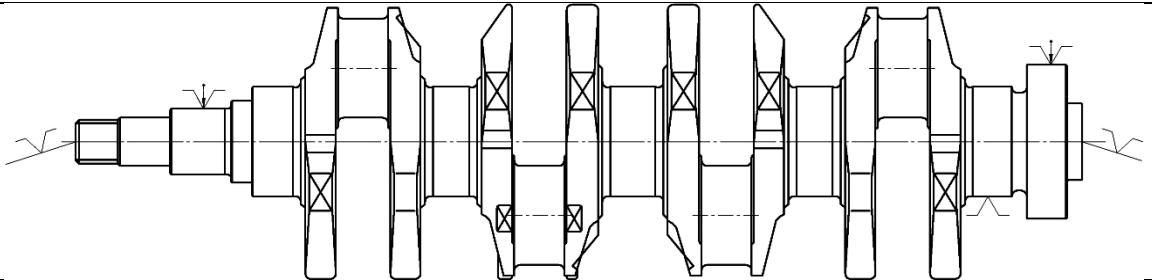
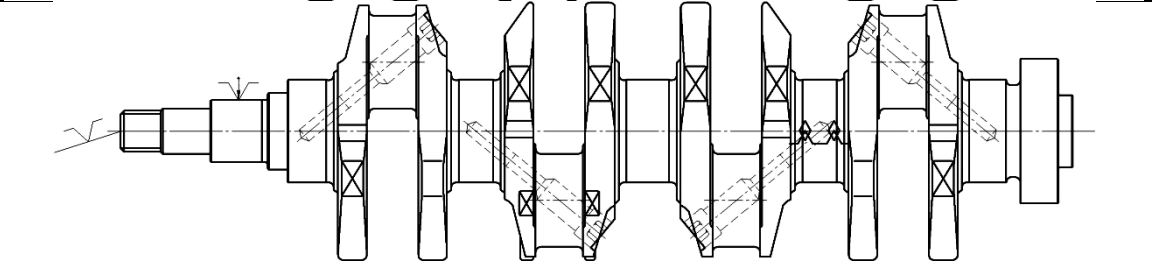
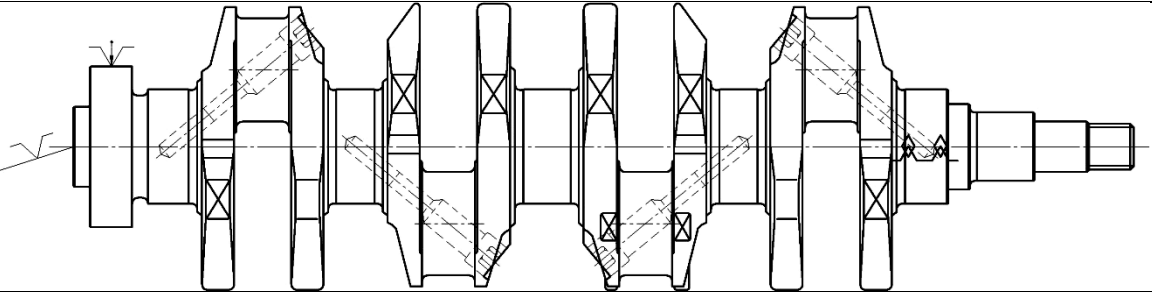
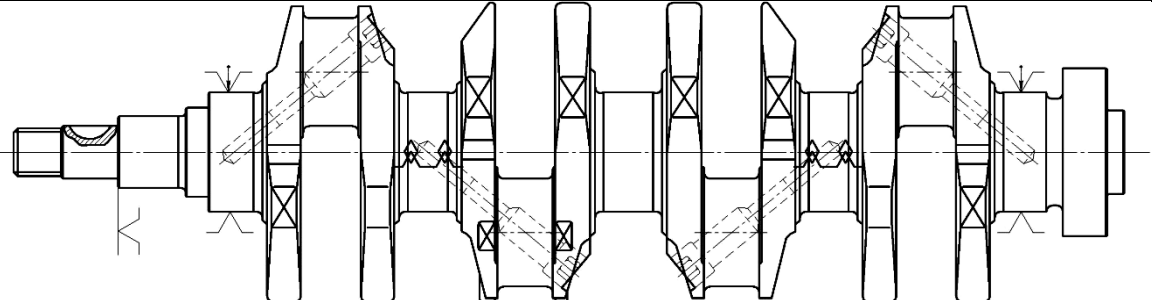
На операції 090 здійснюється алмазне вигладжування підманжетних шийок. Заготовка встановлюється на центрові фаски у центрах верстата, при цьому осьова орієнтація виконується відносно торця фланця чи цапфи.

На операції 095 виконується обробка шпоночного паза. Деталь базується в призмах пристосування за корінними шийками 1 і 5, а осьова орієнтація забезпечується через упор в фланець.

Схеми закріплення деталі по операціях подані в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Схеми закріплення деталі по операціях

№ операції	Схема закріплення деталі
1	2
005	
015	
025	
035	
060	
065	

1	2
070	
075	
080	
085	

2.4 Структурний аналіз та оптимізація технологічного маршруту обробки

Технологічний процес механічної обробки колінчастого валу ускладнюється через його складну конструкцію, недостатню жорсткість і

схильність до деформацій під дією сил різання. Високі вимоги до точності обробки поверхонь потребують ретельного вибору методів базування, фіксації, обробки, а також визначення послідовності операцій, їх поєднання та вибору відповідного обладнання. При проектуванні обробки слід передбачити додаткові проміжні опори вздовж валу для компенсації його недостатньої жорсткості.

Належний порядок обробки поверхонь має значний вплив на кінцевий результат. Більш точні поверхні слід обробляти на завершальних етапах з мінімальним зняттям припусків. Точність колінчастого валу також підвищується за рахунок холодної правки в процесі обробки. Шатунні шийки обробляються з осьовим зміщенням на величину радіуса кривошипа валу, а кутова орієнтація досягається завдяки обробленим площадкам на щоках. Важливим фактором точності є зусилля фіксації валу на кожній операції, тому їх розмір і місце прикладання слід ретельно регламентувати.

Складність конструкції і велика кількість операцій ускладнюють повну автоматизацію обробки колінчастого валу. Тому автоматизація досягається через створення окремих автоматичних дільниць і високопродуктивних автоматичних верстатів для специфічних операцій.

При автоматизації технологічного процесу синхронізація обладнання забезпечується поділом операцій, тривалість яких перевищує такт випуску, та застосуванням взаємозамінного інструменту з автоматичною заміною. У таблицях 2.4 і 2.5 представлено два варіанти послідовності механічної обробки колінчастого валу, які надалі будуть проаналізовані для вибору оптимального варіанта.

Таблиця 2.4 – Послідовність операцій першого варіанту технологічного процесу

№ операції	Найменування операції	Опис операції та номери оброблюваних поверхонь	Найменування устаткування
1	2	3	4
005	Автоматно – лінійна	фрезерування торців; свердління центрових отворів; фрезерування технологічних опорних баз на щоках (1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15)	А/л 6621020
010	Спеціальна токарна	обточування кінців валу (1, 36, 6, 7, 8, 9, 10, 11)	TRMV – 11М
015	Токарно – протяжна	протягування корінних шийок і шатунних шийок, а також їх скруглень (17, 16)	KW 1390
020	Спеціальна токарна	обточування противаг і щік, (18, 44)	TRMV – 11М
025	Автоматно – лінійна	обробка поверхонь чотирьох мастильних каналів (19, 20, 21, 22)	А/л 6621021
030	Автоматно – лінійна	обробка центрального отвору у фланці, фрезерування двох лисок на кінці валу; розточування отвору під підшипник з боку фланця і усіх шести отворів у фланці, нарізування різьби в них; свердління отворів в корінних і шатунних шийках (4, 23, 24, 26, 25, 27, 28, 29)	А/л 6621022
035	Різьбофрезерна	нарізання різьби на кінці валу (30)	5993П
040	Промивання	промивання усіх наявних отворів	МК 7178
045	Контроль	контроль отриманих розмірів	Стіл ОТК
050	Загартування	загартування корінних і шатунних шийок (16, 17)	AEG ELOTHERM
055	Промивання	промивання валу	МК 7178

1	2	3	4
095	Спеціальна фрезерна	фрезерування паза шпонки (34)	6П11Ф3– 1
100	Промивання	–	МК 7178
105	Слюсарна	обробка отворів в корінних і шатунних шийках (27, 28)	Верстак слюсарний
110	Балансування	–	2НК35
115	Суперфінішн о– полірувальна	Полірування корінних та шатунних шийок (16, 17)	SFM 7210/694 40 Грієскабер
120	Промивання	промивання деталі	МК 7178
125	Слюсарна	обробка отворів в корінних і шатунних шийках (27, 28)	Верстак слюсарний
130	Промивання	промивання деталі	МК 7178
135	Рихтувальна	правка валу	UVAFORM
140	Контрольна	контроль отриманих розмірів і їх шорсткості	Стіл ВТК

Таблиця 2.5 – Послідовність операцій другого варіанту технологічного процесу

№ операції	Найменування операції	Опис операції та номери оброблюваних поверхонь	Найменування устаткування
1	2	3	4
005	Автоматно– лінійна	(1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15)	А/л 6621020
010	Спец. токарна	(1, 36, 6, 7, 8, 9, 10, 11)	TRMV – 11M
015	Спеціальна– токарна	точіння корінних шийок і шатунних шийок (17, 16)	1Н713Н3466
020	Спеціальна токарна	(18, 44)	TRMV – 11M

025	Автоматно— лінійна	(19, 20, 21, 22)	А/л 6621021
030	Автоматно— лінійна	(4, 23, 24, 26, 25, 27, 28, 29)	А/л 6621022
035	Різьбофрезер на	(30)	5993П
040	Промивання	—	МК 7178
045	Контроль	контроль отриманих розмірів	Стіл ВТК
050	Загартування	(16, 17)	AEG ELO THERM
055	Промивання	промивання валу	МК 7178
060	Фаскозачистн а	(32)	2Н135
065	Фаскозачистн а	(4)	2Н135
070	Спеціальна шліфувальна	(5,6,7,8,10,12,13,14,16,44,279,126,16 9,170,172,190,191)	ХШ4–12Н88
075	Спеціальна шліфувальна	(16,17)	РАГ 1100/6А
080	Спеціальна шліфувальна	(9,10)	ХШ2–16Н49
085	Спец. Шліф.	(6,7,8)	ХШ2–16Н49
090	Контроль	контроль отриманих розмірів	Стіл ВТК
095	Спеціальна фрезерна	(34)	6П11Ф3– 1
100	Промивання	промивання деталі	МК 7178
105	Слюсарна	(27, 28)	Верстак слюсарний
110	Балансування	промивання деталі	2НК35
115	Суперфінішн о— полірувальна	(16, 17)	SFM 7210/694 40 Грієскабер
120	Промивання	промивання деталі	МК 7178
125	Слюсарна	(27, 28)	Верстак слюсарний
130	Промивання	промивання деталі	МК 7178
135	Рихтувальна	правка валу	UVAFORM
140	Контрольна	контроль отриманих розмірів і їх шорсткості	Стіл ВТК

Запроектовані два варіанти технологічного процесу обробки є дуже схожими як між собою, так і з базовим процесом. Основні відмінності полягають у першому варіанті, де операція 015 змінена з спеціально-токарної на більш продуктивну токарно-протяжну, а чистове шліфування підманжетних шийок замінено на алмазне вигладжування. Крім того, у першому варіанті використано більш ефективне пристосування та ріжучий інструмент.

Протягування круговими протяжками, порівняно з точінням, створює менші навантаження на колінчастий вал завдяки оптимальному розташуванню ріжучих кромок, що розділяють профіль шийки на окремі сегменти. Це забезпечує поетапне включення ріжучих кромок у роботу, що значно знижує сили різання. Передача обертальної подачі з обох кінців валу запобігає його деформації та забезпечує високу геометричну точність.

Стружка дробиться, що позитивно впливає на технологічний процес. Деформація валу за новою технологією (перший варіант) становить 0,1–0,2 мм (проти 1,5–2 мм у базовому та другому варіантах). Це дозволило уникнути першого перецентрування центрових отворів і після ТВЧ-загартування й відпуску отримати вали з биттям по корінних шийках у межах 0,3–0,4 мм.

Завдяки високій точності, досягнутій при протягуванні, припуски на шліфування корінних та шатунних шийок зводяться до мінімуму. На обробленій поверхні утворюється багатокутний профіль, який сприяє саморегулюючому зносу та очищенню зерен шліфувального круга. Ця особливість дозволяє в окремих випадках відмовитися від попереднього шліфування.

У першому варіанті технологічного процесу для автоматно-лінійної операції 025 використовуються спеціальні гарматні свердла з отворами для подачі змащувально-охолоджувальної рідини. Це дозволяє поєднувати час операцій та скорочувати загальний час обробки. Також було спроектовано спеціальне пристосування для свердління змащувальних отворів, яке

зменшує час установки та фіксації заготовки та забезпечує автоматичну орієнтацію заготовки на робочій позиції.

На операції 075 застосовується шліфувальний круг з переривчастою робочою поверхнею. Такий підхід до шліфування передбачає періодичний розрив контакту круга із заготовкою, що знижує теплову напругу поверхневих шарів матеріалу. Дослідження показали, що такий метод контролю температури в зоні обробки підвищує якість обробки і продуктивність шліфування. В ряді випадків ефект переривчастого контакту перевищує оптимізацію звичайних умов шліфування.

Ефективність переривчастого шліфування обумовлена точним співвідношенням довжин западин і виступів на крузі. Переривчасті круги, особливо з радіальними прорізами, мають високу вентильовуючу здатність, що забезпечує потужний потік повітря в зону різання. Це допомагає видувати стружку, знижуючи засалювання круга. До того ж надлишок повітря сприяє окисленню і згорянню стружки, роблячи її більш дрібною та крихкою, що запобігає налипанню на зерна круга.

Дослідження на гартованих, цементованих, азотованих сталях та жароміцних сплавах показують, що при переривчастому шліфуванні сили різання знижуються на 20-35% порівняно зі звичайним шліфуванням.

Завдяки високій продуктивності переривчастого шліфування, можна досягти необхідної точності обробки при одночасному зниженні теплової напруги, що дозволяє уникнути пропалень та мікротріщин. Таким чином, розвиток спеціалізованих методів переривчастого шліфування створює можливості для подальшого підвищення інтенсивності технологічних процесів у виробництві деталей машин.

Застосування кругів із переривчастою робочою поверхнею на машинобудівних заводах під час шліфування заготовок з матеріалів, схильних до пропалень і тріщин, може значно знизити рівень браку. У порівнянні зі звичайними кругами, круги з переривчастою поверхнею при оптимальному поєднанні довжин виступів і западин:

- знижують температуру в зоні контакту на 30–40%;
- дозволяють шліфувати деталі в більш інтенсивному режимі без ризику пропалень і тріщин, що підвищує продуктивність у 2–3 рази;
- підтримують довготривалу різальну здатність зерен, скорочуючи частоту правки таких кругів у 3–5 разів. Загальна стійкість кругів із переривчастою поверхнею зростає в 2–3 рази.

У технологічному процесі виготовлення колінчастого валу близько 40% припадає на шліфувальні та завершальні операції. Щоб покращити експлуатаційні характеристики валу, знизити кількість дефектів у місцях сальникових ущільнень та зменшити його собівартість, у першому варіанті технологічного процесу запропоновано обмежитись чорновим шліфуванням підманжетних шийок, а чистове шліфування та суперфініш замінити зміцнювально-вигладжувальною обробкою (операція 090). Після обробки шийок під манжети поверхневий шар став на 42% міцнішим порівняно з шліфуванням, а кількість дефектів ущільнень у гарантійний період зменшилася втричі.

Обробка колінчастого валу виконується на автоматизованому верстаті з подачею валу знизу у робочу зону, що визначає положення важільної системи інструментального модуля.

Згідно з критеріями оцінки ефективності нових технологій, найвигіднішим є варіант, у якого сумарні поточні та приведені витрати на одиницю продукції є мінімальними. Суму цих витрат на одиницю продукції називають годинними приведеними витратами (C), які розраховують за відповідною формулою.

$$C_{n.z.} = \frac{C_z}{M} + C_{ч.з.} + E_n \cdot (K_c + K_z), \quad (2.8)$$

Основну і додаткову заробітну плату визначаємо за формулою:

$$C_3 = C_{m.\phi} \cdot 1,53 \cdot k \quad (2.9)$$

Годинні витрати на експлуатацію робочого місця визначаємо за формулою:

$$C_{ч.з} = C_{ч.з}^{\bar{}} \cdot k_m, \quad (2.10)$$

Капітальні вкладення у верстат і будівлю можна визначити за формулами:

$$K_c = \frac{Ц \cdot 1,00}{3200}, \quad (2.11)$$

де $Ц$ - балансова вартість верстата, грн.

$$K_3 = \frac{F \cdot 75 \cdot 1,00}{3200}, \quad (2.12)$$

де F - площа, яку займає верстат, м².

Оскільки перший і другий варіанти відрізняються операціями 015, 025, 090, порівняння здійснюємо лише за цими операціями.

Перший варіант.

Операція 015 – Спеціальна токарна, верстат – KW 1390.

$k_i = 1,22$; $Ц = 30150$ грн; $F = 80$ м².

$$C_3 = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,10 = 13,778 \text{ грн/год},$$

$$C_{ч.з} = 13,778 \cdot 1,08 = 14,882 \text{ грн/год},$$

$$K_c = \frac{30150 \cdot 1,00}{3200} = 9,4200 \text{ грн/год},$$

$$K_z = \frac{80 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 1,875 \text{ грн/год}.$$

$$C_{n.3.1} = 13,778/0.5 + 14,882 + 0,2 \cdot (9,42 + 1.875) = 44.697 \text{ грн/год}.$$

Операція 025 – Автоматно – лінійна, автоматична лінія - А/Л 6621021

$\kappa_i = 1,05$; $Ц = 430000$ грн; $F = 366 \text{ м}^2$.

$$C_z = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,15 = 14,04 \text{ грн/год},$$

$$C_{c.3} = 14,04 \cdot 1,12 = 16,133 \text{ грн/год},$$

$$K_c = \frac{430000 \cdot 1,00}{3200} = 134,33 \text{ грн/год},$$

$$K_z = \frac{366 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 8,58 \text{ грн/год}.$$

$$C_{n.3.2} = 14,04 + 16,133 + 0,2 \cdot (134,33 + 8,57) = 44,06 \text{ грн/год}.$$

Операція 090 – Вигладжувальна, верстат - SMA 102V

$\kappa_i = 1,05$; $Ц = 47850$ грн; $F = 19 \text{ м}^2$ [1, с.173].

$$C_z = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,10 = 13,778 \text{ грн/год},$$

$$C_{c.3} = 13,778 \cdot 1,08 = 14,882 \text{ грн/год},$$

$$K_c = \frac{47850 \cdot 1,00}{3200} = 14,953 \text{ грн/год},$$

$$K_z = \frac{19 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 0,44 \text{ грн/год}.$$

$$C_{n.3.3} = 13,778 + 14,882 + 0,2 \cdot (14,953 + 0,44) = 31,73 \text{ грн/год}.$$

Вартість механічної обробки по цих операціях першого варіанту технологічного процесу становить:

$$C_{o1} = \frac{C_{n.31} \cdot T_{шт.1}}{60} + \frac{C_{n.32} \cdot T_{шт.2}}{60} + \frac{C_{n.33} \cdot T_{шт.3}}{60}, \text{ грн.} \quad (2.13)$$

$$C_{o1} = \frac{44,697 \cdot 1,212}{60} + \frac{44,06 \cdot 3,72}{60} + \frac{31,73 \cdot 0,52}{60} = 3,42 \text{ грн}$$

Другий варіант.

Операція 015 – Спеціальна токарна, верстат – 1Н713Н3466

$\kappa_i = 1,22$; $C = 28150$ грн; $F = 86 \text{ м}^2$.

$$C_z = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,10 = 13,778 \text{ грн/год},$$

$$C_{ц.з} = 13,778 \cdot 1,08 = 14,882 \text{ грн/год},$$

$$K_c = \frac{28150 \cdot 1,00}{3200} = 8,7 \text{ грн/год},$$

$$K_z = \frac{86 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 2,075 \text{ грн/год}.$$

$$C_{n.3.1} = 13,778/0.5 + 14,882 + 0,2 \cdot (9,42 + 1.875) = 44.675 \text{ грн/год.}$$

Операція 025 – Автоматно – лінійна, автоматична лінія - А/л 6621021

$\kappa_i = 1,05$; $Ц = 430000$ грн; $F = 366 \text{ м}^2$.

$$C_3 = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,15 = 14,04 \text{ грн/год,}$$

$$C_{q.3} = 14,04 \cdot 1,12 = 16,133 \text{ грн/год,}$$

$$K_c = \frac{430000 \cdot 1,00}{3200} = 134,33 \text{ грн/год,}$$

$$K_3 = \frac{366 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 8,58 \text{ грн/год.}$$

$$C_{n.3.2} = 14,04 + 16,133 + 0,2 \cdot (134,33 + 8,57) = 44,06 \text{ грн/год.}$$

Операція 085 – Спеціальна шліфувальна, верстат – ХШ4–12Н88

$\kappa_i = 1,05$; $Ц = 9690$ грн; $F = 19 \text{ м}^2$.

$$C_3 = 8,187 \cdot 1,53 \cdot 1,10 = 13,778 \text{ грн/год,}$$

$$C_{q.3} = 13,778 \cdot 1,08 = 14,882 \text{ грн/год,}$$

$$K_c = \frac{9690 \cdot 1,00}{3200} = 3,02 \text{ грн/год,}$$

$$K_3 = \frac{18 \cdot 75 \cdot 1,00}{3200} = 0,42 \text{ грн/год.}$$

$$C_{n.3.3} = 13,778 + 14,882 + 0,2 \cdot (3,02 + 0,42) = 24,016 \text{ грн/год.}$$

Вартість механічної обробки по цих операціях другого варіанту технологічного процесу становить:

$$C_{o1} = \frac{44,675 \cdot 1,612}{60} + \frac{44,06 \cdot 4,72}{60} + \frac{31,73 \cdot 0,42}{60} = 4,88 \text{ грн}$$

Розраховуємо економічний ефект на річний обсяг виробництва деталей.

$$E = (C_{o2} - C_{o1}) \cdot N \quad (2.14)$$

$$E = (4,88 - 3,42) \cdot 70000 = 102200 \text{ грн.}$$

З аналізу розрахунків випливає, що використання першого варіанту технологічного процесу є доцільним, оскільки він дозволяє знизити собівартість виробництва деталі.

2.5 Методика розрахунку припусків і допусків між операціями обробки

Таблиця 2.7 – Розрахунок припусків і граничних розмірів для отримання розміру 50 H7

Перехід	Елементи припуску				$2 \cdot Z_{\min}$	d_p	δ	Граничний розмір		Граничне значення припуску	
	R_z	h	ρ	ε				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2 \cdot Z_{\min}$	$2 \cdot Z_{\max}$
Лиття	40	260	1198	200	–	53,1	500	53,1	53,6	–	–
Токарне протягування	20	25	24	200	2× 1498	50,1	100	50,1	50,11	3000	3490
Шліфування	1.8	15	–	–	2× 49	50	16	50	50,016	100	110

Визначаємо похибку встановлення:

$$E = \sqrt{E_{\delta}^2 + E_3^2} \quad (2.15)$$

де E_{δ} – похибка базування ($E_{\delta} = 0,0009$ мм);

E_3 – похибка закріплення ($E_3 = 0,2$ мм)

$$E = \sqrt{0,0009^2 + 0,2^2} = 0,2 \text{ мм.}$$

Загальне відхилення:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_u^2} \quad (2.16)$$

$$\rho_{кор} = \Delta \cdot l = 1 \cdot 349 = 0,349 \approx 0,35 \text{ мм.}$$

$$\rho_u = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} \quad (2.17)$$

$$\rho_u = \sqrt{\left(\frac{0,5}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 0,125 \text{ мм.}$$

$$\rho_3 = \sqrt{1^2 + 0,35^2 + 0,56^2} = 1,198 \text{ мм.}$$

Кінцеве відхилення у просторі:

після операції точіння:

$$\rho_2 = 0,02 \cdot 1198 = 24 \text{ мкм.}$$

Розрахунок мінімальних значень припусків виконуємо із використанням аналітичної залежності:

$$2z_{I \min} = 2(Rz_{I-1} + T_{I-1} + \rho_{I-1}) \quad (2.18)$$

Мінімальний припуск:

при операції точіння:

$$2z_{\min 1} = 2(40 + 260 + 1198) = 2 \times 1498 \text{ мкм} .$$

при операції шліфування :

$$2z_{\min 2} = 2(20 + 25 + 24) = 2 \times 69 \text{ мкм} .$$

Розрахунковий розмір:

$$d_{p2} = 50 + 0,138 = 50,138 \approx 50,1 \text{ мм}$$

$$d_{p1} = 50,1 + 2,996 = 53,096 \approx 53,1 \text{ мм}$$

Найбільший граничний розмір:

$$d_{\max 2} = 50 + 0,016 = 50,016 \text{ мм}$$

$$d_{\max 1} = 50,1 + 0,01 = 50,11 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 53,1 + 0,5 = 53,6 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків :

$$2z_{\max 2}^{np} = 50,11 - 50 = 0,110 \text{ мм} = 110 \text{ мкм}$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 53,6 - 50,11 = 3,49 \text{ мм} = 3490 \text{ мкм}$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 50,1 - 50 = 0,1 \text{ мм} = 100 \text{ мкм}$$

$$2z_{\min 1}^{np} = 53,1 - 50,1 = 3 \text{ мм} = 3000 \text{ мкм}$$

2.6 Розмірний аналіз технологічного процесу

Проектування конструкцій деталей, що максимально відповідають вимогам взаємозамінності, забезпечується використанням залежних припусків і посадок для різних з'єднань, а також точністю взаємного розташування деталей у будь-якій машині, механізмі чи іншому виробі.

Розмірний зв'язок деталей встановлюється за допомогою розмірних ланцюгів відповідно до ДСТУ ISO 129-1:2007. Відповідно до цього стандарту, розмірний ланцюг — це сукупність розмірів, що утворюють замкнений контур і визначають конфігурацію конструкції. Кожен розмірний ланцюг включає одну замикаючу ланку та дві чи більше складові, що впливають на точність замикаючої ланки.

Таким чином, у роботі ставиться завдання визначити розмір замикаючої ланки на основі відомого допуску складових ланок даного розмірного ланцюга. Для цього складається схема розмірного ланцюга.

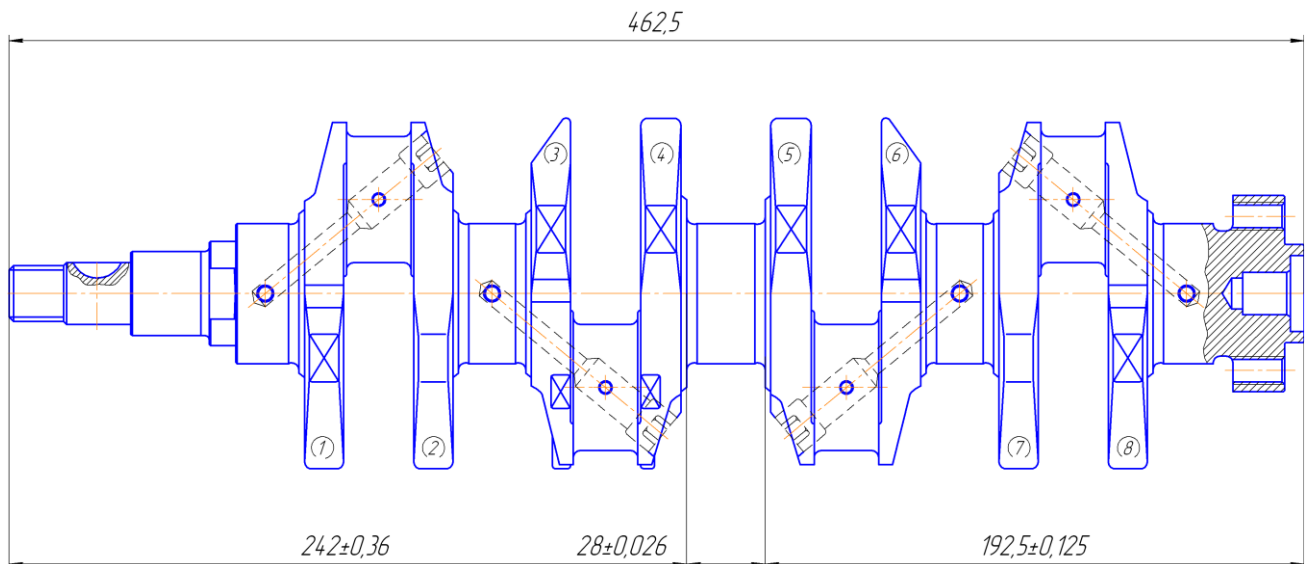


Рисунок 2.1 – Схема деталі для визначення розмірного ланцюга

Отже, маємо з рисунка: $A_1=242\pm0,36$; $A_2=28\pm0,026$; $A_3=192,5\pm0,125$.

Потрібно визначити, з якою точністю буде забезпечено довжину більшої ступені при заданій схемі обробки. Складаємо схему розмірного ланцюга, визначаємо замикаючі, збільшувальні та зменшувальні ланки.

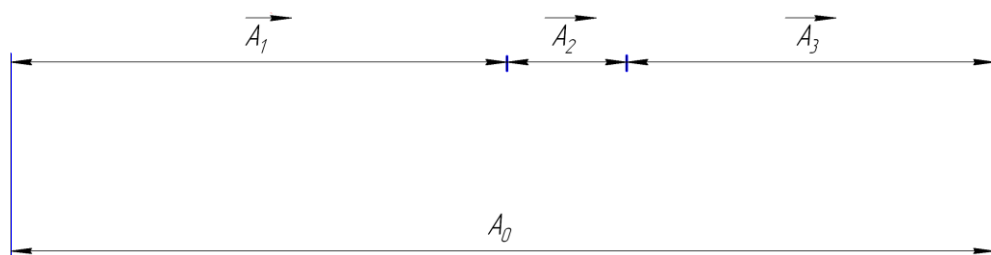


Рисунок 2.2 – Схема розмірного ланцюга

Максимальне значення замикаючої ланки знаходимо за аналітичною залежністю:

$$A_8 = A_1 + A_2 + A_3 \quad (2.19)$$

$$A_8 = 242 + 28 + 192,5 = 462,5 \text{ мм} ;$$

Розв'язуємо задачу розмірного ланцюга методом максимуму-мінімуму.
Середина поля допуску замикаючої ланки - $A_{0\Delta} = 0 \text{ мм}$.

Величину поля допуску замикаючої ланки знаходимо із залежності:

$$\delta_{\Delta} = 0,052 + 0,72 + 0,250 = 1,022 \text{ мм}.$$

Встановлюємо граничні відхилення замикаючої ланки:

$$A_{B\Delta} = A_{0\Delta} + \frac{\delta_{\Delta}}{2} \quad (2.20)$$

$$A_{B\Delta} = 0 + \frac{1,022}{2} = 0,511 \text{ мм};$$

$$A_{B\Delta} = A_{0\Delta} - \frac{\delta_{\Delta}}{2} \quad (2.21)$$

$$A_{B\Delta} = 0 - \frac{1,022}{2} = -0,511 \text{ мм};$$

Отже, в кінцевому результаті отримуємо: $A_{\delta} = 462,5 \pm 0,511 \text{ мм}$.

Таким чином, ми обчислили допуски для двох розмірів, а для решти розмірів призначаємо величину допусків за табличним методом.

Таблиця 2.8 – Поля допусків розмірів деталі «Колінчастий вал»

Ланка	Розмір ланки, мм	Поле допуску, мм	Верхнє відхилення	Нижнє відхилення	Кінцевий розмір, мм
A ₁	Ø 50	0,65	+ 0,58	- 0,07	Ø 50 ^{+0,58} _{-0,07}
A ₂	Ø 45	1	+ 0,82	- 0,18	Ø 45 ^{+0,82} _{-0,18}
A ₃	Ø 22	0,098	- 0,07	- 0,028	Ø 22 ^{-0,07} _{-0,028}
A ₄	Ø 30	0,033	0	- 0,033	Ø 30 _{-0,033}

A ₅	Ø 70	0,046	0	- 0,046	Ø 70 _{-0,046}
A ₆	Ø 35	0,056	- 0,09	- 0,034	Ø 35 _{-0,09 -0,034}
A ₇	Ø 15	0,18	+ 0,18	0	Ø 15 ^{+0,18}
A ₈	242	0,72	+ 0,36	- 0,36	242 ± 0,36
A ₉	222,5	0,72	+ 0,36	- 0,36	222,5 ± 0,36
A ₁₀	170,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	222,5 ± 0,3
A ₁₁	160,7	0,8	+ 0,3	- 0,5	160,7 _{-0,3 -0,5}
A ₁₂	160,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	160,5 ± 0,3
A ₁₃	138,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	138,5 ± 0,3
A ₁₄	98,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	98,5 ± 0,3
A ₁₅	57,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	57,5 ± 0,3
A ₁₆	17,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	17,5 ± 0,3
A ₁₇	14	0,6	+ 0,3	- 0,3	14 ± 0,3
A ₁₈	28,5	0,21	+ 0,105	- 0,105	28,5 ± 0,105
A ₁₉	12	1	+ 0,5	- 0,5	12 ± 0,5
A ₂₀	Ø 37,2	0,1	0	- 0,1	Ø 37,2 _{-0,1}
A ₂₁	36,5	0,2	+ 0,1	- 0,1	36,5 ± 0,1
A ₂₂	14,5	0,6	+ 0,3	- 0,3	14,5 ± 0,3
A ₂₃	5,5	0,16	+ 0,16	0	5,5 ^{+0,16}
A ₂₄	7	0,48	+ 0,48	0	7 ^{+0,48}

2.7 Підбір інструментів для різання та вимірювання

Під час вибору різального інструменту беруть до уваги тип виробництва, методи обробки, обладнання, форму поверхні та матеріал деталі. Для підбору вимірювального інструменту орієнтуються на тип виробництва, форму поверхні та необхідну точність. Вибрані різальні та вимірювальні інструменти подано в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Вибір різального та вимірювального інструменту

№ п/п	Назва операції	Інструменти	
		Ріжучий	Вимірювальний
1	2	3	4
1	005 Автоматно – лінійна	Свердло спеціальне ступінчасте Р6М5 ОСТ2 И21–176 Свердло центрувальне Р6М5 ГОСТ 14952–75 Тип–А (2 шт.), Фреза 2220–0601 ГОСТ 20533–75, Фреза спеціальна торцева 391890 Р6М5, Фреза торцева Р6М5 2210–0063 ГОСТ 9304–69 (2 шт.),	Калібр з індикатором Пробка (9,5) 8133–0926 Н8, Шаблон на довжину 462,5 Штангенциркуль ШЦ–І–125–0,05 ГОСТ 166–89
2	010 Спеціальна токарна	Різець 2138–0709 Т15К6 ГОСТ 18875–73, 2 шт.	Штангенциркуль ШЦ–І–125–0,1 ГОСТ 166–89
3	015 Токарно – протяжна	Протяжка кругова спеціальна : D = 500 мм, В = 23 мм (2 шт.), Протяжка кругова спеціальна : D = 500 мм, В = 24 мм (3 шт.), Протяжка кругова спеціальна : D = 500 мм, В = 22,5 мм (3 шт),	Скоба 45,1±0,1, Скоба 50,1±0,1, Штангенциркуль ШЦ–І–125–0,05 ГОСТ 166–89
		Протяжка кругова спеціальна : D = 500 мм, В = 28 мм,	
4	020 Спеціальна токарна	Різець 2120–0613 ГОСТ 18874–73	Штангенциркуль ШЦ–І–300–0,1 ГОСТ 166–89

5	025 Автоматно – лінійна	Свердло гарматне спеціальне D = 7,2 мм, L = 275 мм (4 шт.), Свердло гарматне комбіноване спеціальне D1= 7,5 мм, D2 = 12 мм, D3 = 14 мм, L = 250 мм (4 шт.), Мітчик короткий для метричної різьби по ГОСТ 3266–81: D = 16 мм, P = 1,5 мм, L = 100 мм (4 шт.)	Нутромір індикаторний ГОСТ 868 82 НН– 10 Індивідуальний вимірювальний пристрій 1456–3221 Мікрометричний нутромір для виміру різьби серія 352.
6	030 Автоматно – лінійна	Зенкер (15) 2320–4236 (2 шт.) ГОСТ 12489–71 Зенкер Ø10 2323–0506 ГОСТ 12489–71, Зенківка 2353–0115 ГОСТ 14953–80, Мітчик M10x1,5 2620–1440 ГОСТ 3266–81 (6шт.), Свердло 2302–0889 ГОСТ 20697–75 (6 шт.), Свердло Ø 9.5 2302–0889 ГОСТ 20697–76 (2шт.), Свердло спеціальне Ø 4 391290– 5304 (4шт.), Свердло спеціальне Ø 5 391290–5304 (4шт.) , Фреза кінцева 223–0118 ГОСТ 17026–71 (2 шт.),	Пробка (9,5) 8133–0926 Н8 ГОСТ 14819–69, Пробка Ø 8,022 ПР – НЕ ГОСТ 2015–84 , Пробка M10–7Н 8221–3044 ГОСТ 17758–72, Штангенглибиномір ШГ–300–0,05 ГОСТ 162–90 , Штангенциркуль ШЦ–І–300–0,1 ГОСТ 166–89
7	035 Різьбофрезерна	Фреза гребінчаста 2672–0263 ГОСТ 1336–77	Калібр – кільце різьбовий M20x1.5 6g ПР, НЕ ГОСТ 2016 –86 ГОСТ 2016–73
8	060 Фаскозачистна	Різець 2142–0642 ГОСТ 10044–73	Пробка 133–0926

9	070 Спеціальна шліфувальна	Круг широкий профільний ККВ 245.13455 Круг широкий профільний ККВ 245.13476	Набір зразків шорсткості 0,8–1,6 ГОСТ 9378–93 Трьохконтактна вимірювальна скоба активного контролю 394630 –143
10	075 Спеціальна шліфувальна	Шліфувальний круг з переривчастою поверхнею ПП – прямого профілю D = 500 мм, B = 20 мм, d = 150 мм (4 шт.), Шліфувальний круг з переривчастою поверхнею ПП – прямого профілю D = 500 мм, B = 24 мм, d = 150 мм (4 шт.)	Профілометр – профілограф ГОСТ 19299–73 Трьохконтактна вимірювальна скоба активного контролю 394630 –143
11	080 Шліфувальна	Шліфувальний круг ПП 250×32×25 К СТ164 С20 ГОСТ2424-83	Набір зразків шорсткості 0,32–08 ГОСТ 9378–93 Трьохконтактна вимірювальна скоба активного контролю 394630–143
12	085 Шліфувальна	Шліфувальний круг ПП 250×32×25 К СТ164 С20 ГОСТ2424-83	Набір зразків шорсткості 0,32–08 ГОСТ 9378–93 Трьохконтактна вимірювальна скоба активного контролю 394630–143
13	090 Вигладжувальна	Алмазний вигладжувач R – 0,5	Мікрометр–профілограф ГОСТ 19299–73
14	095 Спеціальна фрезерна	Фреза 2250–0102 Р9 ГОСТ 3964–69	Шаблон 1910
15	110 Балансування	Свердло D 8 2302–0889 ГОСТ 20697–75	

16	115 Суперфінішно – полірувальна	Стрічка B=20 Dremel 430	Мікрометр– профілограф ГОСТ 19299–73 Набір зразків шорсткості 0,32–08 ГОСТ 9378–93
17	140 Контрольна	-	Магнітний дефектоскоп УНМ– 300/2000 Портативний твердомір МЕТ– Д1А Призми 1232–112 Спеціальне вимірювальне пристосування пристосування STM 231 Індикатор ИЧ02 кл. 0 ГОСТ 577–68

2.8 Параметри різання та технічне нормування для всіх операцій (переходів)

Існує два способи розрахунку режимів різання: аналітичний та табличний. Розрахунково-аналітичний метод використовується при встановленні режимів різання для обробки складних поверхонь. Цей метод враховує характер обробки, тип і розміри інструмента, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, а також тип і стан обладнання. У цьому випадку аналітичним методом розрахуємо режими різання для операції 025 автоматного-лінійного типу по всіх позиціях.

Свердління (Позиція 1,2):

$$S = 0,35 \text{ мм/об};$$

$$T = 25 \text{ хв};$$

$$t = 0,57,2=3,6 \text{ мм};$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} \cdot K_v \quad (2.22)$$

Стійкість інструменту: $T=25$ хв.;

$$C_v = 34,2; m = 0,20; y = 0,3; q = 0.45$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv} \quad (2.23)$$

$$K_v = 0,71 \cdot 1 \cdot 1 = 0,71.$$

$$V = \frac{34,2 \cdot 7,2^{0,45}}{25^{0,20} \cdot 0,35^{0,3}} \cdot 0,71 = 42,5 \text{ м/хв}$$

Крутний момент:

$$M_{kp} = 10 C_M D^q S^y K_P \quad (2.24)$$

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,012 \cdot 7,2^{2,2} \cdot 0,35^{0,8} \cdot 1,3 = 5,2 \text{ Нм}$$

Осьова сила різання:

$$P_z = 10 C_P D^q S^y K_P \quad (2.25)$$

$$P_z = 10 \cdot 42 \cdot 7,2^{1,2} \cdot 0,35^{0,75} \cdot 1,3 = 2655 \text{ Н.}$$

Число обертів шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \quad (2.26)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 42,5}{3,14 \cdot 7,2} = 1878,91 \text{ об/хв.}$$

По паспорту верстата приймаємо $n=1600$ об/хв.

Потужність різання:

$$N = \frac{M_{кр} n}{9750}, \quad (2.27)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент

$$N = \frac{5,2 \cdot 1600}{9750} = 0,85 \text{ кВт.}$$

Розсвердлювання (Позиція 3,4)

$$S = 0,35 \text{ мм/об;}$$

$$T = 25 \text{ мин;}$$

$$t = 0,5(14,4 - 7,2) = 3,6 \text{ мм;}$$

Розрахунок швидкості різання по формулі 2.22:

$$V = \frac{56,9 \cdot 7,5^{0,5}}{25^{0,4} \cdot 3,6^{0,15} \cdot 0,35^{0,45}} \cdot 0,71 = 40,41 \text{ м/хв.}$$

$$K_v = 0,71 \cdot 1 \cdot 1 = 0,71.$$

Розрахунок обертового моменту по формулі 2.24:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,196 \cdot 7,5^{0,85} \cdot 3,6^{0,8} \cdot 0,35^{0,7} \cdot 1,3 = 18,88 \text{ Нм.}$$

Розрахунок осьової сили різання:

$$P_z = 10 \cdot 46 \cdot 3,6^1 \cdot 7,5^0 \cdot 0,35^{0,75} \cdot 1,3 = 979,61 \text{ Н.}$$

Розрахунок числа обертів шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 40,41}{3,14 \cdot 7,5} = 1715,05 \text{ об/хв.}$$

По паспорту верстата приймаємо $n=1600$ об/хв.

Потужність різання:

$$N = \frac{18,88 \cdot 1600}{9750} = 3,1 \text{ кВт.}$$

Різьбонарізання (Позиція 5,6)

Швидкість різання розраховується по формулі (2.22):

$$V = \frac{64,8 \cdot 16^{1,2}}{90^{0,9} \cdot 1,5^{0,5}} \cdot 0,8 = 20,55 \text{ м/хв.}$$

$$n = \frac{1000 \cdot 20,55}{3,14 \cdot 16} = 408,83 \text{ об/хв.}$$

По паспорту верстату приймаємо $n = 400 \text{ об/хв.}$

Обертний момент:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,013 \cdot 16^{1,4} \cdot 1,5^{1,5} \cdot 1 = 11,58 \text{ Нм.}$$

Потужність різання:

$$N_{риз} = \frac{11,58 \cdot 400}{975} = 4,75 \text{ кВт.}$$

На решту операцій технологічного процесу режими різання назначаємо по и результати заносимо в таблицю 2.10.

Таблиця 2.10 – Зведені дані по режимах різання

№	Назва операції, переходу	t, мм	L, мм	i	T _{мб} , хв.	S _p , мм/об	n, хв ⁻¹	V, мм/хв	T _о , хв.	N, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	Автом. лінійна.									
	п. 1	1,75	72	1	116	1,2	515	99	0,042	1,3
	п. 2	3,15	12,5	1	20	0,15	1600	20	0,0459	0,25
	п. 3	9,1	28	1	25	0,5	720	125	0,070	0,36
	п. 4	2,5	112	1	86	0,1	200	100	0,56	1,88
	п. 5	2,5	16	1	90	0,1	300	140	0,34	1,63
010	Спец. токарна									
	п.1	1,5	75,3	1	144	0,1	35	515	0,43	1,2
	п.2	1,5	28,5	1	141	0,1	92,5	415	0,45	1,43
015	Токар. – протяжн.									
	п. 1	0,15	816	1	160	0,15	300	10	0,082	1,5
	п. 2	0,15	816	1	160	0,15	300	10	0,082	1,5
	п. 3	0,15	816	1	160	0,15	300	10	0,0816	1,5
	п. 4	0,15	816	1		0,15	300	10	0,0816	1,5

020	Спец. токарна	1,5	74,2	1	150	0,5	400	78,5	0,37	1,1
025	Автом. лійна.									
	п.1	3,6	118	1	85	0,35	1600	42,5	0,21	0,85
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	п.2	3,6	118	1	85	0,35	1600	42,5	0,21	0,85
	п.3	3,6	118	1	75	0,35	1600	36,11	0,21	3,1
	п.4	3,6	118	1	75	0,35	1600	36,11	0,21	3,1
	п.5	3,6	11	1	95	0,35	400	20,55	0,037	4,5
	п.6	3,6	11	1	95	0,35	400	20,55	0,037	4,5
030	Автом. лійна.									
	п.1	0,15	22	1	38	0,5	800	35,4	0,055	0,32
	п.2	2,5	18,7	1	90	0,06	450	188,4	0,036	0,96
	1 п.3	4	20,9	1	30	0,45	350	6,65	0,047	0,38
	2 п.3	0,8	4,2	1	25	0,63	200	6,65	0,033	0,21
	3 п.3	0,8	24,7	1	25	1,5	130	4,082	0,13	0,603
	1 п. 4	4,75	16,2	1	30	0,12	450	13,2	0,03	0,26
	2 п. 4	0,25	14,4	1	25	0,5	1000	31,4	0,027	0,67
	1 п. 5	2,5	54,6	1	30	0,15	900	14,13	0,37	0,84
	2 п. 5	2	48,2	1	30	0,12	650	8	0,61	0,80
035	Різьбо-фрезерна	2,4	24,2	1	84	0,3	500	31,4	0,16	1,20
060	Фаскозачистна	0,5	4,5	1	50	0,08	800	40	0,023	0,106
065	Фаскозачистна	0,5	3,4	1	50	0,08	800	40	0,052	0,106
070	Спец. шліфув.									
	п1	0,075	72,4	10	185	0,004	515	59	0,0353	83,3
	п2	0,075	38,6	10	185	0,004	200	43,96	0,048	65,4
075	Спец. шліфув.									
	1 п. 1	0,075	20	10	120	0,005	250	40	0,0053	11,08
	2 п. 1	0,025	20	15	120	0,0025	160	25	0,02	9064
	1 п.2	0,075	20	10	108	0,005	250	40	0,0053	10,88
	2 п.2	0,025	20	15	108	0,0025	160	25	0,02	9,64
	1 п. 3	0,075	23	10	120	0,005	250	35	0,007	10,09
	2 п. 3	0,025	23	15	116	0,0025	200	28	0,028	9,91
	1 п. 4	0,075	23	10	120	0,005	250	35	0,007	10,865
	2 п. 4	0,025	23	15	116	0,0025	200	28	0,028	0,991
080	Спец. шліфув.	0,025	26	15	85	0,0025	125	16	0,04	12,57
085	Спец. шліфув.	0,025	62,1	15	85	0,0025	125	12	0,066	10,2
090	Вигладжувальна	0,05	30	1	40	0,05	800	175	0,25	1,2
095	Спец. фрезерна	12	11,2	60	1	0,25	126	31	0,21	0,05
115	Суперфін.- полір.	23	0,01	14	1	0,005	940	147,58	0,72	0,012

2.9 Технічне нормування розробленого технологічного процесу

У великих серійних виробництвах технічні норми часу встановлюються розрахунково-аналітичним методом. У цьому випадку ми аналітично розрахуємо технічні норми часу для операції 025 автоматно-лінійної по всіх позиціях. Для решти операцій визначаємо складові штучного часу за нормативами, а результати нормування зводимо в таблицю 2.11.

Свердління (Позиція 1,2) :

Розрахунок довжини робочого ходу:

$$L_{p.x} = L_{p.із.} + y + L_{доп.} \quad (2.28)$$

$$L_{p.x} = 82 + 6 + 30 = 118 \text{ мм.}$$

Розрахунок основного часу:

$$T_o = L_{p.x} / (S_{on}) \quad (2.29)$$

$$T_o = 118 / (0,351600) = 0,21 \text{ хв.}$$

Розрахунок штучного часу:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{об} + T_{відп}, \quad (2.30)$$

Розрахунок допоміжного часу

$$T_{доп} = T_{ус} + T_{зр} + T_{уп} + T_{вим}, \quad (2.31)$$

$$T_{\text{доп}} = 0,18 + 0,024 + 0,07 + 0,09 = 0,364 \text{ хв}$$

Розраховуємо оперативний час:

$$T_{\text{оп.}} = T_o + T_{\text{доп}} \quad (2.32)$$

$$T_{\text{оп.}} = 0,21 + 0,364 = 0,574 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,21 + 0,364 + 0,0344 + 0,01 = 0,618 \text{ хв.}$$

Розсвердлювання (Позиція 3,4)

Розрахунок довжини робочого ходу по формулі 2.24:

$$L_{p.x} = 57 + 6 + 55 = 118 \text{ мм.}$$

Розрахунок основного часу:

$$T_o = 118 / (0,351600) = 0,21 \text{ хв.}$$

Розрахунок допоміжного часу :

$$T_{\text{доп}} = 0,18 + 0,024 + 0,07 + 0,09 = 0,364 \text{ хв.}$$

Розрахунок оперативного часу:

$$T_{\text{оп.}} = 0,21 + 0,364 = 0,574 \text{ хв.}$$

Розрахунок норми штучного часу $T_{\text{шт}}$:

$$T_{\text{шт}} = 0,21 + 0,364 + 0,0344 + 0,01 = 0,618 \text{ хв.}$$

Різьбонарізання (Позиція 5,6)

$$t_M = \frac{2L_{p.x.}}{Sn} \quad (2.33)$$

$$t_M = \frac{2 \cdot 11}{1.5 \cdot 400} = 0,037 \text{ хв.}$$

Основний час:

$$T_o = t_M = 0,037 \text{ хв.}$$

Розрахунок допоміжного часу

$$T_{доп} = 0,18 + 0,024 + 0,07 + 0,09 = 0,364 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$T_{оп.} = 0,037 + 0,364 = 0,4 \text{ хв.}$$

Розрахунок норми штучного часу:

$$T_{шт} = 0,037 + 0,364 + 0,207 + 0,01 = 0,618 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.11 – Розрахунок норм часу по операціях та позиціях технологічного процесу

№ і назва операції	T_{op} , хв	$T_{до}$, хв.			$T_{обс}$, хв.	$T_{обс}$, хв.		$T_{пз}$, хв.	$T_{шт}$, хв.	$T_{из}$, хв.	n , шт.	$T_{шкз}$, хв.
		$T_{вст.}$	T_k	$T_{вм}$		$T_{тех}$	$T_{орг}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
005 Автомат. ліній.	1,058	2	0,05	0,25	2232	005	015	01831	2659	155	14000	2661
п 1	0,042	0,4	0,01	0,015	0142	001	003	00071	0253	31	14000	0255
п 2	0,046	0,4	0,01	0,015	0100	001	003	0005	0145	31	14000	0147
п 3	0,070	0,4	0,01	0,013	017	001	003	008	0271	31	14000	0273
п 4	0,56	0,4	0,01	0,05	102	001	003	0051	111	31	14000	1112
п 5	0,34	0,4	0,01	0,05	08	001	003	004	088	31	14000	0882
010 Спец. токарна	0,88	0,42	0,018	0,4	1718	006	008	0084	1942	36	14000	1944
п 1	0,43	0,22	0,009	0,2	0859	003	004	0042	0971	18	14000	0972
п 2	0,45	0,2	0,009	0,2	0859	003	004	0042	0971	18	1400	0972
015 Токар.-протяжн.	0,328	0,16	0,036	0,2	0724	004	012	032	1204	84	14000	1212
п 1	0,082	0,02	0,009	0,05	0181	001	003	006	0257	21	14000	0259
п 2	0,082	0,02	0,009	0,05	0181	001	003	006	0257	21	14000	0259
п 3	0,082	0,02	0,009	0,05	0181	001	003	006	0257	21	14000	0259
п 4	0,082	0,02	0,009	0,05	0181	001	003	006	0257	21	14000	0259
020 Спец. токарна	0,37	0,24	0,12	0,04	077	007	008	003	095	12	14000	09502
025 Автом. лінійна	0,914	1,224	0,288	0,54	3096	024	03116	006	3,708	72	14000	3,72
п 1	0,21	0,204	0,07	0,09	0574	001	00244	001	0618	12	14000	062
п 2	0,21	0,204	0,07	0,09	0574	001	00244	001	0618	12	14000	062
п 3	0,21	0,204	0,07	0,09	0574	001	00244	001	0618	12	14000	062
п 4	0,21	0,204	0,07	0,09	0574	001	00244	001	0618	12	14000	062
п 5	0,037	0,204	0,007	0,09	04	010	0107	001	0618	12	14000	062
п 6	0,037	0,204	0,001	0,09	04	010	0107	001	0618	12	14000	062
030 Автом. лінійна	1,338	0,84	0,4	0,2	2778	013	0199	0134	3,201	72	14000	3,205
п 1	0,055	0,09	0,09	0,1	0335	003	004	0016	0421	12	14000	0423
п 2	0,036	0,1	0,05	0,02	0206	002	003	001	0266	12	14000	0268
п 3	0,08	0,2	0,05	0,02	035	001	0023	0018	0401	12	14000	0401
п 4	0,13	0,05	0,05	0,02	025	001	0023	0013	0296	12	14000	0296
п 5	0,57	0,2	0,08	0,02	0357	001	0023	0017	0407	12	14000	0407
п 6	0,98	0,2	0,08	0,02	128	005	006	006	1,41	12	14000	1,41
035 Різбо-фрезерна	0,16	0,04	0,13	0,007	0226	001	0004	0013	0293	6	14000	02940
040 Промивання	0,37	0,08	0,001	0	026	0	0003	0012	028	4	14000	0280
045 Контрольна	0,61	0,01	0,01	0,3	004	0001	0001	0001	034	2	14000	0400
050 Термічна	0,2	0,1	0,01	0,02	0313	001	001	0001	0337	9	14000	03370
055 Промивання	0,18	0,08	0,01	0	026	0	0003	0012	028	4	14000	0280
060 Фаскозачистна	0,025	0,04	0,08	0,1	0245	003	004	0012	0257	6	14000	0258
065 Фаскозачистна	0,025	0,04	0,09	0,1	0245	003	004	0012	0257	6	14000	02570
070 Спец. шліфув.	0,083	0,4	0,02	0,3	0803	0043	0054	0041	0941	12	14000	0942
075 Спец. шліфув.	0,1012	0,44	0,48	0,08	11	016	022	024	2808	84	14000	2816
п 1	0,0253	0,11	0,12	0,02	0275	004	0055	006	0702	21	14000	0704
п 2	0,0253	0,11	0,12	0,02	0275	004	0055	006	0702	21	14000	0704
п 3	0,0253	0,11	0,12	0,02	0275	004	0055	006	0702	21	14000	0704
п 4	0,0253	0,11	0,12	0,02	0275	004	0055	006	0702	21	14000	0704

продовження таблиці 2.11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
080 Спец. шліфув.	0,04	0,24	0,2	0,16	0,60	0,03	0,02	0,013	0,663	12	1400 0	0,665
085 Спец. шліфув.	0,066	0,24	0,2	0,14	0,58	0,03	0,02	0,021	0,632	12	1400 0	0,634
090 Вигладжув.	0,25	0,04	0,1	0,1	0,49	0,02	0,005	0,023	0,528	16	1400 0	0,5280 1
095 Спец. фрезерна	0,18	0,1	0,01	0,1	0,381	0,004	0,005	0,018	0,399	8	1400 0	0,3990
100 Промивання	0,18	0,08	0,01	0	0,26	0	0,003	0,012	0,28	4	1400 0	0,2800
105 Слюсарна	0,024	0,24	0,008	0	0,244	0,001	0,002	0,01	0,257	2	1400 0	0,2570
110 Балансування	1,06	0,04	0,9	0,8	29	0	0,001	0,005	291	18	1400 0	292
115 Суперф.-Полір.	0,72	0,02	0,01	0,2	0,95	0,002	0,001	0,04	0,995	4	1400 0	0,9950 1
120 Промивання	0,18	0,08	0,01	0	0,26	0	0,003	0,012	0,28	4	1400 0	0,2810 0
125 Слюсарна	0,024	0,24	0,008	0	0,244	0,001	0,002	0,01	0,257	2	1400 0	0,2570 0
130 Промивання	0,18	0,08	0,01	0	0,26	0	0,003	0,012	0,28	4	1400 0	0,2810 0
135 Рихтувальна	0,2	0,04	0,36	0,2	0,80	0	0,002	0,003	0,805	15	1400 0	0,8050 1
140 Контрольна	0,104	0,01	0,01	0,3	0,04	0,001	0,001	0,001	0,34	2	1400 0	0,3401

2.10 Підбір обладнання з визначенням його технічних характеристик та кількості. Створення графіків завантаження та ефективного використання обладнання

Необхідна кількість одиниць обладнання для даної операції визначається за формулою. Для операцій з автоматичними лініями кількість верстатів розраховується окремо для кожної позиції.

$$m_p = \frac{T_{\text{шт.к.}} \cdot N_p}{60 \cdot F_e}, \quad (2.34)$$

Ступінь завантаження верстата розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{m_p}{m_{np}} \quad (2.35)$$

Коефіцієнт використання обладнання за основним (технологічним) часом у серійному виробництві визначається як співвідношення основного часу до штучно-калькуляційного часу:

$$\eta = \frac{T_o}{T_{\text{шт.к}}} \quad (2.36)$$

Цей коефіцієнт відображає ступінь механізації технологічної операції. Коефіцієнт використання верстатів за потужністю приводу визначається як відношення необхідної потужності приводу верстата до фактичної потужності приводу, встановленого для головного руху верстата.

$$\eta = \frac{P_n}{P_e}, \quad (2.37)$$

Результати розрахунків відобразимо у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Розрахунок коефіцієнтів використання обладнання

Операція	T_o , хв.	$T_{\text{шт.к.}}$, хв.	m_p	m_{np}	η	η_o	P_n	P_e	η_n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005 Автомат. лінійн.	1,058	2,661	0,7	5	0,14	0,4	5,42	25	0,22
позиція 1	0,042	0,253	0,06658	1	0,066	0,16601	1,3	5	0,26
позиція 2	0,046	0,145	0,03816	1	0,038	0,31724	0,25	5	0,05
позиція 3	0,070	0,271	0,07132	1	0,1	0,2583	0,36	5	0,072

продовження таблиці 2.12

позиція 4	0,56	1,11	0,29211	1	0,29	0,5045	1,88	5	0,376
позиція 5	0,34	0,88	0,23158	1	0,23	0,38636	1,63	5	0,326
010 Спец. токарна	0,88	1,944	0,51	2	0,26	0,45	1,63	8	0,2
позиція 1	0,43	0,971	0,26	1	0,26	0,44	1,2	4,5	0,34
позиція 2	0,45	0,971	0,26	1	0,26	0,46	1,43	4,5	0,36
015 Токар.-протяжн.	0,328	1,212	0,32	4	0,1	0,25	16,9	60	0,28
позиція 1	0,082	0,257	0,07	1	0,1	0,32	1,5	20	0,075
позиція 2	0,082	0,257	0,07	1	0,1	0,32	1,5	20	0,075
позиція 3	0,082	0,257	0,07	1	0,1	0,32	1,5	20	0,075
позиція 4	0,082	0,257	0,07	1	0,1	0,32	1,5	20	0,075
020 Спец. токарна	0,37	0,95	0,34	1	0,34	0,39	1,1	4,2	0,27
0025 Автом. лінійна	0,914	3,708	0,98	6	0,2	0,24	16,9	60	0,28
позиція 1	0,21	0,618	0,2	1	0,2	0,34	0,85	10	0,085
позиція 2	0,21	0,618	0,2	1	0,2	0,34	0,85	10	0,085
позиція 3	0,21	0,618	0,2	1	0,2	0,34	3,1	10	0,31
позиція 4	0,21	0,618	0,2	1	0,2	0,34	3,1	10	0,31
позиція 5	0,037	0,618	0,2	1	0,2	0,34	4,5	10	0,45
позиція 6	0,037	0,618	0,2	1	0,2	0,34	4,5	10	0,45
030 Автом. лінійна	1,338	3,205	0,84	6	0,18	0,42	8,69	30	0,29
позиція 1	0,055	0,421	0,1	1	0,1	0,13	0,96	5	0,192
позиція 2	0,036	0,266	0,07	1	0,1	0,13	0,63	5	0,126
позиція 3	0,08	0,401	0,1	1	0,1	0,19	0,6	5	0,12
позиція 4	0,13	0,296	0,07	1	0,1	0,4	0,7	5	0,14
позиція 5	0,057	0,407	0,1	1	0,1	0,14	2,9	5	0,58
позиція 6	0,98	1,41	0,38	1	0,4	0,6	2,9	5	0,58
035 Різьбо-фрезерна	0,16	0,293	0,1	1	0,1	0,5	2,9	5	0,24
040 Промивання	0,024	0,657	0,17	1	0,17	0,09	0,07	1,5	0,03
045 Контрольна	0,1	0,34	0,12	1	0,12	0,21	—	—	—
050 Термічна	0,2	0,337	0,12	1	0,12	0,51	20	30	0,66
055 Промивання	0,024	0,657	0,17	1	0,17	0,09	0,07	1,5	0,03
060 Фаскозачистна	0,025	0,257	0,1	1	0,1	0,09	0,106	2,2	0,05
065 Фаскозачистна	0,025	0,257	0,1	1	0,1	0,09	0,106	2,2	0,05
070 Спец. шліфув.	0,083	0,941	0,33	2	0,165	0,08	8,33	15	0,55
075 Спец. шліфув.	0,1012	2,816	0,741	4	0,19	0,04	42	120	0,35
позиція 1	0,0253	0,704	0,19	1	0,19	0,04	11	30	0,36
позиція 2	0,0253	0,704	0,19	1	0,19	0,04	11	30	0,36
позиція 3	0,0253	0,704	0,19	1	0,19	0,04	10	30	0,33
позиція 4	0,0253	0,704	0,19	1	0,19	0,04	10	30	0,33

продовження таблиці 2.12

080 Спец. шліфув.	0,04	0,664	0,16	1	0,16	0,12	12,57	15	0,83
085 Спец. шліфув.	0,066	0,634	0,15	1	0,15	0,137	10,2	15	0,6
090 Вигладжувальна	0,25	0,528	0,18	1	0,18	0,470	1,2	10	0,12
095 Спец. фрезерна	0,18	0,399	0,14	1	0,14	0,451	1,8	7	0,25
100 Промивання	0,18	0,28	0,1	1	0,1	0,64	0,05	1	0,05
105 Слюсарна	0,024	0,657	0,17	1	0,17	0,09	0,07	1,5	0,03
110 Балансування	1,06	2,902	0,76	1	0,76	0,03	0,3	1,5	0,2
115 Суперфін.– Полір.	0,72	0,995	0,35	1	0,35	0,72	0,62	10	0,062
120 Промивання	0,18	0,28	0,1	1	0,1	0,64	0,05	1	0,05
125 Слюсарна	0,024	0,657	0,17	1	0,17	0,09	0,07	1,5	0,03
130 Промивання	0,18	0,28	0,1	1	0,1	0,64	0,05	1	0,05
135 Рихтувальна	0,2	0,805	0,31	1	0,31	0,2	0,6	2	0,3
140 Контрольна	0,1	0,34	0,12	1	0,12	0,21	–	–	–
Σ/Середнє (по операціях)	8,8342	29,656	–	50	0,24	0,23	–	–	0,27

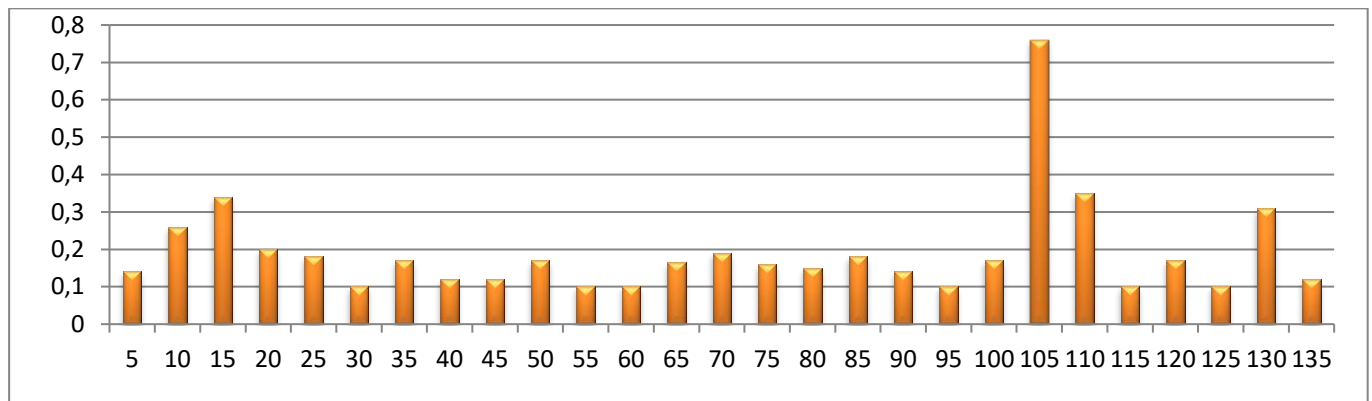


Рисунок 2.3 – Діаграма завантаження обладнання

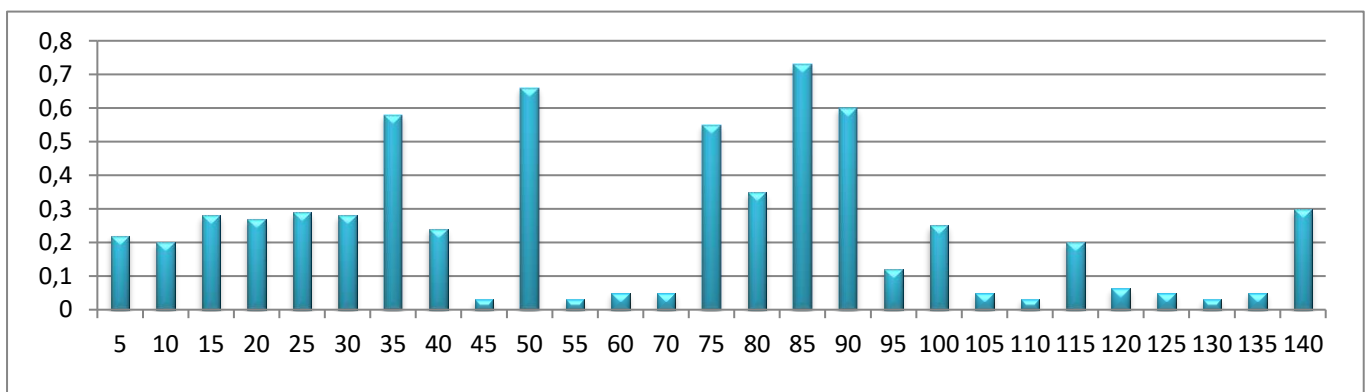


Рисунок 2.4 – Діаграма використання обладнання за потужністю

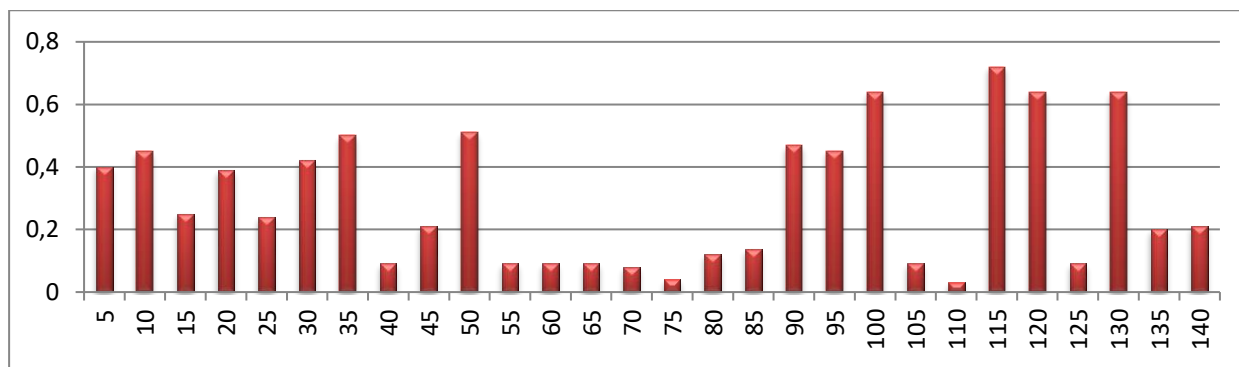


Рисунок 2.5 – Діаграма використання обладнання за основним часом

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування свердл з внутрішньою подачею та патрона

Гарматне свердло забезпечує отримання точних отворів із прямолінійною віссю та великою глибиною. Свердло (рис. 3.1, а) складається з ріжучої частини 1, виготовленої з швидкорізальної сталі або твердого сплаву, та хвостовика 2 з вуглецевої сталі. Хвостовик має форму трубки та відповідну конструкцію, показану в перерізі Б-Б. Канавка 5 відводить стружку, а порожнина 4 забезпечує подачу ЗОР у зону різання. Направляючою частиною є шліфована циліндрична поверхня 3, розташована на потиличній стороні робочої частини свердла.

Під час роботи свердло зазнає різних деформацій, таких як кручення, стискування і поздовжній вигин. Тому в конструкції свердла, завдяки розмірам каналу та канавки, слід забезпечити достатню жорсткість державки і ефективний вихід стружки. Встановлено оптимальне співвідношення об'ємів каналу та канавки при куті $\varphi = 100...120^\circ$, що відповідає вимогам жорсткості. Вершина свердла зміщена вліво від осі на величину $b = 0,2D$, завдяки чому під час роботи утворюється кільцева канавка, яка центрує свердло в отворі (рис. 3.1, б). Параметри $a = 0,3D$, $\varphi = 60^\circ$, $\varphi_1 = 73^\circ$. Довжина ріжучого леза $K1$ більша за $K2$, що збільшує навантаження на $K1$, у результаті чого радіальна сила P_{y2} притискає свердло направляючою частиною до оброблюваної поверхні отвору. Для зменшення тертя на робочій частині свердла роблять зворотну конусність $0,1...0,3$ мм на кожні 100 мм. Геометрія ріжучої частини свердла: $\gamma = 5,8^\circ$. Задній кут ріжучого леза $K1$ становить $8...10^\circ$, а для $K2$ – до 20° .

Перше свердло – діаметром 7,2 мм для свердління отвору довжиною 82 мм. Друге свердло для розсвердлювання діаметрів 7,5 мм, 12 мм і 14,4 мм на глибину відповідно 57 мм, 35 мм і 11 мм.

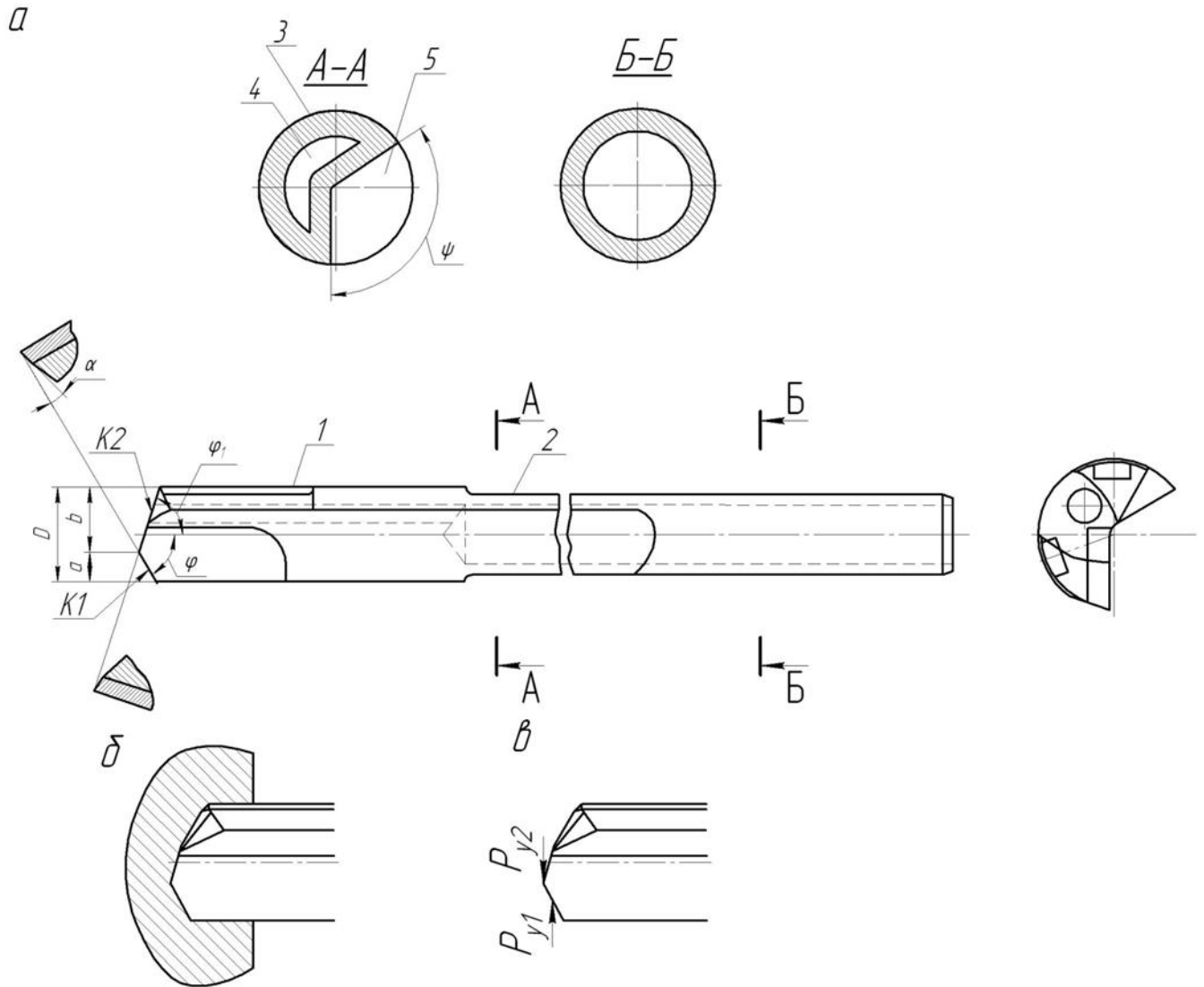


Рисунок 3.1 – Гарматне свердло

Патрон має конструкцію, представлену на рисунку 3.2. Хвостовик 2 з конусом 7:24 має на передній частині циліндричний отвір діаметром $d = 12$ мм, де за допомогою гвинтів 4 закріплюється свердло з циліндричним хвостовиком. На хвостовику патрона зафіксовано корпус 1 замковим кільцем 6, в якому встановлені підшипники 7, прокладки 8, а також штуцер 10 для подачі ЗОР.

При обертанні шпинделя хвостовик 2 обертається разом з ним, тоді як корпус 1, зафіксований упором 3, залишається нерухомим відносно бабки верстата. Для підвищення надійності патрона використовуються підшипники кочення 7, захищені від ЗОР тефлоновими прокладками 8. Прокладки 9 забезпечують герметичність і запобігають витіканню ЗОР через отвір під свердло.

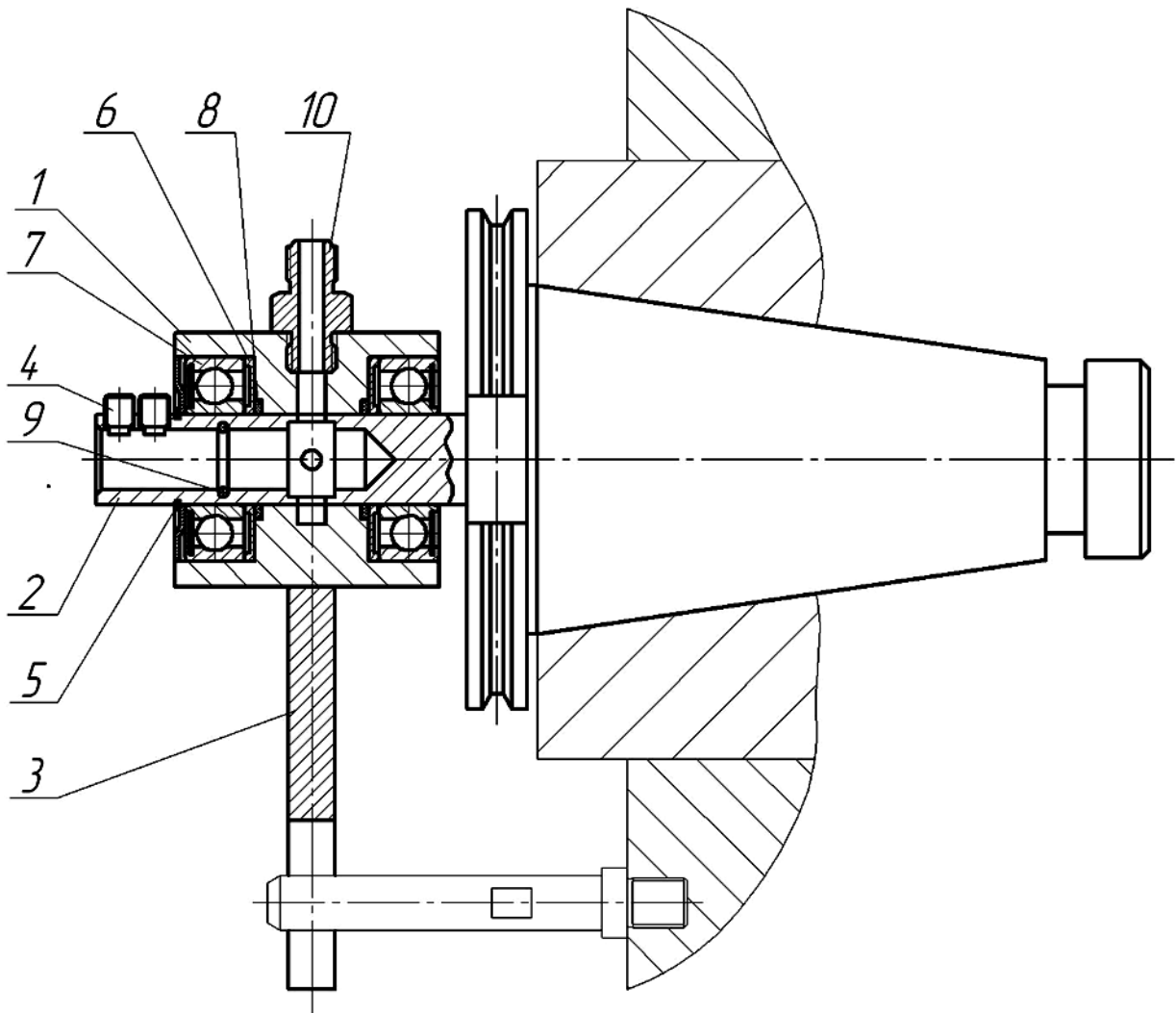


Рисунок 3.2 – Патрон для підведення ЗОР у свердло

3.2 Пристосування для свердління мастильних каналів і нарізування різьби

Пристосування призначене для фіксації та позиціонування валу під час свердління отворів діаметром 7,2, 7,5, 12 і 14,4 мм, а також нарізання різьби M16×1,5 на верстатах а/л 6621021. Конструкція пристосування базується на плиті 1, на якій встановлено зварну призму 2 для початкового базування деталі. Призма закріплена на штифтах 25 та болтах 18. На плиті 1 також встановлені дві стійки 3 і 4 з центрами для фіксації деталі. Стійки 3 закріплені за допомогою штифтів 25 і болтів 18. Центри з'єднані з циліндрами 5 через важелі 9, які обертаються навколо осей 23. Важелі 9 кріпляться до вилок 19, що вкручені у штоки циліндрів 5, за допомогою осей 18, закріплених замковими кільцями 22. Додатково на плиті 1 розміщені стійки 11 і 12, між якими вставлений вал 7, з'єднаний з циліндром 6 через важіль 10, що обертається навколо осі 25. Гвинт 20, вкручений у стійку 12, запобігає обертанню валу 7, оскільки входить у паз на валу. На валу закріплена пластина 8 за допомогою штифта 27.

Для роботи деталь спочатку встановлюється на призму 2. Далі подається повітря в праву порожнину циліндра 6, активуючи обертання важеля 10, внаслідок чого вал 7 переміщується горизонтально, а пластина 8 повертає деталь до необхідного положення. Потім повітря подається в праву порожнину лівого циліндра 5, що обертає важіль 9, і центр 3 притискає деталь. Далі повітря подається в ліву порожнину правого циліндра 5, важіль 9 повертається, і центр 4 фіксує деталь. Після завершення обробки повітря подається в протилежні порожнини циліндрів, важелі повертаються, центри звільняють деталь, яка знімається з пристосування.

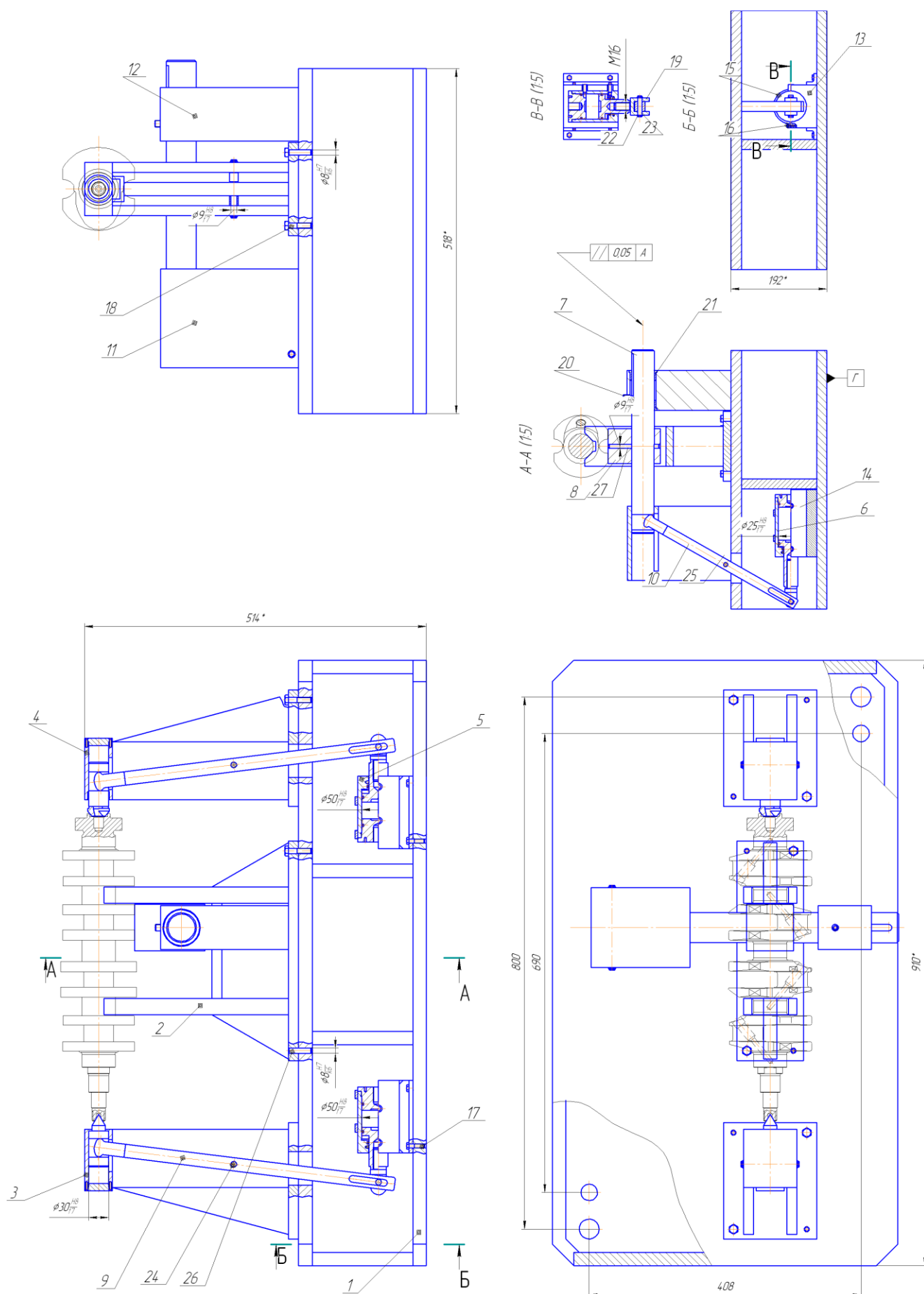


Рисунок 3.3 – Пристосування для свердління мастильних каналів

Під час обробки на заготовку діють сили обробки, об'ємні сили (вага заготовки, центробіжні та інерційні сили), випадкові та другорядні сили, а також сили затиску і реакції елементів пристосування. У цих умовах заготовка колінчастого валу перебуває в стані рівноваги. Усі зазначені сили є векторними величинами з різними напрямками та значеннями.

Розрахунок сил затиску зводиться до задачі статичної рівноваги колінчастого валу, який фіксується в пристосуванні під впливом прикладених до нього сил та моментів. У результаті такого розрахунку визначаються розміри елементів пристосування (плечі, важелі, діаметри різьб, розміри ексцентриків тощо) і співвідношення між затискними силами та силами, що діють на механізм з боку приводу.

$$P_{t2} - P_{t1} = \Delta P_t = 0,2 P_t, \quad (3.1)$$

$$P'_{t2} - P'_{t1} = \Delta P'_t = 0,2 P'_t, \quad (3.2)$$

$$\Delta P_t = \Delta P'_t = \frac{0,2 M_{кр}}{r_{отв}} = \frac{0,2 \times 2 M_{кр}}{d_{отв}} \quad (3.3)$$

$$\Delta P_t = \Delta P'_t = \frac{0,2 \cdot 2 \cdot 19}{0,0144} = 527,78 H$$

Умова рівноваги:

$$0,2 \cdot 2 M_{кр} - F_1 - F_2 = 0,$$

$$M_{кр} = 527,78 \cdot 0,0502 = 26,49 \text{ Нм}$$

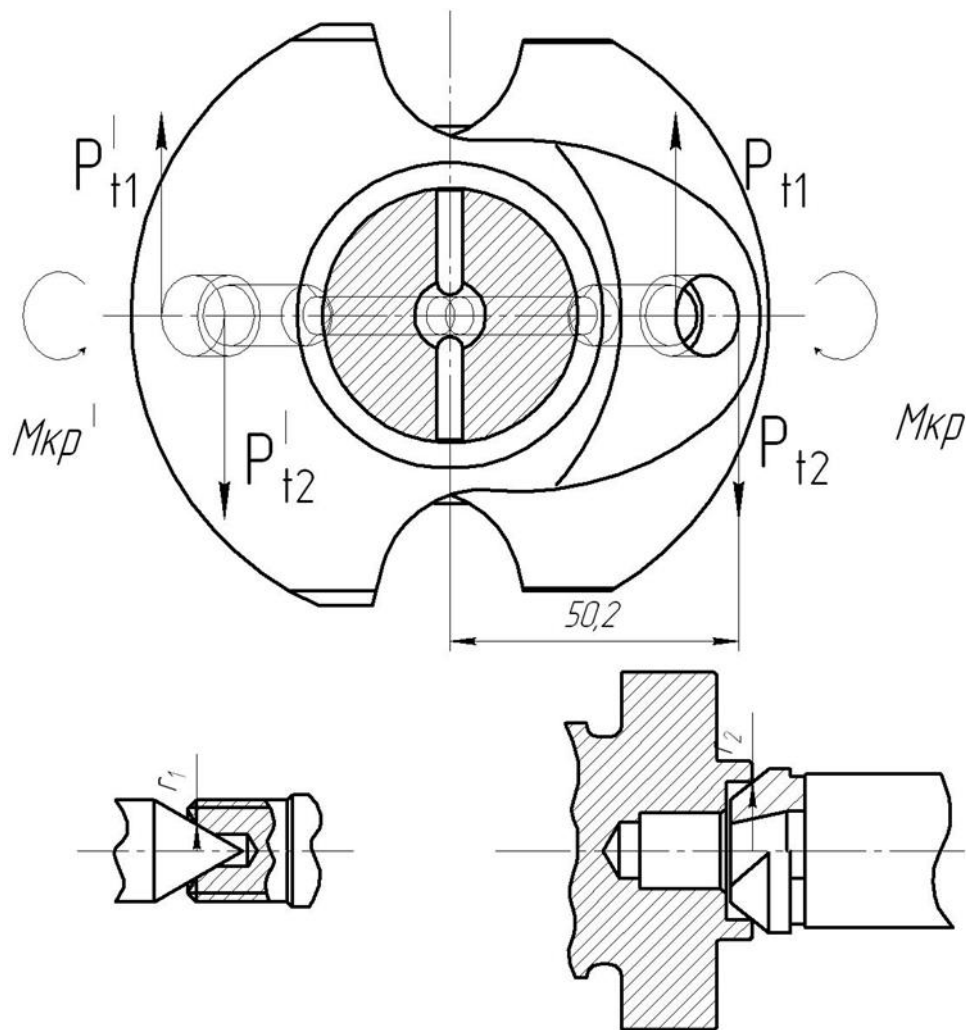


Рисунок 3.4— Схема дії сил на деталь.

$$F_1 = W \cdot f_1 \cdot r_1 \quad (3.4)$$

$$F_2 = W \cdot f_2 \cdot r_2$$

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5.$$

$$K = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,376.$$

$$W = \frac{0,4 \hat{E} M_{\hat{e} \delta}}{f(r_1 + r_2)}, \quad (3.5)$$

$$r_1 = 5,3 \text{ мм}$$

$$r_2 = 13,5 \text{ мм}$$

$$W = \frac{0,4 \cdot 2,376 \cdot 26,49}{0,15(0,0053 + 0,0135)} = 8927,69 \text{ Н}$$

Сила, необхідна для затиску деталі, що створюється важільним механізмом з гідроциліндром, розраховується за формулою

$$\theta = \frac{WL_1}{L_2}, \text{ Н}; \quad (3.6)$$

де L_1, L_2 – довжина плеча важеля, м;

$$L_1 = 0,203 \text{ м}; \quad L_2 = 0,219 \text{ м};$$

W – зусилля затиску, Н;

$$W = 8927,69 \text{ Н};$$

$$\theta = \frac{8927,69 \cdot 0,203}{0,219} = 8275,44.$$

В даному пристосуванні використовується гідропривід, тому що, він простий в використанні і надійний в роботі.

Для гідроциліндра визначається необхідне для затиску деталі тиску рідини.

Робочий хід:

$$P = \frac{4\theta}{\pi D^2 \eta} \quad (3.7)$$

$$P = \frac{4 \cdot 8275,44}{3,14 \cdot 50^2 \cdot 0,85} = 4,96 \text{ МПа.}$$

Зворотній хід:

$$P = \frac{\theta}{\left(\frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot \eta} \quad (3.8)$$

$$P = \frac{573}{\left(\frac{3,14 \cdot 50^2}{4} - \frac{3,14 \cdot 28^2}{4} \right) \cdot 0,85} = 0,5 \text{ МПа.}$$

Визначимо похибку спроектованого пристосування по формулі:

$$E_{\text{пп}} \leq \delta - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_{\delta})^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\text{н}}^2 + E_{\text{п}}^2 + (K_{T2} \cdot W)^2} \quad (3.9)$$

де δ – допуск на розмір заготовки, що досягається під час обробки;
K_T - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень від закону нормального розподілу: $K_T=1 \dots 1,2$ (в залежності від кількості складників; чим їх більше, тим K_T ближче до одиниці);
K_{T1} - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування на налаштованих верстатах: $K_{T1}=0,8 \dots 0,85$;
K_{T2} - коефіцієнт, враховуючий долю похибки обробки в сумарній похибці, викликаючими факторами, не залежними від пристосування (Δy , Δn , Δi , Δm , $\Sigma \Delta \phi$); $K_{T2}=0,6 \dots 0,8$ (більше значення коефіцієнта використовується при меншій кількості величин, які залежать від пристосування);
W – економічна точність обробки (приймається по таблицям);
E_{δ} – похибка базування. $E_{\delta} = 0,0009$ мм;
E_3 – похибка закріплення. $E_3 = 0,4$ мм;
E_y – похибка встановлення пристосування на верстаті. $E_y=0$, так, як здійснюється надійний контакт установочної площини пристосування з площиною верстату;
$E_{\text{н}}$ – похибка розташування отворів, пов'язана з перекосом і зміщенням оброблюваного інструменту виникає внаслідок неточності виготовлення направляючих елементів пристосування. $E_{\text{п}}=0,03$ мм;
$E_{\text{п}}$ – похибка від зносу установчих елементів.

$$E_H = \beta_1 \cdot N = 0,00012 \times 200 = 0,0024 \text{ мм.} \quad (3.10)$$

$$E_{\text{ПР}} = 1\sqrt{(0,8 \cdot 0,0009)^2 + 0,028^2 + 0 + 0,0024^2 + 0,03^2 + (0,6 \cdot 0,01)^2} = 0,059 \text{ мм.}$$

Допуск на розмір оброблюваних отворів $\delta = 0,22 \text{ мм}$;

Так , як $0,059 \text{ мм} < 0,22 \text{ мм}$ – пристосування задовольняє точності обробки.

3.3 Розробка кругової протяжки для обробки шийок колінчастого валу

Зовнішня протяжка для обробки корінних і шатунних шийок зображена на рисунку 3.5. Припуск на діаметр під протяжку становить 3 мм. Матеріал протяжки — сталь 45Х, а ріжучі зуби оснащені твердосплавними пластинами ВК8. Зуби протяжки розміщені таким чином, що спочатку обробляється діаметр шийки, а потім — канавка на ній.

Підйом на зуб $S_z = 0,06 \text{ мм}$. Між ріжучими і калібруючими зубами зроблено чотири зачисних зуби $z_3 = 4$ і розподіляється підйом на зуб наступним чином: $1/2 S_z \approx 0,015 \text{ мм}$; $1/3 S_z \approx 0,01 \text{ мм}$; $1/6 S_z \approx 0,004 \text{ мм}$. Крок ріжучих зубів $t = 25 \text{ мм}$, калібруючих зубів $0,8t = 20 \text{ мм}$.

Геометричні параметри ріжучих і калібруючих зубів: передній кут $\gamma = 15^\circ$; задній кут ріжучих зубів $\alpha = 3^\circ$; задній кут калібруючих зубів $\alpha_k = 1^\circ$.

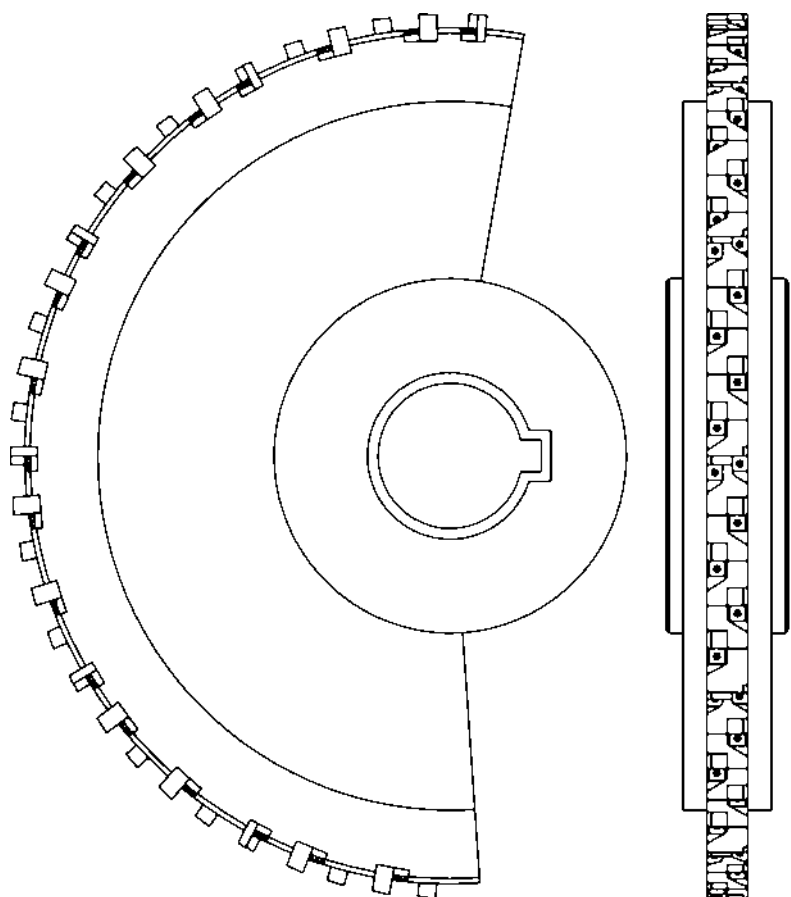


Рисунок 3.5 – Протяжка кругова для протягування корінних і шатунних шийок

Діаметр протяжки рівний 500 мм – для збільшення режимів різання. Розміри ріжучих зубів: перші ріжучі зуби $D_{31} = D_{32} = 500 - 1,5 = 498,5$ мм. Діаметр кожного наступного зуба збільшується на S_z .

3.4 Проектування державки вигладжувача

У корпус (поз. 2) встановлено шток (поз. 3), лівий кінець якого призначений для кріплення різних типів вигладжувальних інструментів (поз. 1). Зусилля, яке інструмент створює на оброблювану деталь, забезпечується пружиною (поз. 5). Кутове положення штоку фіксується за допомогою гвинта (поз. 8). Налаштування інструменту на необхідне зусилля виконується

регулювальною гайкою (поз. 4). На штоку є шкала для точного налаштування.

Універсальна пружинна державка спроектована для роботи з різними вигладжувальними головками, а також з конструкцією самого інструменту, представленою на аркуші 11.

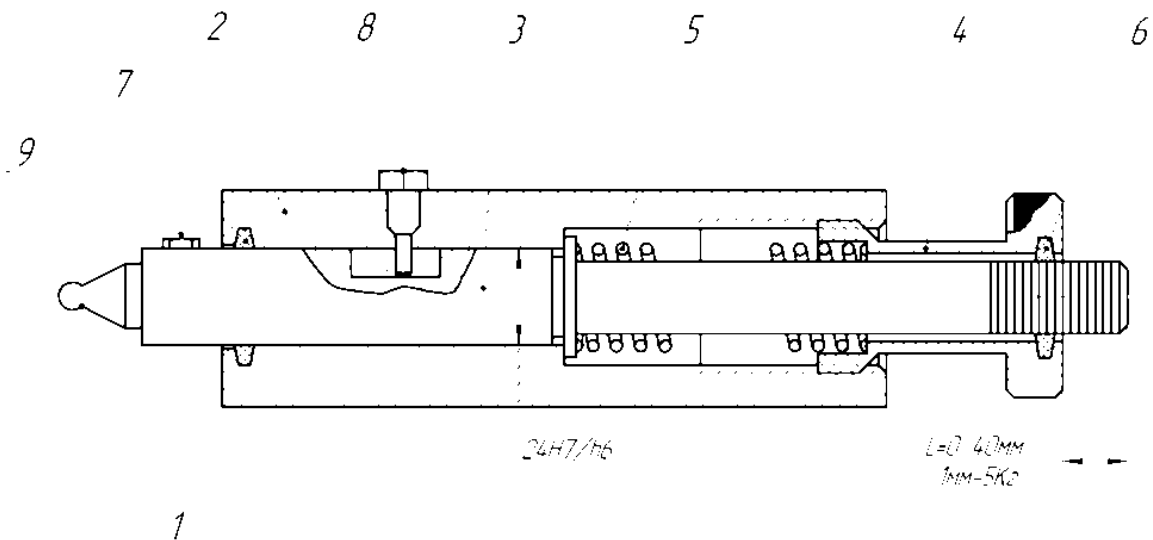


Рисунок 3.6 – Універсальна пружинна державка

Алмазні вигладжувачі виготовляють шляхом механічного закріплення або припаювання кристалів штучного алмазу в металевий корпус-наконечник. Після цього їх заточують і полірують на універсальних заточувальних верстатах моделей 3Б621, 3Б642, 3В642 із застосуванням спеціального пристосування.

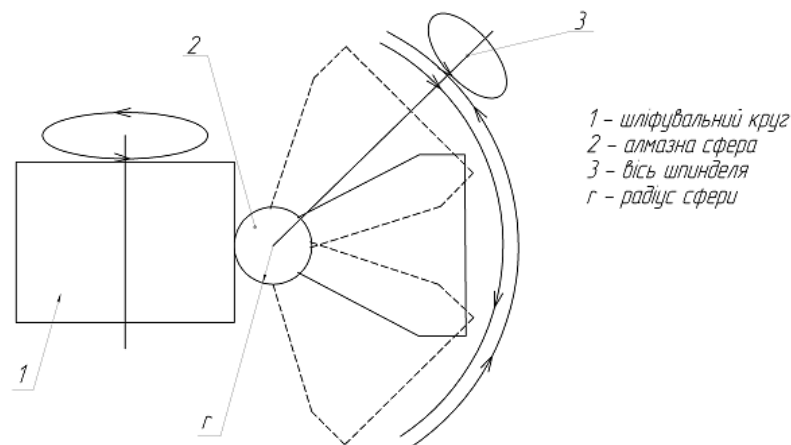


Рисунок 3.7 – Метод отримання заданого радіуса сфери вигладжувача

Пристосування складається з основи (поз. 16), на якій за допомогою осі (поз. 14) та упорного кулькового підшипника (поз. 26) встановлена обертальна плита (поз. 15). На плиті (поз. 15) у напрямних типу «ластівчин хвіст» розташований повзун (поз. 18), у верхній призматичній частині якого за допомогою хомута (поз. 4) закріплено шпindelний вузол (поз. 2). У передню частину шпindelного вузла з комплектом змінних втулок (поз. 1) встановлюється алмазний вигладжувач.

Перед встановленням вигладжувача у втулку пристосування налаштовують на розмір радіуса сфери вигладжувача, яка має бути отримана під час заточування. Для цього на верхню конічну частину осі (поз. 14, конус Морзе №1) встановлюють налагодочну втулку (поз. 9). За допомогою набору мірних плит, товщина яких відповідає радіусу сфери, налаштовується виступ торця шпинделя (поз. 2) до налагодочної втулки (поз. 9). Налаштування здійснюється регулювальним гвинтом (поз. 12).

Фіксація налагодочного розміру виконується клином (поз. 17) шляхом затягування гвинтів (поз. 27). Після цього вмикають обертання шліфувального круга і шпindelного вузла (поз. 2) за допомогою тросика спідометра (поз. 31). Завдяки ручці (поз. 13), що приводить у рух плиту (поз. 15) горизонтально, сфера отримує два взаємопов'язані рухи, що дозволяє точно заточити вигладжувач на заданий радіус.

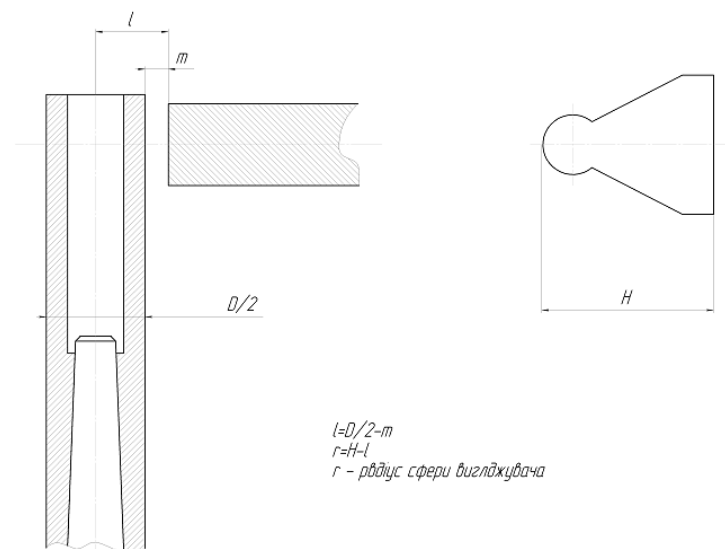


Рисунок 3.8 – Схема налаштування пристосування на заданий радіус

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Роль алмазного вигладжування у забезпеченні якості поверхонь деталей

Сучасний розвиток техніки висуває все більш жорсткі вимоги до якості машинних деталей, зокрема до точності їх розмірів, форми, фізико-механічних властивостей та мікрогеометрії поверхні, а також до експлуатаційних характеристик, таких як зносостійкість, втомна міцність, корозійна стійкість і довговічність. Надійність і строк служби колінчастих валів двигунів внутрішнього згоряння значною мірою залежать від стану та несучої здатності поверхневого шару робочих шийок, параметри яких визначаються на завершальних етапах виробництва та залежать від технології обробки.

Зазвичай для досягнення необхідної форми і точності деталей використовуються методи кінцевої обробки, такі як шліфування, хонінгування та доводка, однак вони не завжди забезпечують оптимальну якість поверхневого шару. У зв'язку з підвищеними вимогами до якості деталей, все більше значення на завершальному етапі виробництва набуває операція алмазного вигладжування. Цей метод обробки дозволяє досягти оптимального поєднання параметрів шорсткості, мікрорельєфу поверхневого шару, мікротвердості, а також сприятливого розподілу залишкових напружень, що важливо для таких відповідальних деталей, як штоки, вали, осі тощо.

Процес вигладжування полягає у пластичній деформації оброблюваної поверхні за допомогою інструмента, що ковзає по ній, згладжуючи нерівності, які залишилися після попередньої обробки. Зменшення шорсткості супроводжується підвищенням твердості поверхневого шару деталі. Після кожного оберту деталі інструмент переміщується в осьовому напрямку, забезпечуючи багатократне перекриття слідів.

Вимоги до вигладжування представлені в таблиці 4.1, де наведено технічні вимоги до поверхонь деталей, які рекомендується обробляти методом вигладжування як альтернативу стрічковому шліфуванню.

Таблиця 4.1 – Технічні вимоги до поверхонь деталей рекомендованим для вигладжування в масовому виробництві

Найменування деталі	Матеріал	Твердість поверхні	Розміри шийки, діаметр/ширина, мм	Шорсткість R_a , мкм
1	2	3	4	5
Вал колінчастий 245.1005015	ВЧ 700-2	HRC 42...52	$30_{-0,033} / 25$ $70_{-0,05} / 18$	0,2...0,4
Вал колінчастий 2110-1005020	ВЧ 75-50-03	HRC 50	$28_{-0,1} / 15$ $80_{-0,05} / 15$	0,2...0,4
Корпус внутрішнього парніру 2108-2215064	Сталь 19ХГН	HRC 62	$40_{-0,05} / 10$	0,25
Ліввісь заднього моста 2121/23-2403070	Сталь 40	HRC 53	$38_{-0,038} / 15$	0,2...0,4
Вал первинний КПП 2110-1701026	20ХГНМ	HRC 58	$24,95_{-0,1} / 9$	0,2...0,4
Фланець кріплення арданного валу 2101-2201102	Сталь 40	HB 165...215	$35,85_{-0,1} / 15$	0,2...0,4

Для зазначених деталей допуск на розмір обробки становить 0,03...0,1 мм, при цьому штучний час на виконання вимог варіюється від 40 до 55 секунд, а основний час складає від 6 до 10 секунд. Після шліфування поверхні деталей, відповідно до нормативів, мають мати шорсткість R_a в межах 0,32...1,0 мкм, але фактичні значення часто сягають R_a до 2,5 мкм.

Аналіз даних показує, що процес вигладжування повинен забезпечувати відносно низьку точність, але швидко трансформувати вихідну шорсткість поверхні в діапазон $Ra = 0,2 \dots 0,4$ мкм. Важливим є технологічне забезпечення необхідної шорсткості поверхні, обробленої обраним методом, щоб гарантувати стабільну експлуатаційну поведінку з максимальним ресурсом і надійністю протягом усього життєвого циклу.

Методи поверхневого пластичного деформування (ППД) характеризуються наявністю пластичних деформацій без зняття металу, що зумовлює зміщення матеріалу поблизу ділянки деформації. Використання операції вигладжування в комплексі з шліфуванням дозволяє зменшити хвилястість (рисунок 4.1) і покращити структуру шорсткості шийок колінчастого валу. під сальники цим самим забезпечити кращу герметичність двигуна.

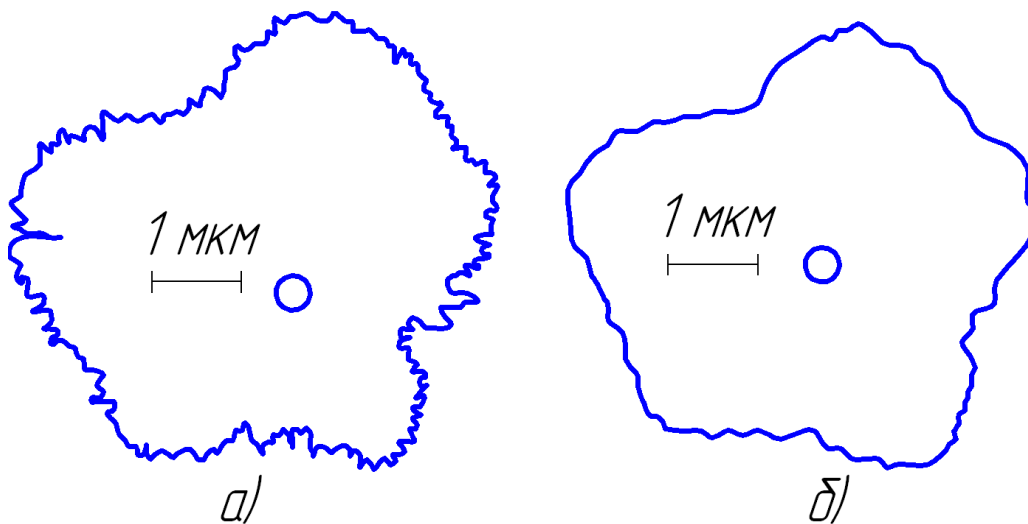


Рисунок 4.1– Круглограма поверхні обертання до (а) та після (б) вигладжування

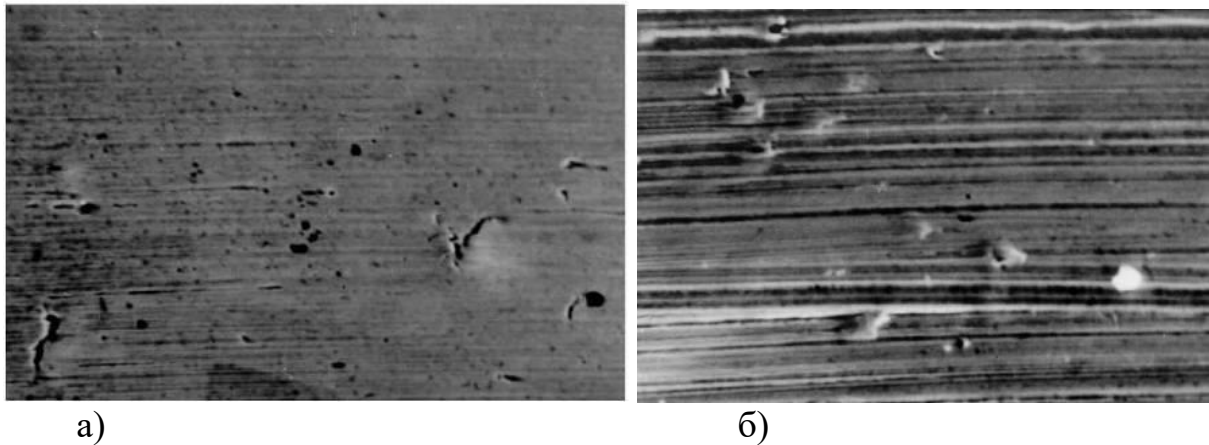


Рисунок 4.2 – Поверхня після обробки вигладжуванням (а) і поліруванням (б) х300

З точки зору мікрогеометрії поверхні та потреби в її припрацюванні на початковому етапі зношування, обробка методом вигладжування показала кращі результати порівняно з поліруванням.

4.2 Дослідження механізму формування поверхневого шару при алмазному вигладжуванні

Кількість факторів, що впливають на процес вигладжувального оброблення, є значною (рис. 4.3). Параметри системи «верстат–інструмент–деталь» (ВІД) багато в чому залежать від вимог обробки, типорозміру шийок валу, форми робочої частини вигладжувача, системи контролю, подачі змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) і моніторингу зношення робочої частини інструменту. Основними критеріями оцінки якості обробленої деталі є: якість геометричної структури поверхні (ГСП) (шорсткість, хвилястість), точність форми і розмірів, а також властивості поверхневого шару.

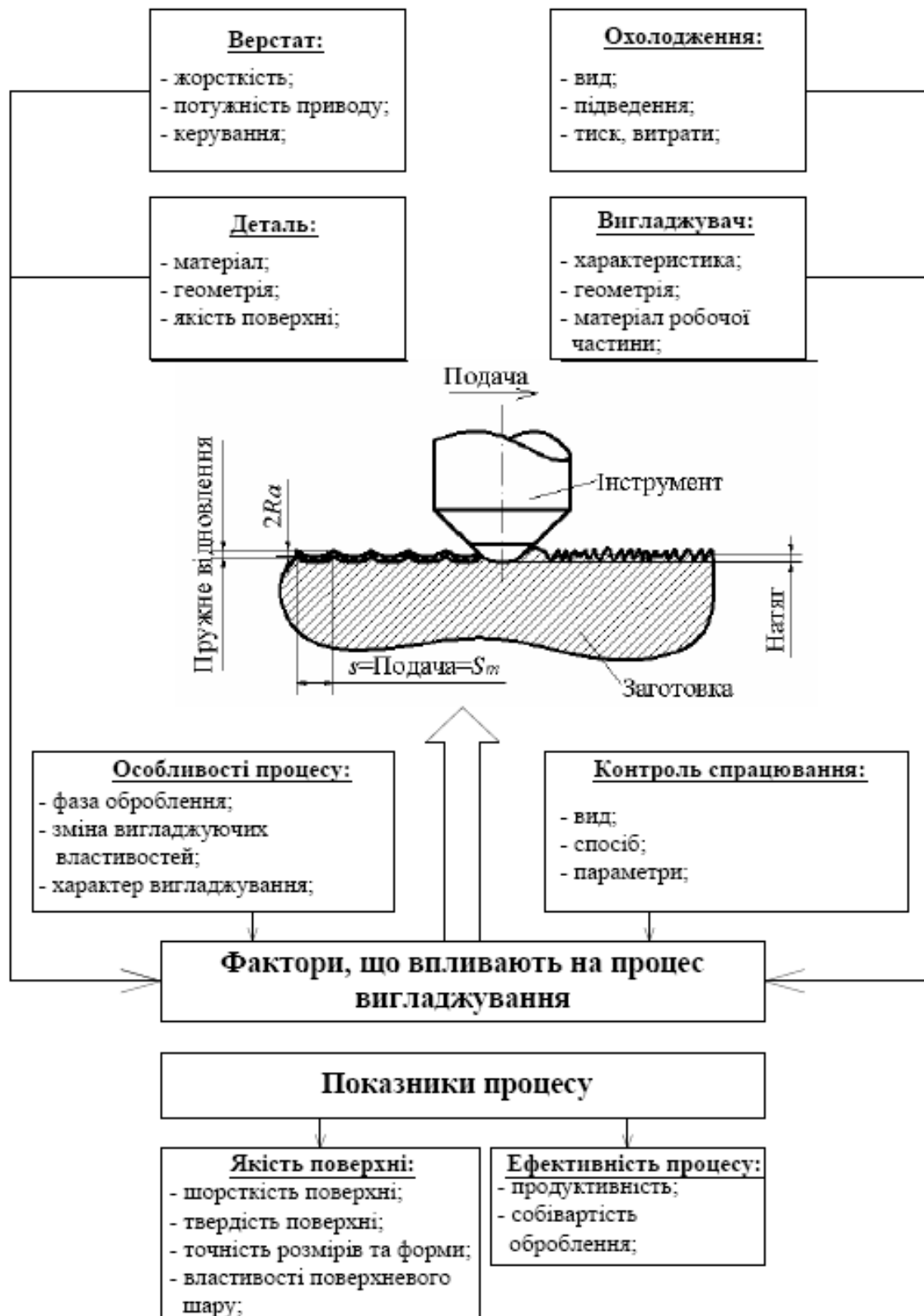


Рисунок 4.3– Фактори впливу, параметри та показники процесу зміцнювального вигладжування шийок для манжет колінчастого валу

245.100501

На рисунку 4.4 показано схему згладжування мікровиступів у процесі вигладжування. У точках контакту вигладжувача з мікровиступами виникає контактний тиск, що перевищує межу текучості матеріалу заготовки, в результаті чого мікровиступи пластично деформуються, мнуться і розтікаються в обидва боки від зони контакту.

Схема формування мікронерівностей у напрямі вектора швидкості та подачі під час вигладжування показана на рисунку 4.4. Під дією сили P_y інструмент входить в поверхневий шар на глибину h_{cl} . У напрямі швидкості попереду інструменту утворюється вал висотою h_g . Після робочого ходу інструменту відбувається пружне відновлення інструменту на величину Δ_{np} . У напрямі подачі процес формування мікронерівностей носить дещо інший характер. Крім пружного відновлення на величину Δ_{np} впливає пластична текучість металу, що витискається з під вигладжувача у вигладженої поверхні. Максимальна товщина витисненого шару Δ в поєднанні з Δ_{np} визначає результуючу висоту мікронерівностей після вигладжування.

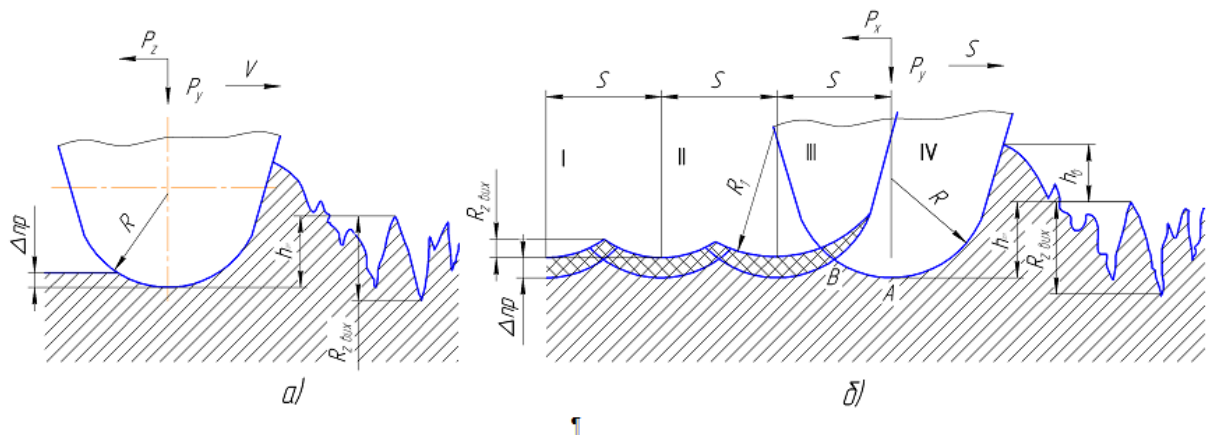


Рисунок 4.4— Схема формування мікро нерівностей в напрямі вектора швидкості (а) і подачі (б) при вигладжуванні

При вигладжуванні сила P розкладається на складові нормальну P_y і тангенціальну P_z і силу подачі P_x .

Величина сил вигладжування залежить від радіуса і форми робочої частини вигладжувача, пластичності і шорсткості оброблюваної поверхні, від глибини втискання інструменту, подачі та інші.

$$P_x = C_x R^{0,5} h^{4,5} \sigma_T ; \quad (4.1)$$

$$P_y = C_y R h \sigma_T ; \quad (4.2)$$

$$P_z = C_z R^{0,5} h^{1,5} \sigma_T ; \quad (4.3)$$

Дослідами встановлено що, основною силою створюючою необхідний тиск в зоні контакту інструменту з деталлю являється нормальна складова P_y . Складові P_z і P_x в 10–20 разів менші P_y . Тому в якості сили вигладжування риймають P_y . Для розрахунків беруть:

$$P = C \varepsilon R^2 \sigma_T ; \quad (4.5)$$

Так як величина σ_T не зручна для розрахунків, то зручніше виражати опір деформації поверхневого шару металу через величину його твердості HV.

Заміняю R приведеним радіусом

$$R = \left(\frac{\ddot{A} \cdot R}{R + \ddot{A}} \right), \quad (4.6)$$

$$P = \pi \varepsilon H V \left(\frac{\ddot{A} \cdot R}{R + \ddot{A}} \right)^2, \quad (4.7)$$

В результаті пластичного деформування обробленої поверхні здійснюється згладжування вихідних нерівностей і утворення нового мікрорельєфу поверхні зі значно меншою висотою нерівностей R_z . Розмір деталі зменшується на величину залишкової деформації. На величину і форму утворених нерівностей впливає також неоднорідність шорсткості

поверхні і твердості оброблюваної поверхні, коливання сили вигладжування, викликані биттям деталі та ін. це викликає відхилення реального мікрорельєфу від отриманого. Параметр шорсткості початкової поверхні $R_{z\text{вих.}}$ (рис. 4.5) однаковий і у напрямі швидкості, і у напрямі подачі.

Суттєвим чинником в утворенні мікронерівностей під час вигладжування є копіювання початкових нерівностей рисунок 4.5.

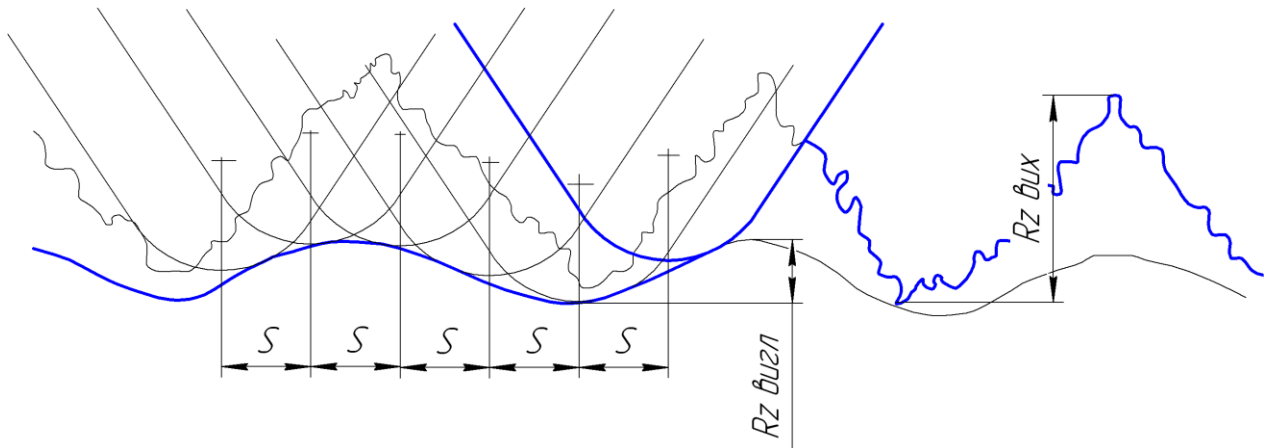


Рисунок 4.5– Схема копіювання мікронерівностей при вигладжуванні

Під час вигладжування інструмент-вигладжувач розтискає метал, утворюючи канавку на поверхні. При цьому виникають три види джерел деформації, залежно від глибини втиснення інструменту h та початкових параметрів шорсткості.

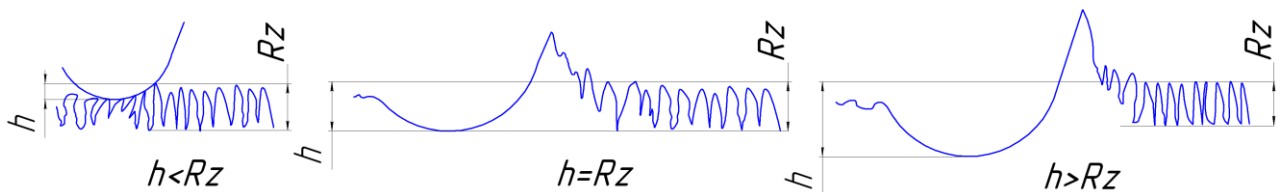


Рисунок 4.6– Збурення перед інструментом при вигладжуванні

Розглянемо взаємодію між поверхнями інструменту та деталі під час обробки. Вигладжування розглядається як процес тертя, що відбувається в умовах пружно-пластичної деформації оброблюваної поверхні. Оскільки твердість інструменту значно вища за твердість поверхні деталі,

мікронерівності наконечника інструменту "вдавлюються" в поверхню деталі, викликаючи додаткову локальну деформацію металу. Під час відносного переміщення поверхонь пошкодження фрикційних зв'язків має пластичний характер, і для пояснення механізму взаємодії можна скористатися основними принципами теорії тертя.

По-перше, щільний контакт поверхонь і високі тиски в зоні деформації сприяють утворенню адгезійних сил, які створюють мікроз'єднання поверхонь. Під час відносного зміщення поверхонь ці з'єднання руйнуються, одночасно утворюючи нові. Як правило, руйнування містків з'єднання відбувається на оброблюваній поверхні з налипанням частинок металу на інструменті. Проте природні та синтетичні алмази, що використовуються як матеріал інструменту, мають такі фізико-механічні властивості, які знижують налипання більшості матеріалів.

По-друге, при взаємодії контактуючих поверхонь утворюються подряпини на оброблюваній поверхні, спричинені вдавненими мікровиступами інструменту. Переміщення кожного мікровиступу супроводжується пластичним витисненням сусідніх ділянок металу. Очевидно, що чим вища висота мікронерівностей інструменту, тим глибше вони вдавлюються в оброблювану поверхню.

Окрім основних факторів, пов'язаних із тертям і впливом на формування шорсткості оброблюваної поверхні (молекулярне зчеплення та механічне зачеплення мікронерівностей), існують і інші: змащувальний матеріал, різні проміжні речовини, що створюють роздільний шар і захищають контактні поверхні, а також висока температура, яка сприяє інтенсивному окисленню поверхонь у зоні тертя. При цьому вирішальну роль для якості поверхні деталі відіграє шорсткість інструменту (рисунки 4.7).

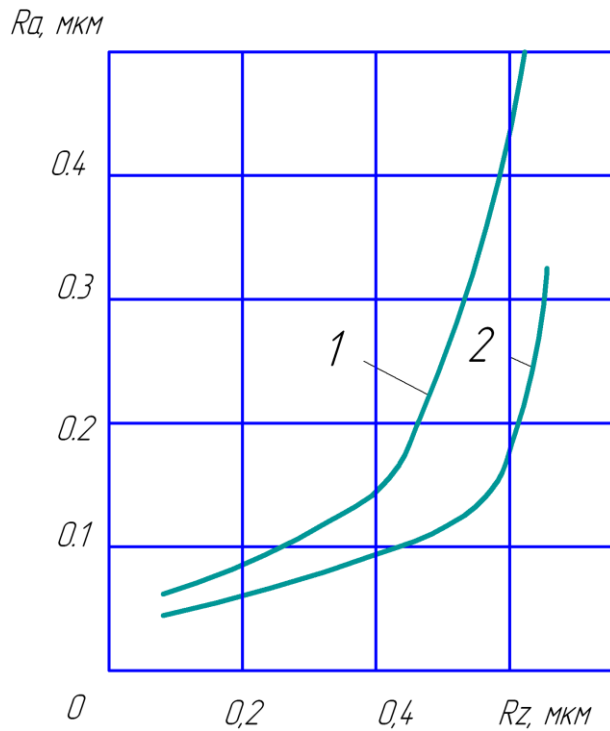


Рисунок 4.7 – Залежність вигладженої поверхні Ra від параметра шорсткості поверхні інструменту Rz : 1 – вигладжувач оброблений без доведення; 2 – доведений вигладжувач

Коефіцієнти тертя залежать від ключових чинників — сили вигладжування та твердості оброблюваної деталі. Зі збільшенням сили вигладжування до оптимального значення коефіцієнт тертя зростає, а з підвищенням твердості матеріалу деталі — зменшується. Максимальне значення коефіцієнта тертя становить не більше 0,1 і зазвичай варіюється в межах 0,05–0,1.

Температура в зоні деформації на глибині до 0,1 мм не перевищує 200–400 °С при швидкості вигладжування до 100 м/хв. За збільшення швидкості вигладжування до 400...500 м/хв температура підвищується у 2–2,5 рази.

Основними параметрами вигладжування, що впливають на шорсткість, є сила вигладжування, подача та радіус робочої частини інструменту. При збільшенні притискної сили вигладжувача до певного значення шорсткість знижується. За оптимальних значень сили вигладжування початкові

нерівності повністю згладжуються, утворюючи шорсткість, зумовлену самим процесом вигладжування і подачею. Подальше збільшення сили вигладжування посилює пластичні деформації, підвищує висоту нерівностей порівняно з мінімальною, що може призвести до руйнування поверхневих шарів і появи тріщин (рисунок 4.8).

Для деталей із високоміцних матеріалів сила вигладжування понад 250...300 Н, а для матеріалів середньої твердості понад 100...150 Н, зазвичай є недоцільною.

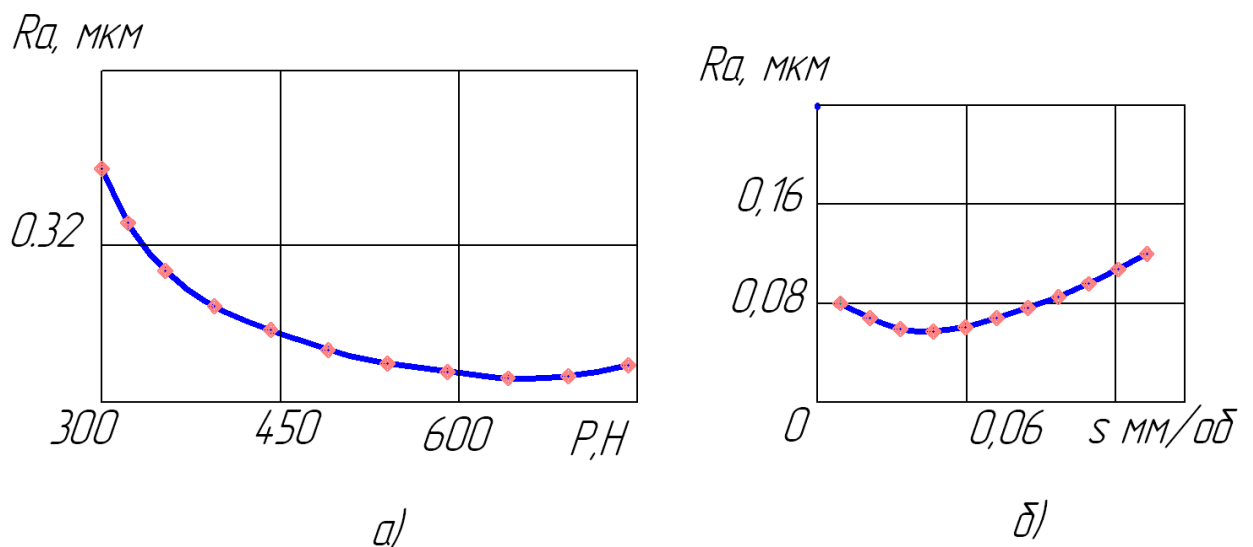


Рисунок 4.8– Залежність параметра шорсткості Ra від P та подачі S під час вигладжування алмазами АСПК зразків з чаву ВЧ 700–2 ДСТУ 3925–99:

а) $R_{cp}=1,0$ мм $P=400$ Н ; б) $R_{cp}=1,0$ мм $S=0,03$ мм/хв

Основним критерієм вибору радіуса сферичної частини інструменту є твердість матеріалу заготовки: для деталей із м'яких сталей та кольорових сплавів радіус має становити 2,5...3,5 мм; для деталей середньої твердості - 1,5...2,5 мм; для високоміцного чавуну - 0,5...1,5 мм.

Найнижчий параметр шорсткості досягається при подачі 0,02–0,1 мм/об. При подачі менше 0,02 мм/об параметр шорсткості залишається незмінним або навіть збільшується порівняно з оптимальним, що зумовлено

перенаклепом поверхневого шару. Подальше зниження початкової шорсткості при вигладжуванні є малоефективним (рисунок 4.8, б).

Шорсткість також залежить від кількості робочих ходів інструменту: вона здебільшого зменшується під час першого робочого ходу. Зі збільшенням кількості ходів до 2–3 параметр шорсткості продовжує знижуватися, але не так істотно, оскільки наступні ходи проходять по вже згладженій і зміцненій поверхні. При кількості ходів понад чотири можливий перенаклеп поверхневого шару, що робить надмірну кількість проходів у процесі вигладжування недоцільною.

4.3 Вплив параметрів технологічного циклу вигладжування на шорсткість обробленої поверхні

Обробка зміцнювально-вигладжувальними операціями супроводжується складними структурними та фазовими перетвореннями, характерними для формування поверхневого шару. На початковому етапі відбувається подрібнення зерен металу до блоків і утворення мозаїчної структури. Згодом, внаслідок посиленого розвитку зсувів по площинах ковзання, формуються нові, ще більш дрібні зерна. При цьому кристаліти втрачають свою глобулярну форму, сплющуються та витягуються в напрямку деформації. Різко змінюється співвідношення їх розмірів, утворюється впорядкована орієнтована волокниста структура з анізотропними механічними властивостями, коли пластичність вздовж волокон вища, ніж у поперечному напрямку.

Для прогнозування шорсткості поверхні після вигладжування виведемо математичну модель пружної системи формоутворення мікрогеометрії

поверхні, яка враховує як технологічні фактори вигладжування, так і стан поверхні до обробки.

Для розрахунку шорсткості за спрощених умов використовується аналітична залежність:

$$R_z = \frac{S^2}{8 \cdot R_B}, \quad (4.7)$$

Під час вигладжування матеріал зазнає пружної деформації. Найбільша деформація спостерігається в точці А (рисунок 4.9), тобто в центрі западини. У точці В, розташованій на вершині гребеня, деформація мінімальна. Після пружного відновлення матеріалу висота мікронерівностей відрізнятиметься від значення, визначеного за виразом (4.7). Ця різниця повинна дорівнювати різниці величин пружної деформації матеріалу в точках А і В.

З урахуванням пружно-пластичної деформації під час вигладжування, формула (4.7) набуває наступного вигляду:

$$R_z = \left[\frac{S^2}{8 \cdot R_B} - (\omega_A - \omega_B) \right], \quad (4.8)$$

Еластичну деформацію вершин і впадин гребенів можна приблизно розрахувати за допомогою задачі Герца. Відомо, що при пружному контакті двох тіл із модулями пружності, локальна деформація точок першого та другого тіла в напрямку дії сили визначається формулою:

$$\omega_1 + \omega_2 = \alpha - \beta \cdot \tilde{\sigma}^2 \quad (4.9)$$

В точці А $\tilde{\sigma}=0$ і, відповідно, $\omega_1 + \omega_2 = \alpha$

За однакових пружних властивостей обох тіл $\omega_1 = \omega_2 = \omega$; $2\omega = \alpha$.

Тому $\omega_1 = \frac{\alpha}{2}$. Для точки можна записати $\omega_2 = \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2}\beta \cdot \tilde{\sigma}^2$.

Різниця у величині пружної деформації вершин і впадин гребеня буде рівна $\omega_1 - \omega_2 = \frac{1}{2}\beta \cdot \tilde{\sigma}^2$. Якщо врахувати що $\tilde{\sigma} = \frac{S}{2}$, то $\omega_1 - \omega_2 = \beta \frac{S^2}{2}$.

Дослідженнями встановлено, що внаслідок пружного відновлення, яке відбувається за деформуючим вигладжувачем, радіус впадин R_1 є більшим радіуса інструменту R_A . Це підтверджується проведеними експериментами.

Для даного випадку $\beta = \frac{R_1 - R_B}{2R_1 \cdot R_B}$.

Величину R_1 можна представити виразом $R_1 = kR_A$ де, k – коефіцієнт який характеризує збільшення радіуса впадин. Тоді $\beta = \frac{k-1}{2k \cdot R_B}$, підставивши β у формулу різниці пружної деформації вершини і впадин гребенів, отримаємо аналітичну залежність:

$$\omega_A - \omega_B = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{S^2}{16R_B} \quad (4.10)$$

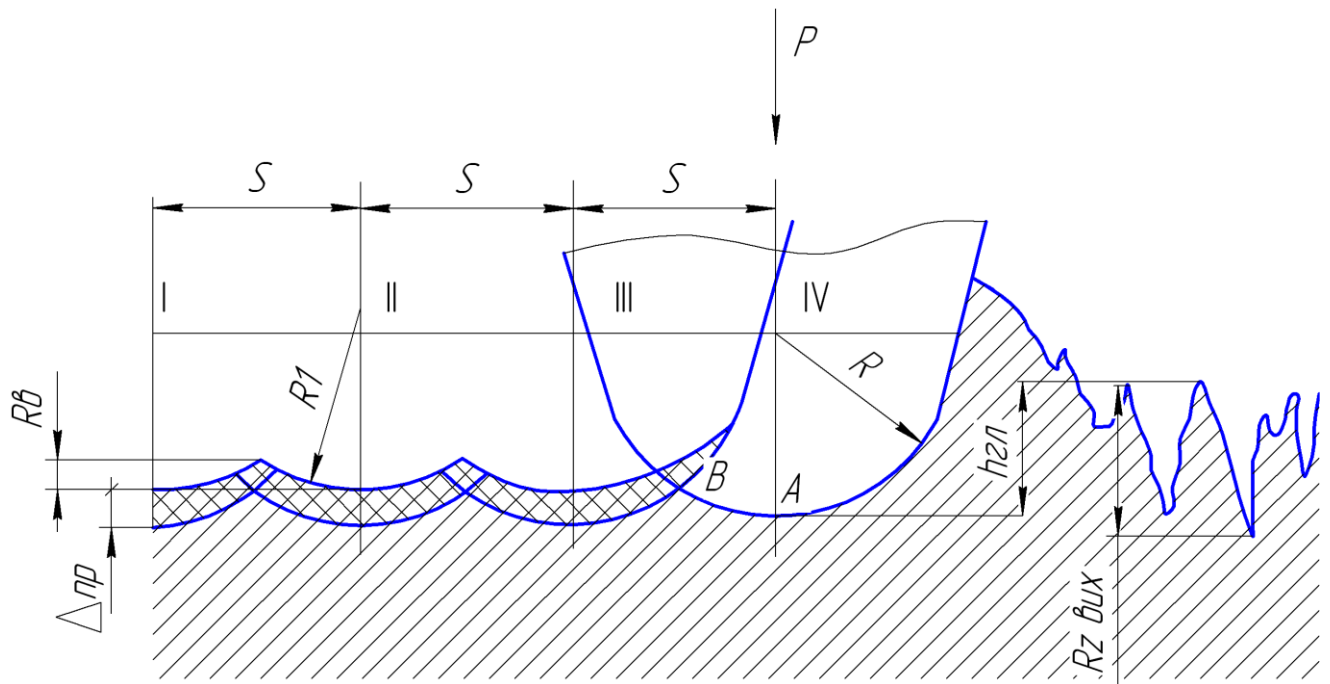


Рисунок 4.8 – Схема для розрахунку висоти мікронерівностей під час вигладжування

З урахуванням пружної деформації, висота мікронерівностей визначається за виразом:

$$R_z = \left[\frac{S^2}{8R_B} - \frac{(k-1)}{k} - \frac{S^2}{16R_B} \right] = \frac{S^2}{8R_B} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right) \quad (4.11)$$

Для більш точного визначення шорсткості у формулу (4.11) необхідно внести коефіцієнти, що враховують технологічні фактори під час вигладжування та величину мікронерівностей до обробки:

$$R_z = \frac{S^2}{8R_B} \left(1 - \frac{k-1}{2k} \right) k_\epsilon k_p k_z \quad (4.12)$$

де, S – подача;

R_A – радіус вигладжувала;

k – коефіцієнт який характеризує збільшення радіуса впадин, ($k=1,1\dots2,6$ – для сталей, $k=2,4\dots2,8$ – для чавунів);

k_ϵ – коефіцієнт який залежить фізико – механічних властивостей металу ($k_\epsilon=1,3$ – $2,4$ – для чавунів)

k_p – коефіцієнт який залежить від зусилля вигладжування ($k_p=1$ – при оптимальній силі вигладжування, $k_p=1,1\dots1,5$ – при $50\text{H} \triangleright P_A \triangleright 300\text{H}$)

k_z – коефіцієнт який залежить від величини $R_{Z\grave{\alpha}\grave{\alpha}\grave{o}}$ поверхні до алмазного вигладжування ($k_z=1,0$ – при $R_{Z\grave{\alpha}\grave{\alpha}\grave{o}}=0,08\dots2,5$, $k_z=1,1\dots1,5$ – при $R_{Z\grave{\alpha}\grave{\alpha}\grave{o}} \geq 2,6$)

Для підтвердження виведеної математичної моделі проведено експериментальні дослідження впливу технологічних факторів зміцнювально-вигладжувального оброблення зразків із чавуну ВЧ 700–2 на шорсткість вигладженої поверхні. Встановлено залежність шорсткості $R_{Z\grave{\alpha}\grave{\alpha}\grave{o}}$ від подачі S при вигладжуванні (рисунок 4.10).

Таблиця 4.2 – Приведені дані залежності шорсткості поверхні R_Z від подачі S під час алмазного вигладжування

Експериментальні дослідження		Теоритичні розрахунки	
S	R_Z	S	R_Z
0,04	0,56144	0,04	0,20015
0,05	0,40018	0,05	0,36246
0,06	0,46227	0,06	0,45214
0,07	0,60008	0,07	0,68193
0,08	0,68419	0,08	0,84000
0,09	0,88941	0,09	1,32500
0,1	1,21475	0,1	1,25668
0,11	1,81446	0,11	2,02593

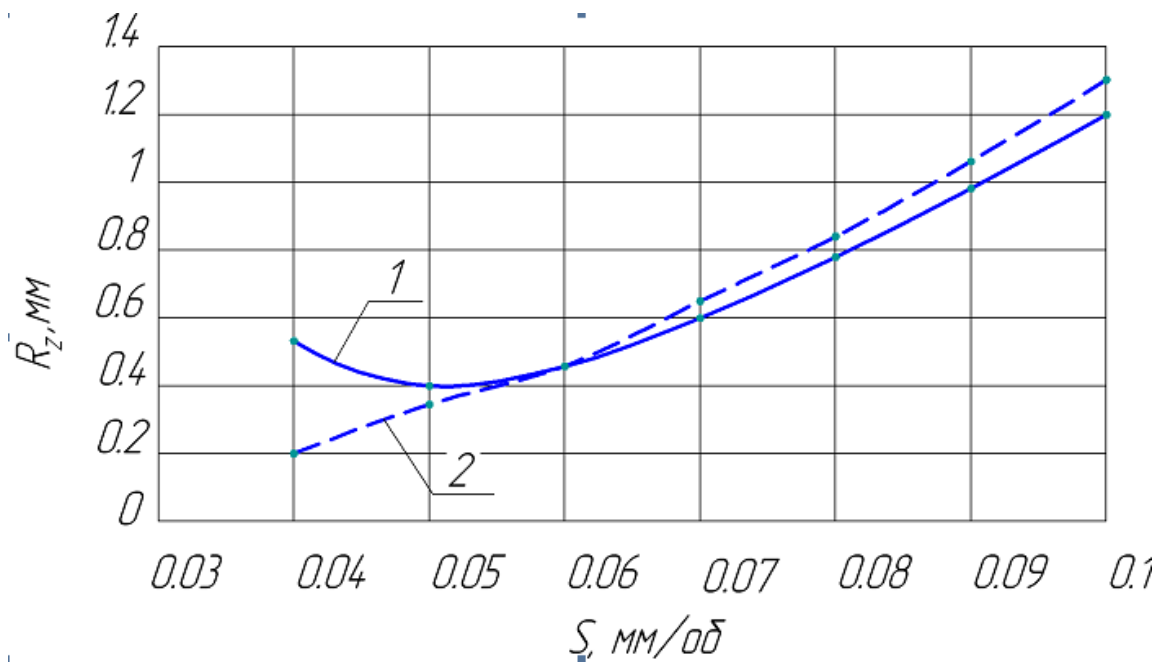


Рисунок 4.10 – Залежність шорсткості поверхні R_z від подачі S під час алмазного вигладжування: 1 – чавуну ВЧ 700–2 $P=450\text{Н}$, $R=1\text{ мм}$
2– теоретичні розрахунки

Для цього випадку оптимальна подача при вигладжуванні становить від 0,04 до 0,11 мм/об. Відхилення від цієї оптимальної подачі, як у бік збільшення, так і зменшення, призводить до погіршення шорсткості обробленої поверхні.

Дослідження впливу притискного зусилля інструменту під час вигладжування на шорсткість обробленої поверхні.** В експерименті піддавали вигладжуванню зразки зі сталі 40 та високоміцного чавуну ВЧ 700-2. Перед вигладжуванням зразки були попередньо оброблені шліфуванням. Початкова шорсткість для зразків зі сталі 40 складала $R_a = 0,5\text{ мкм}$, а для зразків з чавуну — $R_a = 0,85\text{ мкм}$.

Результати математичного моделювання дозволили розділити розроблені регресійні моделі за циклами вигладжування:

шорсткість зразків зі сталі 40:

для 4 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,064 \cdot P^{0,551} \cdot \exp[-0,0022 \cdot P]) \quad (4.13)$$

для 6 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,041 \cdot P^{0,681} \cdot \exp[-0,00299 \cdot P]) \quad (4.14)$$

для 10 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,026 \cdot P^{0,799} \cdot \exp[-0,00371 \cdot P]) \quad (4.14)$$

шорсткість зразків із чавуну ВЧ 700–2:

для 4 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,0000005018 \cdot P^{2,334} \cdot \exp[-0,0058 \cdot P]) \quad (4.15)$$

для 6 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,0000004597 \cdot P^{2,334} \cdot \exp[-0,00495 \cdot P]) \quad (4.16)$$

для 10 циклів:

$$Ra = Ra_0 \cdot (1 - 0,0000001116 \cdot P^{3,183} \cdot \exp[-0,00791 \cdot P]) \quad (4.17)$$

Графічні математичні моделі зв'язку для різних зусиль і циклів вигладжування зразків із досліджених матеріалів представлені на рисунку 4.11.

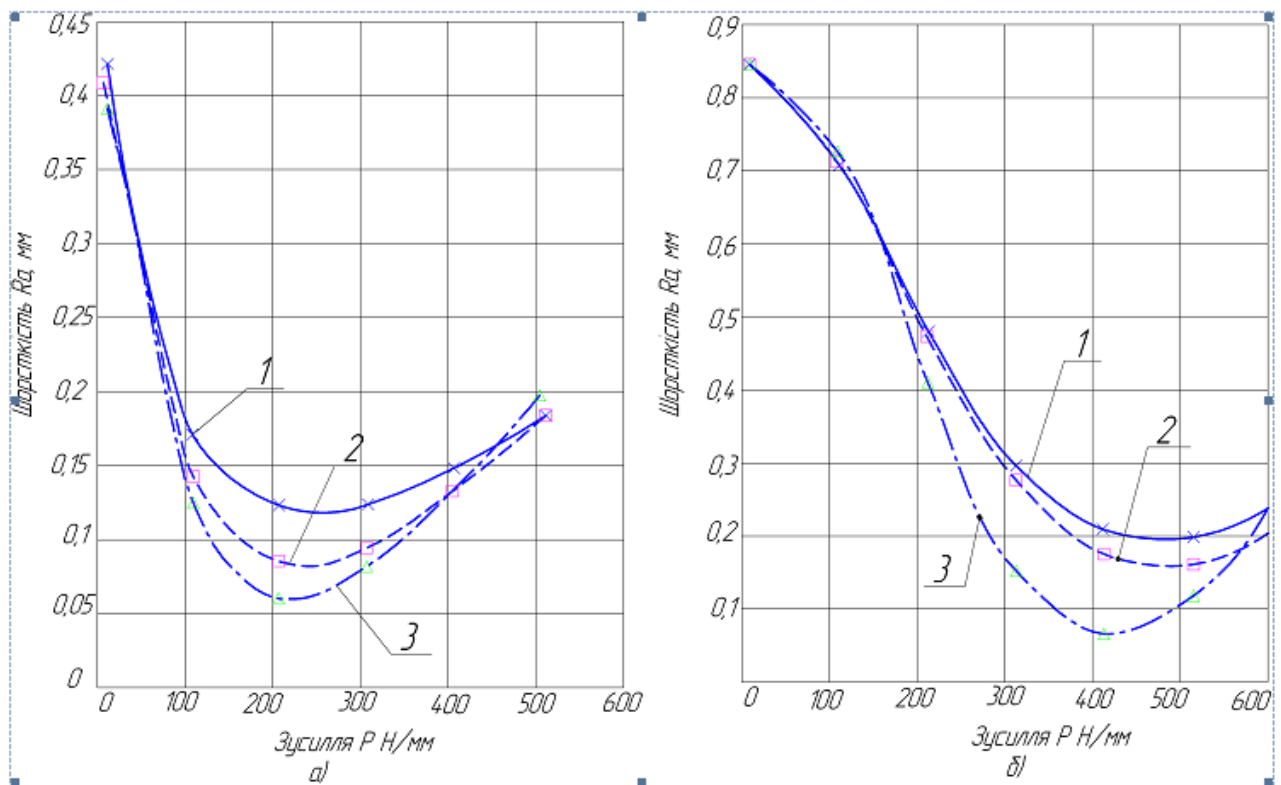


Рисунок 4.11– Залежність шорсткості вигладженого зразку з сталі 40 (а) і чавуну ВЧ 700–2 (б) від зусилля притискання інструменту при різних циклах навантаження: 1– при чотирьох циклах; 2– при шести циклах; 3– при десяти циклах

Під час вигладжування зразків зі сталі 40 та високоміцного чавуну ВЧ 700–2 для всіх трьох досліджуваних циклів спостерігалася екстремальна залежність шорсткості обробленої поверхні від зусилля притискання вигладжувача. Експериментально встановлено, що мінімальні значення шорсткості R_a досягаються при зусиллях $(P = 210 \text{ N/mm})$ для сталі 40 та $(P = 410 \text{ N/mm})$ для чавуну. Така закономірність свідчить про те, що на формування шорсткості обробленої поверхні впливають час обробки та сила притискання інструменту, тобто основна причина полягає в механізмі пластичної деформації.

Для досягнення оптимальної якості поверхні вигладжування слід виконувати з раціонально підбраною силою притискання інструменту.

Відхилення сили вигладжування як у бік збільшення, так і зменшення призводить до погіршення шорсткості обробленої поверхні. Якщо зусилля вигладжування недостатнє, мікронерівності поверхні не згладжуються повністю (рисунок 4.12 а), а при перевищенні оптимального зусилля відбувається руйнування поверхні через структурні зрушення в поверхневому шарі (рисунок 4.12 в).

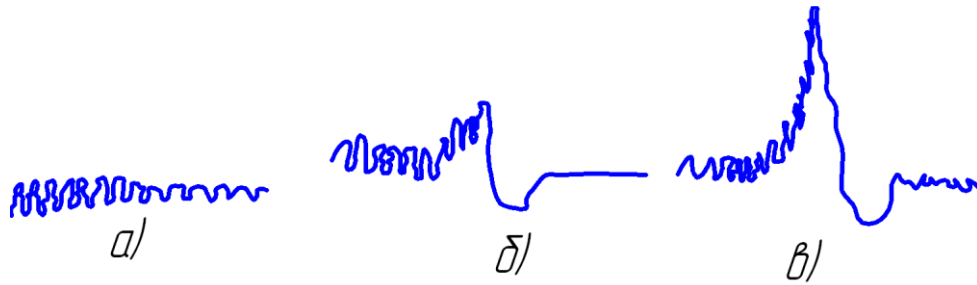


Рисунок 4.12– Схема утворення мікрогеометрії поверхні при різних силах вигладжування: а) $P_{\text{в}} < P_{\text{оптим.}}$ б) $P_{\text{в}} = P_{\text{оптим.}}$ в) $P_{\text{в}} > P_{\text{оптим.}}$

На основі обробки результатів експериментів було отримано емпіричну залежність для розрахунку орієнтовного значення оптимальної сили вигладжування:

$$P = 0,2 \cdot \frac{HV}{\sqrt{N}} \cdot R \cdot \left(2 + \frac{Ra}{R} \right) \cdot l \quad (4.18)$$

У виробничих умовах було проведено двофакторний експеримент, який моделював спільний та взаємозв'язаний вплив зусилля вигладжування та кількості циклів навантаження на якість обробки сальникових шийок колінчастих валів з високоміцного чавуну. Отримані результати виявилися відповідними закономірностям, встановленим у лабораторних умовах.

4.4 Вибір інструментальних матеріалів для широкого вигладжування

Для дослідження було обрано наступні синтетичні надтверді матеріали: композит 05ІТ, лейкосапфір та ніборит (томал 10). На рисунку 4.13, а показано експериментально встановлену залежність шорсткості поверхні деталі зі сталі 40 від довжини траєкторії, пройденої інструментом з використанням матеріалів: композит 05ІТ, лейкосапфір, ніборит. На рисунку 4.13, б відображена залежність шорсткості поверхні деталі з чавуну ВЧ 700-2 від довжини шляху, пройденого інструментом з композиту 05.

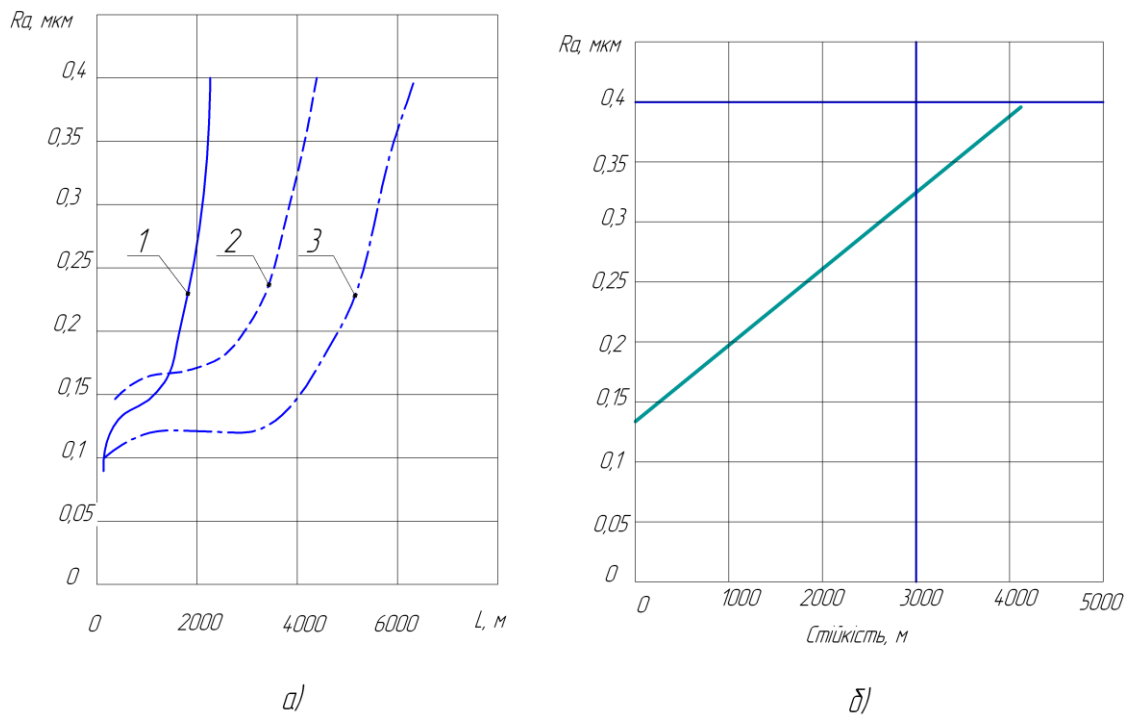


Рисунок 4.13 – Залежність шорсткості зразка при вигладжуванні від довжини шляху, пройденого інструментом з різних матеріалів

В результаті проведених досліджень було виявлено, що серед випробуваних матеріалів найбільшу стійкість до зносу при обробці сталі 40 проявив ніборит (томал 10) з показником стійкості 6,3 км. Для лейкосапфіру цей показник складає 2,3 км, а для композиту 05ІТ — 4,4 км.

При виборі конкретного інструментального матеріалу необхідно враховувати економічні аспекти для кожного типу оброблюваного матеріалу.

У технологічному процесі виготовлення колінчастого валу близько 40% часу припадає на шліфувальні та завершальні операції. Для підвищення експлуатаційних характеристик колінчастого валу, усунення дефектів підтікання сальників та зниження собівартості, запропоновано в процесі виготовлення валу обмежити шліфування підманжетних шийок до чорнової обробки, а чистове шліфування та суперфініш замінити зміцнювально-вигладжувальною обробкою. Обробка шийок під манжети зміцненням поверхневого шару збільшила його на 42% порівняно зі звичайним шліфуванням, а також знизилася кількість дефектів «підтікання сальника» в три рази під час гарантійного періоду.

Робоча частина індентора має круглу форму, його вісь розташована паралельно до осі виробу. Для закріплення вигладжувача розроблено спеціальну державку та пристрій для заточування. Під час обробки колінчастого валу потрібне зусилля складає 450 Н, що може викликати недопустимі навантаження на деталь та вузли верстату. Враховуючи недостатню жорсткість валу, рекомендується обробляти кожну поверхню одночасно з двох сторін у діаметрально протилежних напрямках, що дозволяє замикати зусилля на оброблюваній шийці та уникнути його передачі на інші вузли.

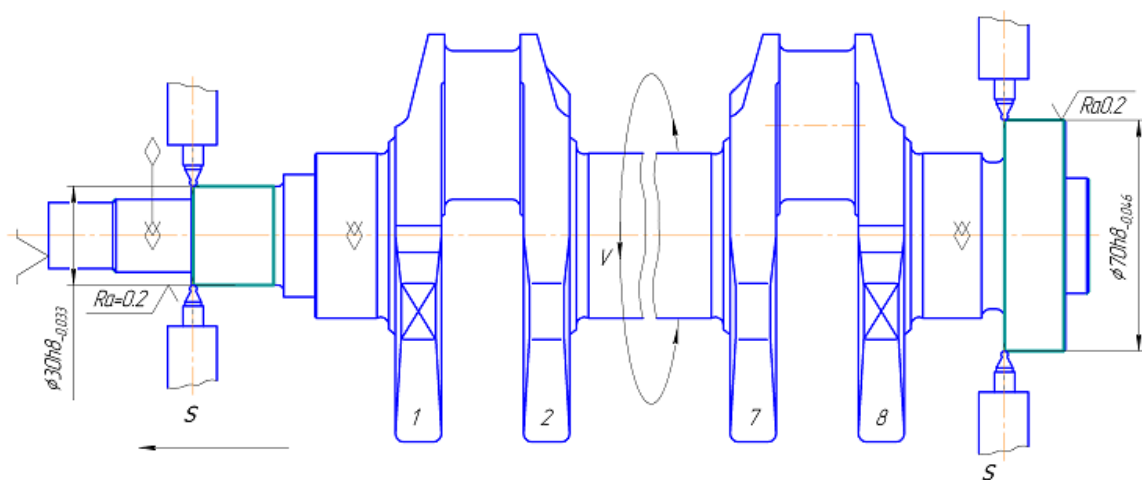


Рисунок 4.14 – Схема алмазного вигладжування підманжетних шийок

Колінчастий вал обробляється на автоматичному верстаті, де завантаження валу в робочу зону відбувається знизу. Це обумовлює розташування важільної системи інструментального модуля.



Рисунок 4.15 – Спеціальний верстат для алмазного вигладжування

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики верстату і параметри для вигладжування самовстановлюючими інструментами підманжетних шийок колінчастого валу 245.1005015 двигуна MEM3–245

Найменування характеристики	Познач.	Од. Вим.	Значення
Річна програма	—	шт	70 000
Основний час	t	с	10
Кількість одночасно працюючих інструментів	—	шт	2
Номінальне зусилля на один інструмент	F	Н	6000...8000
Число циклів навантаження одним інструментом за час обробки	N	—	3...5
Номінальна частота обертів шпинделя при обробці	n	об/хв.	30...60
Розміри оброблюваних шийок	d l	мм мм	30, 70 25, 18
Оброблюваний матеріал	ВЧ 700–2		
Твердість оброблюваної поверхні	HRC	—	45
Вихідна шорсткість оброблюваної поверхні	R_a	мкм	0,63...1,0
Шорсткість обробленої поверхні	R_a	мкм	0,2...0,4

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні шляхи та заходи підвищення стійкості роботи об'єкту в надзвичайних ситуаціях техногенного характеру

На основі вивчення факторів, які впливають на стійкість роботи об'єктів, і оцінки стійкості елементів і галузей виробництва проти уражаючих факторів ядерної, хімічної і біологічної зброї, стихійних лих і виробничих аварій, необхідно завчасно організувати і провести організаційні, інженерно-технічні й технологічні заходи для підвищення стійкості роботи.

Здійснення організаційних заходів передбачає завчасну підготовку всіх структур цивільного захисту, служб і формувань до надзвичайних ситуацій.

Інженерно-технічні заходи мають забезпечити підвищену стійкість виробничих споруд, технологічних ліній, устаткування, комунікацій об'єкта до впливу уражаючих факторів під час надзвичайних ситуацій. При проведенні цих заходів необхідно враховувати конкретні умови об'єкта народного господарства. Проте є загальні організаційні інженерно-технічні заходи, які мають проводитись на всіх об'єктах.

Забезпечення захисту людей та їх життєдіяльності реалізується через створення на об'єкті надійної системи оповіщення про загрозу виникнення надзвичайної ситуації. Організація розвідки і спостереження за радіоактивним забрудненням, хімічним і біологічним зараженням; гідрометеорологічне спостереження за рівнем води, напрямком і швидкістю вітру, рухом і поширенням хмари радіоактивного забруднення; завчасна

підготовка до масової санітарної обробки населення і знезаражування одягу, організація взаємодії з установами охорони здоров'я для медичного обслуговування населення у надзвичайних ситуаціях.

Підготовка до евакуації населення, розміщеного в зонах можливих руйнувань і катастрофічного затоплення. Завчасна підготовка місць евакуації, організація прийому евакуйованого населення на територію населених пунктів; навчання населення способам захисту, надання першої допомоги, практичним діям в умовах надзвичайних ситуацій, морально-психологічна підготовка населення для виживання.

Для підвищення стійкості забезпечення водою слід провести наступні заходи: необхідно створити основні і резервні джерела водопостачання. Як резервне джерело краще мати артезіанську свердловину, яку необхідно підключити до системи водопостачання. Крім того, воду можна брати з близько розміщеної природної водойми або спорудити штучну водойму чи резервуари з обладнанням пристроїв для збору і перекачування води. Всі ділянки водопостачання повинні бути заглиблені в ґрунт з обладнанням пожежних гідрантів і пристроїв для відключення пошкоджених ділянок.

Підвищенню стійкості забезпечення водою сприяє подавання води безпосередньо в мережу поза водонапірними баштами, спорудження обвідних ліній для подання води поза пошкодженими спорудами.

Захистити цінне і унікальне устаткування можна завдяки проведенню інженерно-технічних заходів, щоб зменшити небезпеку пошкодження і руйнування верстатів з програмним керуванням, шліфувальних, токарних, розточних, зубофрезерних, пресових верстатів, автоматичних конвеєрних ліній та іншого устаткування.

Варіантами такого захисту є розміщення зазначеного устаткування в заглиблених приміщеннях а також використання спеціальних захисних пристосувань, закріплення верстатів на фундаментах, застосування контрфорсів для підвищення стійкості проти перекидання обладнання

Стійкість роботи автотранспортної та іншої техніки, технологічного

обладнання і механізмів суттєво залежить від організації своєчасного оповіщення гаража, технологічного парку, їх керівників, водіїв, механізаторів про загрозу надзвичайної ситуації.

Також слід приділити увагу розробці пристосувань і технологічних процесів для відбору потужностей тракторів і автомобілів з метою приведення в дію електрогенераторів і технологічного обладнання, насосів для подачі води до місця споживання зі свердловин, відкритих водойм і шахтних колодязів.

Забезпечення надійності системи управління і зв'язку шляхом організації захищеного пункту управління, оснащення його засобами зв'язку, які б дали можливість швидко доводити інформацію до всіх виробничих підрозділів і населення у місцях проживання.

5.2 Вимоги техніки безпеки на виробництві згідно міжнародних конвенцій

Міжнародний контроль щодо дотримання вимог техніки безпеки та охорони праці здійснює міжнародна організація праці (МОП), яка була створена у 1919 р. як автономна інституція при Лізі Націй, а з 1946 р. — як перша спеціалізована установа ООН (організацій об'єднаних націй).

Штаб-квартира МОП - міжнародне бюро праці у Женеві, Швейцарія.

Вищим органом МОП є Генеральна Конференція праці, виконавчий орган — Адміністративна рада.

Станом на 1 липня 1997 р. членами МОП є 174 держави, прийнято 181 конвенція і 1881 рекомендація. Україна є членом МОП з 1954 р.

Головною метою МОП, згідно з її Статутом, є сприяння встановленню миру на основі соціальної справедливості, поліпшення умов праці і життя

працівників усіх країн. До основних напрямів діяльності МОП належать: участь у міжнародно-правовому регулюванні праці шляхом розроблення та ухвалення нормативних актів (конвенцій і рекомендацій) з питань умов праці і життя працівників;

Згідно вимог МОП на машинобудівних підприємствах особлива увага повинна бути приділена дотриманню протипожежних вимог під час роботи технологічного устаткування, електроприводів, системам опалення та вентиляції в приміщеннях. Не зважаючи на те, що вимоги для різних підприємств ці вимоги є специфічні, можна виділити загальні заходи, реалізація яких при експлуатації технологічного устаткування буде забезпечувати дотримання електро-, вибухо- та пожежобезпеки.

До них відносяться:

- застосування устаткування та установок, які відповідають категорії приміщень щодо пожежо- і вибухонебезпечності;
- суворе дотримання передбачених технологічним регламентом і паспортними даними режимів роботи устаткування, регламентів його експлуатації, оглядів, ремонтів, а також допустимих навантажень;
- оснащення устаткування та приміщень, у яких вони розташовані, автоматичними пристроями, що усувають або сигналізують про небезпечну ситуацію;
- надійна герметизація устаткування, апаратури, резервуарів і трубопроводів із речовинами, що виділяють вибухонебезпечні гази, пил, а у випадку неможливості герметизації – оснащення устаткування вмонтованими в нього місцевими відсмоктувачами;
- теплоізоляція нагрітих поверхонь устаткування та комунікацій повинна забезпечувати температуру її зовнішньої поверхні не вище 45°;
- оснащення устаткування апаратурою періодичного та безперервного автоматичного контролю і сигналізації витікання пожежо- і вибухонебезпечних парів, газів та рідин, а також вимкнення устаткування у випадку витікання;

- оснащення устаткування засобами, що запобігають накопиченню статичної електрики і її стіканню з усіх елементів устаткування;

- встановлення на устаткуванні граничних норм завантаження, швидкостей обробки, переробки і транспортування, оснащення його апаратурою автоматичного контролю цих норм, засобами сигналізації та зупинки устаткування при перевантаженнях;

- дотримування режимів мащення та застосування мастил, які відповідають технічній характеристиці устаткування, з метою запобігання збільшення температури деталей, що труться.

- з метою попередження ураження електричним струмом у випадку доторкання до корпусів приладів, корпуси повинні бути заземлені або занулені;

- при роботі з приладом, з якого знято захисний кожух, треба слідкувати за тим, щоб не доторкатися одночасно до однією рукою до деталей, що знаходяться під напругою, а іншою – корпуса;

- Слідкувати, щоб за необхідності роботи під струмом ручки викруток та інших інструментів були надійно ізольовані, а вільна рука не доторкалася до корпуса приладу та його елементів;

- Підлога приміщення регулювальної ділянки повинна бути виконана з струмонепровідного матеріалу, наприклад із сухої деревини, а за умови присутності високої напруги за необхідності використовувати додаткові засоби захисту: діелектричні рукавички, гумові килимки, тощо;

Для попередження нещасних випадків необхідно:

- проводити інструктажі та перевіряти знання регулювальника апаратури правил техніки безпеки та надавання першої допомоги постраждалим;

- утримувати робочі міста, інструмент та одяг регулювальника в належному порядку;

- виконуючи монтажні роботи, підключати та переключати вимірювальні прилади тільки при вимкненій напрузі живлення;

- не допускати сторонніх людей до робочих місць. Попереджувати

випадки залишання робочих місць без нагляду при відкритому монтажі приладу, що знаходиться під напругою;

перед увімкненням та після вимкнення апаратури з відкритим монтажем розряджувати конденсатори великої ємності спеціальними приладами;

перевіряти справність протипожежного устаткування та захисних засобів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційні роботі магістра аналізувалася вплив параметрів технологічного процесу на шорсткість оброблених поверхонь.

2. У процесі виробництва колінчастих валів було замінено токарну обробку корінних та шатунних шийок на токарно-протяжну за допомогою спеціально розроблених кругових протяжок, що дозволило скоротити час обробки і покращити якість.

3. Розроблено спеціальне пристосування для закріплення і орієнтації валу під час обробки масляних каналів, включно з розрахунком на точність та міцність. Використання спеціальних комбінованих гарматних свердел з внутрішньою подачею ЗОР зменшує необхідність їх багаторазового введення та виведення.

4. Застосовано метод одночасного шліфування декількох шийок за допомогою оправки, обладнаної кількома шліфувальними кругами з переривчастим профілем.

5. Замінено чистове шліфування підманжетних шийок на алмазне вигладжування. Сконструйовано спеціальну державку та пристрій для заточування вигладжувача. Зміцнення поверхневого шару шийок зросло на 42% порівняно зі шліфуванням, а кількість дефектів «підтікання сальника» знизилася в три рази під час гарантійної експлуатації.

6. Результати дослідження показали, що для обробки колінчастого валу необхідне зусилля становить 450 Н, що може викликати надмірні навантаження на деталь та вузли верстату. Рекомендовано обробляти кожну поверхню одночасно з двох сторін в діаметрально протилежних напрямках для замикання зусиль на оброблюваній шийці і зниження навантаження на інші вузли.

7. Також було розроблено технологічний процес за допомогою САПР ТП „ТехноПро”, який відрізнявся від базового процесу номенклатурою обладнання та різальних інструментів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо- кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП: Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
3. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
4. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.
5. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М. Клендій, Р.В. Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
6. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
7. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.
8. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

9. Левкович М.Г., Гупка А.Б., Сіправська М.Д Конспект лекцій з дисципліни «Відновлення деталей» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 136 с.

10. Левкович М.Г., Кишун В.А., Гандзюк М.О. Конспект лекцій з дисципліни «Аналіз конструкцій, робочі процеси та основи розрахунку автомобілів» для здобувачів освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «автомобільний транспорт».-Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 2021. – 242 с.

11. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М., Туряб Л.В., Лико Х.В. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.

12. Карбанович І. І. Економія автомобільного палива: досвід і проблеми / І.І. Карбанович - М.: Транспорт, 1992. - 145 с.

13. Павленко В.А. Підвищення паливної економічності автомобіля оптимізація параметрів системи "двигун-трансмсія": дис. Кандидат. наук: 22.05.20 / Павленко Віктор Алексеевич. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. - Х., 2004. - 178 с. - Бібліогр.: 166-174.

14. Адясов А.Ю. Розробка методики вибору передавальних чисел трансмісії автомобіля на основі раціонального поєднання швидкісних властивостей, паливної економічності і токсичності вихлопних газів: дис. Кандидат. техн. Наук: 05.05.03 / Адясов Олександр Юрійович. Нижегородський державний технічний університет. - Нижній Новгород, 2002. - 200 с.

15. А.А. Сергійчук, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, О.П. Цьонь. Забезпечення належного контролю за технічним станом транспортних засобів / Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції, 22 – 24 листопада 2023 р. м. Кропивницький, с. 136-138.

16. Кальченко, В. І., Сліднікова, О. С., Терехов, В. К. (2020). Дослідження процесу шліфування корінних і шатунних шийок колінчастого вала.
17. Ошовський, В. Я. (2016). Підвищення ресурсу колінчастого валу алмазно-дисульфідмолібденовою приробкою поверхонь тертя. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, (46), 279-286.
18. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «Безпека в надзвичайних ситуаціях» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.
19. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.
20. Victor Aulin, Oleg Lyashukb, Serhii Lysenkoa, Oleg Tson, Andrii Hrynkiv, Natalia Rozhko. Extension of the service term of the resource-determining elements of vehicle units based on the artificial neural network model of their defects. VII International Conference “In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction (DMDP 2023) Procedia Structural Integrity 59 (2024) 436–443 E-ISSN:2452-3216
21. Victor Aulin, Oleg Lyashuk, Andrii Gupka, Oleg Tson, Mironov Dmitro, Mariana Sokol, Roman Leshchuk, Igor Yarema. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. Procedia Structural Integrity. Volume 59, 2024, Pages 428-435.
22. Довбуш Т.А. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи / Т. А. Довбуш , Н. І. Хомик, А. В. Бабій, Г. Б. Цьонь, А. Д. Довбуш. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.