

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Верстатна система для алмазного хонінгування
отворів зі змінною геометрією різального
інструмента»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го курсу
групи ГМ(МВ)-21М1,9
ОНП «Галузеве машинобудування»
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
_____ Олександр СМЕТАНЮК

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:

Кропивницький – 2023

Центральноукраїнський національний технічний
університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Механіко-технологічний
факультет

Кафедра «Машинобудування, мехатроніка і робототехніка»

Освітнього ступеня магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Сметанюк Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Верстатна система для алмазного хонінгування отворів зі змінною геометрією різального інструмента

керівник роботи: Щербина Кирил Костянтинович, доцент канд. техн наук,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ” 20 року
№

2.	Строк	подання	студентом	проекту
3.	Вихідні	дані	до	роботи

3.1. Креслення деталей

3.2. Аналіз існуючих хонінгувальних верстатів

3.3. Аналіз конструкції існуючих інструментів для алмазно-абразивної обробки отворів

3.4. Аналіз існуючих способів утворення траєкторії руху зерна в процесі алмазно-абразивної обробки отворів.

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

4.1 Аналіз традиційних верстатних систем для хонінгування отворів

4.2 Теоретична частина

4.3 Дослідна частина

4.4 Конструкторська частина

4.5 Економічне обґрунтування доцільності розробки хонінгувальної головки

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

Графічний матеріал - 10 л. ф.
А4

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	к.е.н., доц. Журило І.В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз традиційних верстатних систем для хонінгування отворів	10.03.2023	
2	Теоретична частина	20.03.2023	
3	Конструкторська частина	03.04.2023	
4	Дослідна частина	17.04.2023	
5	Економічне обґрунтування доцільності розробки хонінгувальної головки	24.04.2023	
6	Розробка презентації	03.05.2023	

(підпис) _____ (прізвище та ініціали) **Студент** _____ **Сметанюк О.О.**

Керівник проекту

_____ **Щербина К.К.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 70 сторінках та графічної частини на 10 листах формату А4.

1. Актуальність роботи. Процесу формоутворення макро і мікрорельєфу при хонінгуванні отворів є недостатньо дослідженим

2. Наукова новизна роботи. Проведено теоретичне дослідження формоутворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні отвору з врахування різного кута розташування алмазно-абразивного бруска.

3. Практична цінність роботи. Синтезована конструкція верстатної системи та різального інструмента для створення складної траєкторії руху зерна в процесі формоутворення мікрорельєфу оброблюваного отвору.

4. Оцінка найбільш важливої суті роботи виконаної роботи.

Одним із вагомих показників процесу хонінгування є утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні, а саме сітки слідів. В роботі розглянуто два шляхи підвищення ефективності даного показника, а саме синтезована хонінгувальна головка, з різним кутом нахилу різального інструмента та проведено вдосконалення механізмів верстатної системи для здійснення можливості керування додатковими рухами осциляції.

Всі приведені зміни економічно обґрунтовані.

Ключові слова: хонінгування, верстат, хон, алмазно-абразивний брусок.

Annotation

The qualification work consists of an explanatory note on 70 pages and a graphic part on 10 sheets of A4 format.

1. Relevance of the work. The process of macro- and microrelief formation during honing of holes is insufficiently researched

2. Scientific novelty of the work. A theoretical study of the formation of the microrelief of the machined surface of the hole was carried out, taking into account the different angle of the location of the diamond-abrasive bar.

3. Practical value of the work. The synthesized design of the machine tool system and cutting tool for creating a complex trajectory of grain movement in the process of shaping the microrelief of the processed hole.

4. Evaluation of the most important essence of the work performed.

One of the important indicators of the honing process is the formation of a microrelief of the processed surface, namely a grid of traces. In the work, two ways of increasing the efficiency of this indicator are considered, namely, a synthesized honing head with a different angle of inclination of the cutting tool, and the improvement of the mechanisms of the machine tool system for the possibility of controlling additional oscillation movements is carried out.

All the above changes are economically justified.

Key words: honing, machine, honing, diamond abrasive bar.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ВЕРСТАТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ	12
1.1. Загальна характеристика існуючих верстатів.	12
1.2. Аналіз і синтез верстата ЗГ833.	13
1.3. Аналіз і синтез верстатів ЗМ83 та ЗН85	14
1.4. Аналіз і синтез верстата з круговою та осьовою осциляцією	15
1.5. Аналіз і синтез хонінгувально-доводочного верстата	15
1.6. Аналіз і синтез хонінгувального верстата	18
1.7. Класифікація існуючих верстатів для відділкової алмазної або абразивної обробки отворів по рівням автоматизації	20
1.8 Висновки і рекомендації	21
РОЗДІЛ 2	22
ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Продукційний хонінгувальний верстат	22
2.2. Аналіз утворення траєкторії руху зерна інструменту на продукційному верстаті з СРРР з адаптивним програмним керуванням	30
2.3 Кінематика процесу різання	38
РОЗДІЛ 3	42
ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	
3.1 Дослідження схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивних брусків	42
3.2 Дослідження шорсткості поверхні при варіюванні в залежності від швидкості різання в умовах багатфакторного експерименту	44
РОЗДІЛ 4	51
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
4.1. Опис конструкції верстату для алмазного хонінгування	51
4.1.2. Принцип дії верстату.	52

4.1.3. Будова та принцип дії механізмів верстату	53
Розділ 5.	58
ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ ХОНІНГУВАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ	
5.1. Загальні вихідні дані	58
5.2. Визначення витрат на підготовку виробництва	59
5.3. Визначення витрат на виготовлення хонінгувальної головки та модернізації верстата	60
5.4. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	63
5.5. Розрахунок показників економічної ефективності проекту	67
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	69
ЛІТЕРАТУРА	70

ВСТУП

Алмазно-абразивна обробка точних отворів деталей машин містить безліч проблем пов'язаних з необхідністю забезпечення геометричної точності, шорсткості і розмірів. Існує значна кількість способів, інструментів і систем, які забезпечують бажану точність оговорених вище параметрів.

Нещодавно виник новий спосіб абразивної обробки отворів – алмазне хонінгування. Даний метод поступово вдосконалюється. Найбільш доцільне його використання при обробці переривистих поверхонь (поверхонь, що мають внутрішні повздовжні канавки). Але відомі традиційні методи алмазного хонінгування вищезгаданих поверхонь неможливо автоматизувати і забезпечити адаптивне керування процесу обробки.

Для забезпечення можливості адаптивного керування процесами доцільно розробити систему, яка буде враховувати в якості вхідного параметра будь-який елемент режимів обробки, а вихідним параметром буде реакція системи на стабілізацію і інтенсифікацію процесу обробки.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження процесу алмазного хонінгування з врахування процесу формоутворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНИХ ВЕРСТАТНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ

1.1. Загальна характеристика існуючих верстатів.

Процес відділкової алмазної або абразивної обробки отворів здійснюється на вертикально-хонінгувальних верстатах [2,3,6,13].

Головним рухом у більшості верстатів є обертальний рух інструменту, а рухом подачі є зворотно-поступальний рух подачі.

Для підвищення точності геометричної форми отвору, що оброблюється, покращення обробки матеріалів, що важко оброблюються та збільшення продуктивності в склад рухів верстату вводять додатковий рух осциляції (коливання) [2]. Рух осциляції розділяють на круговий та осьовий.

Також на складність конструкції верстату впливає концентрація рухів, тому по можливості рухи необхідно диференціювати.

Концентрація рухів – зосередження процесів відділкової алмазної або абразивної обробки отворів на одному з двох взаємодіючих елементів системи (наприклад інструмент та деталь.)

Диференціація руху – рознесення процесів на обидва взаємодіючі елементи системи.

Для аналізу і класифікації існуючих верстатів для відділкової алмазної або абразивної обробки отворів необхідно сформулювати ряд вимог.

1. Жорсткість, точність та швидко дія привода зворотно-поступального руху.
2. Диференціація між елементами системи.
3. Наявність осцилюючих рухів.
4. Можливість використання адаптивних систем керування.

У відповідності до наведених вимог розглянемо існуючі верстати.

1.2. Аналіз і синтез верстата 3Г833.

Для аналізу верстату 3Г833 побудуємо структурну схему за методикою наведеною в роботі [27].

У відповідності з наведеною структурною схемою (рис.1.1), головним рухом є обертальний рух інструмента, які здійснюється за допомогою електромеханічного привода.

Рух подач є зворотно-поступальним рухом інструменту, який також здійснюється за допомогою електромеханічного привода.

В даному верстаті відсутні додаткові рухи осциляції [13].

Розглянемо наступний верстат.

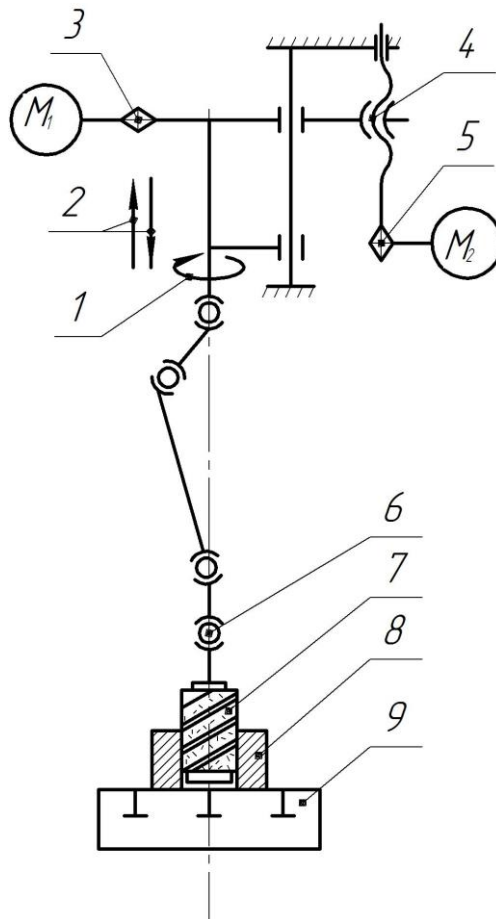


Рисунок 1.1 – Структурна схема верстата 3Г833

1 – обертальний рух; 2 – зворотно-поступальний рух; 3 – елемент налаштування головного руху; 4 – гвинтова передача; 5 – елемент налаштування руху подач; 6 – двошарнірний кардан; 7 – інструмент; 8 – деталь; 9 – стіл; M_1 – електродвигун головного руху; M_2 – електродвигун руху подач.

1.3. Аналіз і синтез верстатів 3М83 та 3Н85

Верстат 3М83 та 3Н85 [13] мають однакову структуру та виконавчі елементи. Побудуємо структурну схему.

Наведена структурна схема (рис. 1.2) вказує на те, що головний рух є рухом обертання інструменту, який виконується за допомогою електромеханічного привода, так само, як і на попередньому верстаті.

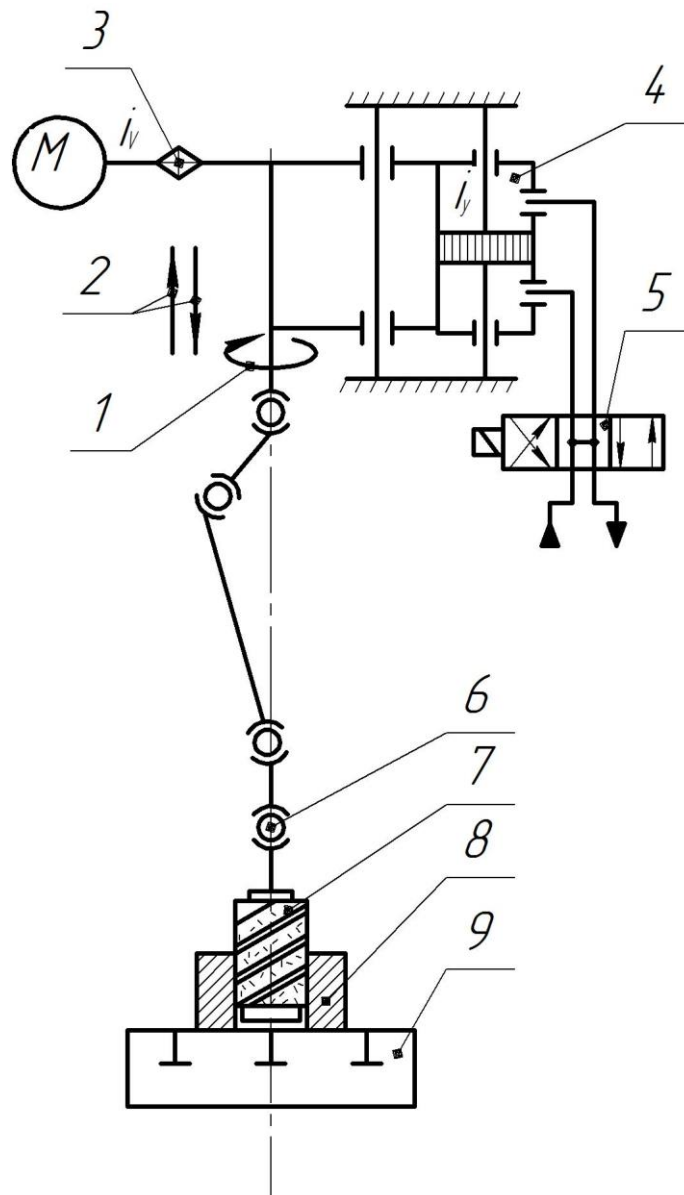


Рисунок.1.2 – Структурна схема верстатів 3М83 та 3Н85

1 – обертальний рух; 2 – зворотно-поступальний рух; 3 – елемент налаштування головного руху; 4 – гідравлічний циліндр; 5 – гідро розподільник; 6 – двошарнірний кардан; 7 – інструмент; 8 – деталь; 9 – стіл; M_1 – електродвигун головного руху.

Рухом подач є зворотно-поступальний рух інструменту, який здійснюється за допомогою гідравлічного циліндру.

В даному верстаті також відсутні додаткові рухи осциляції.

1.4. Аналіз і синтез верстата з круговою та осьюовою осциляцією.

Побудуємо структурну схему даного верстату [13,75,79]. .

У відповідності з наведеною структурною схемою (рис.1.3) головним рухом є обертальний рух інструмента, які здійснюється за допомогою електромеханічного привода.

Рух подач є зворотно-поступальним рухом інструменту, який також здійснюється за допомогою електромеханічного привода.

В даному верстаті присутні рухи осциляції, а саме кругова та осьова.

Осьова осциляція надає коливань зворотно-поступальному руху. Сама вона здійснюється за допомогою кривошипного механізму, який приводиться в дію електромеханічним приводом.

Кругова осциляція здійснюється за допомогою диференціалу, який складається з зубчатої конічної та черв'ячної передачі. Конічна передача забезпечує постійне обертання інструменту. Черв'ячна передача зв'язана з кривошипно-кулісним механізмом, який приводиться в дію електромеханічним приводом. Диференціал дає можливість сумування швидкості обертання інструменту з швидкістю обертання кулісного механізму. Це призводить до постійної зміни швидкості.

Розглянемо, ще один верстат, який містить рухи осциляції [78].

1.5. Аналіз і синтез хонінгувально-доводочного верстата

Структурна схема представлена на рис. 1.4

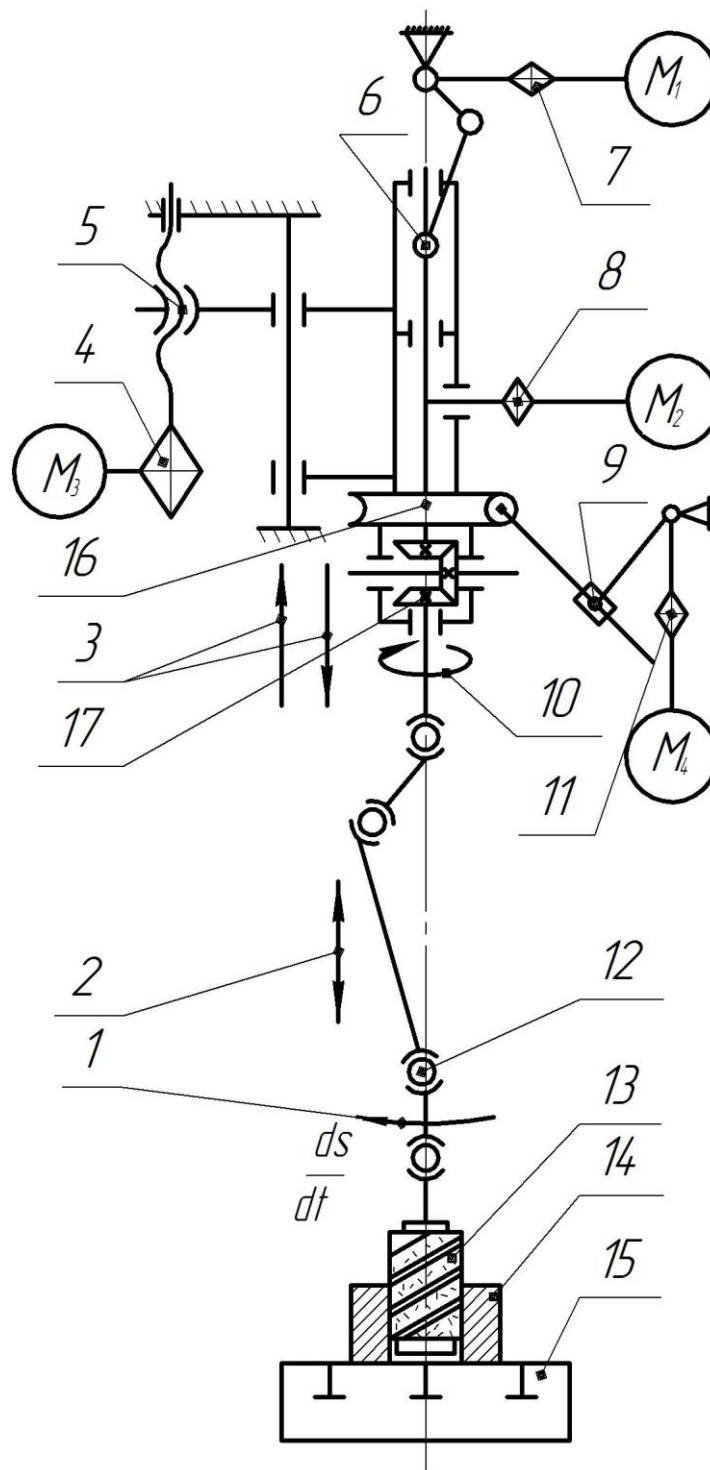


Рисунок 1.3 – Структурна схема верстатів з круговою та осьовою осциляцією.

1 – кругова осциляція; 2 – осьова осциляція; 3 – зворотно-поступальний рух; 4 – елемент налаштування привода подач; 5- гвинтова передача 6 – кривошипно-повзунний механізм; 7 – елемент налаштування осьової осциляції; 8 – елемент налаштування головного руху; 9 – кривошипно-кулісний механізм; 10 – обертальний рух; 11 – елемент налаштування кругової осциляції; 12 – двохарнірний кардан; 13 – інструмент; 14 – деталь; 15 – стіл; 16 – черв'ячна передача; 17 – конічна передача; M_1 – електродвигун осьової осциляції; M_2 – електродвигун головного руху; M_3 – електродвигун руху подач; M_4 – електродвигун кругової осциляції.

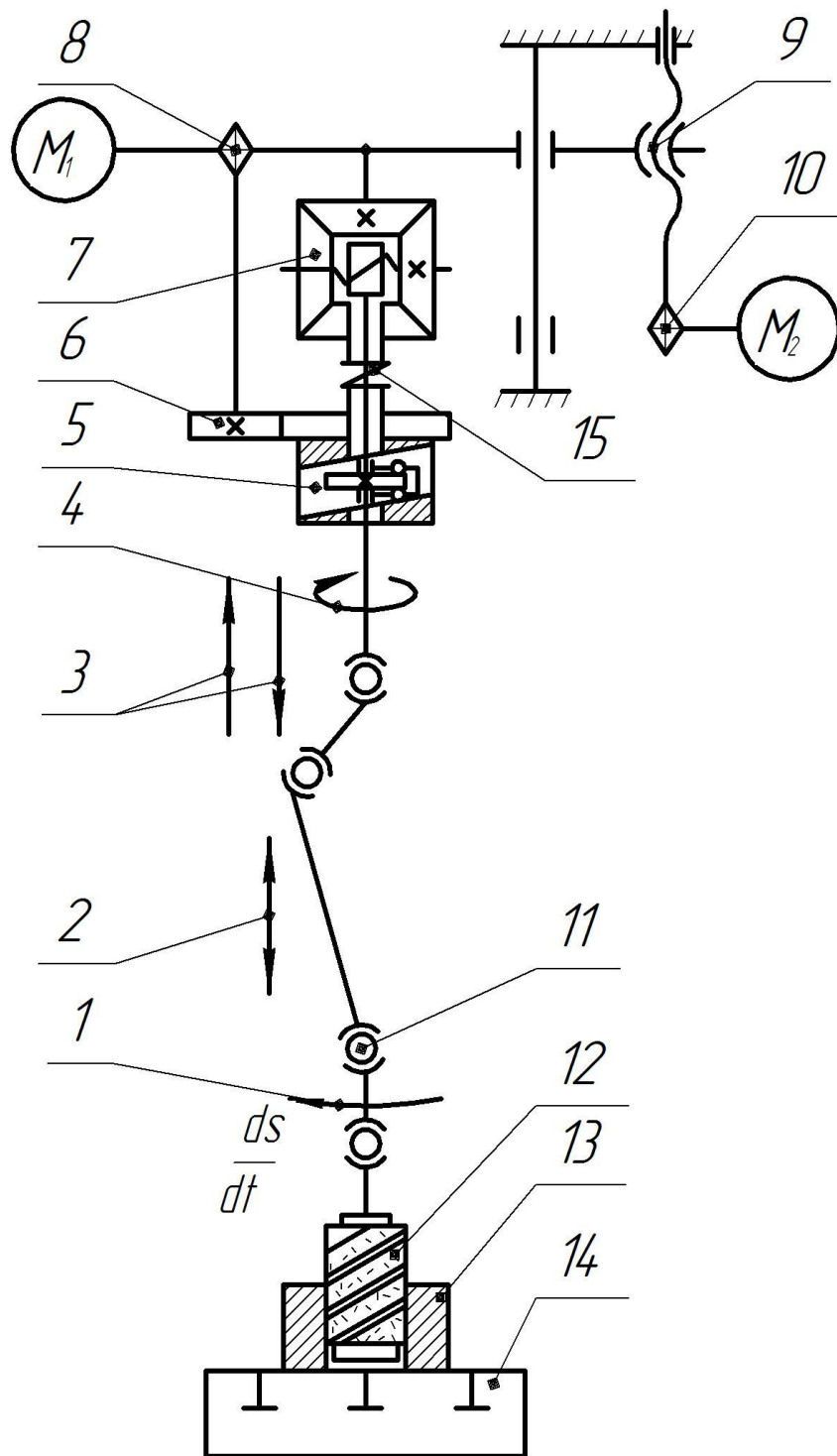


Рисунок 1.4. – Структурна схема хонінгувально-доводочного верстата.

1 – кругова осциляція; 2 – осьова осциляція; 3 – зворотно-поступальний рух; 4- обертальний рух; 5 – механізм осьової осциляції; 6- зубчата передача; 7- механізм кругової осциляції; 8 – елемент налаштування головного руху; 9 – гвинтова передача; 10 – елемент налаштування зворотно-поступального руху; 11 – двошарнірний кардан; 12 – інструмент; 13 – деталь; 14 – стіл; 15 – муфта. M_1 – електродвигун головного руху; M_2 – електродвигун руху подачі;

Головний рух, а саме обертання та зворотно-поступальний рух здійснюється при допомозі електромеханічного приводу.

Рух кругової осциляції буде здійснюватися при допомозі кінчного диференціалу. В якому загальна вісь сателітів виконана у вигляді Z – подібного вала, яка з'єднана з шпинделем верстату. А саме за рахунок обертання Z – подібного вала навколо власної вісі додатково надає кругові коливання.

Крім того диференціал виконує функцію суматора обертального руху та кругової осциляції. Це призводить до того, що швидкість обертання має постійно змінний характер.

Механізм осьової осциляції виконаний у вигляді двох торцевих кулачків, які взаємодіють через шарики з опорною шайбою, яку обертає зубчата передача.

Розглянемо, ще один верстат, який має механізми осциляції [91].

1.6. Аналіз і синтез хонінгувального верстата [91].

Структурна схема даного верстату наведена на рис. 1.5.

Головною відмінністю даного верстата є те що головний рух надається деталі, тобто деталь здійснює обертання. Обертання буде здійснюватися за допомогою електромеханічного приводу.

Зворотно-поступальний рух, який є рухом подач буде надаватися деталі за допомогою електромеханічного приводу та гвинтової передачі.

Рух осциляції також надається деталі. Для здійснення осьової осциляції електродвигун передає обертальний, який за допомогою кривошипно-шатунного механізму та кривошипа перетворюється в коливальний рух обертання, який передається гвинтовій передачі, яка з'єднана з шпинделем верстата.

Кругова осциляція теж надається інструменту. Буде здійснюватися наступним чином, електродвигун передає обертальний, який за допомогою кривошипно-шатунного механізму та кривошипа перетворюється в коливальний рух обертання, який на зубчасту передачу, яка з'єднана з шпинделем верстата.

Про класифікуємо існуючі верстати на підставі проведеного аналізу, та визначимо їх рівні автоматизації за методикою [21].

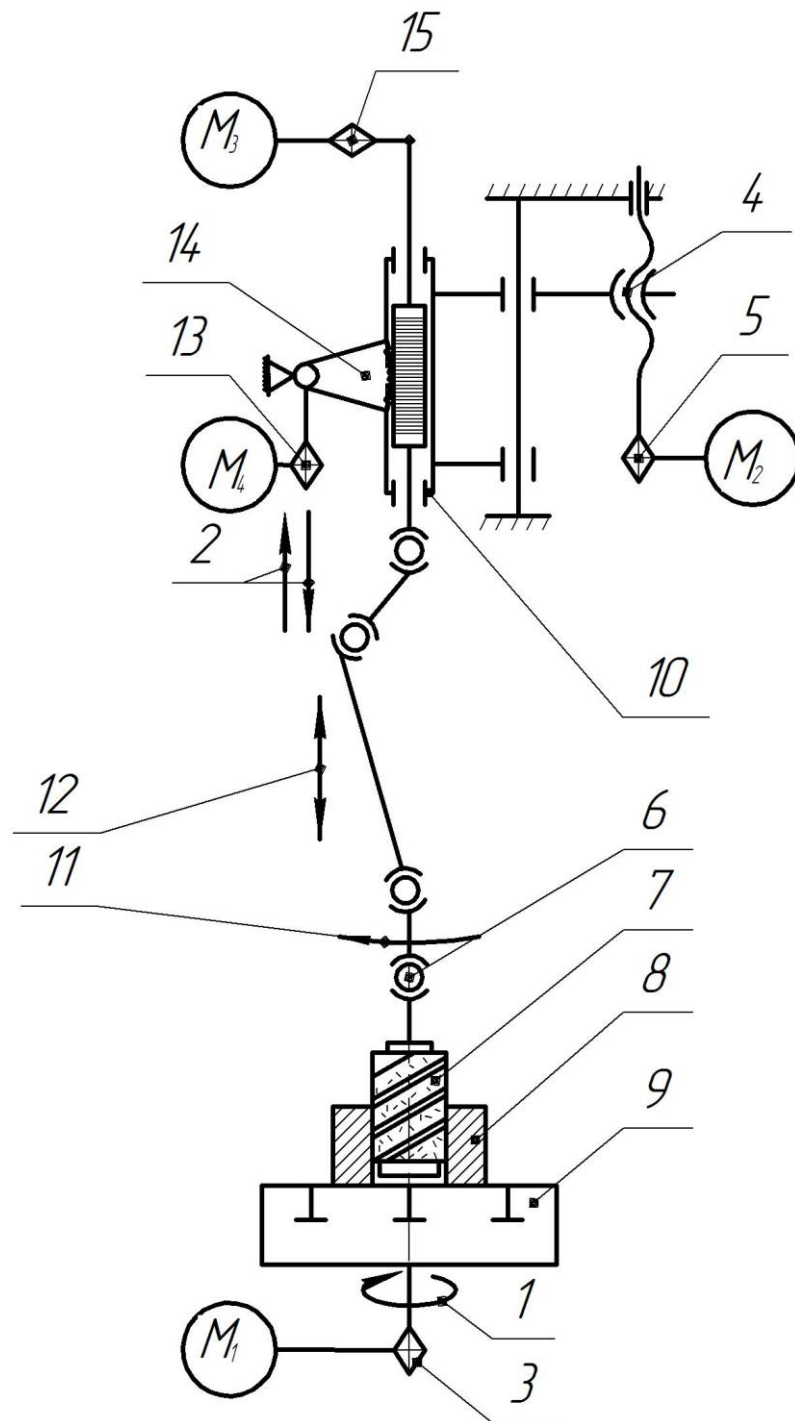


Рисунок 1.5. – Структурна схема хонінгувального верстата.

1 – обертний рух; 2 – зворотно-поступальний; 3 – елемент налаштування головного руху; 4 – гвинтова передача; 5 – елемент налаштування руху подач; 6 – двохарнірний кардан; 7 – інструмент; 8 – деталь; 9 – стіл; 10 – шпиндель; 11 – рух кругової осциляції; 12 – осьової осциляції; 13 – елемент налаштування осьової осциляції; 14 – рейкова передача; 15 – елемент налаштування кругової осциляції.; M_1 – електродвигун головного руху; M_2 – електродвигун руху подач; M_3 – електродвигун кругової осциляції; M_4 – електродвигун осьової осциляції.

1.7. Класифікація існуючих верстатів для відділкової алмазної або абразивної обробки отворів по рівням автоматизації [21].

Таблиця 1.1

№	Верстат	Функція 1–ого рівня, комплект рухів	Функція 2–ого рівня, елемент, якому надається рух	Функція 3–ого рівня, привод яким забезпечується можливість варіації швидкості	Функція 4–ого рівня Вид керування
1	ЗГ833 схема 1.1.	Обертальний	Інструменту	Електромеханічний	-
		Зворотно-поступальний			
2	ЗН85 і ЗМ83 схема 1.2	Обертальний	Інструменту	Електромеханічний	-
		Зворотно-поступальний		Гідравлічний	
3	Верстат з круговою та осьовою осциляцією схема 1.3	Обертальний	Інструменту	Електромеханічний	-
		Зворотно-поступальний			
		Кругова осциляція			
		Осьова осциляція			
4	Хонінгувально-доводчий Схема 1.4	Обертальний	Інструменту	Електромеханічний	-
		Зворотно-поступальний			
		Кругова осциляція			
		Осьова осциляція			
5	Хонінгувальний верстат Схема 1.5.	Обертальний	Деталі	Електромеханічний	-
		Зворотно-поступальний	Інструменту		
		Кругова осциляція			
		Осьова осциляція			

1.8. Висновки і рекомендації.

Висновки.

Головним недоліком усіх верстатів є те, що на інструмент надається весь комплект рухів, так названа концентрація рухів, це призводить до ускладнення конструкції верстату.

Верстати 3Г833, 3Н85 та 3М83 не мають рухів осциляції.

Також слід зазначити, верстаті, який має рухи осциляції, механізми, які здійснюють її мають складну конструкцію.

Рекомендації.

Диференціація рухів між обома взаємодіючими елементами.

Обов'язкова наявність рухів осциляції та простих механізмів, які будуть здійснювати даний рух.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

2.1. Продукційний хонінгувальний верстат

Однією з головних вимог при створенні нових сучасних автоматизованих хонінгувальних верстатних систем є використання мехатроніки. Для забезпечення підвищення показників якості деталей та ефективності процесу обробки доцільно застосовувати мехатронну верстатну систему з функціональними підсистемами [1].

Існуючі верстати наведені в роботах [2,3,4] мають ряд недоліків. Одним з головних недоліків є концентрація рухів на одному з шпинделів верстату, а саме на інструментальному, що призводить до ускладнення конструкції верстату. Тому було доцільно частину рухів надати шпинделю деталі.

Головним чинником, концентрації рухів на інструменті є те, що маса інструмента менша за масу деталі. Це обумовлено тим, що чим менша маса рухомих елементів тим менша сила інерції [2,4].

Але в горизонтально-хонінгувальних верстатах обертання надається саме деталі [2,4]. Це пов'язано з тим, що номенклатура деталей, які оброблюються на даних верстатах зазвичай відносяться до класу тіл обертання.

Також необхідністю передачі обертального руху деталі є те, що зазвичай для усунення такого негативного явища, як не співвісність інструмента та деталі використовують шарнірне кріплення інструменту. Але необхідно зазначити, що навіть при двошарнірному з'єднанні інструменту під дією осьових сил та радіальної подачі, яка надається хонінгувальній головці, вісь інструмента намагатиметься зайняти положення, яке буде співпадати з віссю верстата [4].

Виходячи із вище приведеного, доцільно передати обертальний рух деталі, проте необхідно при цьому враховувати масу деталей, що будуть оброблюватися.

Ще одним із недоліків існуючих верстатів є складність конструкції механізмів осциляції.

В результаті проведеного аналізу були сформовані вимоги до хонінгувальних верстатів, які працюють в умовах адаптивного керування процесом.

1. Призначення верстата

1.1 Верстат призначений для обробки методом хонінгування деталей середніх і малих габаритів;

1.2 Діаметр оброблюваного отвору від 10 мм до 150 мм.

1.3 Габаритні розміри оброблюваних деталей від 165x48,5x100 мм до 169x162x248 мм.

1.4 Як інструмент застосовується ПГХ.

2. Вимоги до компоновки і комплектуючих

2.1 Верстат має вертикальну компоновку (вісь інструментального шпинделя і шпинделя виробу розташовані вертикально).

2.2 Верстат укомплектований окремими модулями, у тому числі:

- гідравлічна станція;
- станція подачі МОР;
- стійка ЧПК.

2.3 Основний модуль верстата складається з наступних вузлів:

- станина (основа для кріплення гідроциліндра);
- гідроциліндр осьової подачі;
- гідравлічний сервопривод шпинделя виробу;
- гідравлічний сервопривод осьової осциляції;
- гідростатичний привід CPPP.

3. Вимоги до формуютьорюючих рухів робочих органів

3.1 Шпиндель виробу здійснює обертання із заданою швидкістю;

3.2 Сервопривод шпинделя виробу створює вхідний сигнал за значенням фактичного крутного моменту;

3.3 Сервопривод шпинделя інструменту здійснює рух осциляції із заздалегідь налагодженою амплітудою λ і зміною частоти ν ;

3.4 Значення частоти ν керується автоматично шляхом зміни витрати в гідромоторі сервоприводу осциляції.

4. Вимоги до системи керування

4.1 Керування руху робочими органами верстата здійснюється в єдиному функціональному середовищі, наприклад, гідравлічному, тобто виконавчі та керуючі елементи утворюють єдину систему об'єднану гідравлічною рідиною. ;

4.2 Адаптивне управління здійснюється наступними прийомами:

- варіювання швидкостями формоутворюючих рухів за допомогою дросельного регулювання;
- дросельне регулювання здійснюється на виході;
- керування дроселями здійснюється за допомогою падіння тиску в керуючих камерах золотників.

Розглянемо функціональну схему мехатронного продукційного хонінгувального верстата з адаптивно-програмним керування (в подальшому МХВАПК) (рис.2.1)



Рисунок 2.1 – Функціональна схема МПХВАПК

Розглянемо компоновку МПХВАПК опираючись на функціональну схему (рис.2.1). Згідно з функціональною схемою МХВАПК складається з п'яти модулів, а саме з модулю приводу зворотно-поступального руху інструменту, приводу

обертального руху деталі, механізму кругової осциляції, системи регулювання радіального розміру (СРРР) та пристрою числового програмного керування.

Розглянемо будову кожного модулю. Почнемо з модулю пристрою числового програмного керування, так як він виконує контроль та керування рештою модулів. Модуль пристрою числового програмного керування складається з підсилювача вхідного сигналу, аналогового-цифрового перетворювача, цифро-аналогового перетворювача, пристрою числового програмного керування.

Модуль приводу зворотно-поступального руху інструменту складається з електродвигуна, гідрозолотника, гідронасоса, гідроциліндру та датчика положення шпинделю.

Модуль привода обертального руху деталі складається з гідронасосу, гідромотору та датчику диференціального тиску.

Модуль СРРР складається з слідкуючого однокромкового золотника та самої СРРР.

Модуль механізму кругової осциляції складається з електричного крокового двигуна, диференціалу та датчику кількості обертів.

Опираючись на функціональну схему та модулі МПХВАПК, розробимо гідро-кінематичну схему рис.2.1

Згідно з гідро-кінематичною схемою гідравлічного МПХВАПК обертання надається шпинделю деталі, за допомогою гідравлічного двигуна 30. В зв'язку з цим, на даному верстаті більш доцільно обробляти тіла обертання.

Зворотно-поступальний рух надається шпинделю інструмента, за допомогою гідравлічного циліндру 23. Використання якого в якості приводу зворотно-поступального руху має ряд переваг, а саме: надійність, довговічність та точність, проте має і ряд недоліків, таких як низька швидкість та швидкодія. Усунення даних недоліків можливо завдяки використанню пристрою числового програмного керування 6 (в подальшому ПЧПК). Розглянемо конструкцію приводу зворотно-поступального руху [5].

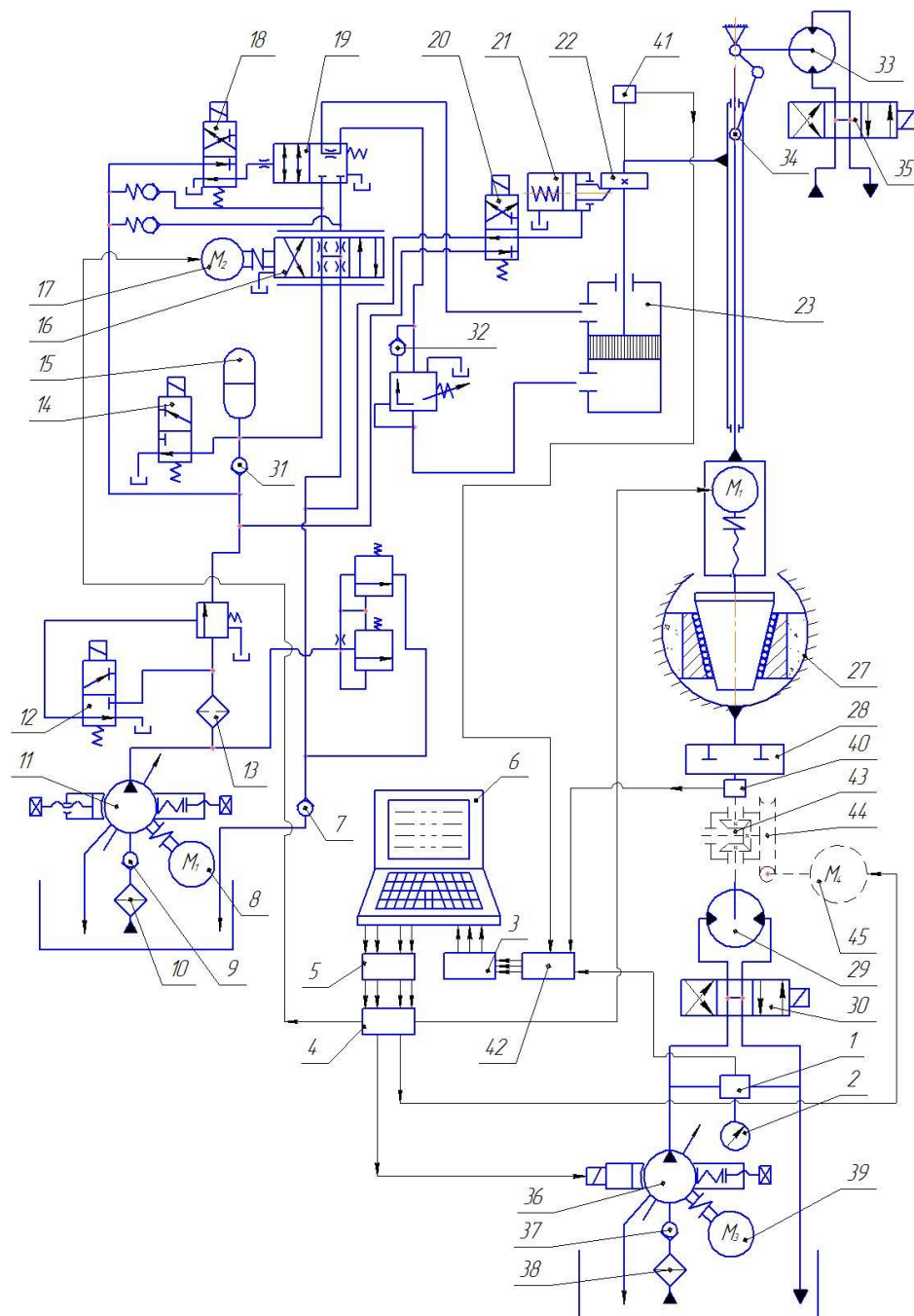


Рисунок 2.2 – Гідро-кінематична схема МПХВАПК

1 – диференційний датчик тиску; 2 – манометр; 3 – АЦП; 4 – підсилювач; 5 – ЦАП; 6 – пристрій числового програмного керування; 7,9,31,32,37 – зворотній клапан; 8,39 – електродвигун; 10,13,38 – фільтр; 11,36 – пластинчатий регулює мий насос; 12,14,16,18,19,20 – гідрозолотник; 15 – гідроаккумулятор; 17 – кроковий електродвигун; 21 – гідроциліндр; 22 – фіксатор; 23 – гідроциліндр приводу зворотно-поступального руху; 24 – СРРР; 25,30,35 – гідророзподільники; 26 – слідкуючий одно кромковий золотник в магістралі зливу СРРР; 27 – деталь, що оброблюється; 28 – стіл; 29,33 – гідромотор; 34 – кривошипно-повзунний механізм; 40 – датчик кількості обертів; 41 – датчик положення шпинделя; 42 – підсилювач; 43 – диференціал; 44 – черв'ячна передача; 45 – кроковий електродвигун.

Шпindel ь фіксується в вихідному положенні гідрозолотником 20 та блокувальним гідроциліндром 21. При вмиканні блокувального гідроциліндру 21 шпindel ь вивільняється, а при вимиканні фіксується. Фіксування шпindel ья відбувається за допомогою фіксатора 22.

Особливістю гідросистеми зворотно-поступального руху є наявність гідроакумулятора 15 і ПЧПК 6. Гідроакумулятор 15 призначений для компенсації перепадів тиску в гідросистемі при реверсивних рухах. Для розвантаження гідроакумулятора 15 використовується гідрозолотник 14. Для блокування зворотно-поступальних рухів використовується гідрозолотник 18. При його вмиканні робоча рідина подається через гідрозолотник 19 в порожнину гідроциліндра 23.

Основним елементом системи є ПЧПК 6, який управляє блоком крокового електродвигуна. Останній керує кроковим електродвигуном 17, вал котрого пов'язаний з передачею гвинт-гайка. Вона переміщує пілот гідророзподільника 16, який змінює напрямлення течії і витрат робочої рідини в лініях, які поєднанні з гідроциліндром 23 приводу зворотно-поступального руху через гідрозолотник 19.

На поршні гідроциліндру 23 встановлений датчик зворотного зв'язку 41 по положенню шпindel ья. Інформація від датчика у вигляді послідовних імпульсів подається на ПЧПК. Частота імпульсів пропорційна швидкості переміщення, а кількість величині.

Алгоритм роботи приводу зворотно-поступального руху МПХВАПК приведений на рис. 2.3

Також МПХВАПК оснащений круговою та осьовою осциляцією.

Кругова осциляція буде здійснюватися за допомогою приводу кінцевого диференціалу, який з'єднаний з черв'ячною передачею 44, яку в свою чергу буде обертати кроковий електродвигун 45. Механізм кругової осциляції буде працювати наступним чином. Кроковий електродвигун 45 буде змінювати частоту та напрямок обертання у відповідності до команд, які надходять з ПЧПК заданого алгоритму роботи. Приведені зміни будуть поєднуватися з постійною величиною обертального руху за допомогою кінцевого диференціалу 43. Дані про значення

амплітуди та частоти коливання будуть визначатися за допомогою датчика кількості обертів, який буде подавати сигнал про зміну кількості обертів, що буде визначати амплітуду коливань, а кількість сигналів будуть визначати частоту коливання. Використання крокового двигуна в для кругової осциляції, дає можливість вільного керування частою та амплітудою коливань, що дозволить створювати, будь яку траєкторію руху зерен без обмежень. Алгоритм роботи приведений на рис.2.3

Осьова осциляція буде здійснюватися за допомогою гідромеханічного приводу та кривошипного механізму.

Отже, можна зробити висновок, що даний верстат має диференціацію рухів між обома взаємодіючими елементами, а саме: деталі надається рух обертання, а інструменту зворотно-поступальний рух, що привело до спрощення конструкції верстату.

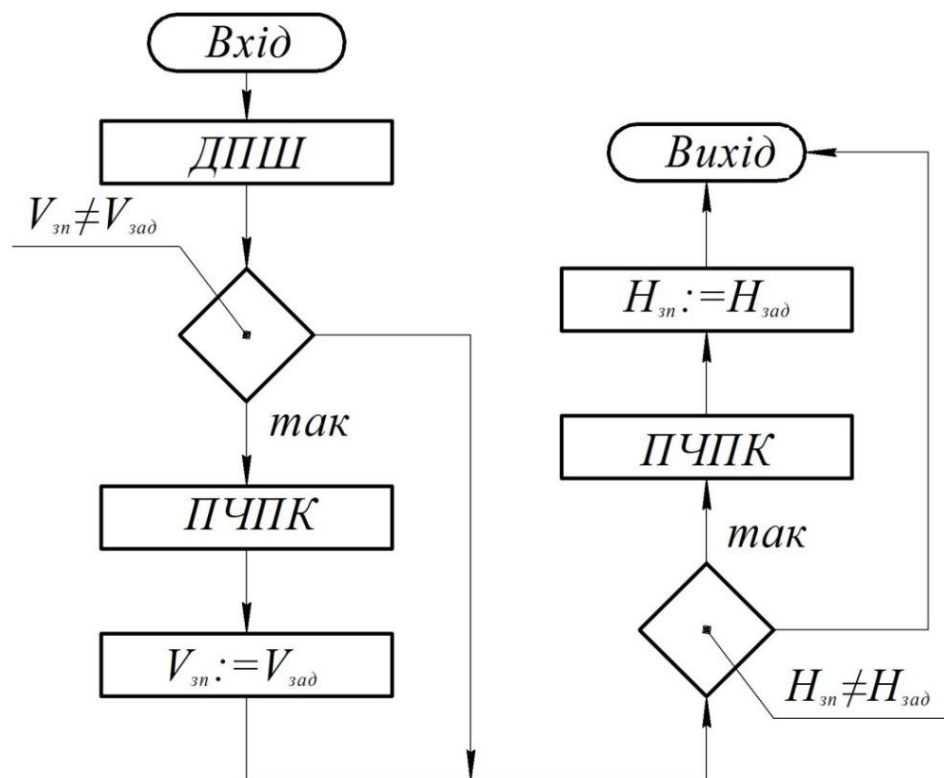


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи приводу зворотно-поступального руху МПХВАПК

ДПШ – датчик положення шпинделя; $V_{зн}$ – швидкість зворотно-поступальних рухів; $V_{зад}$ – задана швидкість зворотно-поступальних рухів; $H_{зн}$ – кількість зворотно-поступальних рухів; $H_{зад}$ – задана кількість зворотно-поступальних рухів;

Використання гідравлічного привода зворотно-поступального руху разом з пристроєм числового програмного керування дозволили усунути всі недоліки, які пов'язані з використанням гідроприводу.

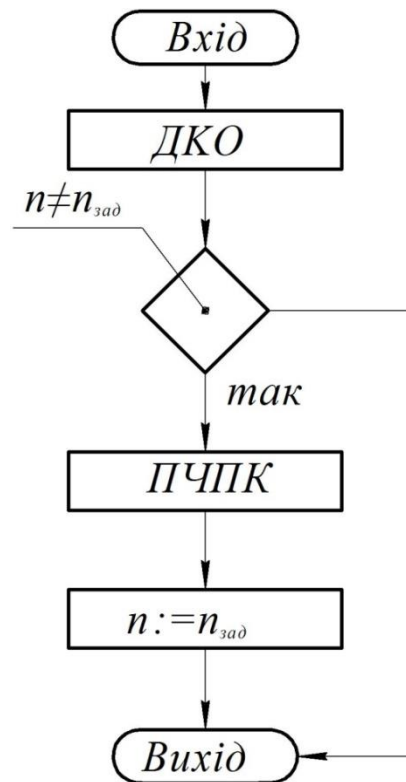


Рис. 2.4 Алгоритм роботи кругової осциляції МПХВАПК

ДКО – датчик кількості обертів; n – кількість обертів гідромотору; $n_{зад}$ – задана кількість обертів гідромотору;

Використання крокового електричного двигуна в якості приводу кругової осциляції не вносить обмежень в процес регулювання частоти та амплітуди коливань

Створений верстат повністю відповідає вимогам мехатронної верстатної системи за рахунок використання адаптивно-програмного керування ланками верстата.

2.2. Аналіз утворення траєкторії руху зерна інструменту на продукційному верстаті з СРРР з адаптивним програмним керуванням.

Розглянуті види утворення траєкторії руху інструменту, а саме його алмазних чи абразивних зерен, наведені в розділі 1.5., вказують на те, що складна траєкторія руху зерна дає можливість керувати процесом утворення мікрорельєфу поверхні [2].

Для керування наведеним процесом на інструмент додають додаткові коливання. Тому, головною вимогою для керування процесом утворення мікрорельєфу є можливість керування механізмами, які надають коливання інструменту, а саме механізмами осциляції.

Як зазначалося [2], використання одночасно колових та осьових рухів осциляції дозволяє утворити так звані фігури Ліссажу, які утворюють щільну сітку слідів на поверхні деталі, що оброблюється. За щільність сітки, яка утворюється в процесі обробки відповідають частоти кругових та осьових осцилюючих рухів, а саме співвідношення між ними.

Але не всі існуючі верстати дають можливість утворення фігур Ліссажу [2]. Представлені на рис.1.4 та 1.5. верстати дають можливість утворення фігур Ліссажу. Проте головним недоліком верстатів є відсутність гнучкої системи керування механізмами осциляції, що не дає можливості оптимального підбору частот коливань.

Представлений на рис.1.5 верстат передбачає жорсткий кінематичний зв'язок, що не дає можливості забезпечення оптимальних умов для забезпечення фігур Ліссажу [75,78,80].

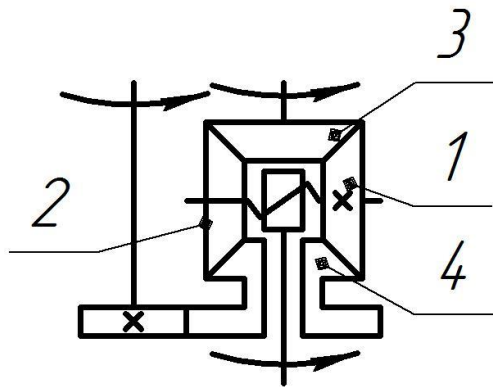


Рисунок 2.5 – Диференціал хонінгувально-доводочного верстата [11,12,13]

1 – жорсткий сателіт; 2 – вільний сателіт; 3,4 – центральні колеса.

Крім того, працеспроможність диференціального механізму даного верстата сумнівна, так як центральні колеса 3 і 4 диференціалу обертаються з різними кутовими швидкостями, якщо вони кінематично замкнені на центральні сателіти 1 і 2 [82,92,93].

Отже, сформулюємо головні вимоги для керування процесом утворення мікрорельєфу поверхні деталі, що оброблюється:

1. Можливість утворення фігур Ліссажу;
2. Можливість гнучкого змінення частот коливань;

Враховуючи вище наведені вимоги, розглянемо утворення траєкторії руху інструменту на продукційному верстаті з СРРР на базі ГСТХ з адаптивним програмним керуванням.

Механізм осьової осциляції продукційного верстата (рис.2.2.) виконаний у вигляді кривошипно-повзуного механізму 34, який приводиться в дію гідравлічним двигуном 33.

Траєкторія руху зерна інструменту при осьовій осциляції з постійною швидкістю обертання ($V = \text{const}$) та часом руху ($t = \text{const}$), розвернута на площину і розбита на кадри наведена на рис. 2.6. Необхідно зазначити що час руху зерна буде визначатися часом одного циклу осьової осциляції. При цьому даний час є базовим для побудови всіх інших траєкторій руху зерна інструменту.

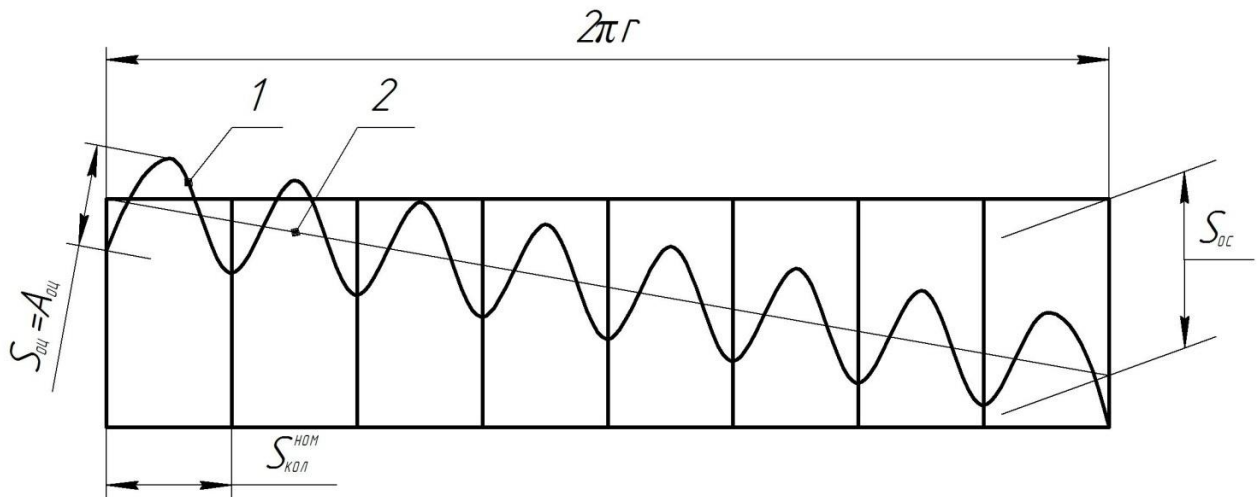


Рисунок 2.6 – Покадрова схема траєкторії руху зерна інструмент при осьовій осциляції розгорнута на площину.

1 – траєкторія руху зерна інструменту; 2 – гвинтова лінія; $A_{ос}$ – амплітуда коливань; $S_{ос}$ – осьова подача; $S_{ном\ кол}$ – номінальна колова подача; $S_{ос}$ – подача осьової осциляції; r – радіус кола;

Дана траєкторія руху буде визначатися за синусоїдальним законом і буде мати наступний вигляд [75]:

$$X = V_o * t \quad (2.1)$$

де X – координата точки на вісі X ;

V_o – швидкість обертання;

t – час переміщення;

$$Y = A_{ос} \sin n_{ос} t + V_{ос} t \quad (2.2)$$

де Y – координата точки на вісі Y ;

$A_{ос}$ – амплітуда осьових коливань;

$n_{ос}$ – частота осьових коливань;

$V_{ос}$ – швидкість поступального руху інструменту;

Для пов'язання синусоїдального закону з продукційним верстатом визначимо значення частоти осьових коливань.

$$n_{ос} = n_{дв} * i_{кп} \quad (2.3)$$

де $n_{дв}$ – частота обертання гідромотору;

$i_{кп}$ – передаточне відношення кривошипно-повзунного механізму.

Отримане значення частоти осьових коливань підставимо в рівняння 2.3.

$$Y = A_{oc} \sin(n_{дв} * i_{кп}) t + V_{oc} t \quad (2.4)$$

Розглянемо механізм кругових коливань представленого на рис.2.3. Він складається з диференціалу 43, гідравлічного двигуна 29 та крокового двигуна 45. Гідравлічний двигун 29 обертає з постійною частою, а кроковий двигун зі змінною частою. Частота даних коливань шумується диференціалом 43, що призводить до постійної зміни швидкості обертання столу, що утворює кругове коливання.

При постійній швидкості поступальних рухів інструменту ($V_{oc} = \text{const}$) та постійному часі переміщення ($t = \text{const}$) з круговими коливаннями траєкторія руху зерна інструменту буде мати схожий характер з траєкторією при осьових коливаннях, і лише буде направлена в перпендикулярному напрямку і визначатиметься за тим самим синусоїдальним законом [75].

$$X = A_o \sin n_o t + V_o t \quad (2.5)$$

де A_o – амплітуда кругових коливань;

$$Y = V_{oc} * t \quad (2.6)$$

Для пов'язання синусоїдального закону з продукційним верстатом визначимо значення частоти кругових коливань. Для цього необхідно більш детально розглянути диференціальний механізм (рис.2.7)

Передавальне відношення даного диференціалу визначається за формулою [93]:

$$i_{дф} = \frac{n_3 - n_2}{n_4 - n_2} \quad (2.7)$$

де $i_{дф}$ – передаточне відношення диференціалу;

n_2 – частота обертання колеса Z_2 ;

n_3 – частота обертання колеса Z_3 ;

n_4 – частота обертання колеса Z_4 ;

Кількість зубів в конічній передачі однакове, тобто передаточне відношення буде дорівнювати -1, тоді рівняння 2.7 буде мати вигляд:

$$\frac{n_3 - n_2}{n_4 - n_2} = -1 \quad (2.8)$$

З рівняння 2.8 виведемо рівняння частоту обертання.

$$n_o = n_3 \pm 2n_2 \quad (2.9)$$

В отриманому рівнянні розкриємо значення частот обертання.

$$n_o = \frac{z_3}{z_4} n_{гд} \pm 2 \frac{z_1}{z_2} n_{кд} \quad (2.10)$$

де $n_{гд}$ – частота обертання гідравлічного двигуна;

$n_{кд}$ – частота обертання крокового двигуна;

z_1, z_2, z_3, z_4 – кількість зубів відповідного колеса.

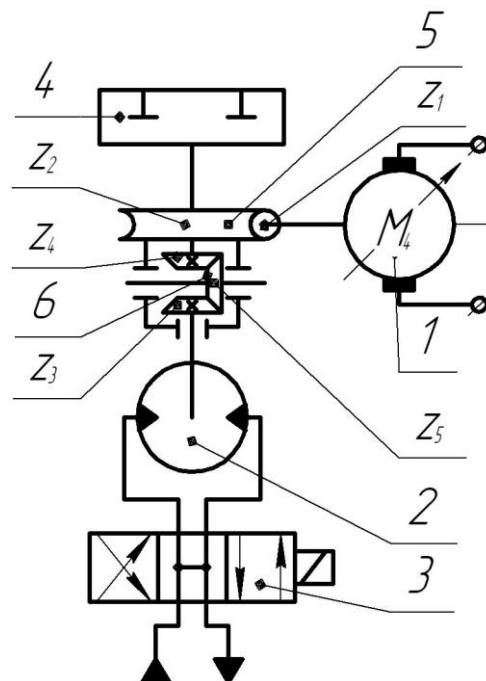


Рисунок 2.7 – Диференціальний механізм продукційного верстата

1 – кроковий електродвигун; 2 – гідравлічний двигун; 3 – гідорозподільник; 4 – стіл; 5 – черв'ячна передача; 6 – конічна передача; z_1, z_2, z_3, z_4, z_5 – кількість зубів відповідного колеса.

Отримане значення частоти обертання підставимо в рівняння 2.5.

$$X = A_o \sin \left(\frac{z_3}{z_4} n_{гд} \pm 2 \frac{z_1}{z_2} n_{кд} \right) t + V_o t \quad (2.11)$$

Тепер поєднаємо кругову і осьову осциляцію та отримаємо наступну траєкторію руху зерна інструменту розгорнуту на площину. рис.2.4

Як ми можемо спостерігати на рис.2.8, траєкторія переміщення зерна нерівномірна, зерно постійно змінює пройдений шлях при однаковому часі і буде визначатися наступною залежністю.

$$S_{\text{кол}} = S_{\text{кол}}^{\text{ном}} \pm \Delta S_{\text{кол}} \quad (2.13)$$

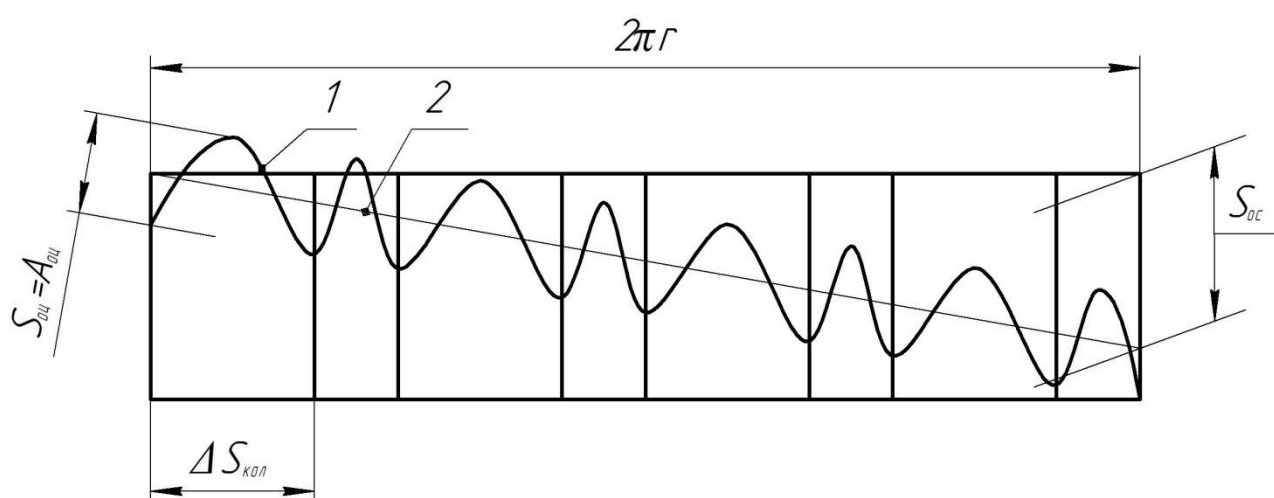


Рис.2.8 Покадрова схема траєкторія руху зерна інструменту при круговій і осьовій осциляції розгорнута на площину

1 – траєкторія руху; 2 – гвинтова лінія; $\Delta S_{\text{кол}}$ – зміна колової подачі.

Де номінальна колова подача $S_{\text{кол}}^{\text{ном}}$ буде визначатися наступною залежністю.

$$S_{\text{кол}}^{\text{ном}} = f(S_{\text{ос}}) \quad (2.14)$$

А зміна колова подача $\Delta S_{\text{кол}}$ буде теж визначатися залежністю.

$$\Delta S_{\text{кол}} = f(S_{\text{осц}}) \quad (2.15)$$

Слід зазначити, що дані залежності буде забезпечувати кроковий електричний двигун, який використовується в якості привода механізму колової осциляції і дає можливість змінювати швидкість без гранично і з різною частою.

Траєкторія зерен буде визначатися за наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} X = A_o \sin\left(\frac{Z_3}{Z_4} n_{гд} \pm 2 \frac{Z_1}{Z_2} n_{кд}\right) t + V_o t \\ Y = A_{oc} \sin(n_{дв} * i_{кп}) t + V_{oc} t \end{cases} \quad (2.16)$$

Розглянемо траєкторію зерна інструмента в прямому і зворотному напрямку коли значення колової подачі змінюється два рази рис. 2.9.

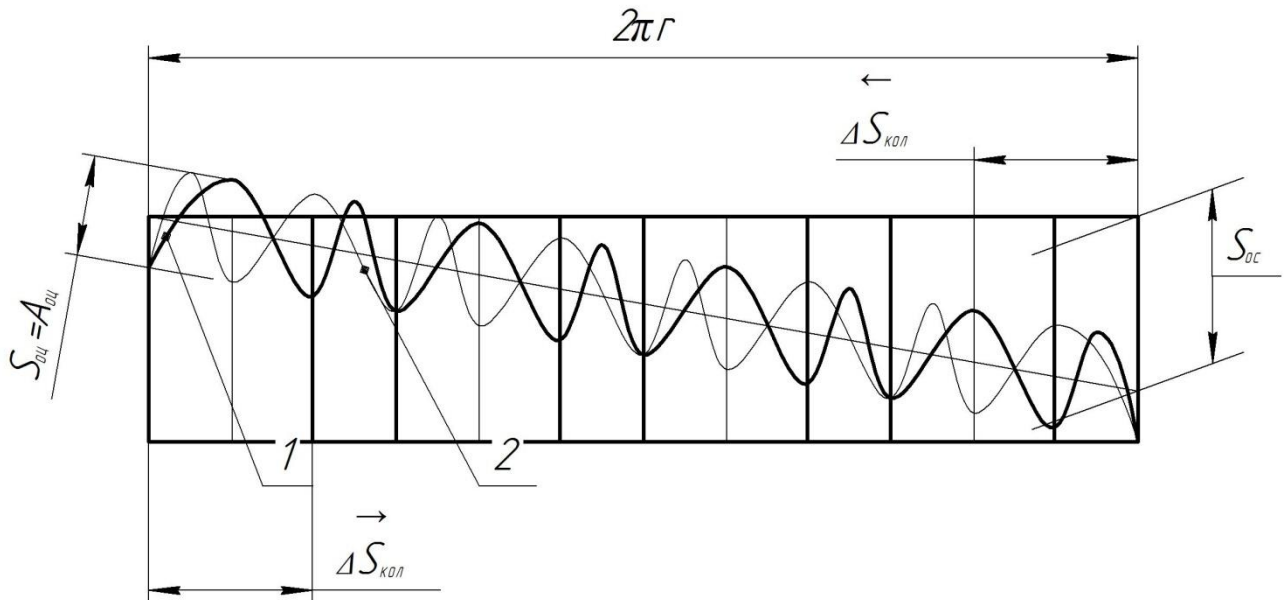


Рис. 2.9. Покадрова схема траєкторія руху зерна інструменту в прямому і зворотному напрямку розгорнута на площину зі зміною колової подачі два рази
1 – в прямому напрямку; 2 – зворотному напрямку;

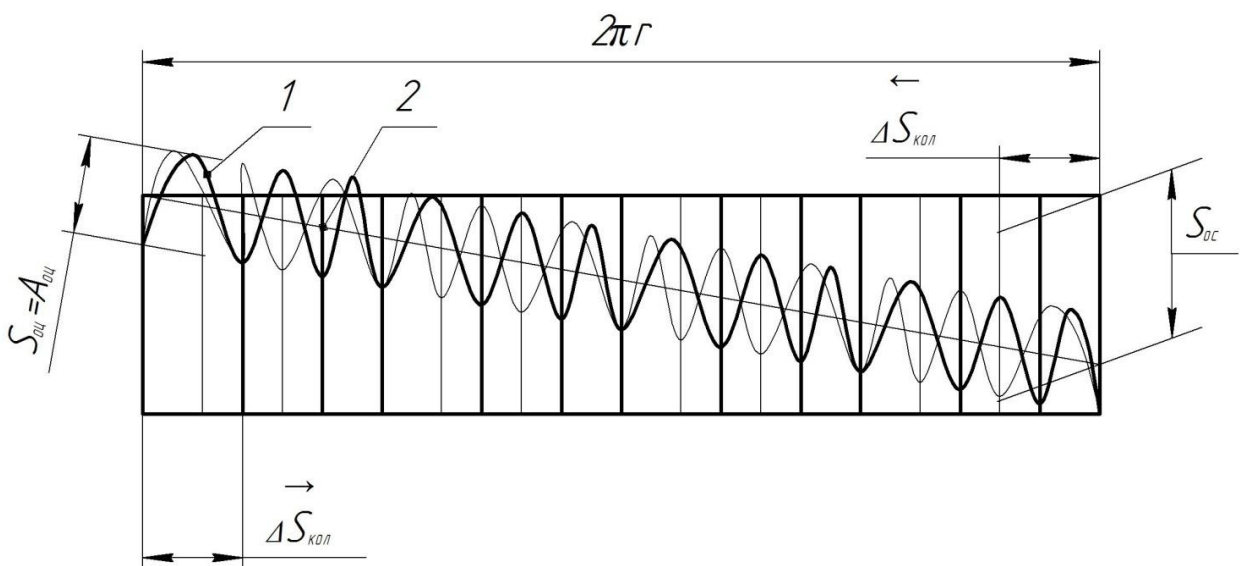


Рис.2.10 . Покадрова схема траєкторія руху зерна інструменту в прямому і зворотному напрямку розгорнута на площину зі зміною колової подачі три рази

На рис. 2.9 та рис. 2.10. можемо спостерігатися утворення фігури Ліссажу. Отже, розглянемо схему взаємодій механізмів осциляції в цілому.

Із представленої схеми рис.2.11 можемо спостерігати утворення фігур Ліссажу на всій поверхні обробленої деталі.

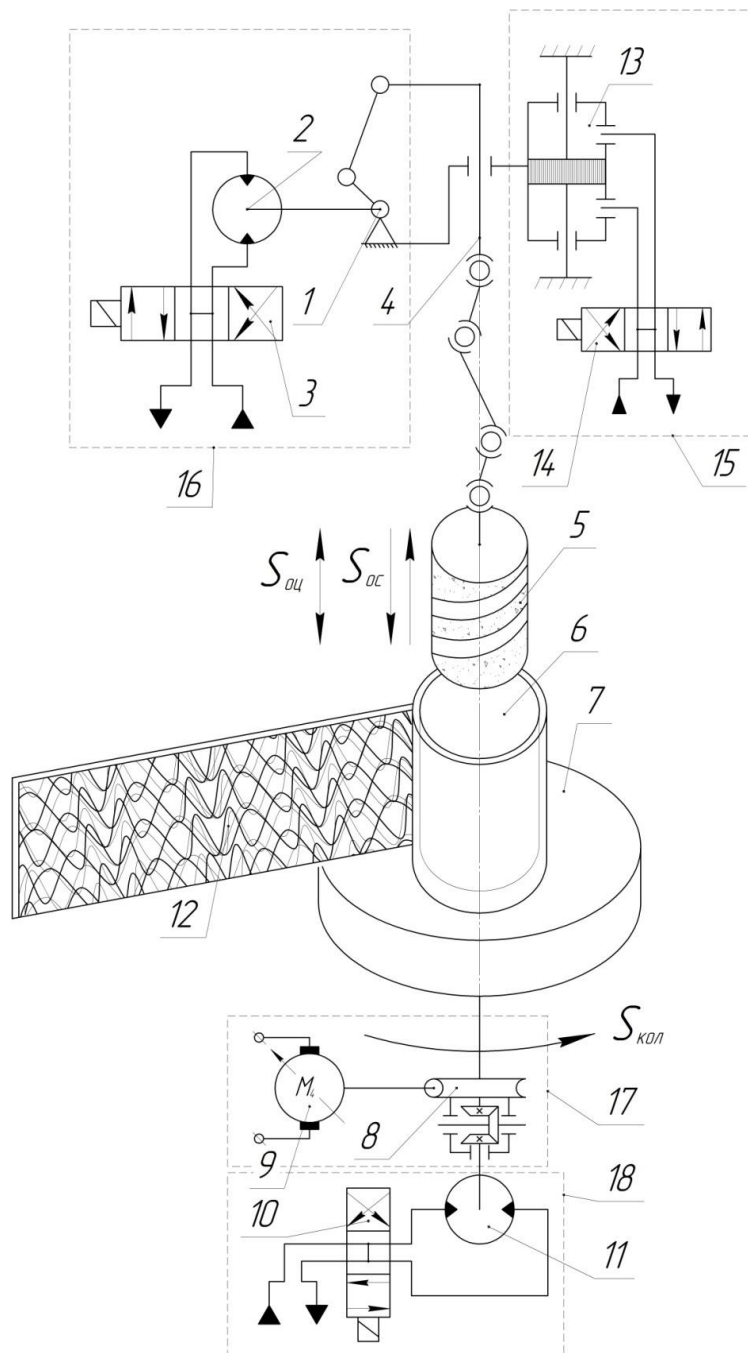


Рисунок 2.11 – Схема взаємодії механізмів на продукційному верстаті.

1- Кривошипно-повзуний мехнізм; 2 - Гідравлічний двигун; 3 - Гідророзподільник; 4 - Шарнірний механізм; 5 – Інструмент; 6 – Деталь; 7 – Стіл; 8 – Дифференціал; 9 - Кроковий електродвигун; 10 – Гідророзподільник; 11 - Гідравлічний двигун; 12 - Траєкторія руху зерна; 13 – гдроциліндр; 14 – гідророзподільник; 15 – механізм осьової подачі; 16 – механізм осьової осцилюючої подачі; 17 – механізм колової осцилюючої подачі; 18 – механізм колової подачі.

2.3. Кінематика процесу різання

Для вирішення поставленої проблеми розглянемо кульково-клиновий хон зі змінною геометрією розміщення алмазно-абразивних брусків (рис.2.12). Для цього розглянемо схему утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні. (рис.2.13).

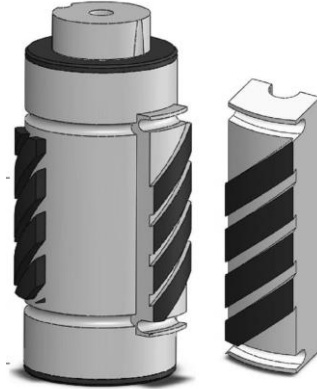


Рисунок 2.12 – Кульково-клиновий хон зі змінною геометрією бруска

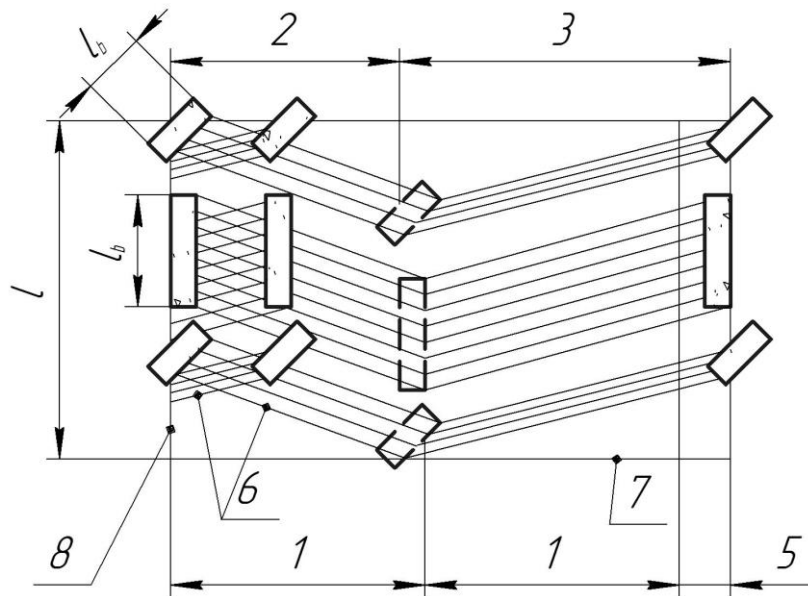


Рисунок 2.13– Схема утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні

1 – відстань за один обертальний рух; 2 – відстань пройдена за поступальний рух; 3 – відстань пройдена за зворотній рух; 4 – відстань пройдена за зворотно-поступальний рух; 5 – додатковий шлях повороту головки за час закінчення подвійного ходу; 6 – траєкторія руху окремих зерен; 7 – геометрична виробна лінія у вигляді твірної; 8 – геометрична виробна лінія у вигляді напрямної; l_b – довжина бруска.

На підставі наведеної схеми на рис.2.13 видно, що крайні бруски, котрі розташовані під кутом 45° з твірною оброблюваного отвору мають точковий характер взаємодії, що передбачає лише місцеве значення переносу геометричного

відхилення або зносу контуру бруска. Тобто, для усіх алмазно-абразивних брусків утворення геометричної виробної лінії, а саме твірної, при хонінгуванні отвору буде відбуватися за принципом сліду.

Напрямна оброблюваного отвору для брусків розташованих під кутом 45° буде мати точковий характер взаємодії з контуром, тобто буде присутнє лише місцеве значення переносу похибок. Відповідно, для обумовлених брусків утворення геометричної виробної лінії, а саме напямної, при хонінгуванні отвору буде відбуватися за принципом сліду, що дасть можливість перекрити негативний вплив брусків котрі розташовані під кутом 90° , які виконують обробку за принципом копіювання.

Забезпечення необхідного мікрорельєфу або мікрогеометрії відбувається за рахунок взаємодії траєкторії одиничних зерен, які переміщуються по заданим векторам лінійних швидкостей. При цьому визначається ступінь щільності точок перетину траєкторії одиничних зерен. На рис.2.13 представлена схема характеризує різні кроки сітки слідів алмазно-абразивних зерен, котра залишається після брусків розташованих під різними кутами. Тобто густина сітки буде щільнішою, ніж при одноманітному розмішені алмазно-абразивних брусків.

Для визначення густини сітки слідів, яка залишається після алмазно-абразивних брусків, розташованих під різним кутом, побудуємо розрахункову схему (рис.2.14).

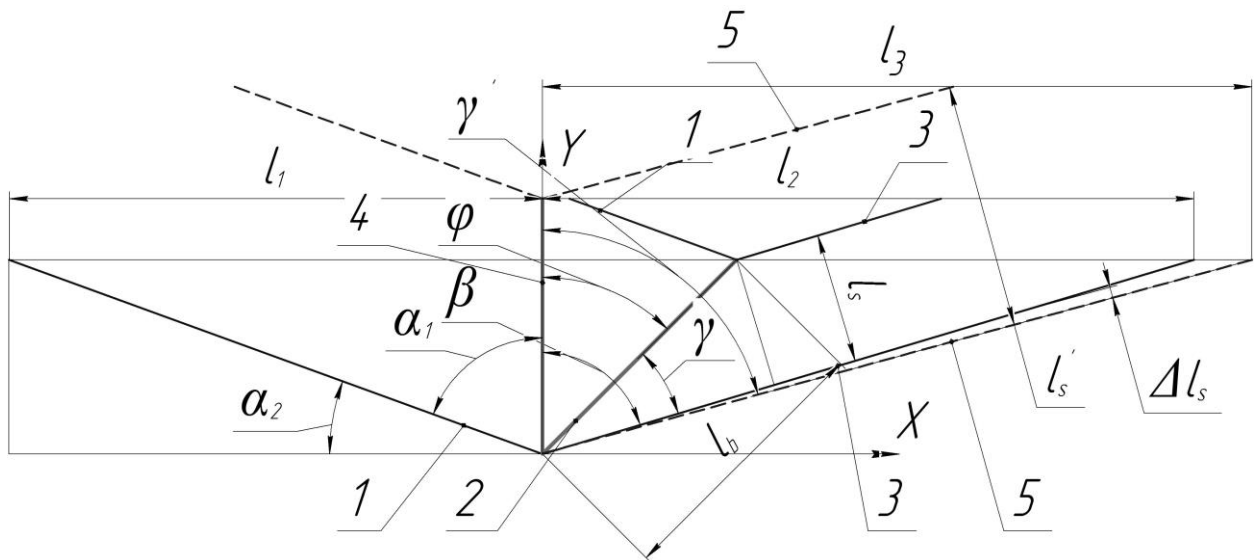


Рисунок 2.14 – Розрахункова схема утворення мікрорельєфу оброблюваної поверхні

1 – траєкторія руху зерна при поступальному русі; 2 – алмазно-абразивний брусок з кутом нахилу 45° ; 3 – траєкторія руху зерна при зворотному русі бруска з кутом нахилу 45° ; 3 – алмазно-абразивний брусок з кутом нахилу 90° ; 3 – траєкторія руху зерна при зворотному русі бруска з кутом нахилу 90° ; l_b – довжина бруска (крок сітки слідів при поступальному русі); l_1 – пройдений шлях при поступальному русі; l_2 – пройдений шлях при зворотному русі; l_s – крок сітки слідів при зворотному русі бруска з кутом нахилу 45° ; l'_s – крок сітки слідів при зворотному русі бруска з кутом нахилу 90° ; Δl_s – різниця кроків брусків з різним кутом нахилу α_1 – кут нахилу траєкторії зерна відносно вісі Y при поступальному русі; α_2 – кут нахилу зерна відносно вісі X при поступальному русі; β – кут нахилу зерна відносно вісі Y при зворотному русі; φ – кут нахилу алмазно-абразивного бруска; γ – кут нахилу траєкторії зерна відносно алмазно-абразивного бруска з кутом нахилу 45° при зворотному русі; γ – кут нахилу траєкторії зерна відносно алмазно-абразивного бруска з кутом нахилу 90° при зворотному русі

На підставі наведеної розрахунковий схеми 2.14, густина сітки слідів при хонінгуванні алмазно-абразивними брусками, розміщеними під кутом 90° , буде характеризуватися кутом схрещення швидкостей обертального та зворотно-поступального руху та визначатиметься за формулою:

$$l_s'' = l_b \cdot \sin \left(90 - 0.5 \arctg \frac{v_p}{v_o} \right) \pi l_1, \quad (2.17)$$

де l_b – довжина бруска (крок сітки слідів при поступальному русі);

v_p – швидкість зворотно-поступального руху;

v_o – швидкість обертального руху;

В свою чергу, густина сітки слідів для алмазно-абразивних брусків, розміщених під кутом 45° , буде визначатися за наступною формулою [1]:

$$l_s = l_b * \sin \left(\frac{l_2 * 180}{\sin \left(90 - 0.5 \arctg \frac{v_p}{v_o} \right) * \pi l_1} - \varphi \right), \quad (2.18)$$

де: γ – кут нахилу траєкторії зерна відносно алмазно-абразивного бруска при зворотному русі.

l_2 – пройдений шлях при зворотному русі;

l_s – крок сітки слідів при зворотному русі;

l_1 – пройдений шлях при поступальному русі;

φ – кут нахилу алмазно-абразивного бруска.

Отже, густина сітки слідів при різному куті розміщення алмазно-абразивних брусків, у відповідності до розрахункової схеми, буде характеризуватися різницею густини сітки слідів брусків, розташованих під кутом 90° та кутом 45° , та буде характеризуватися наступним рівнянням:

$$\Delta l_s = l_s'' - l_s, \quad (2.19)$$

В отримане рівняння (2.19) підставимо значення густин сітки слідів брусків розташованих під кутом 90° (1) та кутом 45° (2.18):

$$\Delta l_s = l_b \left[\sin \left(90 - 0.5 \arctg \frac{v_p}{v_o} \right) \pi l_1 - \sin \left(\frac{l_2 * 180}{\sin \left(90 - 0.5 \arctg \frac{v_p}{v_o} \right) * \pi l_1} - \varphi \right) \right], \quad (2.20)$$

Отримана математична модель дозволяє визначити густину сітки слідів при розташуванні центральних брусків під кутом 90° та для крайніх під кутом 45° . Розташування брусків під кутом 90° та 45° є оптимальними для забезпечення утворення макрорельєфу оброблюваного отвору.

Отже, при комбінуванні кута нахилу алмазно-абразивних брусків вдалося збільшити густину утвореного мікрорельєфу і, тим самим, підвищити продуктивність обробки та зменшити вплив зносу на геометрію оброблюваного отвору.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Дослідження схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивних брусків.

Проведемо дослідження впливу кута схрещування алмазно-абразивних брусків на швидкість видалення матеріалу в залежності від зміни швидкості різання. Вхідні дані представлені до табл. 3.1

Вхідні дані до досліджування

Таблиця 3.1

Найменування параметрів	Одиниця вимірювання	Значення
Матеріал		18ХГТ
Твердість	HRC	60...65
Контактний тиск, Рк	Мпа	0, 5
Кути схрещування, α	град.	30°, 45°, 60°,
Час	хв	3
Довжина оброблюваного отвору	мм	127
Матеріал алмазно-абразивних брусків		АС 16 80/63

Кут схрещування алмазно-абразивних брусків при обробці визначається за наступним рівнянням:

$$\tan \alpha = \frac{v_{fa} + v_{wa}}{v_{ft}} \quad (3.1)$$

В результаті дослідження отримуємо наступні значення при куті схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивного бруска $\alpha=30^\circ$ табл.3.2, при куті $\alpha=45^\circ$ -табл. 3.3 та куті $\alpha=60^\circ$ - табл. 3.2

Результати дослідження впливу кута схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивних брусків приведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

№	Швидкість різання V_c мм/хв	Об'єм видаляемого матеріалу Q_w мм ³ /хв
$\alpha = 30^\circ$		
1	0,4	4,5
2	0,6	7
3	0,8	8
4	1	8
$\alpha = 45^\circ$		
5	0,2	3,5
6	0,4	5
7	0,6	5,5
8	0,8	5
9	1	10,5
10	1,15	21
$\alpha = 60^\circ$		
11	0,4	4
12	0,6	6
13	0,8	10

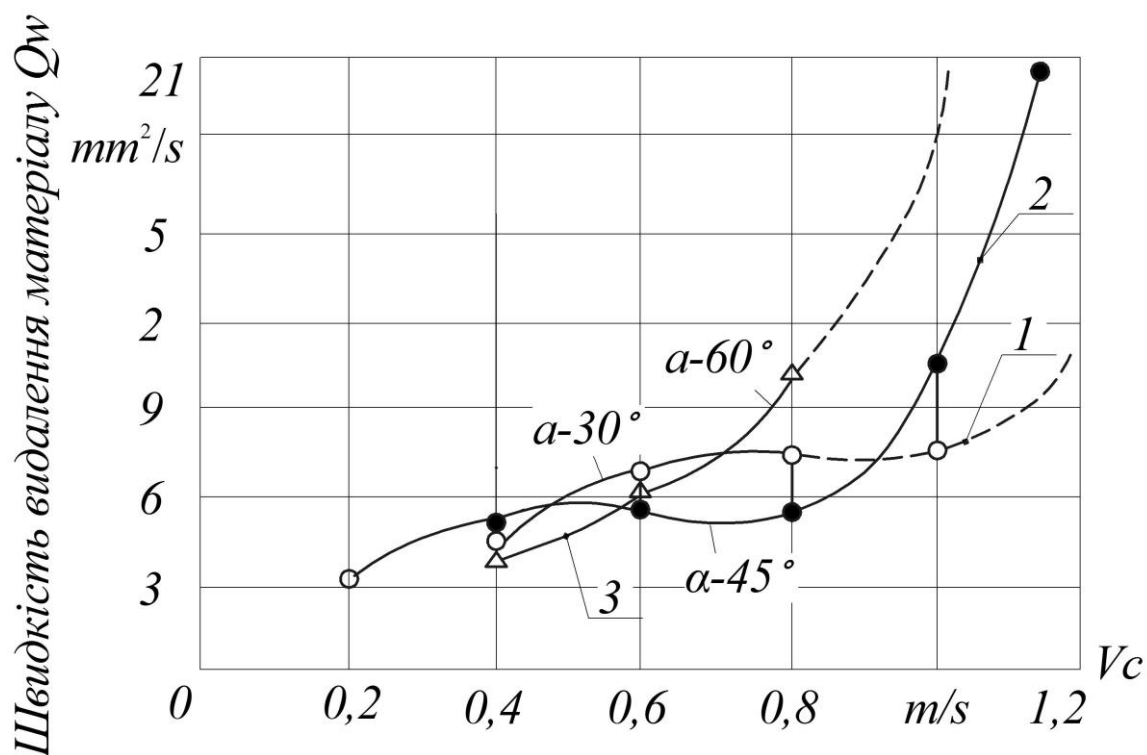


Рисунок – 3.1 – Залежність видалення матеріалу від швидкості різання.

За результатами досліджень отримано залежність видалення матеріалу від швидкості різання. При різних показниках кута схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивного бруска. В результаті при куті $\alpha=30^\circ$ крива має характер до показника 1. Далі ми можемо спостерігати низький зріст видалення матеріалу при куті $\alpha=45^\circ$, залежність на початку має напів синусоїдальний характер з перепадом в точці 0,8 далі спостерігається різкий зріст видалення матеріалу при $\alpha=60^\circ$ ми можемо спостерігати рівномірний зріст величини видалення матеріалу.

Висновок: Доцільно в процесі хонінгувальних отворів забезпечити схрещування траєкторії алмазно-абразивних брусків $\alpha=30^\circ$.

3.2 Дослідження шорсткості поверхні при варіюванні в залежності від швидкості різання в умовах багатofакторного експерименту.

Дослідження шорсткості поверхні при варіюванні в залежності від швидкості різання в умовах багатofакторного експерименту на підставі даних отриманих в найкращому експерименті з попередньої серії дослідів.

В третій серії експериментів досліджували вплив основних технологічних факторів (коефіцієнту приросту тиску при переході від вихідної до робочої ступені – V_{fa} ; коефіцієнту коливання тиску в робочій ступені – Ra ; коефіцієнту співвідношення часу робочого циклу і часу вихожування) на відхилення форми оброблюємого отвору. Дослідження проводили алмазним хоном з характеристикою абразивного шару АСМ 40/28, 100, М1. Для експериментів були підібрані отвори з вихідним відхиленням від циліндричності, що не перевищувало 4 мкм і шорсткістю $Ra = 0,4...0,8\text{мкм.}$

Був реалізований повний факторний експеримент (ПФЕ). Значення рівнів досліджуємих факторів приведені в таблиці 3.3.

Фізична суть вказаних коефіцієнтів відображає вплив тиску і часу на параметр оптимізації геометричної точності отвору при інших рівних умовах, а саме: комбінований цикл №3 відповідає другій серії дослідів із збереженням постійних значень: параметри (V_1, V_2, V_o, δ), вплив яких досліджували в даному експерименті визначалися наступним чином:

$$V_{fa} = l_0 \pi f \cos(\omega t) \quad (3.2)$$

де l_0 – довжина;
 f – перемінне введення частоти;
 ω – угловая скорость,
 t – час.

$$v_{ft} = \sqrt{v_c^2 - l_0 \pi f \cos(\omega t)} \quad (3.3)$$

де v_c – скорость різання;
 ω – частота;
 l_0 – довжина;
 ω – угловая скорость;
 t – час.

Проведемо дослідження впливу радіального зносу алмазно-абразивного бруска в залежності від радіальної та осьової швидкості табл. 3.3

Вхідні дані до досліджування

Таблиця 3.3

Найменування параметрів	Одиниця вимірювання	Значення
Алмазно-абразивний камінь	-	АСМ 40/28,100М1
Оброблений діаметр	Мм	25
Час	хв	3
Довжина оброблюваного отвору	мм	127
Матеріал делалі		18ХГТ

Параметр оптимізації – циліндричність отвору.

1. Значення перемінних факторів були прийняті наступні:

Таблиця 3.4

Назва параметрів					
Назва	Позн.	Один.вим-ня	Чисельне значення		
			Нижній рівень	Основний рівень	Верхній рівень
Тиск вхідної ступіні	P_1	МПа	4	7	5
Тиск робочої ступіні максимальний	$P_{2 \max}$		11,8	14,3	18,2
Тиск робочої ступіні мінімальний	$P_{2 \min}$		4	10	10
Час робочої ступіні	t_2	С	317	355,8	390,4
Час виходування	t_3		244	244	244

2. В якості постійного фактору були прийняті наступні:

Таблиця 3.5

Назва	Позначення	Одиниці вимірювання	Чисельне значення
1	2	3	4
Час вхідної ступіні	t_1	С	17
1	2	3	4
Частота зміни тиску	f	Гц	0,2
Тиск циклу виходування	P_{31}	МПа	11
	P_{32}		6
	P_{33}		5
	P_{34}		2
Натяг в зоні обробки	δ	мкм	0,023-0,033

Контролюємий параметр: шорсткість оброблюваної поверхні R_a , мкм.

Розраховуємий параметр: отримання рівняння регресії і оцінки впливу перемінних факторів на параметр оптимізації. Визначається відповідно до методики планування експериментів [Пляскін, стор. 109..127].

Умови проведення дослідів для отримання моделі 2-го порядку.

Таблиця 3.6

Рівні вар'ювання	Незалежні зміни		
	Ra	Vfa	Vft
1	2	3	4
1	0.6	700	100
2	1.1	400	0
3	1.5	200	0
4	0.1	700	100
5	0.3	400	250
6	0.2	200	400
7	0.25	700	200
8	0.25	700	600
9	0.4	350	100

2. Матриця планування другого порядку.

Таблиця 3.7

№ Дос- ду	Vfa	Ra	Vft	Vft*Ra	Vft*Vf a	Ra*Vfa	Vft ² ₃	Ra ² ₂	Vfa ² ₁
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
3	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
4	-1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
5	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1
6	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1
7	+1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	+1
8	-1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1
9	0	0	-1,7	0	0	0	+2,8	0	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	0	0	+1,7	0	0	0	+2,8	0	0
11	0	-1,7	0	0	0	0	0	+2,8	0
12	0	+1,7	0	0	0	0	0	+2,8	0
13	-1,7	0	0	0	0	0	0	0	+2,8
14	+1,7	0	0	0	0	0	0	0	+2,8
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Результати третьої серії дослідів

Таблиця 3.8

№ дослідів	Ra ⁻¹	Ra	Ra ⁻¹ -Ra	(Ra ⁻¹ -Ra) ²
1	11	12	13	14
1	5,6	5,5	0,1	0,01
2	7,8	6,9	0,9	0,81
3	5,6	5,5	0,1	0,01
4	7,8	6,9	0,9	0,81
5	4,0	4,01	0,01	0,0001
6	5,6	5,4	0,2	0,04
7	4,0	4,01	0,01	0,0001
8	5,6	5,4	0,2	0,04
9	5,0	4,7	0,3	0,09
10	6,6	7,3	0,7	0,49
11	4,2	4,4	0,2	0,04
12	4,2	4,4	0,2	0,04
13	6,0	6,8	0,8	0,64
14	4,8	4,8	0,4	0,16
15	3,4	3,4	0,14	0,02
16	3,6	3,6	0,06	0,0036
17	3,8	3,8	0,26	0,07
18	3,8	3,8	0,26	0,07
19	3,6	3,6	0,26	0,07
20	3,2	3,2	0,34	0,112

$$\Sigma X_i^2 = 2,73$$

$$\Sigma Y_i^2 = 98,4$$

$$\Delta rh = -11.3574 - 0.0357 * V_{ft} + 0.0794 * V_{fa} + 0.0001 * V_{ft}^2 - 5.8925E - 5V_{ft} * V_{fa} - 7.3128E - 5V_{fa}^2 \quad (3.4)$$

Враховуючи той факт, що функція існує в границях вар'ювання аргументів, проводимо графічне вивчення поверхні відгуку. Задаємося значеннями факторів K3 і K1 в границях вар'ювання і визначаємо значення У.

Результати рішення задачі, виконаної на ПК приведені в таблиці 3.9

Результати оптимізації параметру шорсткості оброблюваного отвору

Таблиця 3.9

Параметр оптимізації	Vft		Vfa	
Шорсткість, Ra	Кодове значення	Натуральне значення	Кодове значення	Натуральне значення
1	2	3	4	5
15	-0,4...-0,3	1,34...1,37	0,25...0,4	1,62...1,7
16	-0,4...0	1,34...1,44	0...0,4	1,5...1,7
17	-0,4...0,2	1,34...1,46	-0,25...0,4	1,38...1,7
18	-0,4...0,4	1,34...1,48	-0,45...0,4	1,28...1,7
19	-0,4...0,5	1,34...1,5	-0,58...0,4	1,22...1,7
20	-0,4...0,6	1,34...1,52	-0,65...0,4	1,18...1,7
21	-0,4...0,7	1,34...1,54	-0,82...0,4	1,1...1,7
22	-0,4...0,8	1,34...1,56	-0,92...0,4	1,05...1,7
23	-0,4...0,9	1,34...1,58	-1,0...0,4	1,0...1,7
24	0...1,0	1,4...1,6	-1,0...0,4	1,0...1,7

Аналіз даних таблиці показує, що:

забезпечення максимально досяжної циліндричності можливо при значеннях коефіцієнта до $V_{ft} = 1000$ і коефіцієнта $V_{fa} = 400$

при зменшенні коефіцієнта до $V_{ft} = 500$ можливе збільшення величини радіального зносу.

збільшення коефіцієнта V_{fa} вище $=400$ не впливає на величину радіального зносу .

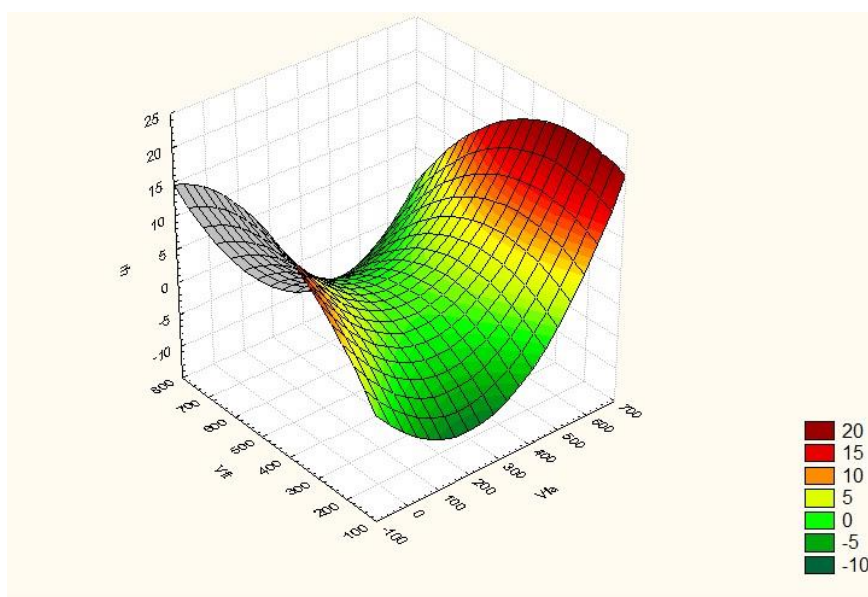


Рисунок 3.2 – Залежність шорсткості поверхні від швидкостей

Висновок: В результаті дослідження впливу швидкості різання на якість отриманої поверхні, а саме шорсткості. Було визначено, що оптимальним показником отриманої шорсткості поверхні в межах R_a можливо при середніх показниках осьової та тангенціальної швидкості в межах $R_{a\max} = 1$ мкм при черновому хонінгуванні. Не гірші показники якості поверхні отримуються при мінімальних показниках осьової та тангенціальної швидкості.

РОЗДІЛ 4

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1. Опис конструкції верстату для алмазного хонінгування

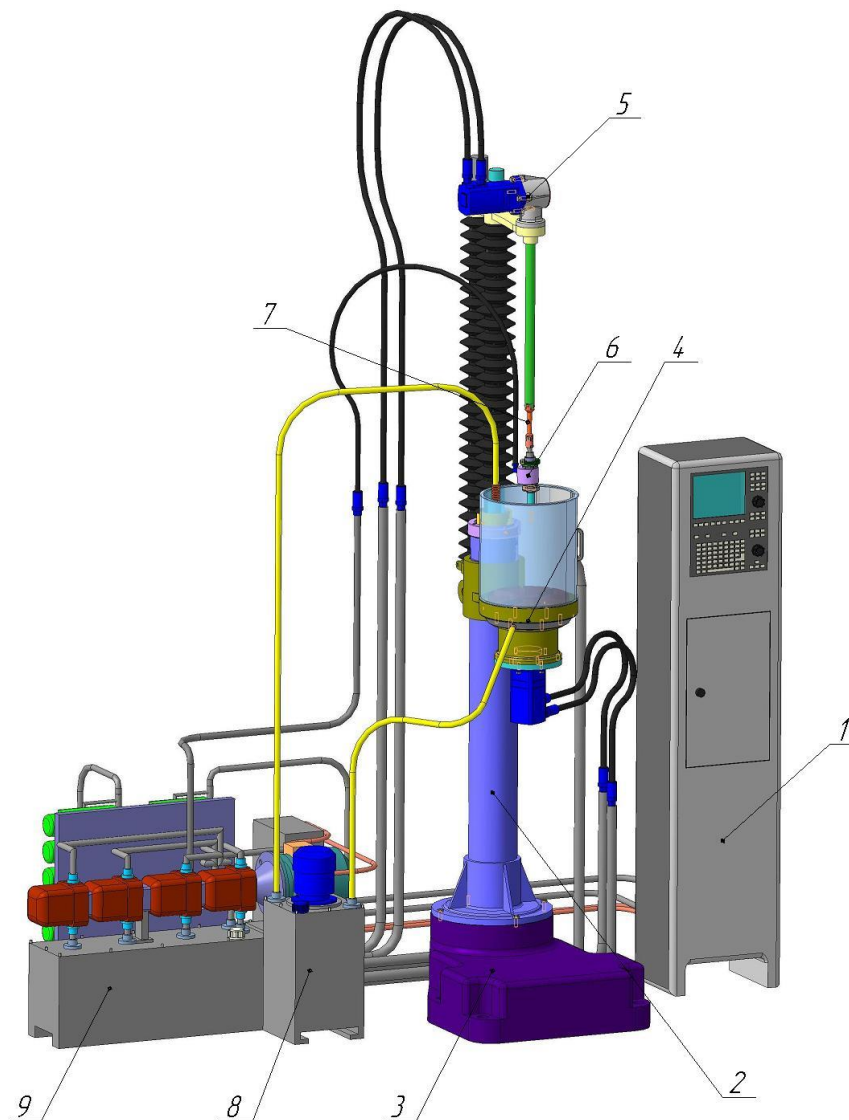


Рисунок 4.1. – Схема верстату для дослідження гідростатичного алмазного хонінгування отвору гвинта.

1 – стійка з ЧПУ; 2 – гідроциліндр; 3 – станина; 4 – механізм стола; 5 – механізм осциляції; 6 – гідростатичний хон; 7 – кардан; 8 – бак МОР; 9 – гідростанція.

Верстат (Рис. 4.1) складається з нижньої базової плити 3, в отворах якої закріплений гідроциліндр для створення зворотно-поступального руху.

В верхній частині напрямних верстата закріплюється механізм осциляції для створення додаткового коливального руху в осьовому напрямку з карданом 7,

шпинделем інструмента і гідромотором обертального руху. Зворотно-поступальний рух механізму осциляції 5 здійснюється за допомогою гідравлічного циліндру 2, який базується на скалці, яка одночасно є штоком обумовленого гідроциліндра. На гідроциліндрі базується механізм стола 4 для створення обертального руху деталі, який закріплюється в необхідному положенні за допомогою тангенціальних прижимів. Для подачі МОР в зону обробки деталі передбачений бак МОР 8.

Технологічні основні і допоміжні рухи забезпечує гідравлічна станція верстату 9, яка складається з 3-х приводів. Програмне налагодження верстату здійснюється за допомогою пристрою ЧПУ 1.

4.1.2. Принцип дії верстату.

Верстат працює в цикловому режимі. Необхідна програма, яка відповідає заданим циклам обробки налагоджується за допомогою пристрою ЧПУ 1. При цьому вертикальне переміщення каретки з шпинделем інструмента здійснюється за допомогою гідроциліндра 2, який переміщується по нерухомій скалці меншого діаметру відносно нерухомого поршня закріпленого в обумовленій скалці.

Тиск в алмазному гідростатичному хоні регулюється за допомогою системи ЧПУ відповідно до змін крутного моменту на гідромоторі 7, який контролюється відповідними датчиком і системою ЧПУ.

Налагоджений верстат здійснює цикл автоматично, забезпечуючи обробку отворів деталей з необхідною точністю та шорсткістю. Система адаптивно реагує на зміну параметрів обробки і автоматично під налагоджується на підставі змінних умов обробки.

4.1.3. Будова та принцип дії механізмів верстату

Механізм осциляції

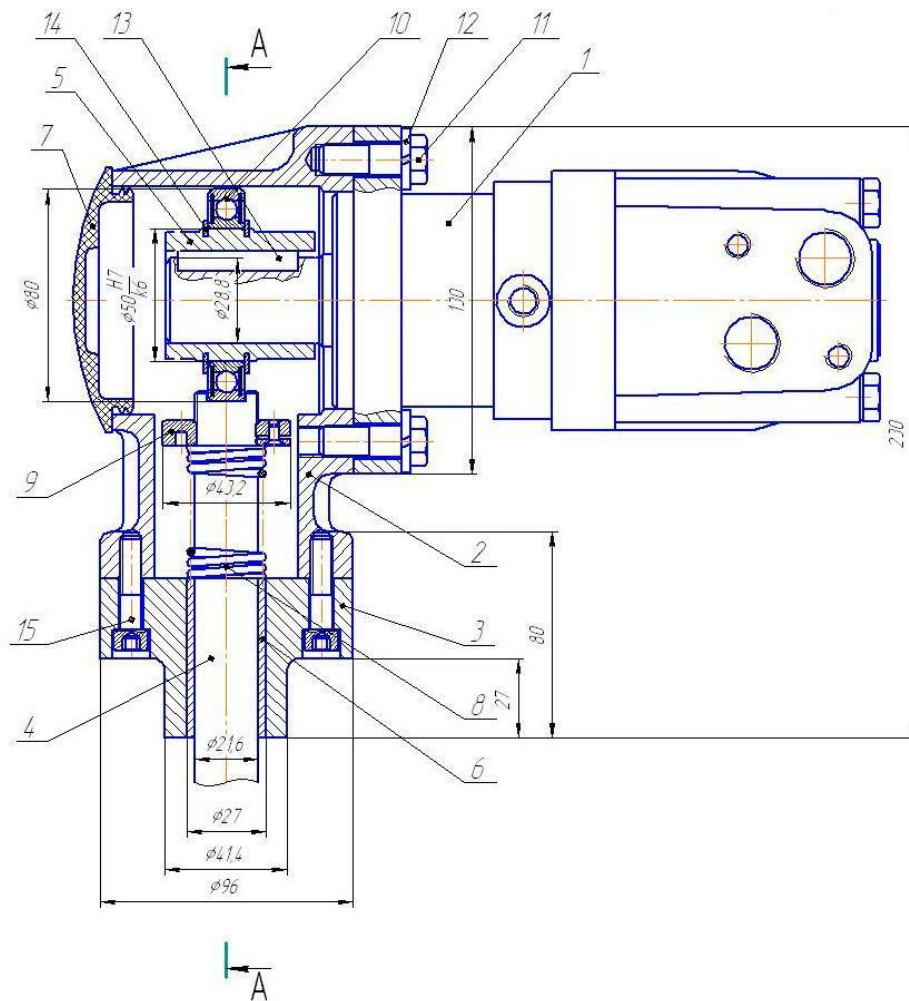


Рисунок 4.2 – Механізм осциляції

1 – мотор; 2 – корпус; 3 – траверса; 4 – вал-шпиндель; 5 – концентрична втулка; 6 – втулка; 7 – кришка; 8 – пружина; 9 – гайка з контртящим гвинтом; 10 – радіально-упорний підшипник; 11 – болт; 12 – шайба; 13 – шпонка; 14 – стопорне кільце; 15 – гвинт.

Розроблений механізм осциляції накладає додатковий коливальний рух в осьовому напрямку, що дає можливість підвищити точність геометричної форми оброблених отворів, покращує обробку важкооброблюваних матеріалів та збільшує продуктивність металоз'єму. При такій схемі осцилюваного руху всі рухомі ланки мають обертальний рух, що дає можливість використати опори кочення, забезпечити можливість плавного регулювання частоти і амплітуди коливань, по мірі необхідності здійснювати вмикання та вимикання осцилюваних рухів, використовувати механізм осциляції незалежно від розмірів даного верстату.

Механізм осциляції складається з корпусу 2 до якого кріпиться мотор 1. На валу мотора 1 розміщена концентрична втулка 5, на зовнішній поверхні якої закріплений радіально-упорний підшипник 10 за допомогою 2 стопорних кілець 14. В порожнині корпусу 2 розміщений вал-шпиндель 4, який одним кінцем упирається в підшипник 10. На вал-шпиндель 4 надіта пружина 8, яка підтискається зверху гайкою з конtringим гвинтом 9. До корпусу кріпиться траверса 3, в отворі якої розміщена втулка 6. Порожнина корпусу 2 закрита кришкою 7.

Крутний момент вихідного валу мотора 1 через шпонку 13 передається на концентричну втулку 5. Обертальний рух радіально-упорного підшипника 10, який розміщений на втулці 5, перетворюється на зворотно-поступальний рух вал-шпинделя 4. Коли підшипник знаходиться у крайньому нижньому положенні пружина 8 стискається, вал-шпиндель опускається вниз. При переході підшипника у крайнє верхнє положення вал-шпиндель підіймається вгору, розтискаючи пружину 8.

Таким чином створюється рух осьової осциляції, який передається на кардан, до якого кріпиться робочий інструмент – алмазний гідростатичний хон.

Швидкість зворотно-поступального руху вал-шпинделя здійснюється безступенево.

Механізм обертальної дії (стіл)

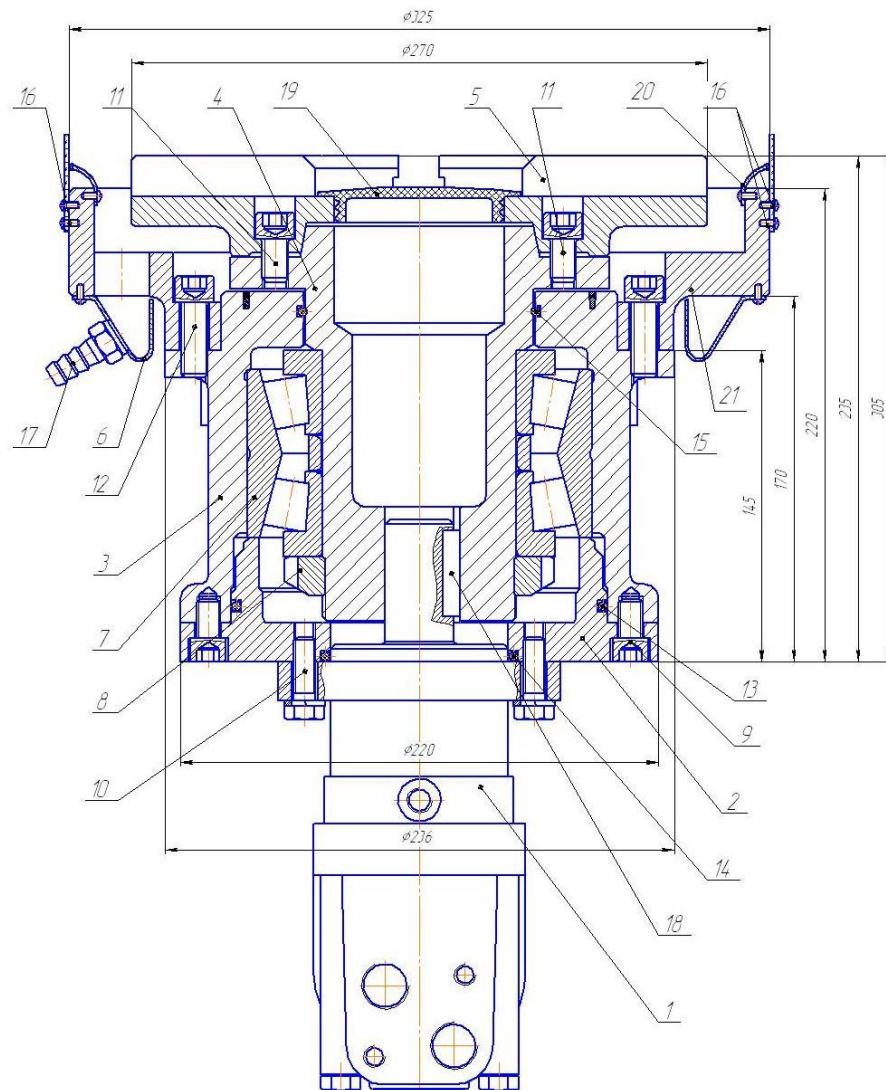


Рисунок. 4.3 – Механізм стола

1 – мотор; 2 – кришка; 3 – корпус; 4 – сердечник; 5 – стіл; 6 – піддон; 7 – роликовий підшипник; 8 – гайка; 9 – гвинт; 10 – болт; 11 – гвинт; 12 – гвинт; 13 – ущільнююче кільце; 14 – ущільнююче кільце; 15 – ущільнююче кільце; 16 – болт; 17 – зливний штуцер; 18 – шпонка; 19 – пробка; 20 – захисний кожух; 21 – траверса.

Механізм стола призначений для базування та створення обертального руху оброблюваної деталі. Даний механізм здебільшого передбачений для обробки деталей тіл обертання та корпусних деталей невеликих розмірів.

Механізм стола складається з корпусу 3, у внутрішній порожнині якого розміщений сердечник 4, виконаний у вигляді тіла обертання із внутрішнім отвором та роликовий підшипник 7, підтиснений знизу гайкою 8. Зовнішня

Гідроциліндр складається з циліндра 1, у внутрішній порожнині якого розміщені шток 2, демпфер 7 та поршень 8, підтиснений гайкою 15. По обидва боки поршня розміщені манжети 21 з манжетоутримувачами 9. З одного боку циліндр закриває наскрізна кришка 11 з отвором для подачі робочої рідини, законтрена гайкою 3. Зовнішня герметичність кришки забезпечується ущільненням 23. В порожнині кришки знаходиться втулка 4, грязез'ємник 5, кришка грязез'ємника 6 та манжета 14. З іншого боку циліндр закриває пробка 10, ущільнена ущільнюючим кільцем 19, в яку вкручений штуцер 17 для подачі робочої рідини.

Подача робочої рідини здійснюється через штуцер 17 та подається в отвір у пробці, а звідти у внутрішню порожнину гідроциліндра. Робоча рідина створює тиск в порожнині циліндра, в результаті чого шток 2 підіймається вгору разом із поршнем 8 та демпфером 7. Після того як поршень досягне необхідного положення, рідина подається через отвір у циліндрі 1 та наскрізній кришці 11, змушуючи шток 2 опускатися вниз. В результаті цього поршень витискає непотрібну рідину, яка йде на злив через штуцер 17.

Таким чином створюється робочий зворотно-поступальний рух та здійснюється швидке підведення алмазного гідростатичного хона безпосередньо до деталі.

Швидкість зворотно-поступального руху штоку здійснюється безступенево за рахунок гідророзподільників.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ ХОНІНГУВАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ

5.1. Загальні вихідні дані

Модернізацію вертикально-свердлильного верстата мод. 2Н135 спрямовано на розширення його технологічних можливостей з метою отримання верстатної системи для алмазного хонінгування отворів деталі «гвинт».

Для вирішення питання про економічну ефективність нової конструкції в якості бази для порівняння приймемо попередньо модернізований верстат з шарнірною підвіскою тієї ж моделі також призначений для алмазного хонінгування отворів.

Модернізація полягає у додатковому оснащенні конструкції верстата механічною передачею та удосконаленні механічної частини шпинделя, що дозволить вдвічі підвищити продуктивність обробки порівняно з базовим варіантом та знизити трудовитрати за рахунок можливості зменшення розряд виконуваної роботи.

Загальні техніко-економічні показники базового та проектного варіантів зведено до табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Загальні вихідні техніко-економічні показники базового та нового верстатів

№ п/п	Показник	Одиниця	Варіанти	
			базовий	проект
1.	Програма виробництва деталей	шт./рік	18000	18000
2.	Штучний час обробки деталі	хв.	3,0	1,5
3.	Площа, яку займає верстат	м ²	1,75	1,75
4.	Встановлена потужність електродвигунів верстата	кВт	4,0	4,0
6.	Категорія ремонтної складності: механічної/електричної частин	УРО	8/2	8/2
7.	Розряд роботи верстатника	розряд	4	3
8.	Оптова ціна верстата	грн.	112500	-

5.2. Визначення витрат на підготовку виробництва

5.2.1. Витрати на проектування обкатника визначаємо за формулою:

$$B_{нк} = H_{ор} \cdot T_{кон} \cdot Z_{сз}^к \cdot \left(1 + \frac{\kappa_{\partial}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.3)$$

де $H_{ор}$ – кількість найменувань оригінальних деталей, які входять до конструкції інструменту, шт.;

$T_{кон}$ – сумарна кількість годин на розробку усіх видів конструкторської документації, яка в середньому припадає на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сз}^к$ – середньогодинна заробітна плата конструктора, грн./год.;

κ_{∂} – додаткова заробітна плата конструктора, %;

B_c – відрахування у соціальні фонди від заробітної плати конструкторів, %;

H_{ϵ} – накладні витрати, грн. (визначаються в процентах від основної заробітної плати конструктора).

$$B_{нк} = 20 \cdot 19 \cdot 85,227 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) + 20 \cdot 19 \cdot 85,227 \cdot \frac{45}{100} = 58035,0 \text{ грн.}$$

5.2.2. Витрати на технологічну підготовку виробництва інструменту:

$$B_m = H_{ор} \cdot T_{тех} \cdot Z_{сз}^м \cdot \left(1 + \frac{\kappa_{\partial}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{B_c}{100}\right) + H_{\epsilon}, \quad (5.4)$$

де $T_{тех}$ – сумарна трудомісткість технологічних робіт, які припадають на одне найменування оригінальних деталей, нормо-год.;

$Z_{сз}^м$ – середньогодинна заробітна плата технолога, грн./год.

$$B_m = 20 \cdot 21 \cdot 83,523 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{22}{100}\right) + 20 \cdot 21 \cdot 83,523 \cdot \frac{55}{100} = 66387,0 \text{ грн.}$$

5.3. Визначення витрат на проведення модернізації

Після визначення трудомісткості модернізації розраховуємо:

а) основну заробітну плату виробничих робітників:

$$З_{\text{оп}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{г}} \cdot T_i, \quad (5.5)$$

де n – кількість i -тих видів робіт;

$C_{\text{г}}$ – середньогодинна тарифна ставка робітників, які виконують i -й вид робіт з урахуванням умов праці, грн.

Так, основна заробітна плата виробничих робітників на механічних роботах:

$$З_{\text{оп}} = 96,6 \cdot 77,979 = 7532,77 \text{ грн.}$$

б) витрати на утримання та експлуатацію обладнання:

$$B_o = \sum_{i=1}^n З_{\text{оп}i} \cdot \frac{\Pi_{\text{рр}i}}{100}, \quad (5.6)$$

де $\Pi_{\text{рр}i}$ – процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Так, витрати на утримання та експлуатацію обладнання на механічних роботах:

$$B_o = 7532,77 \cdot \frac{385}{100} = 29001,17 \text{ грн.}$$

в) цехові витрати:

$$K_{\text{цех}} = \sum_{i=1}^n З_{\text{оп}i} \cdot \frac{\Pi_{\text{цр}i}}{100}, \quad (4.7)$$

де $\Pi_{\text{цр}}$ – процент цехових витрат по кожному i -му виду робіт за заводською калькуляцією.

Для механічних робіт:

$$K_{\text{цех}} = 7532,77 \cdot \frac{232}{100} = 17476,03 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки даних статей на інших роботах, результати заносимо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Трудомісткість виготовлення та окремі види витрат, які включені до собівартості модернізації верстата

Види робіт	Трудомісткість робіт н-год	Середній розряд	Середньогодинна тарифна ставка робітників, грн/год	Основна заробітна плата робітників $З_{ор}$, грн.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, B_o , грн.		Загальноцехові витрати $K_{цех}$, грн.	
					%	грн.	%	грн.
Ливарні	5,2	3	87,048	452,65	350	1584,27	242	1095,41
Ковальсько-штампувальні	6,4	3	78,605	503,07	410	2062,60	223	1121,85
Механічні	96,6	4	77,979	7532,77	385	29001,17	232	17476,03
Термічні	5,5	3	87,048	478,76	395	1891,12	282	1350,11
Слюсарсько-складальні	12,0	4	77,979	935,75	210	1965,07	242	2264,51
Інші роботи	10,3	3	70,181	722,86	220	1590,30	240	1734,87
Всього	136,0	-	-	10625,87	-	38094,53	-	25042,79

Виробничу собівартість модернізації розраховуємо за статтями витрат за допомогою отриманих на підприємстві кошторисних та звітних калькуляцій базових конструкцій. Розрахунок виконуємо за формулою:

$$C_{\text{вир}} = M_o + M_d + П_n + T_v - B_{\text{зв}} + E_{\text{тех}} + П_{\text{тех}} + \\ + З_{\text{ор}} + З_{\text{др}} + B_c + З_{\text{цп}} + B_o + K_{\text{цех}} + K_{\text{зав}} + B_{\text{ін}}, \quad (5.7)$$

де M_o , M_d – відповідно витрати на основні та допоміжні матеріали, грн.;

$П_n$ – покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги сторонніх підприємств, грн.;

Розрахунок витрат на основні матеріали та покупні напівфабрикати зведено до табл. 4.3.

T_v – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$B_{\text{зв}}$ – зворотні відходи, які реалізуються (віднімаються), грн.;

$E_{\text{тех}}$, $П_{\text{тех}}$ – енергія та паливо на технологічні цілі, грн.;

$Z_{др}$ – допоміжна заробітна плата виробничих робітників, грн.;

B_c – відрахування у соціальні фонди (єдиний соціальний внесок), грн.;

$Z_{щ}$ – відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення та інші спеціальні витрати, грн.;

$K_{зав}$ – загальнозаводські витрати, грн.;

$B_{ін}$ – інші виробничі витрати, грн.

Таблиця 5.3

Склад матеріальних витрат на інструмент

№ п/п	Матеріали, покупні напівфабрикати та комплектуючі вироби	Одиниця	Витрати (шт., кг)	Ціна, грн.	Витрати на виріб, грн.
Основні матеріали					
1.	Сталь 40X	кг	33,2	44,50	1477,40
Покупні комплектуючі вироби					
1.	Метизи (болти)	кг	8,5	61,48	522,62

Розрахунок собівартості зводимо до табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Виробнича собівартість модернізації

№ з/п	Стаття калькуляції	Коротке позначення	Метод розрахунку, джерело інформації	Результат, сума, грн.
1	2	3	4	5
1.	Матеріали основні	M_o	табл. 4.3	1477,40
2.	Матеріали допоміжні	M_d	4% від M_o	59,10
3.	Покупні напівфабрикати, комплектуючі вироби та послуги підприємств	P_n	табл. 4.3	522,58
4.	Зворотні відходи	$-B_{зв}$	5% від M_o	88,64
5.	Транспортно-заготівельні витрати	T_b	6% від $(M_o + M_d)$	82,36
6.	Паливо та енергія на технологічні цілі	$P_{тех}, E_{тех}$	178,8% від $Z_{ор}$	18914,05
7.	Всього матеріальні витрати			20966,84

1	2	3	4	5
8.	Основна заробітна плата виробничих робітників	$З_{ор}$	табл. 4.2	10625,87
9.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	$З_{др}$	10% від $З_{ор}$	1062,59
10.	Відрахування в фонд соціального страхування	$B_{сс}$	22% від $(З_{ор} + З_{др})$	2571,46
11.	Відшкодування зносу інструменту та пристосувань цільового призначення	$З_{уп}$	18,5% від $З_{ор}$	1965,79
12.	Витрати на утримання та експлуатацію обладнання	B_o	табл. 4.2	38094,53
13.	Цехові витрати	$K_{цех}$	табл. 4.2	25042,79
14.	Загальнозаводські витрати	$K_{зав}$	285% від $З_{ор}$	30283,73
15.	Інші виробничі витрати	$B_{ін}$	10,5% від $З_{ор}$	1115,72
16.	Виробнича собівартість	$C_{вир}$	$\Sigma(7 \div 15)$	131730,00

5.4. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)

Розрахунок виконуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^m B_i, \quad (5.8)$$

де B_m – витрати на основні матеріали, грн. (не розраховуються, оскільки співпадають у базовому та проектному варіантах);

B_z – витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальні потреби основних робітників, грн.;

B_e – витрати на силову електроенергію, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на допоміжні матеріали, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

B_n – витрати на утримання приміщення, грн.;

B_a – витрати на амортизацію обладнання, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову та відрахування на соціальне страхування:

$$B_3 = C_r \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (5.9)$$

де $T_{\text{нор}}$ – час обробки деталі, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти додаткової зарплати та відрахувань на соціальне страхування відповідно.

В базовому варіанті:

$$B_{3б} = 77,979 \cdot \frac{3,0}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 5,8757 \text{ грн.};$$

В проектному варіанті:

$$B_{3п} = 70,181 \cdot \frac{1,5}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 2,6441 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію силову:

$$B_e = \frac{N_v \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_d}{\eta_m \cdot \eta_c} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60} \cdot C_{\text{ел}}, \quad (5.10)$$

де N_v – встановлена потужність електродвигунів силового вузла, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи моторів ($K_o=0,65...0,8$);

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (для свердлильних верстатів $K_N=0,5...0,6$);

K_d – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів верстата за часом ($K_d=0,3...0,5$);

η_c – середній коефіцієнт корисної дії електродвигунів ($\eta_c=0,86...0,9$);

η_m – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі підприємства ($\eta_m=0,92...0,96$);

$C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт-год силової електроенергії, грн.

$$B_{\text{ел}}^{\text{баз}} = \frac{4,0 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{3,0}{60} \cdot 4,50 = 0,2261 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{ел}}^{\text{пр}} = \frac{4,0 \cdot 0,7 \cdot 0,6 \cdot 0,4}{0,88 \cdot 0,95} \cdot \frac{1,5}{60} \cdot 4,50 = 0,1055 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мв}} = \frac{M_{\text{гв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot T_{\text{нор}}}{60 \cdot 100} \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.11)$$

де $M_{\text{гв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали на 1 УРО механічної частини всіх типів верстатів, коп.;

$R_{\text{м}}$ – категорія складності ремонту механічної частини верстата, УРО;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва (для серійного $K_{\text{п}} = 1,0$).

$$B_{\text{дм}}^{\text{баз}} = \frac{79,5 \cdot 8,0 \cdot 3,0}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,3180 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{дм}}^{\text{пр}} = \frac{79,5 \cdot 8,0 \cdot 1,5}{60 \cdot 100} \cdot 1,0 = 0,1590 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_{\text{р}} = \frac{R_{\text{м}} \cdot \Gamma_{\text{вм}} + R_{\text{е}} \cdot \Gamma_{\text{вс}}}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.12)$$

де $\Gamma_{\text{вм}}, \Gamma_{\text{вс}}$ – відповідні річні витрати на всі види ремонту на 1 УРО механічної та електричної частин вузла, грн./рік;

$F_{\text{дрм}}$ – дійсний річний фонд часу роботи верстата (при двозмінному режимі роботи для серійного виробництва – 3950 год.).

$$B_{\text{р}}^{\text{баз}} = \frac{8 \cdot 880 + 2 \cdot 720}{3680} \cdot \frac{3,0}{60} = 0,1152 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{р}}^{\text{пр}} = \frac{8 \cdot 880 + 2 \cdot 720}{3680} \cdot \frac{1,5}{60} = 0,0576 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання приміщення:

$$B_{\text{уп}} = \frac{F_{\text{о}} \cdot K_{\text{д}} \cdot C}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.13)$$

де $F_{\text{о}}$ – виробнича площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення);

C – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м^2 виробничого приміщення, грн/м².

$$B_{\text{уп}}^{\text{баз}} = \frac{1,75 \cdot 4,0 \cdot 3,0}{3680 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0741 \text{ грн.},$$

$$B_{\text{уп}}^{\text{пр}} = \frac{1,75 \cdot 4,0 \cdot 1,5}{3680 \cdot 60} \cdot 780 = 0,0371 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію верстата:

$$B_a = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_a}{F_{\text{дрм}} \cdot 100} \cdot \frac{T_{\text{нор}}}{60}, \quad (5.14)$$

де H_a – норма амортизації, %;

$\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість верстата, грн.

Балансову вартість базового верстата знайдемо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал}} = C_{\text{опт}} \cdot (1 + K_{\text{тр}} + K_{\text{м}} + K_{\text{ф}}), \quad (5.15)$$

де $C_{\text{опт}}$ – оптова ціна верстата з ПДВ, грн.;

$K_{\text{тр}}$, $K_{\text{м}}$, $K_{\text{ф}}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують транспортування (0,05...0,1), монтаж (0,04...0,06) та влаштування фундаменту (0,02...0,08).

Таким чином, балансова вартість базового верстата:

$$\Phi_{\text{бал.б}} = 112500 \cdot (1 + 0,08 + 0,06 + 0,05) = 133875 \text{ грн.},$$

Балансову вартість модернізованого верстата визначаємо за формулою:

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = \Phi_{\text{бал.б}} - \sum_1^m B_{\text{ан}} + C_{\text{вир.мод}}, \quad (4.16)$$

m – кількість анульованих у процесі модернізації деталей та вузлів;

$B_{\text{ан}}$ – собівартість анульованих деталей ($B_{\text{ан}} = 0$ грн.);

$C_{\text{вир.мод}}$ – виробнича собівартість модернізації, грн.

$$\Phi_{\text{бал.пр}} = 133875 - 0 + 131730 = 265605 \text{ грн.}$$

$$B_a^{\text{б}} = \frac{133875 \cdot 15 \cdot 3,0}{3680 \cdot 60 \cdot 100} = 0,2660 \text{ грн.},$$

$$B_a^{\text{пр}} = \frac{265605 \cdot 15 \cdot 1,5}{3680 \cdot 60 \cdot 100} = 0,2707 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків зводимо до табл. 4.5.

Таблиця 5.5

Експлуатаційні витрати (собівартість обробки)

№ п/п	Експлуатаційні витрати	Умовне познач.	Варіанти	
			Базовий	Проектний
1.	Заробітна плата основна, додаткова з відрахуваннями у соціальні фонди	B_z	5,8757	2,6441
2.	Силовa електроенергія	$B_{ел}$	0,2261	0,1055
3.	Допоміжні матеріали	$B_{ом}$	0,3180	0,1590
4.	Ремонт обладнання	B_p	0,1152	0,0576
5.	Утримання приміщення	B_{yn}	0,0741	0,0371
6.	Амортизація обладнання	B_a	0,2660	0,2707
Загальна сума		B_e	6,8751	3,2740

5.5. Розрахунок показників економічної ефективності

Річний економічний ефект від проведеної модернізації розрахуємо за формулою:

$$E_p = (B_e^{\text{баз}} - B_e^{\text{пр}}) \cdot N_d - E_n \cdot K_d, \quad (5.17)$$

де N_d – річна програма випуску деталі на модернізованому верстаті, шт.;

K_d – додаткові капітальні витрати, грн.

$$K_d = B_{нк} + B_m + \Phi_{\text{бал.пр}} \cdot Q_{\text{пр}} - \Phi_{\text{бал.б}} \cdot Q_b, \quad (5.18)$$

де $B_{нк}$, B_m – відповідно вартість конструкторської та технологічної підготовки модернізації, грн.

$\Phi_{\text{бал.пр}}$, $\Phi_{\text{бал.б}}$ – відповідно балансова вартість верстатів у проектному та базовому варіантах, грн.;

$Q_{\text{пр}}$, Q_b – потреба у верстатах відповідно в проектному і базовому варіантах.

Потребу в обладнанні визначаємо за формулою:

$$Q_p = \frac{N_d \cdot T_{\text{нор}}}{F_{\text{дрм}} \cdot 60 \cdot \kappa_g}, \quad (5.19)$$

де κ_{ϵ} – коефіцієнт виконання норм (за даними підприємства).

Так потреба в проектному варіанті:

$$Q_{p.пр} = \frac{18000 \cdot 1,5}{3680 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,12;$$

$$K_d = 58035 + 66387 + 265605 \cdot 1 - 133875 \cdot 1 = 256152 \text{ грн.}$$

$$E_p = (6,8751 - 3,2740) \cdot 18000 - 0,16 \cdot 256152 = 23840 \text{ грн.}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K_d}{(B_{\epsilon}^{баз} - B_{\epsilon}^{пр}) \cdot N_d}, \quad (5.20)$$

$$T_{ок} = \frac{256152}{(6,8751 - 3,2740) \cdot 18000} = 4,0 \text{ роки}$$

У підсумку складаємо зведену таблицю техніко-економічних показників проекту (табл. 5.6).

Таблиця 5.6

Підсумкові техніко-економічні показники базового та проектного варіантів

№ п/п	Показники	Оди- ниця	Базовий варіант	Проект	Зміна, % (+,-)
1.	Потреба у верстатах	шт./рік	1	1	—
2.	Програма виробництва деталей	шт./рік	18000	18000	—
3.	Штучний час обробки деталі	хв.	3,0	1,5	–50,0
4.	Оптова ціна верстата	грн.	112500	—	—
5.	Виробнича собівартість модернізації	грн.	—	131730	—
7.	Балансова вартість верстата	грн.	133875	265605	+98,4
8.	Собівартість одиниці обробки	грн.	6,875	3,274	–52,4
9.	Додаткові капітальні витрати у тому числі на конструкторську та технологічну підготовку виробництва	грн.	—	256152	—
10.	Строк окупності додаткових капітальних витрат	років	—	4,0	—
11.	Річний економічний ефект	грн.	—	23840	—

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Виконаний аналіз діючих конструкцій хонінгувальних верстатів вказує на зосередження виконавчих елементів на інструментальному шпинделі і надання хонінгувальні голови всієї гами рухів.
2. Запропонована конструкція верстатної системи передбачає диференціацію рухів між інструментальним та шпинделем виробу, що дало змогу спростити конструкцію виконавчих механізмів. Розподіл руху між виконавчими елементами верстатної системи дозволив ввести додаткові рухи колової та осьової осциляції, що дало змогу утворити складну траєкторію руху зерна хонінгувальної головки.
3. Синтезована конструкція хонінгувальної головки зі змінним розташуванням алмазно-абразивних брусків дозволяє підвищити ефективність процесу формоутворення макрорельєфу оброблюваної поверхні, а саме сітки слідів.
4. За результатами досліджень отримано залежність видалення матеріалу від швидкості різання. При різних показниках кута схрещування траєкторії слідів алмазно-абразивного бруска. В результаті при куті $\alpha=30^\circ$ крива має характер до показника 1. Далі ми можемо спостерігати низький зріст видалення матеріалу при куті $\alpha=45^\circ$, залежність на початку має напів синусоїдальний характер з перепадом в точці 0,8 далі спостерігається різкий зріст видалення матеріалу при $\alpha=60^\circ$ ми можемо спостерігати рівномірний зріст величини видалення матеріалу.
5. В результаті дослідження впливу швидкості різання на якість отриманої поверхні, а саме шорсткості. Було визначено, що оптимальним показником отриманої шорсткості поверхні в межах R_a можливо при середніх показниках осьової та тангенціальної швидкості в межах $R_{a\max} = 1$ мкм при черновому хонінгуванні. Не гірші показники якості поверхні отримуються при мінімальних показниках осьової та тангенціальної швидкості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бакуль В.Н. Алмазное хонингование. / В.Н. Бакуль, А.А Сагарда., И.Х Чеповецкий – Киев: Техника, 1966. – 37с.
2. .Медведев В.В. Отделочное хонингование / В.В. Медведев. – К.: Техніка, 1973. – 56 с.
3. Криворучко Д.В. Обработка сквозных глубоких отверстий - 8 квалитетов точности: проблемы и решения / Криворучко Д.В., Кожемякин С.В.// Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – Кіровоград: Випуск 13, 2003
4. Медведев В.В. Отделочное хонингование. / В.В. Медведев. – К. : Техника, 1973. – 56 с.
5. Патент на винахід UA 101565 C2, Україна, МПК МПК B23 D 77/00, B24B 33/00. Інструмент для алмазної або абразивної обробки отворів / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.04.2013. Бюл. №7.
6. Патент на винахід UA 101595 C2, Україна, МПК B23 D 77/00, B24B 33/00. Спосіб регулювання радіального розміру при обробці отворів та інструмент для його здійснення / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.04.2013. Бюл. №7.
7. Патент на корисну модель UA 76431 U МПК 2013.01 B24B 33/00 Спосіб адаптивного керування процесом хонінгування / Підгаєцький М.М., Щербина К.К. – Опубл. 10.01.2013 Бюл. №1.
8. Підгаєцький М.М. Адаптивне керування системами регулювання радіального розміру алмазно-абразивного інструменту // М.М.Підгаєцький, М.І. Черновол, К.К. Щербина // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/ Вип. 42 ч. I. – Кіровоград: КНТУ, 2012.
9. Підгаєцький М.М. Аналіз впливу попередньої макронерівності в процесі хонінгування прецензійних отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Конструювання,

виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин/ Вип. 26. – Кіровоград: КНТУ, 2013.

10. Підгаєцький М.М. Гідростатичний хон для обробки отворів малих діаметрів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Збірник наукових праць./ Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2012 - №53 с3-10.

11. Підгаєцький М.М. Динамічний аналіз традиційних систем регулювання радіального розміру в процесі хонінгування отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. – Хмельницький.: ХНУ 2014 - №3 (213) с.134-138

12. Підгаєцький М.М. Лінеаризація статичної характеристики дроселюючого гідророзподільна СРРР // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014.

13. Підгаєцький М.М. Особливості регулювання радіального розміру відділових різальних інструментів з допомогою оболонкової форми під дією гідростатичного тиску/ М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 24 Ч.2 – Кіровоград: КНТУ, 2011. – с. 136-140.

14. Підгаєцький М.М. Продукційний хонінгувальний верстат з адаптивно-програмним керуванням/ М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, О.В. Лобода // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 25 – Кіровоград: КНТУ, 2012.

15. Підгаєцький М.М. Утворення складної траєкторії руху зерна при хонінгуванні отворів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Чернігівського державного технологічного університету «Технічні науки», №3 (59), 2012 р.

16. Підгаєцький М.М. Хонінгування отворів великих діаметрів // М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, Л.В. Копосова // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузева машинобудування, автоматизація. / Вип. 25 – Кіровоград: КНТУ, 2012.
17. Підгаєцький М.М. Дослідження повздовжньої сталості пружно-гвинтового хону / М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина // Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Технології машинобудування. – Харків: НТУ «ХП», 2018. – №6 (1282). – С.8-12.
18. М.М. Підгаєцький, К.К. Щербина, В.А. Мажара, Т.В. Дяченко Динамічний аналіз традиційної кінцевої ланки хонінгувальної головки Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький ЦНТУ, 2019. – Вип.49. – С.194-200.
19. Подураев В.Н. Алмазное вибрационное хонингование отверстий в стальных закаленных деталях. / В.Н. Подураев, А.А. Суворов, В.И. Карпов // Сборник Синтетические алмазы в промышленности. Киев: Наукова думка, 1974, с.167-172.
20. Сагарда А.А. Алмазно-абразивная обработка деталей машин. / А.А. Сагарда, И.Х. Чеповецкий, Л.Л. Мишнаевский. – К.: Техника, 1974. – 180 с.
21. Чеповецкий И.Х. Алмазное хонингование термообработанных сталей / И.Х. Чеповецкий, И.Д. Кизиков, Ю.Э. Рыжов – Киев : Наука, 1988.
22. Чеповецкий И.Х. Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. / И.Х. Чеповецкий. – Киев: Наукова думка, 1978. – 228 с.
23. K. Scherbyna Mechanics of contact interaction of elastic helical hone and machining surface / K. Scherbyna // Вісник Хмельницького національного університету : Технічні науки. – Хмельницький: ХНУ, 2019. – №4 (275). – С.15-21.
24. К.К. Щербина, А.І. Гречка В.А. Мажара, Т.В. Дяченко Kinematics of cutting process while honing holes with a hone with variable geometry of sticks.

Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький ЦНТУ, 2020. – Вип.50. – С.194-200.

25. К.К. Щербина, М.М. Підгаєцький, В.А. Мажара, А.І. Гречка, Т.В. Дяченко Експериментальне дослідження деформації пружно-гвинтового хона. Центральнoукраїнський науковий вісник. Технічні науки - Кропивницький ЦНТУ. 2022. Вип. 5(36), ч. II. – С.31-38

26. Fritz Klocke Manufacturing processes. Grinding honing, lapping/ RWTH AACHEN University/ RWTH edition/ Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.

27. G.Flores. Honen von hochgenauen Steuerbohrungen mit ultraharten Schleifmitteln. IDR 18 (1984) Nr.2.

28. Haasis G. Honen mit Diamant-und CBN-Werkzeugen. VDI-Z. 120 (1978) 24, S.96-103.

29. Haasis G. Möglichkeiten der Optimierung beim Honen. Werkst. u. Betr. 108 (1975) 2, S. 95-107/

30. Haasis G. Neue technologische Gesichtspunkte beim Langhubhonen von Bohrungeg. Techn. Mitt. HdT. 71 (1978) 5, S. 253-262.

31. <http://www.sunnen.com/ProductDetails.aspx?ProductID=69&NavID=02>

32. Klink U., Floves G. Honen (Jahresübersicht). VDI 121 (1979) 10, S. 543-554.

33. Mit Honen die Umwelt schonen. Produktion. 2007, №37, s32.

34. Економічні та організаційно-планові розрахунки при обґрунтуванні доцільності розробки нових виробів //Укладачі: Журило І.В., Полтавець М.М. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 40 с.

35. Організація виробництва на промислових підприємствах: Навч. посібник / за ред. Ю.А. Єгупова. - Одеса: Автограф, 2004. - 436 с.