

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

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

**Удосконалення конструкції
токарно-револьверного верстата**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Грибок Назарій Олександрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Полінкевич Роман Миколайович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет **Транспорту та механічної інженерії**

Кафедра **Прикладної механіки та мехатроніки**

*Другий (магістерський) рівень
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»
Спеціальність 131 Прикладна механіка*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Р. РЕДЬКО

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Грибок Назарія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *«Удосконалення конструкції токарно-револьверного верстата»*, керівник кваліфікаційної роботи магістра Полінкевича Романа Миколайовича к.т.н., доц. каф. ПМіМ затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р., № 391/01-07
2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, технічна документація по токарно-револьверних верстатах, креслення вузлів токарно-револьверних верстатах, конструкторська документація, нормативні та патентні дані.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
1. Аналіз літературних джерел щодо використання токарно-револьверних верстатів. 2. Конструкторський розділ. 3. Розрахунковий розділ, в якому провести розрахунки основних елементів верстата для можливості досягнення поставленої мети. Висновки по роботі. Список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація. Загальний вигляд. Шпindelний вузол. Револьверна головка. Привід головного руху. Фіксатор.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

01.03.2025 р.

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальний розділ. Аналіз конструкції токарно-револьверних верстатів</i>	<i>25.09.2025р.</i>	
2.	<i>Конструкційний розділ</i>	<i>15.10.2025р.</i>	
3.	<i>Розрахунковий розділ</i>	<i>05.11.2025р.</i>	
4.	<i>Представлення роботи</i>	<i>01.12.2025р.</i>	
5.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Студент

(підпис)Грибок Н.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)Полінкевич Р.М.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Грибок Н.О. Удосконалення конструкції токарно-револьверного верстата.
– Рукопис.

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

Робота присвячена питанням модернізації вузлів токарно-револьверного верстата, зокрема, системи розмірного підналагодження. Було здійснено огляд стану, вивчено перспективні шляхи модернізації, а також визначено основні принципи та методологічні підходи для підвищення загального технічного рівня верстатів такого типу. Особливу увагу приділено розробці системи автоматичного розмірного підналагодження для токарно-револьверного обладнання. Розроблена графічна частина та технологічна документація.

Ключові слова: токарно-револьверний верстат, револьверна головка, різцетримач, оправка, черв'ячне колесо.

ANNOTATION

Hrybok N.O. Improving the design of a turret lathe. – Manuscript.

Master's thesis for the specialty "Applied Mechanics" in specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The work is devoted to the issues of modernization of turret lathe components, in particular, the dimensional adjustment system. A state review was carried out, promising ways of modernization were studied, and the main principles and methodological approaches for improving the overall technical level of machines of this type were determined. Special attention was paid to the development of an automatic dimensional adjustment system for turret lathe equipment. The graphic part and technological documentation were developed.

Keywords: turret lathe, turret head, tool holder, mandrel, worm wheel.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	11
1.1 Призначення та область використання.....	11
1.2 Особливості конструкцій вузлів токарно-револьверних верстатів...	11
1.3 Технічна характеристика досліджуваного верстата.....	21
РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	24
2.1 Загальні моменти модернізації токарно-револьверного верстата 1Г340.....	24
2.2 Основні вузли верстата для модернізації.....	24
2.3 Переваги та недоліки відомих конструкцій	26
2.4 Огляд відомих конструкцій пристроїв для модернізації токарно-револьверних верстатів.....	27
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	33
3.1 Розрахунок вузлів та механізмів токарно-револьверного верстату мод. 1Г340П.....	33
3.1.1 Опис конструкції коробки передач верстату.....	33
3.1.2 Перевірковий розрахунок клинопасової передачі з вихідного валу коробки швидкостей на шпindelю.....	34
3.2 Розрахунок жорсткості шпинделя.....	36
3.3 Розрахунок швидкохідності шпинделя.....	39
3.4 Обчислення зусилля на черв'яку приводу повороту револьверної головки.....	40
3.5 Розрахунок черв'ячної передачі фартуха револьверного супорта....	40
3.5.1 Розрахунок зубів черв'ячного колеса на контактну міцність.....	41
3.5.2 Розрахунок зубів черв'ячного колеса на попередження зламу.....	42

3.5.3	Перевірковий розрахунок черв'ячної передачі револьверного супорта.....	42
3.6	Розробка системи автоматичного розмірного підналагодження (САРП) ТРВ.....	45
3.6.1	Обґрунтування необхідності використання пристроїв розмірного підналагодження для підвищення точності обробки на ТРВ.....	45
3.6.2	Технічний опис системи автоматичного розмірного підналагодження ТРВ.....	47
3.6.3	Виконавчі пристрої для автоматичного розмірного регулювання ТРВ	53
3.6.4	Методика розрахунку різцетримачів із механізмами мікропереміщень	54
3.6.5	Опис дослідної конструкції різцетримача	58
3.6.6	Розрахунок дослідної конструкції різцетримача.....	60
	ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	62
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Перед верстатобудівною та інструментальною галузями стоїть завдання суттєвого підвищення технічного рівня й конкурентоспроможності продукції. Необхідно прискорено розвивати виробництво високопродуктивного та високоточного металообробного обладнання і спеціалізованого інструменту. Особливо важливу роль у підвищенні продуктивності обладнання та забезпеченні точності обробки деталей типу коротких тіл обертання відіграють токарно-револьверні верстати (ТРВ). Їх можливість розміщення великої кількості ріжучих інструментів, наявність додаткових пристроїв і спеціальних пристосувань значно скорочують допоміжний час. Крім того, поєднання різних етапів обробки, таких як обточування і свердління, зняття фасок і проточка, підрізання торців і обробка канавок, а також одночасна обробка кількох поверхонь, дає змогу суттєво зменшити основний час.

Висока жорсткість технологічної системи верстата та сучасні конструкції механізмів, які забезпечують індексацію інструменту під час зміни позицій револьверної головки (РГ) і зупинку супортів при досягненні кінцевих положень, гарантують стабільність діаметральних і осьових розмірів оброблюваних деталей. Робота на ТРВ не потребує високої кваліфікації токаря, а програмне управління створює сприятливі умови для багатOVERSTATного обслуговування. Такі верстати широко застосовуються в майже всіх галузях металообробної промисловості. Водночас вони найефективніші у дрібносерійному та серійному виробництвах, хоча практика свідчить, що в окремих випадках їх доцільно використовувати й у крупносерійному виробництві. Науково-технічний прогрес прискорює моральний знос засобів виробництва, викликаючи необхідність частої модернізації їх складових. Це суттєво впливає на вибір обладнання у виробничих процесах. Окрім традиційних критеріїв, таких як висока продуктивність і точність обробки, додалася ще одна важлива вимога – оперативне переналагодження. Саме ТРВ з їх змінними РГ, системами налагодження інструмента поза межами верстата та

механізмами розмірного підналагодження найкраще відповідають цим стандартам, забезпечуючи також можливість групового підходу до обробки деталей. У цій роботі проаналізовано конструктивні та технологічні заходи, які сприяють підвищенню технічного рівня ТРВ.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування та розробка конструктивних удосконалень токарно-револьверного верстата, спрямованих на підвищення його технологічних можливостей, точності обробки, надійності та продуктивності при збереженні або зниженні енергоємності та експлуатаційних витрат.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі:

1) Проаналізувати конструкцію та технічні характеристики верстата 1Г340П, визначити його сильні та слабкі сторони, типові несправності та обмеження.

2) Вивчити сучасні підходи до модернізації токарно-револьверних верстатів, включаючи застосування ЧПУ, новітніх приводів, систем охолодження, інструментальних блоків тощо.

3) Розробити конструктивні пропозиції щодо удосконалення окремих вузлів верстата.

4) Виконати інженерні розрахунки для підтвердження працездатності запропонованих рішень (міцнісні, теплові, кінематичні, динамічні).

5) Підготувати рекомендації щодо впровадження модернізованої конструкції в реальних умовах виробництва.

Об'єкт дослідження: Сам токарно-револьверний верстат 1Г340П, його механічні, кінематичні та динамічні вузли (револьверна головка, супорт, шпиндель, приводи, направляючі тощо).

Предмет дослідження: Конструктивні параметри, відкриті та приховані недоліки, можливості модернізації (зокрема жорсткість, приводи, точність позиціонування, система зміни інструментів), а також розробка і випробування удосконалень.

Методика дослідження:

Аналіз літератури.

Вивчення технічної документації на верстат 1Г340П (паспортні характеристики, інструкції). Аналіз наукових джерел щодо модернізації токарних верстатів, застосування нових приводів, систем ЧПУ, напрямних тощо.

Технічний аналіз і діагностика існуючої конструкції.

Геометричні та кінематичні характеристики. Визначення слабких місць: через вібрації, зношення направляючих, люфти, температурні зміни тощо. Конструктивне проєктування: Розробка варіантів модернізації окремих вузлів.

Інженерні розрахунки й аналіз.

Міцнісний аналіз (розрахунок на міцність, жорсткість) для модернізованих вузлів. Динамічний аналіз: дослідження вібрацій, власних частот.

Наукова новизна полягає у розробці системи автоматичного розмірного підналагодження (САРП) для токарно-револьверного обладнання. У цьому контексті було запропоновано принципово нове конструктивне рішення для різцетримача з інтегрованим пристроєм підналагодження, здійснено його детальне проєктне опрацювання та виконано всі необхідні розрахунки.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, які становлять суть магістерської роботи, висновки і рекомендації належать автору, який визначив мету і поставив задачі досліджень, провів весь комплекс досліджень щодо модернізації токарно-револьверного верстату.

Апробація отриманих результатів роботи. Основні положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на наукових семінарах кафедри прикладної механіки та мехатроніки, на V-й студентській науково-технічній конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”, 13 листопада 2025 р., ЛНТУ.

Публікації по роботі. Основні положення та результати магістерської роботи опубліковано у матеріалах і тезах V студентській науково-технічній

конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст роботи викладений на 66 сторінках машинописного тексту, ілюструється 25 рисунками та 1 таблицею. Список використаних джерел складає 32 найменування.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Призначення та область використання

Токарно-револьверний верстат із горизонтальною віссю револьверної головки моделі 1Г340П, призначений для високоточної обробки, виконує широкий спектр свердлильних, токарних (підточування, зенкерування, розточування, розгортання, відрізання) і різьбонарізних робіт (з використанням мітчиків, плашок в автоматичному циклі або через автоматичний пристрій для нарізання різьби). Верстат ефективно функціонує в умовах серійного та дрібносерійного виробництва. Поперечні операції, такі як підрізання торців, відрізання чи прорізання канавок, виконуються шляхом кругової подачі револьверної головки (РГ). Верстат випускається у двох варіантах: для роботи з матеріалами у вигляді прутків діаметром до 40 мм або для обробки штучних заготовок у трикулачковому патроні діаметром до 200 мм. Частота обертання шпинделя та параметри подачі регулюються безпосередньо з пульта управління. Однією з ключових переваг верстата є його швидке переналаштування, яке забезпечується використанням змінних шістнадцятипозиційних револьверних головок. Затиснення й подавання прутків, а також фіксація штучних заготовок здійснюються за допомогою гідравлічної системи. Допустимі коливання діаметра прутків становлять ± 1 мм, а заготовок – ± 3 мм. Верстат належить до класу точності П.

1.2 Особливості конструкцій вузлів токарно-револьверних верстатів

У цьому розділі розглядаються токарно-револьверні верстати (ТРВ) середнього типорозміру, однак усі наведені рекомендації, конструктивні особливості й запропоновані методики налагодження, спрямовані на досягнення максимальної ефективності використання обладнання, можуть бути

застосовані до будь-яких модифікацій і типорозмірів ТРВ. Основою нової серії автоматизованих ТРВ середнього класу є модернізована модель підвищеної точності – верстат 1Г340П, який має горизонтальну вісь обертання різального головки (РГ) (рис. 1.1). У порівнянні з попередньою моделлю 1К341 вона забезпечує низку переваг:

- збільшену потужність приводу головного руху до 6,2 кВт;
- підвищення кількості ступенів частот обертання шпинделя з 8 до 12;
- зниження температурних деформацій завдяки роздільній конструкції вузлів шпинделя, коробки швидкостей і коробки подач;
- відокремлення системи змащування від гідравлічної системи, що збільшує надійність і довговічність відповідальних елементів конструкції;
- нерухомий фартух револьверного супорта і симетричне розташування приводної рейки на салазках супорта по відношенню до напрямних станини, що усуває можливість перекосів супорта;
- швидкозмінну різальну головку, яка в поєднанні з пристроями для налаштування інструменту поза верстатом дозволяє значно зменшити час переналагодження;
- розширення технологічних можливостей завдяки введенню додаткового відрізного супорта, механізму затиску з двоопорною цангою, індикаторних упорів та інших механізмів, доступних за запитом замовника;
- підвищення рівня автоматизації завдяки додаванню пристрою для прискорених переміщень револьверного супорта, що спрощує процес управління верстатом;
- автоматичне відключення кругової подачі РГ;
- доповнення комплекту приладдя регульованими різцетримачами.

Дані вдосконалення значно покращують виробничу продуктивність та універсальність нового покоління токарно-револьверних верстатів.



Рисунок 1.1 – Загальний вид верстата мод. 1Г340П

На рисунку 1.2 представлено загальний вигляд верстата із зазначенням основних складових частин.

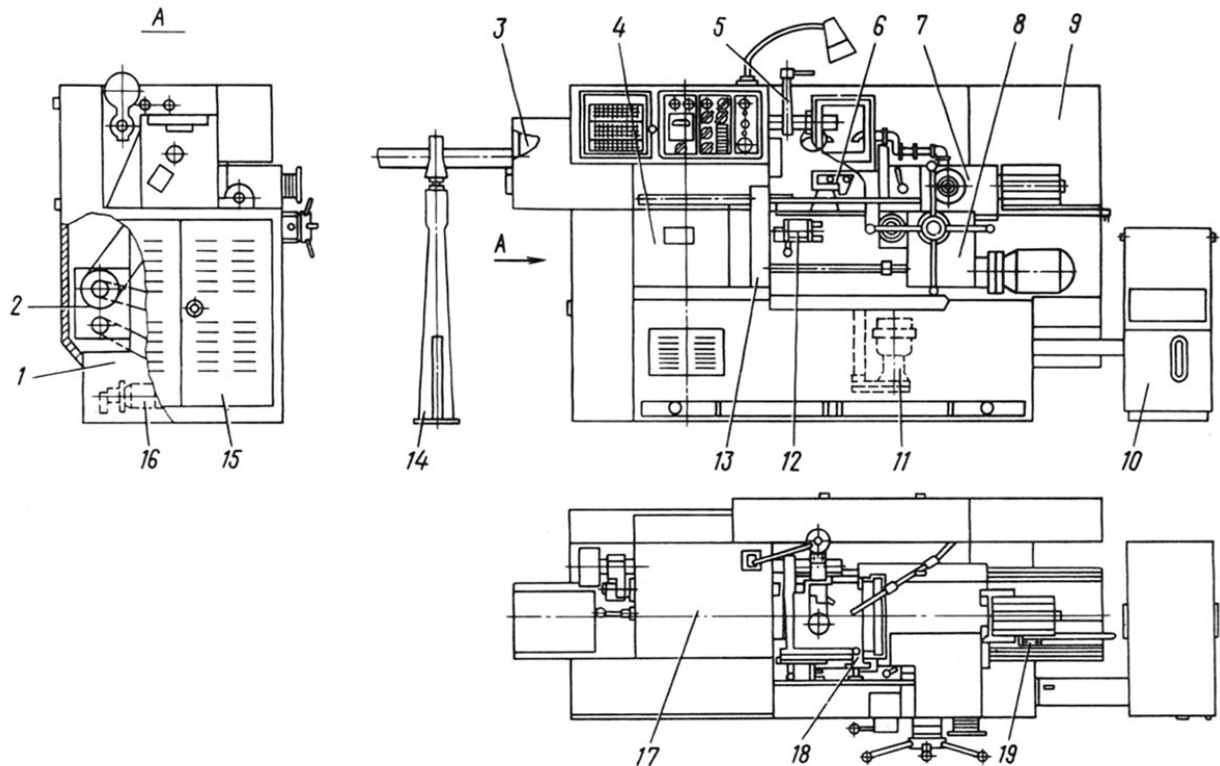


Рисунок 1.2 – Розміщення основних частин верстата

1 – станина; 2 – коробка швидкостей; 3 – механізм затиску та подачі матеріалу;
 4 – коробка подач; 5 – різьбонарізний пристрій; 6 – копіювальний пристрій;
 7 – револьверний супорт; 8 – фартух револьверного супорта;
 9 – електроустаткування; 10 – насосна установка; 11 – станція охолодження;
 12 – передній барабан упорів; 13 – редуктор; 14 – стійка; 15 – огороження;
 16 – мастильна станція; 17 – шпindelна бабка; 18 – упор обмеження повороту
 револьверної головки; 19 – відвідний упор.

Загальний вигляд верстата з позначенням елементів управління показано на рисунку 1.3. Нижче подано перелік органів управління.

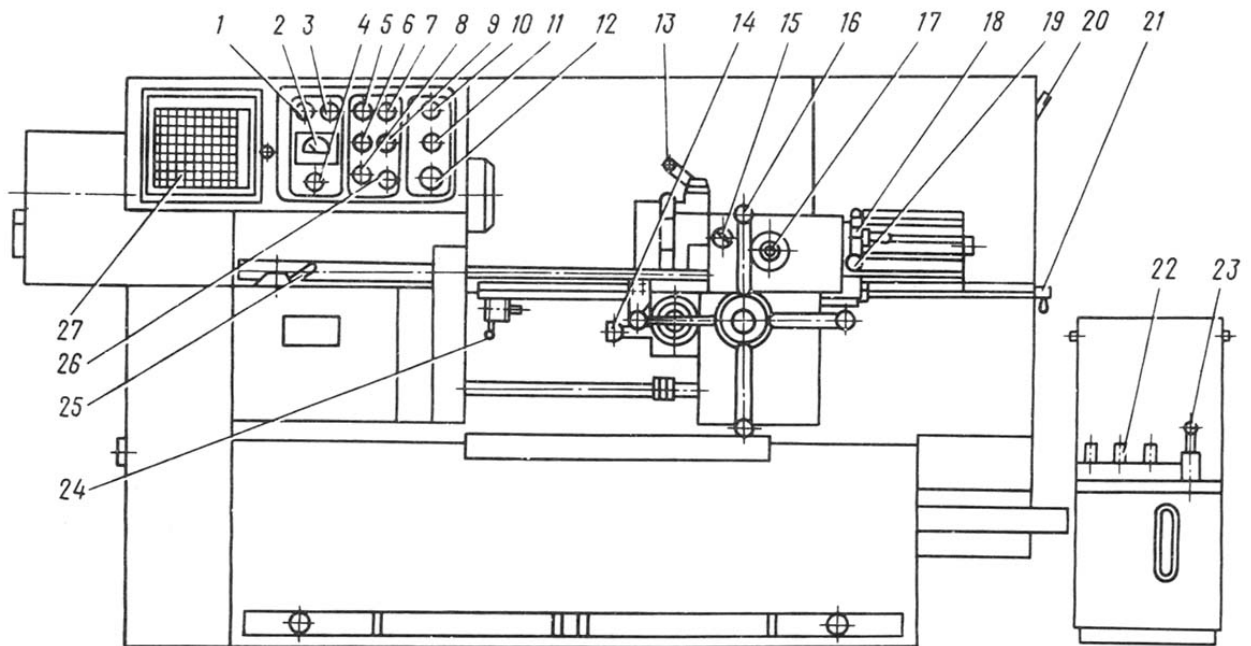


Рисунок 1.3 – Розміщення органів керування верстата

1 – сигнальна лампа "Верстат увімкнений"; 2 – амперметр "Показчик навантаження головного двигуна"; 3 – сигнальна лампа "Відсутність робочого тиску в гідросистемі та системі мастила"; 4 – кнопка "Пуск гідравліки та мастила"; 5 – рукоятка перемикачів режимів роботи "Ручне керування, Автоматичне керування"; 6 – рукоятка діапазонів частоти обертання шпинделя; 7 – перемикач "Затиск-розжим виробу"; 8 – рукоятка перемикачів частоти обертання шпинделя; 9 – рукоятка включення та вимкнення системи охолодження МОР; 10 – рукоятка пуску, гальмування та зупинки шпинделя; 11 – перемикач увімкнення реверсу шпинделя (зворотного ходу); 12 – кнопка „Аварійний стоп”; 13 – рукоятка фіксації та розфіксації револьверної головки; 14 – ручка включення та вимкнення механічної поздовжньої подачі револьверного супорта; 15 – кнопка увімкнення механічної поперечної подачі револьверної головки; 16 – рукоятка ручного поздовжнього переміщення револьверного супорта; 17 – маховик ручної поперечної подачі револьверної головки; 18 – маховик ручного прискореного повороту револьверної головки; 19 – рукоятка увімкнення реверсивного ходу поперечної подачі; 20 – рукоятка жорсткого упору для відключення поздовжньої подачі; 21 – золотник регулювання тиску олії в системі; 22 – манометр; 23 – манометр; 24 – рукоятка

підведення упорів барабана для відключення поздовжньої подачі;
 25 – рукоятка встановлення значення подач; 26 – перемикач установки величин
 подач; 27 – штекерна панель.

Особливістю конструкції верстата є наявність револьверного супорта, який відповідає за передачу робочих і допоміжних переміщень ріжучому інструменту, закріпленому в револьверній головці (РГ). Супорт забезпечує як поздовжні, так і поперечні (кругові) подачі РГ. Ці подачі можуть виконуватись автоматично за запрограмованим циклом або вручну. Змінна 16-позиційна револьверна головка 2 (рис. 1.4) встановлюється на конічну поверхню та торець зубчастого вінця 1.

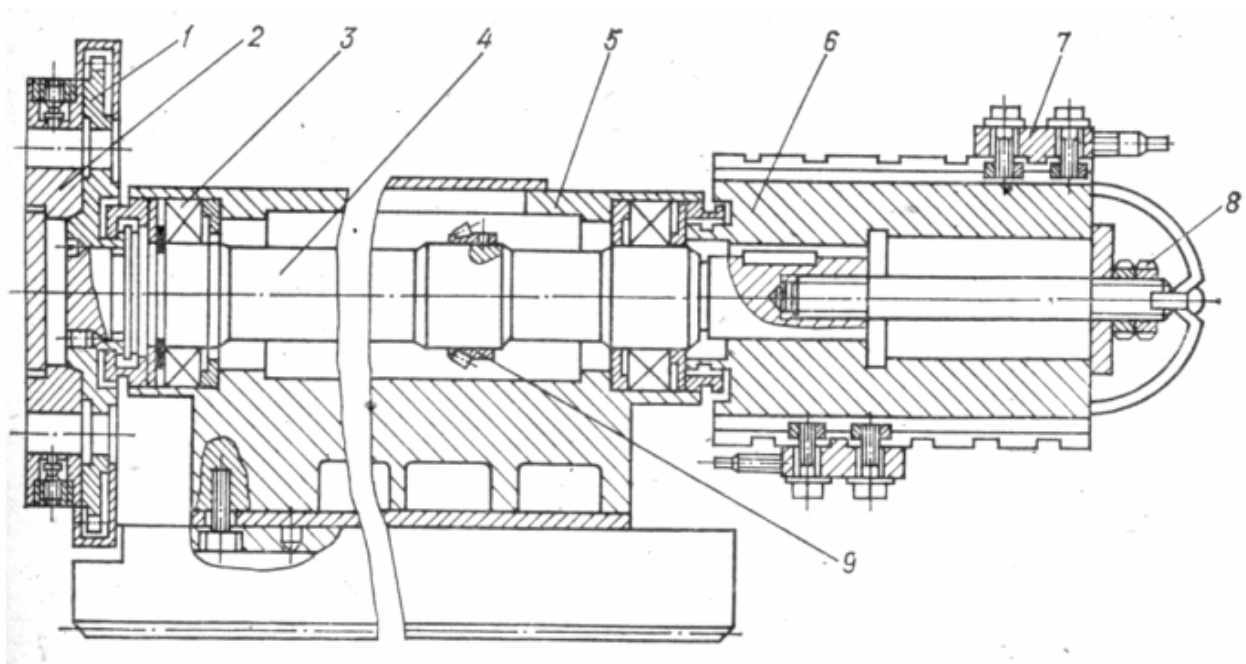


Рисунок 1.4 – Револьверна головка і барабан упорів

Зубчастий вінець нерухомо встановлений на валу РГ 4, який розташований у корпусі 5 на двох радіально-упорних підшипниках 3. Ці підшипники попередньо навантажені осьовою силою не менше 1,6 кН за допомогою гайок 8. На валу РГ також знаходиться барабан 6 жорстких упорів 7. Зубчасте колесо 9, яке кріпиться на валу РГ, з'єднується з колектором,

відповідальним за керування режимами різання. Фіксація РГ (рис. 1.5) здійснюється у кожній із 16 позицій за допомогою фіксатора(). Регулювання положення фіксатора проводиться за допомогою рукоятки() і пружини 2.

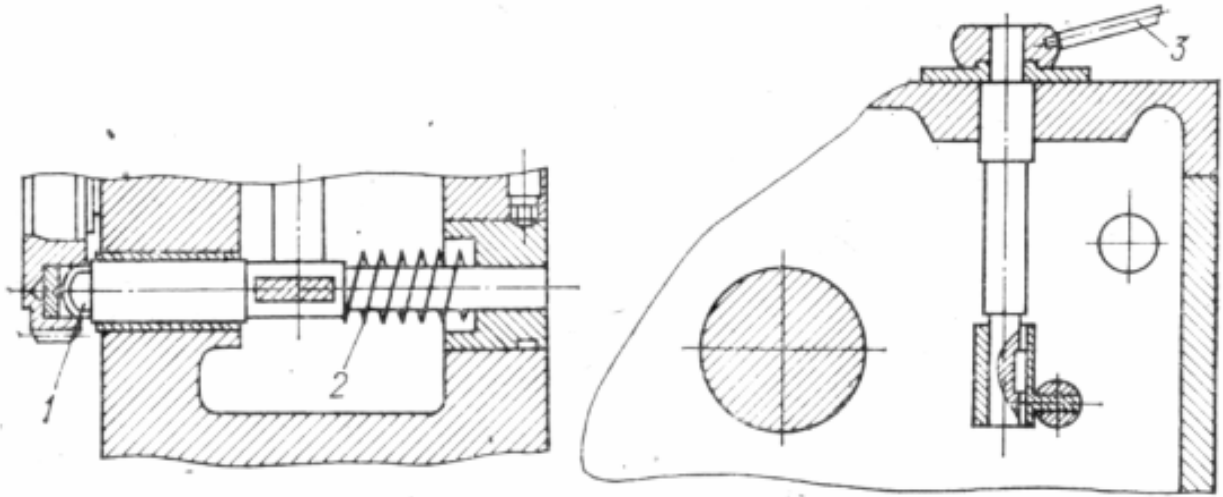


Рисунок 1.5 – Механізм фіксації револьверної головки верстата мод. 1Г340П

Кругове переміщення робочого органу (РГ) може здійснюватися вручну або автоматично. У ручному режимі (рис. 1.6, *a*) це відбувається за допомогою маховика 5, який передає обертання через циліндричну зубчасту передачу 6 і 4 на вал-шестерню 1, з'єднану із зубчастим вінцем РГ. Для автоматичної кругової подачі (рис. 1.6, *б*) обертання надходить від коробки подач верстата через ковзаючу муфту 1, далі через циліндричні зубчасті механізми 3 і 2, конічну передачу 4 і 8 (або 4 і 11) та зубчасту муфту 10, яка визначає напрямок обертання черв'ячного вала 9. Черв'як 14 передає обертальний момент на черв'ячне колесо 2 (рис. 1.6, *a*). У разі активації електромагнітної муфти 3 крутний момент надходить через вал-шестерню 1 безпосередньо до зубчастого вінця РГ.

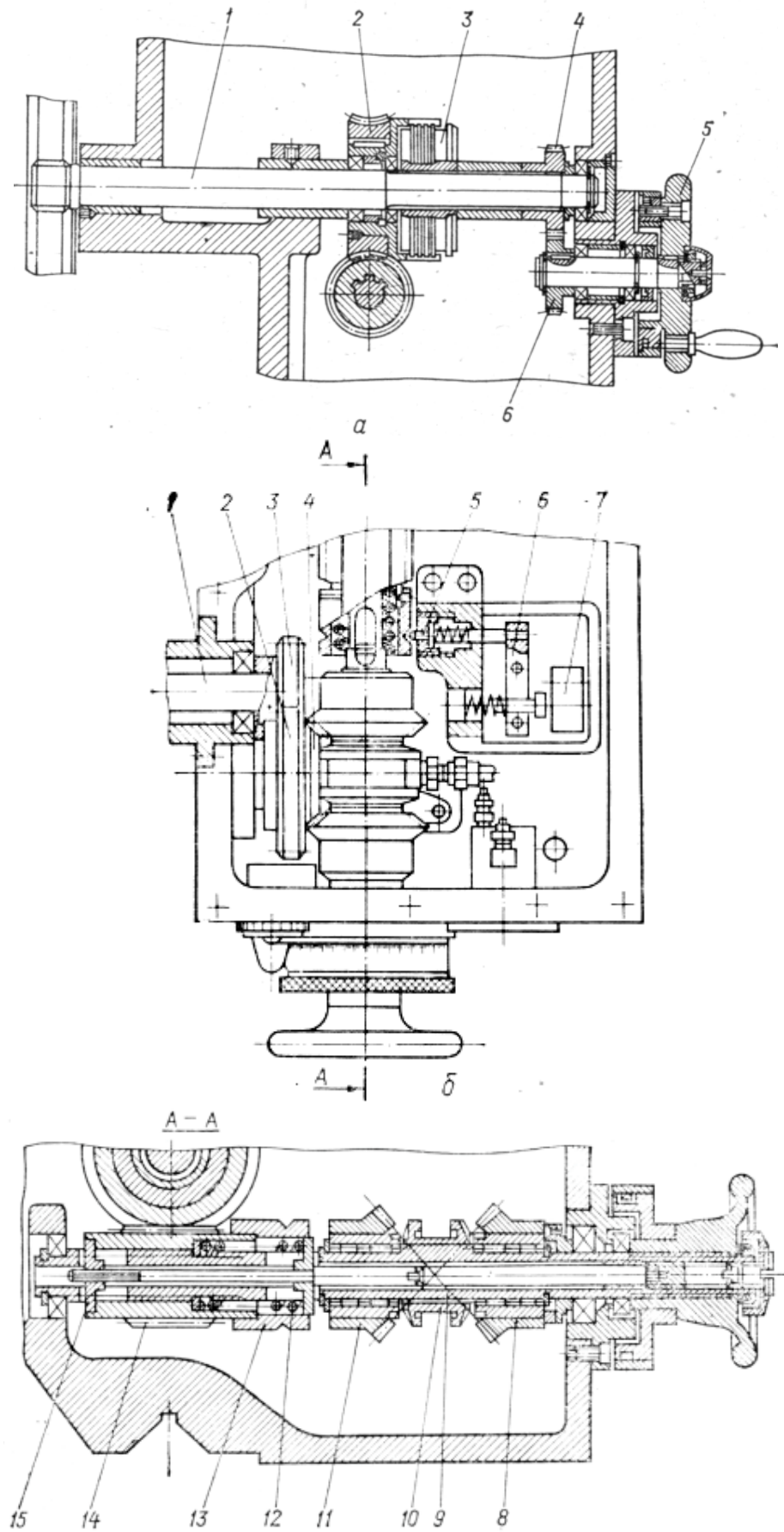


Рисунок 1.6 – Приводи ручного обертання (а) та автоматичної кругової подачі (б) револьверної головки верстата мод. 1Г340П

У конструкції супорта передбачено механізм автоматичного відключення кругової подачі різального інструмента на жорсткому упорі, що дозволяє досягати високої точності кінцевих положень. Коли РГ доходить до упору, припиняється обертання зубчастого вінця 1 (рис. 1.4), валу-шестерні 1 (рис. 1.6, б) і черв'ячного колеса 2. У цей момент черв'як 14 (рис. 1.6, б) продовжує обертатися, вигвинчується з нерухомого черв'ячного колеса та переміщується по шліцах валу 9, стискаючи при цьому пружину 12. Зусилля пружини регулюється гайкою 15. Втулка-кулачок 13, переміщуючись разом із черв'яком, за допомогою свого V-подібного паза натискає на штовхач 5, який через важільну систему 6 впливає на кінцевий вимикач 7. У результаті відбувається відключення електромагнітної муфти 3 (рис. 1.6, а), що зупиняє автоматичну поперечну подачу РГ. Механізм для відключення поздовжньої подачі супорта зображений на рис. 1.7. Корпус відвідного упору 1 може бути переставлений і закріплений у декількох положеннях уздовж станини залежно від довжини оброблюваної деталі. Упорний гвинт 4 барабана упорів револьверного супорта в кінці ходу впирається в планку 3. Якщо упор не використовується під час виконання роботи, планка може бути відведена за допомогою рукоятки 6 і зафіксована в робочому положенні кульковим фіксатором. Для регулювання моменту спрацьовування кінцевого вимикача 7, тобто моменту відключення автоматичної поздовжньої подачі через електромагнітну муфту, призначена втулка 5. Пружина 8 повертає упор 2 у вихідне положення. Під час переналаштування корпусу 1 необхідно також змінити положення втулки 5. Зазор між планкою 3 та корпусом 1 у вихідному положенні має становити від 2 до 3 мм.

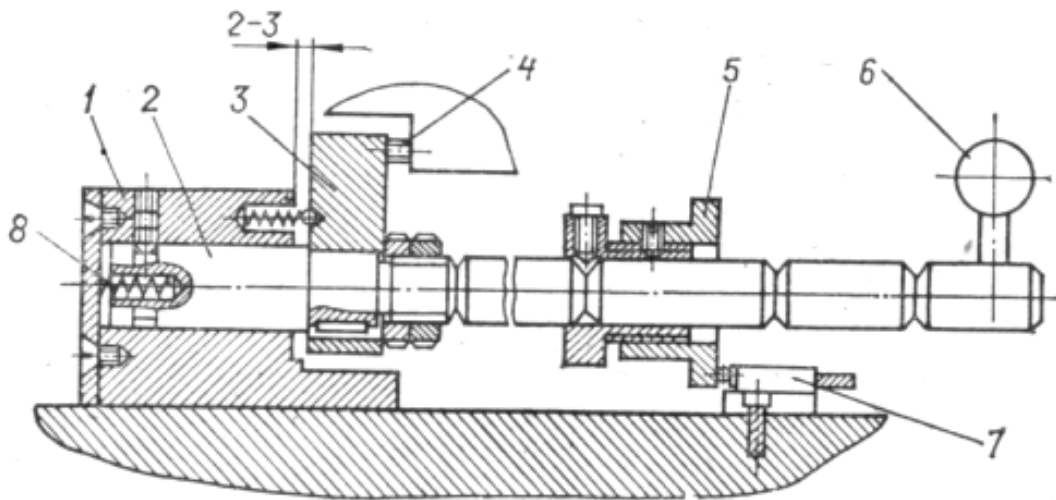


Рисунок 1.7 – Механізм відключення поздовжньої подачі
револьверного супорта верстата мод. 1Г340П

Механізм функціонує наступним чином. Коли супорт наближається до крайнього переднього положення, гвинт 4 барабана упорів впливає на планку 3, зміщуючи упор 2 вліво. Разом з упором переміщується і втулка 5, яка відходить від контакту з кінцевим вимикачем 7. Це призводить до активації команди, яка зупиняє поздовжню подачу супорта. Під час повернення супорта у вихідне положення (вправо) упор 2 під впливом пружини 8 повертається до початкового стану, а втулка 5, натискаючи на кінцевий вимикач 7, забезпечує готовність механізму до роботи в наступному циклі. Ключовим елементом шпиндельної бабки є шпиндель 1, який показано на рисунку 1.8. Він встановлений на роликовому дворядному підшипнику 2 і радіально-упорному підшипнику 3. Регулювання зазорів у цих підшипниках виконується шляхом підшліфовування компенсаторних елементів або за допомогою гайок 4 та 5 безпосередньо на заводі-виробнику. Змащування підшипників організовано краплинним способом. На шпиндель монтується маслопрвідна втулка 6, а також втулка 7, через отвори якої мастило подається безпосередньо до циліндра затиску.

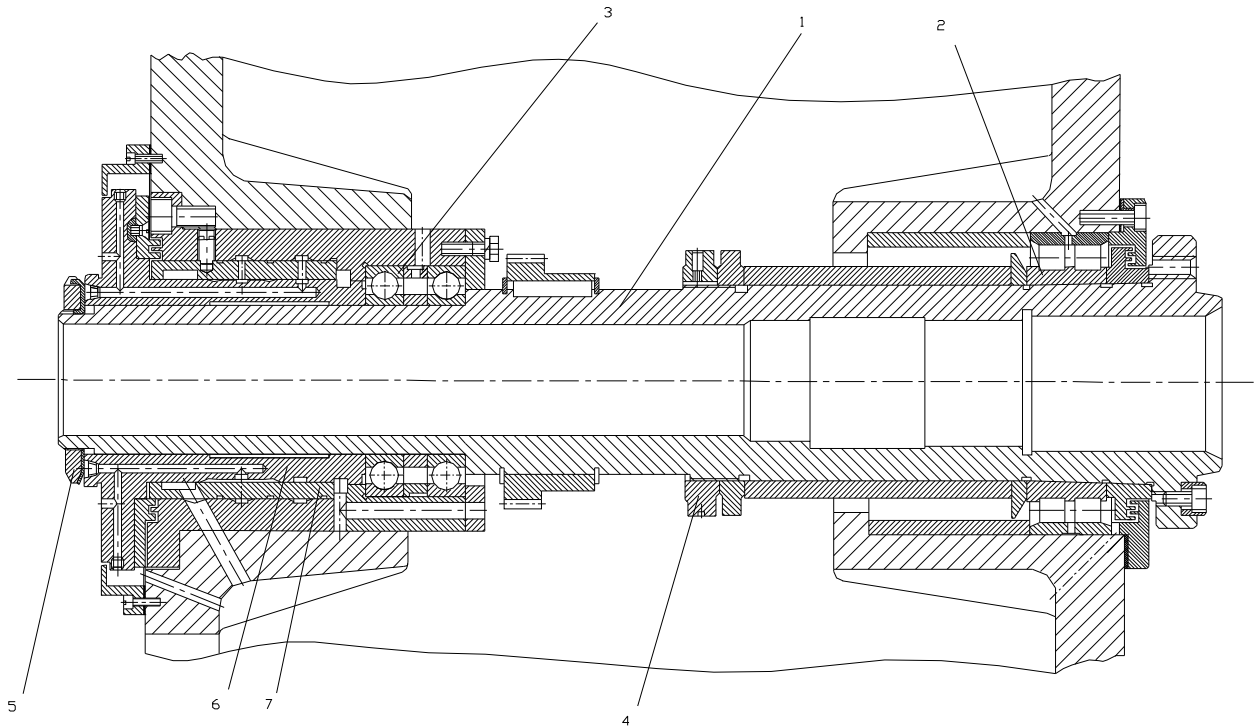


Рисунок 1.8 – Шпиндельний вузол

1.3 Технічна характеристика досліджуваного верстата

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика верстата мод. 1Г340П

Характеристика	Показник
Клас точності	П
Найбільший діаметр оброблюваного прутка, мм:	
із подаючою цангою	40
без подаючої цанги	55
Найбільший діаметр деталі, що обробляється в патроні, мм	200
Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над станиною, мм	400
Найбільша довжина прутка, мм	3000
Відстань від переднього торця шпинделя до револьверної головки, мм:	
найменша	82
найбільша	630

Відстань від низу основи верстата до осі шпинделя, мм	1060
Кількість частот обертання шпинделя (у двох автоматичних діапазонах):	
пряме обертання	12
зворотне обертання	6
Частота обертання, хв^{-1} :	
пряме обертання .	45...2000
зворотне обертання	45...250
Частота обертання шпинделя при швидкісному виконанні, хв^{-1}	56...2500
Кількість інструментальних отворів в револьверній головці	16
Діаметр інструментальних отворів в револьверній головці, мм	30H7 і 2отв. 40H7
Кінець шпинделя фланцевий	1-6М
Діапазон подач револьверного супорта, мм/об.	
поздовжніх	0,035-1,6
поперечних	-
Діапазон подач поперечного супорта, мм/об:	
подовжніх	-
поперечних	5- 600мм/хв
Діапазон кругових робочих подач револьверної головки, мм/об	0,02-1,0
Механізм головного руху:	
частоти обертання шпинделя в I діапазоні, хв^{-1} .	45, 90, 180, 355, 710, 1400
частоти обертання шпинделя в II діапазоні, хв^{-1}	63, 125, 250, 500, 1000,

	2000
Механізм подач:	
величини подовжніх подач в I діапазоні, мм/об	0,035; 0,067; 0,125; 0,236; 0,450; 0,850
величини подовжніх подач в II діапазоні, мм/об.	0,067; 0,125; 0,236; 0,45; 0,85; 1,6
величини поперечних подач у відношенні до подовжніх подач	1:2
Найбільше зусилля, що допускається механізмом подач, кгс:	
подовжніх	600
поперечних	300
Потужність головного приводу, кВт	6,0-6,2
Сумарна максимальна потужність електродвигунів, кВт	10,37
Габаритні розміри верстата, мм:	
довжина	2800
ширина	1200
висота	1400
Маса верстата, кг:	
без приладдя і електрообладнання	2500
з приладдям і електрообладнанням	3750

РОЗДІЛ 2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Загальні моменти модернізації токарно-револьверного верстата 1Г340

Даний верстат 1Г340 – токарно-револьверний, з горизонтальною віссю револьверної головки. Його револьверна головка має 16 гнізд для інструментів, що дає великі можливості для багатоінструментальної обробки. В ньому є як автоматичне, так і ручне управління: під час налагодження дрібної серії часто використовується ручне управління. Переміщення револьверного супорта: продольне (вздовж станини) і поперечне (кругова подача) – це передбачено конструкцією.

2.2 Основні вузли верстата для модернізації

Для модернізації даного верстата ми можемо звернути увагу на такі вузли (оснастка):

1. Пристрої для закріплення заготовки

Після підготовки верстата налагоджувач встановлює спеціальні приспособлення для фіксації заготовки (деталі). Це можуть бути кулачки, цанги, патрони тощо.

Для пруткових заготовок застосовуються цангові системи подачі та зажиму.

Гідравлічні механізми: на 1Г340 передбачено гідравлічний механізм подачі та зажиму заготовок.

2. Пристрої для ріжучих інструментів

Використовуються державки (державки для різців) – стандартні та спеціальні, які кріпляться в гніздах револьверної головки.

При необхідності заміни (переходу на інший тип обробки) застосовуються змінні револьверні головки, попередньо налаштовані з

інструментом. Це скорочує час наладки – можна заздалегідь підготувати головку з потрібною конфігурацією інструментів.

Для кругової (торцевої) обробки використовується передбачена кругова (поперечна) подача револьверної головки, що є частиною конструкції налаштування верстата.

3. Упори та налагодочні механізми

На верстаті присутній барабан упорів. Наприклад, при налаштуванні продольної подачі вручну використовують змінні упори, які встановлюються на барабані.

Обмежувачі (упори) для кругової подачі – в документації згадується “упор обмеження кругових переміщень” револьверної головки.

Механізм фіксації револьверної головки: після позиціонування головки він зафіксується (зубчастий вінець, механізми фіксації) для точного налаштування інструментів.

4. Заміна револьверних головок

Як уже згадано, змінні головки – важливий конструктивний елемент наладки. Якщо потрібно переналадити станок під інший набір інструментів або інший технологічний цикл, змінні головки дають значний вигравш за часом.

Підготовка змінних головок за межами верстата дозволяє паралельно виконувати наладку під час роботи іншої головки, що підвищує ефективність серійного виробництва.

5. Контрольні та налагодочні інструменти

При налагодженні використовуються пробні заготовки для перевірки параметрів обробки (геометрії, точності). Це стандартний підхід для револьверних станків.

Можливе встановлення спеціальних вимірювальних (налагоджувальних) упорів або шаблонів, які допомагають налаштувати положення інструментів відносно заготовки.

2.3 Переваги та недоліки відомих конструкцій налагоджувальних пристроїв на 1Г340

До переваг відомих конструкцій можемо віднести:

Швидка переналадка: змінні револьверні головки дозволяють зменшити час простою при переході на нову деталь.

Гнучкість інструментів: велика кількість гнізд (16) на револьверній головці дає змогу мати набір різних інструментів, включно з токарними, свердлами, мітчиками тощо.

Точність: за рахунок механізмів фіксації головки, упорів і ретельного налаштування інструментів можна досягти високої повторюваності обробки.

Ефективність: гідравлічні механізми зажиму та подачі прискорюють операції наладки, роблячи їх більш надійними.

До переваг відомих конструкцій можемо віднести:

Підготовка змінних револьверних головок вимагає окремого місця й обладнання (налагодочні столи, інструменти).

Механізми фіксації та упорів потребують точного налаштування, інакше може бути неточність, особливо при високій серійності або складній конфігурації інструментів.

При великих навантаженнях або зносу зубчастих вінців револьверної головки може знижуватись точність позиціювання.

Можливі підходи модернізації:

1. Модернізація головного руху та подач.
2. Модернізація фіксації та обертання револьверної головки (шпинделя).
3. Універсалізація функцій (комбінована обробка).
4. Розробка модернізованого шпиндельного вузла.
5. Автоматизація та ЧПУ.
6. Покращення безпеки та технологічної відповідності.

До недоліків конструкцій можемо віднести:

Кошторис модернізації: Замінити механіку – це завжди витратно. Кулькові гвинтові пари, двигуни з енкодерами, система ЧПУ – все це може значно підвищити вартість модернізації.

Інтеграція: Підключення нових приводів, систем керування до існуючої станини й механіки може вимагати глибокого інженерного проектування.

Технічні навички: Персонал повинен мати навички роботи з електронікою, ЧПУ, модернізованими вузлами.

Гарантія та надійність: Нові компоненти повинні бути надійними, особливо в умовах серійного виробництва. Потрібні випробовування, валідація точності, тестування на надійність.

2.4 Огляд відомих конструкцій пристроїв для модернізації токарно-револьверних верстатів

Різцетримач (рис. 2.1.) призначений для процесів обробки металів різанням і може знайти застосування, наприклад, у роботі токарних верстатів при виготовленні виробів з легкозаймистих сплавів (таких як металооптичні компоненти, поршні тощо). Основна мета винаходу полягає у розширенні функціональних можливостей шляхом збільшення діапазону переміщення державки з ріжучим інструментом і вдосконалення динамічних характеристик. Конструкція різцетримача передбачає наявність корпусу 1, який вміщує механізми у формі упорів 2 і 3. Упори жорстко з'єднані з пакетами п'єзоелементів 4 і 5, що виконують функцію переміщення державки 6, реалізованої у вигляді важеля, встановленого на валу 7. Вал закріплений у корпусі за допомогою підшипників. Упори контактують із планкою 8, встановленою на валу, через контактні точки, розміщені симетрично щодо осьової площини валу на відстані "e" від неї. Під час подачі управлінських напруг на пакети п'єзоелементів різного полярного знака один пакет стискається, а інший розширюється, що призводить до повороту важеля. Це забезпечує радіальне переміщення різця на відстань, яка перевищує амплітуду

зміщення пакетів п'єзоелементів у L/e разів. При зміні полярності напруги різцетримач переміщується у протилежному напрямку, що забезпечує високоточну контрольованість процесу.

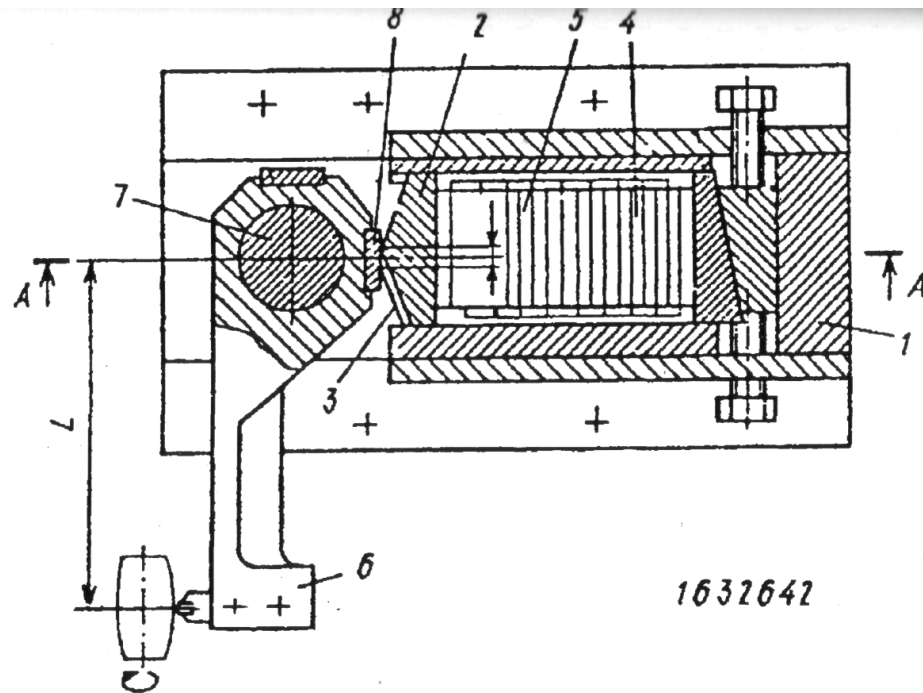


Рисунок 2.1 – Різцетримач

Розточувальна головка (рис. 2.2) є технічним рішенням у сфері металообробки різанням, призначеним для ефективної обробки отворів. Основна мета цього винаходу полягає у підвищенні надійності роботи пристрою завдяки усуненню ризику заклинювання під час експлуатації. Конструкція розточувальної головки включає корпус, ріжучі елементи, два колеса, ведучий елемент та відомий компоненти з різбовими сегментами, які забезпечують взаємодію з різбовими рейками. Для налаштування робочої ширини ріжучих елементів ведучий елемент обертається, послідовно активуючи свої різбові сегменти. Спершу взаємодія відбувається між сегментом і рейками першого колеса, а потім, із невеликим часовим відставанням, через кутове зміщення сегментів, з рейками другого колеса. Після цього решта рейок за допомогою різбових сегментів приводить в дію ведомі елементи, які, закручуючись у ріжучі деталі, здійснюють їх переміщення

та налаштування. Такий механізм роботи забезпечує високу точність і стабільність функціонування розточувальної головки.

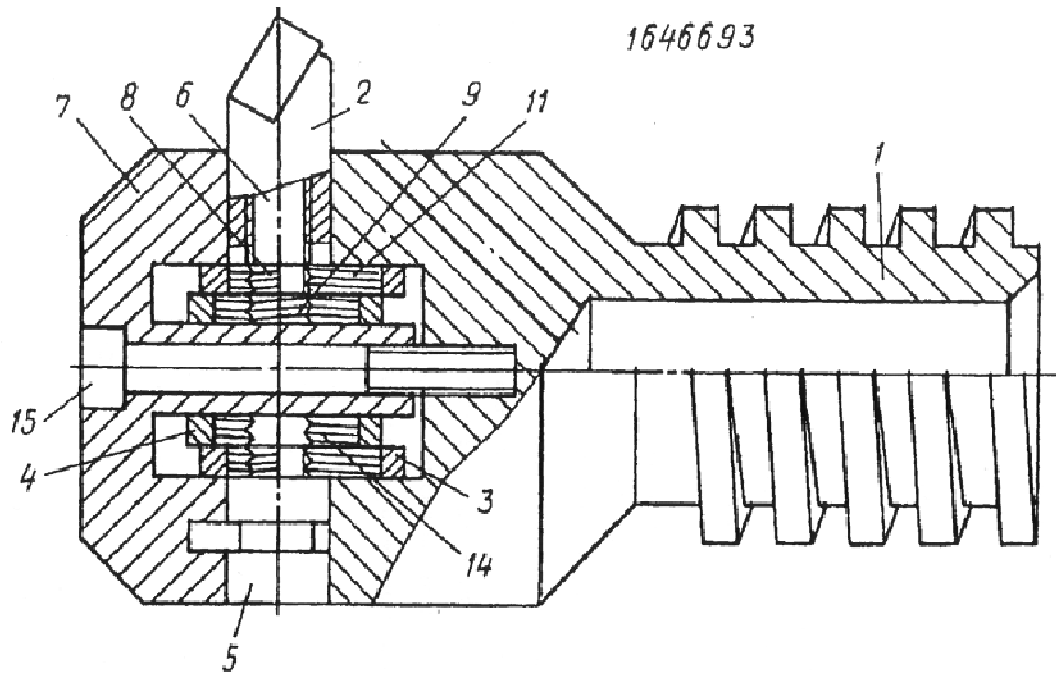


Рисунок 2.2 – Розточувальна головка

Дана розточувальна головка (рис. 2.3) є інноваційним пристроєм, що належить до технологій обробки металів шляхом різання і призначений для використання на верстатах із числовим програмним керуванням (ЧПУ). Основна мета розробки полягає у розширенні технологічних можливостей, що досягається завдяки здатності виконувати обробку фасонних поверхонь. В конструкції передбачено радіальний паз у корпусі (поз. 1), в якому розташована різцева державка 2. Її конструкція спирається на клинову поверхню тяги 3. Для закріплення використовується вузол, що включає деталі 9 і 10, встановлені на різьбовій частині підпружиненого штока 8. Цей вузол контактує з додатковою похилою поверхнею, виконаною на тязі 3 з протилежного боку від основної клинової поверхні, причому ця друга поверхня має свій кут нахилу $\delta_1 < \delta$. При заданих програмою лінійних переміщеннях тяги 3, згідно співвідношень, зазначених у технічному описі, здійснюється висунення різцевої державки 2 з ріжучим елементом. У процесі збільшення вильоту державки, внаслідок різниці між кутами δ і δ_1 , нахилу відповідних поверхонь, відбувається поступове

стиснення пружини 7. Це забезпечує підвищення жорсткості та вібростійкості всієї системи, що сприяє підвищенню ефективності і якості обробки деталей.

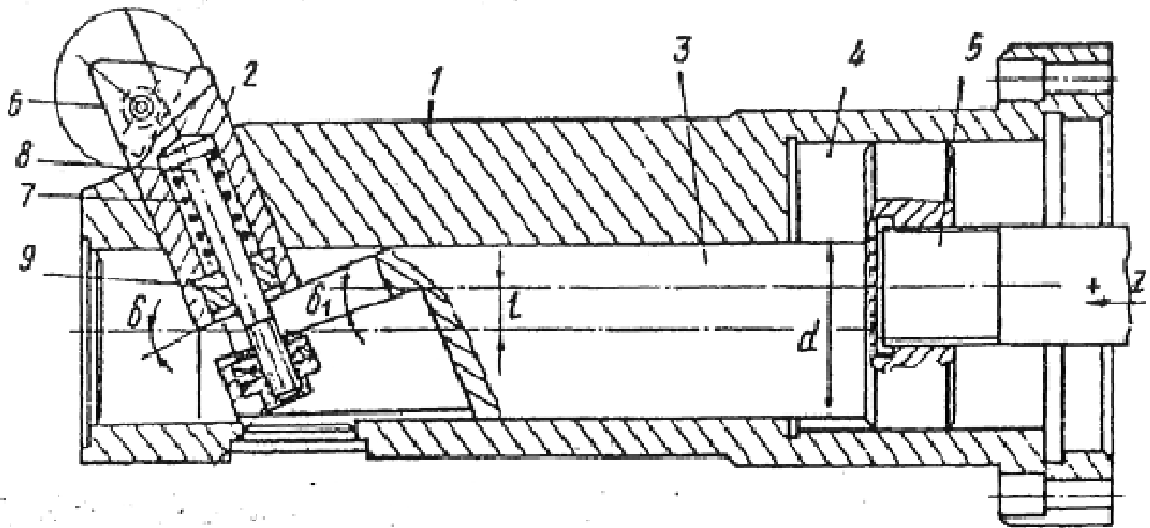


Рисунок 2.3 – Розточувальна головка

Пристрій для розточування та обробки плоских поверхонь з автоматичною подачею і відведенням (рис. 2.4) забезпечує точне переміщення каретки, яка тримає інструмент, за допомогою приводного гвинта. Привод цього гвинта включає щонайменше одне храпове колесо, яке приводиться в дію собачкою. При кожному оберті пристрою храпове колесо повертається на кут, що відповідає кроку між двома його зубами. Конструкція передбачає наявність двох окремих механізмів, кожен із яких складається з храпового колеса і собачки. Один механізм забезпечує рух каретки вперед, а інший відповідає за її зворотний хід. Крім того, у пристрої встановлений вузол коромисла, який керує роботою відповідного храпового механізму залежно від напрямку обертання пристрою. Така схема дозволяє оптимізувати процес обробки для досягнення максимальної ефективності та точності.

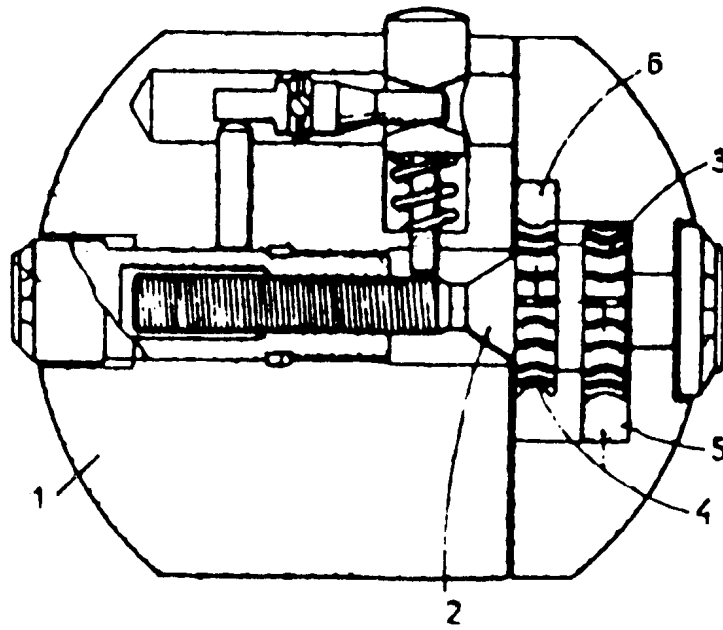


Рисунок 2.4 – Пристрій для розточування та обробки плоских поверхонь з автоматичною подачею та відведенням

Ріжучий інструмент (рис. 2.5) призначений для обробки матеріалів методом різання і має на меті покращення надійності кріплення ріжучої та опорної пластин завдяки збільшенню сили затиску. У державці міститься гніздо, в якому перпендикулярно одна до одної розташовані ріжуча пластина та опорна пластина. Їх закріплення здійснюється важелями, встановленими на осі. Робочі плечі важелів мають різну довжину та взаємодіють із отворами ріжучої та опорної пластин. Між іншими плечима важелів знаходиться кулька, яка контактує з торцем затискного гвинта, розташованого під певним кутом α до осі отвору ріжучої пластини. Співвідношення довжин плечей важелів визначається через відношення довжин за формулою $\arctg\alpha = H_1:H_2$. Закріплення обох пластин здійснюється одночасно при закручуванні гвинта, що призводить до повороту важелів і надійного утримання пластин у гнізді державки.

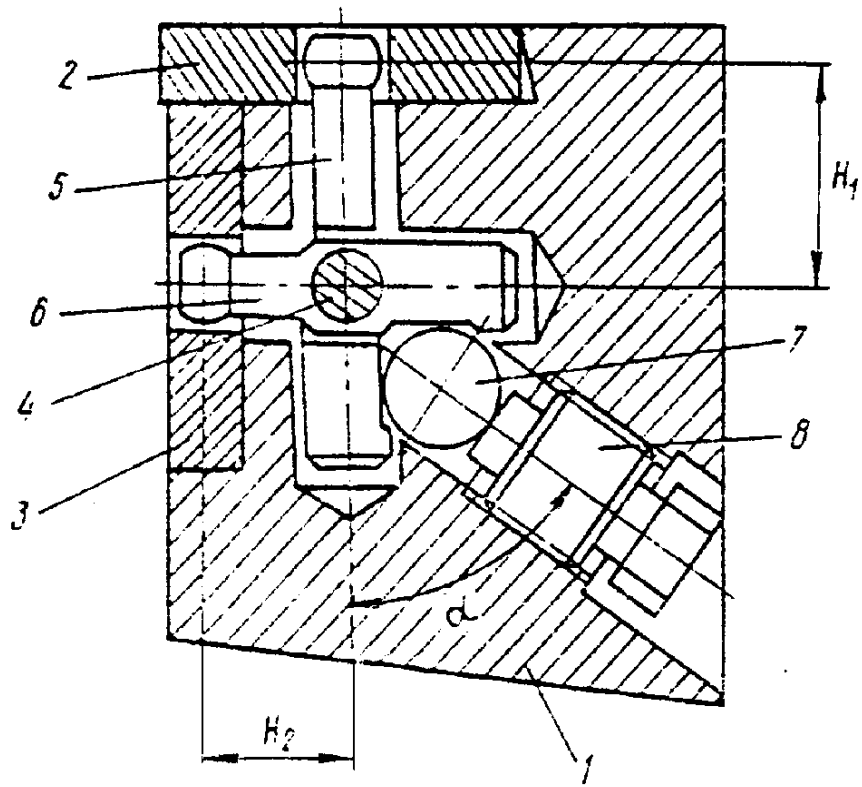


Рисунок 2.5 – Ріжучий інструмент

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок вузлів та механізмів токарно-револьверного верстату мод. 1Г340П

3.1.1 Опис конструкції коробки передач верстату

У токарно-револьверному верстаті моделі 1Г340П для регулювання чисел обертів шпинделя застосовується уніфікована коробка передач АКС-206 Д320 (рис. 3.1).

Особливістю конструкції коробки передач є її виконання відкритого типу, без бічних кришок, що дозволяє інтегрувати механізм у закриту порожнину.

Зв'язок між двигуном верстата та вхідним валом коробки передач забезпечується клинопасовою передачею, тоді як вихідний шків з'єднується зі шпинделем зубчастим пасом. У коробці передач передбачено шість електромагнітних муфт, які працюють в парному включенні, забезпечуючи шість ступенів чисел обертів на вихідному валу. Гальмування вихідного валу здійснюється шляхом активації двох муфт на ньому при одночасному відключенні решти муфт. При роботі з муфтами необхідно ретельно перевіряти їх коректне включення відповідно до заданих ступенів швидкості обертання.

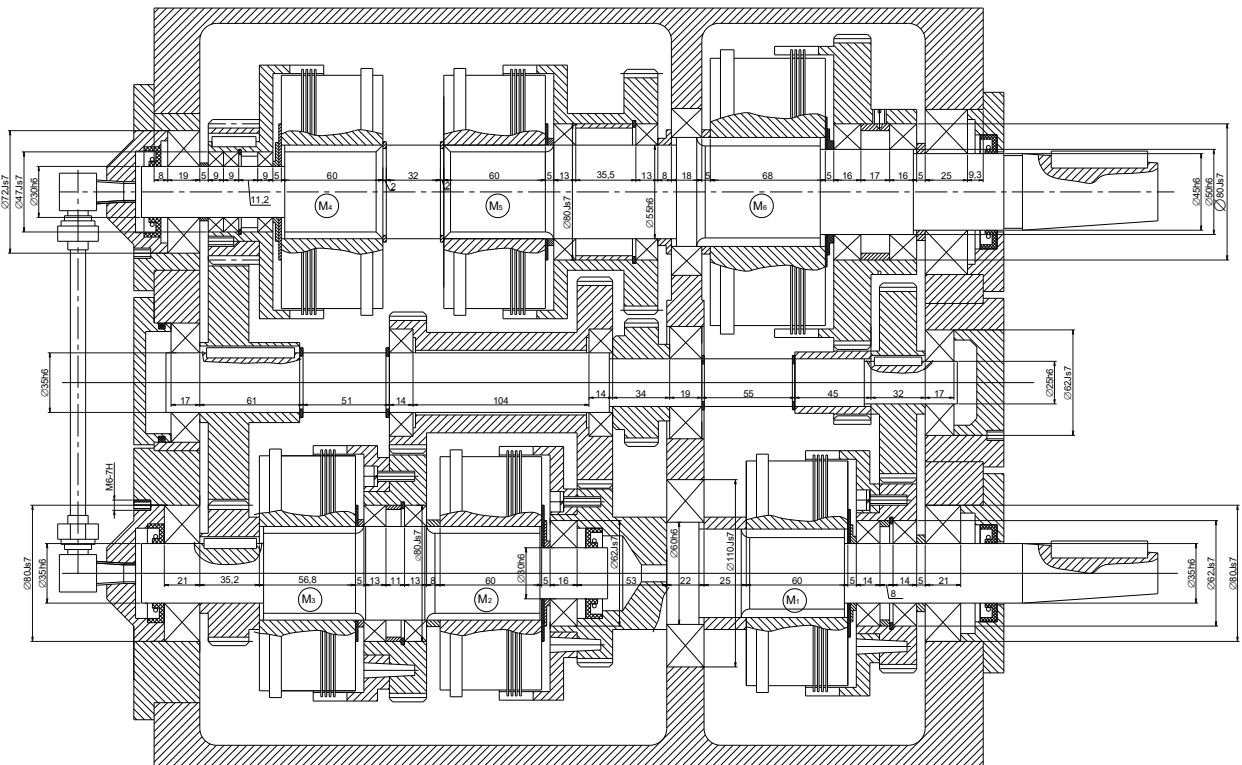


Рисунок 3.1 – Коробка передач верстата мод. 1Г340П

Особливу увагу варто приділити тому, щоб на вхідному валу одночасно не активувалися дві муфти. В уніфікованих коробках передач застосовуються стандартизовані електромагнітні муфти з магнітопровідними дисками та безконтактним струмопідводом типів ЕТМ104 і ЕТМ114. Ці муфти є безобслуговуваними і потребують лише періодичного змащування. Для їхньої роботи необхідно підключення до мережі постійного струму з напругою не меншою за 24 В.

3.1.2 Перевірковий розрахунок клинопасової передачі з вихідного валу коробки швидкостей на шпиндель

Потужність електродвигуна, $N=6,6$ кВт.

Потужність холостого ходу коробки швидкостей, $N=3$ кВт.

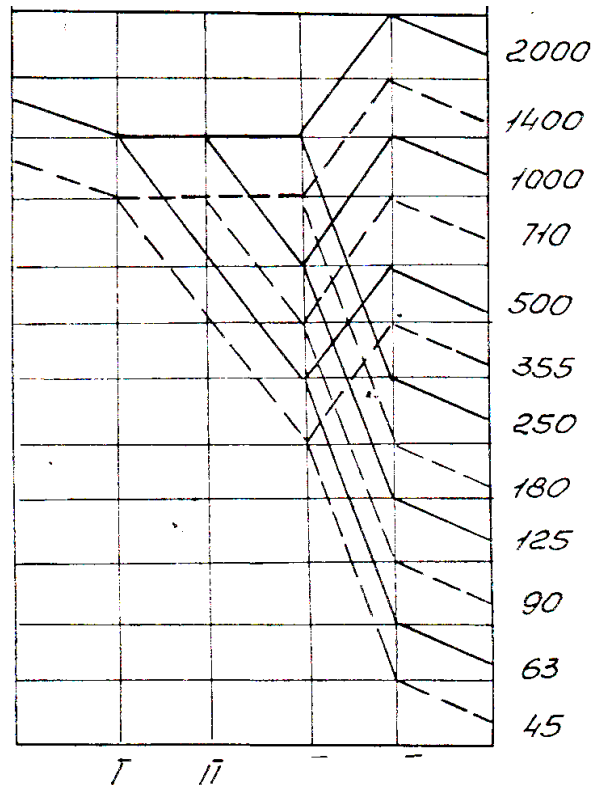


Рисунок 3.2 – Графік чисел обертів шпинделя

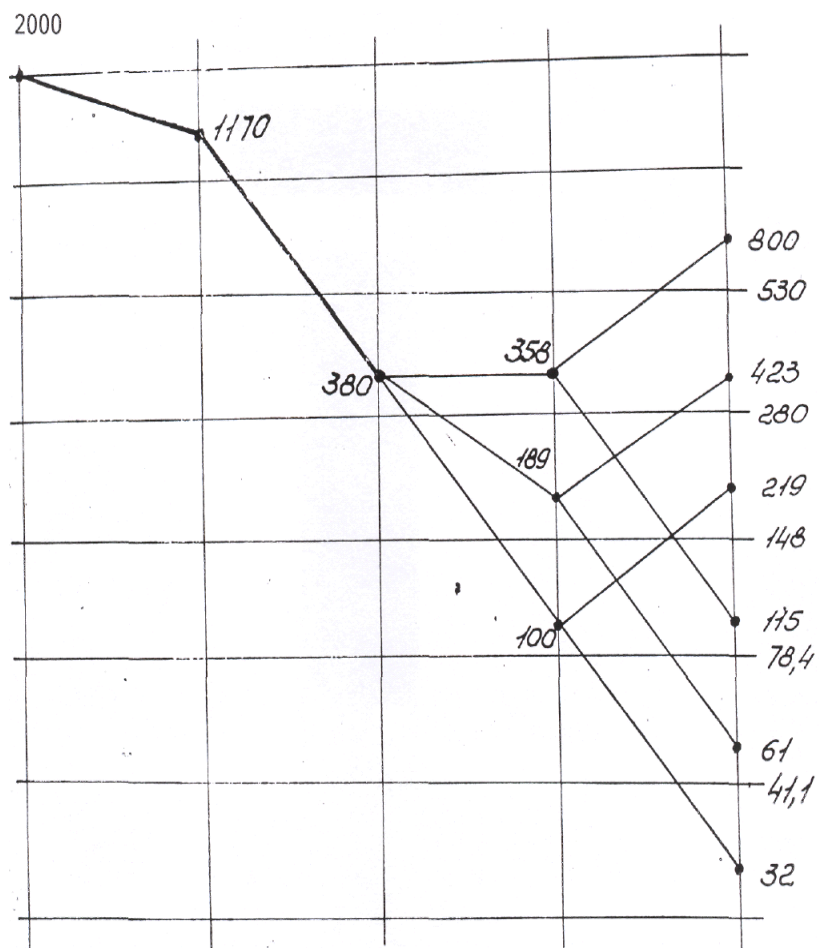


Рисунок 3.3 – Графік чисел обертів ходового валу коробки подач

Швидкість паса визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} = \frac{3,14 \cdot 224 \cdot 185}{1000 \cdot 60} = 2,2 \text{ м/с};$$

де d – діаметр шківів в мм,

n – кількість обертів шківів.

Передана потужність одним пасом типу "В" змінюється залежно від швидкості паса:

- при $V = 2$ м/с потужність становить $N = 1,03$ кВт;
- при $V = 3$ м/с потужність досягає $N = 1,4$ кВт;
- при $V = 2,2$ м/с потужність визначена як $N = 1,1$ кВт.

Для забезпечення передавання заданої потужності визначається потрібна кількість пасів. У процесі проектування прийнято використовувати 4 паси ($n = 4$). Передача руху з вихідного валу коробки передач здійснюється на вхідний вал коробки подач.

3.2 Розрахунок жорсткості шпинделя

Жорсткість шпинделя, приведена до кінця консолі, встановлюється з урахуванням радіальної пружності опор відповідно до наведеної формули (див. рисунки 3.4 та 3.5).

$$j_a = \frac{1}{e_a},$$

де

$$e_a = \frac{a^2 l}{3EI_l} + \frac{a^3}{3EI_a} + \frac{1}{j_B} \cdot \frac{(a+l)^2 + \frac{j_B}{j_a} \cdot a^2}{l^2},$$

Тут наведено наступні величини й позначення:

e_a – піддатливість шпинделя, розрахована на кінці консолі;

a – довжина консолі;

l – довжина прольоту;

I – еквівалентний момент інерції перетину шпинделя в області консолі;

I_l – еквівалентний момент інерції перетину шпинделя в зоні прольоту;

$E = 2 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності матеріалу;

Вихідні дані

Консоль:

$$d_{H1}=0,11\text{м}, \quad d_{H2}=0,107\text{м}, \quad d_{H3}=0,98\text{м}.$$

$$l_{H1}=0,765\text{м}, \quad l_{H2}=0,005\text{м}, \quad l_{H3}=0,108\text{м}.$$

$$d_{b1}=0,008\text{м}.$$

$$l_{b1}=0,19\text{м}.$$

Проліт:

$$d_{H1}=0,1\text{м}, \quad d_{H2}=0,105\text{м}, \quad d_{H3}=0,103\text{м}, \quad d_{H4}=0,11\text{м},$$

$$d_{H5}=0,107\text{м}, \quad d_{H6}=0,11\text{м}, \quad d_{H7}=0,107\text{м}, \quad d_{H8}=0,11\text{м}$$

$$l_{H1}=0,028\text{м}, \quad l_{H2}=0,065\text{м}, \quad l_{H3}=0,055\text{м}, \quad l_{H4}=0,037\text{м},$$

$$l_{H5}=0,005\text{м}, \quad l_{H6}=0,157\text{м}, \quad l_{H7}=0,005\text{м}, \quad l_{H8}=0,185\text{м}.$$

$$d_{b1}=0,063\text{м}, \quad d_{b2}=0,069\text{м}, \quad d_{b3}=0,705\text{м},$$

$$d_{b4}=0,07\text{м}, \quad d_{b5}=0,805\text{м}, \quad d_{b6}=0,09\text{м}$$

$$l_{b1}=0,181\text{м}, \quad l_{b2}=0,032\text{м}; \quad l_{b3}=0,067\text{м},$$

$$l_{b4}=0,054\text{м}; \quad l_{b5}=0,01\text{м}, \quad l_{b6}=0,215\text{м};$$

Консоль:

$$d_{HE} = 0,103 \text{ м}; \quad I_a = 3534 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Проліт:

$$d_{HE} = 0,109 \text{ м}; \quad d_{BE} = 0,068 \text{ м}; \quad I_l = 5822,19 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$e_a = \frac{0,19^2 \cdot 0,3655}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 5822,19 \cdot 10^{-9}} + \frac{0,19^3}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3534 \cdot 10^{-9}}$$

$$+ \frac{1}{300} \cdot \frac{(0,19 + 0,3655)^2 + \frac{300 \cdot 0,19^2}{1176,47}}{37,9^2} = 7,229 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мкм}}{\text{Н}};$$

$$j_a = \frac{1}{7,229 \cdot 10^{-3}} = 138,33 \frac{\text{Н}}{\text{мкм}}.$$

Таким чином отримуємо жорсткість на консолі $j_a=138,33 \text{ Н/мкм}$.

3.3 Розрахунок швидкохідності шпинделя



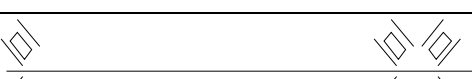

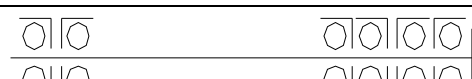
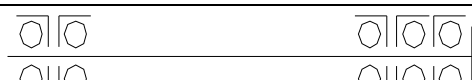

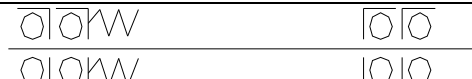
Тип опор шпинделя, який визначає форму посадочних місць, обирається на основі вимог до точності обробки та швидкохідності. Остання залежить від швидкісного параметра, що розраховується як добуток $d \cdot n$, виражений у $\text{мм} \cdot \text{хв}^{-1}$, де d – діаметр отвору під підшипник (мм), а n – частота обертання шпинделя (хв^{-1}).

Зважаючи на такі умови:

$d_A = 110$ мм – діаметр під підшипник в опорі А;

$d_B = 100$ мм – діаметр під підшипник в опорі В;

$n = 4000$ хв^{-1} – максимальна частота обертання шпинделя, можна розрахувати необхідні параметри:

Збільшення швидкохідності Зменшення жорсткості	№	Тип	Схема	$dn \cdot 10^5$ $\text{мм} \cdot \text{хв}^{-1}$	C
	1	Низькошвидкісні		1...1,4	0,65...0,75
	2			1,5...1,8	0,45...0,65
	3			1,6...2	0,3...0,45
	4	Середньошвидкісні		2,5...3,5	0,3...0,45
	5			3...4,5	0,2...0,3
	6	Високошвидкісні		4...5	0,15...0,2
	7			5...6	0,1...0,15
8			6...8	0,05...0,1	

$$A) D \cdot n = 110 \cdot 4000 = 4.4105 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1};$$

$$B) d \cdot n = 100 \cdot 4000 = 4.0105 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}.$$

Для вибору опори №6 були враховані її характеристики як середньошвидкісного підшипника кочення, базуючись на таблиці та необхідному швидкісному параметрі.

3.4 Обчислення зусилля на черв'яку приводу повороту револьверної головки

Зусилля, потрібне для забезпечення подачі з тяговим зусиллям $P_T = 1010$ кг, визначається за допомогою формули:

$$Q_T = \frac{2 \cdot M_{p.m.}}{d_{ч.к.} \cdot \eta \cdot i}$$

де: $M_{p.m.}$ – момент сили на рейковій шестерні;

$d_{ч.к.} = 10,2$ см – діаметр черв'ячного колеса;

i – передаточне число від рейкової шестерні до черв'ячного колеса;

η – коефіцієнт корисної дії приводу між рейковою шестернею та черв'ячним колесом;

$d_{p.m.} = 4,8$ – діаметр рейкової шестерні.

Розрахункова формула з уточненнями виглядає:

$$M_{p.m.} = \frac{P_T \cdot d_{p.m.}}{2} = \frac{10100 \cdot 48}{2} = 2424 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$i = \frac{72}{24} = 3; \quad \eta = \eta_{з.п.}^2 = 0.98^2 = 0,96;$$

де $\eta_{з.п.} = 0,98$ – коефіцієнт корисної дії зубчастих циліндричних передач.

Підставляючи всі значення, отримуємо остаточний результат:

$$Q_T = \frac{2 \cdot 2424}{0,102 \cdot 0,96 \cdot 3} = 1650 \text{ Н}.$$

3.5 Розрахунок черв'ячної передачі фартуха револьверного супорта

$Z_k = 34;$

Матеріал колеса: БРОЦБ-6-3 ДСТУ 3710:2016;

$$Z_ч=2;$$

$$m=3\text{мм};$$

$$Bk=28\text{мм};$$

$$L_ч=65\text{мм}; \quad \text{Матеріал черв'яка: Сталь 40 X, т.о. ТВЧ-48};$$

$$D_ч=51\text{мм};$$

$$Q=17;$$

$$\lambda = 6^\circ 42' 34'';$$

Розрахункове число обертів черв'ячного колеса:

$$n_k = n_{шпн} \cdot i_{шпн-ч.л.} \cdot i_{ч.л.}$$

де $i_{шпн-ч.л.}=0,352$ – передаточне відношення від шпинделя до валу черв'яка, що відповідає подачі $S=0,85$ мм/об;

$n_{шпн}$ – приймається рівним 1400 об/хв;

$$n_k = 1400 \cdot 0,352 \cdot \frac{2}{34} = 29 \text{ об/хв.}$$

Максимальний крутний момент розраховується виходячи з максимального крутного моменту на рейковій шестерні:

$$M_{р.ш.} = 2424 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_k = \frac{M_{р.ш.} \cdot 24}{72} = \frac{2424 \cdot 24}{72} = 808 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

де 72 і 24 – число зубів зубчастих коліс між валами рейкової шестерні і черв'ячного колеса;

$\eta = 0,9$ к.к.д. від рейкової пари до валу черв'ячного колеса.

Колова швидкість на черв'яку:

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n_k \cdot Z_k}{1000 \cdot 60 \cdot 2} = \frac{3,14 \cdot 51 \cdot 29 \cdot 34}{1000 \cdot 60 \cdot 2} = 1,3 \text{ м/с.}$$

3.5.1 Розрахунок зубів черв'ячного колеса на контактну міцність

Контактні напруження можуть бути розраховані з використанням спеціальної формули, яка дозволяє оцінити величину цього виду напружень, враховуючи різні фізичні параметри системи. Ця формула враховує силу взаємодії між контактуючими тілами, геометричні характеристики поверхонь

дотику, а також властивості матеріалів, з яких виготовлені ці тіла. Завдяки такому підходу можна отримати точну оцінку напружень, що виникають у зоні контакту, що є важливим для подальшого аналізу міцності та надійності конструкції.

$$G_k = \frac{1500}{a_k} \sqrt{\frac{M_k}{d}} \cdot K_k \cdot K_g;$$

де $K_k = 1 + \left(\frac{z_k}{\theta}\right)^3 \cdot (1 - M_p)$;

$$K_g = 1; \quad \theta = 178^\circ; \quad M_p = 0,25.$$

$$\text{Маємо: } K_k = 1 + \left(\frac{34}{178}\right)^3 \cdot (1 - 0,25) = 1,05;$$

Таким чином отримуємо:

$$G_k = \frac{1500}{102} \sqrt{\frac{80,8 \cdot 10^3}{51}} \cdot 1,05 \cdot 1 = 114 \text{ МПа},$$

що менше допустимих $[G]_k > G_k$, та рівні $[G_k] = 198 \text{ МПа}$.

3.5.2 Розрахунок зубів черв'ячного колеса на попередження зламу

Напруження згину розрахуємо за такою формулою.:

$$G_U = \frac{1,29 \cdot 880}{m \cdot d_k \cdot d \cdot y} = \frac{1,29 \cdot 80,8 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 10,2 \cdot 5,1 \cdot 0,403} = 16,6 \text{ МПа},$$

що значно менше допустимих $[G]_u > G_u$, які рівні $[G_u] = 52 \text{ МПа}$.

3.5.3 Перевірковий розрахунок черв'ячної передачі револьверного супорта

У револьверній головці, на діаметрі 200 мм, прикладено силу Р, яка становить 300 кг (рис. 3.6).

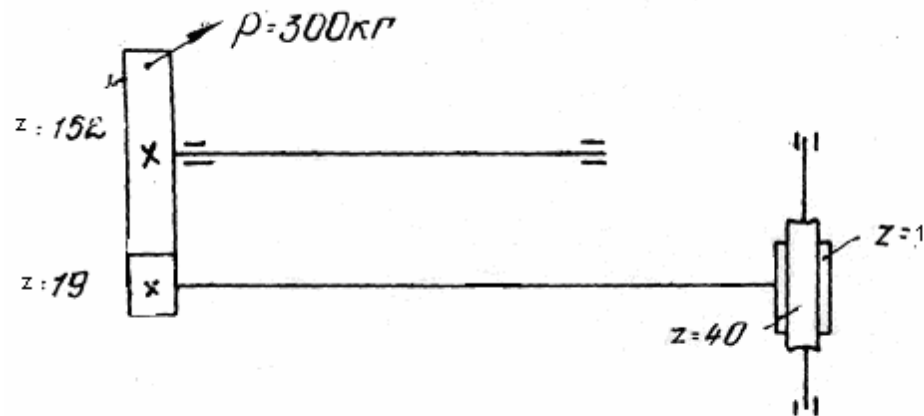


Рисунок 3.6 – Схема дії сил у револьверній головці

Розрахуємо крутний момент на револьверній головці за допомогою такої формули:

$$P = \frac{2M_{кр}}{D},$$

$$M_{кр} = \frac{P \cdot D}{2} = \frac{3000 \cdot 0,2}{2} = 300 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ознайомившись із величиною крутного моменту, який діє на револьверну головку, можна перейти до визначення крутного моменту, що передається далі на черв'ячне колесо. Цей процес враховує співвідношення передачі між елементами механізму, а також ефективність передачі, яка може залежати від тертя, геометрії зачеплення та інших конструктивних факторів. Підсумковий крутний момент на черв'ячному колесі є результатом динамічної взаємодії всіх цих параметрів, що забезпечує коректну і безперебійну роботу всієї системи в цілому.

$$M_{кр} = \frac{19}{152} \cdot 300 = 37,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вихідні дані:

$$m = 2 \text{ мм};$$

$$d_{в.к.} = 30 \text{ мм};$$

$$\lambda = 3^{\circ} 48' 51'';$$

$$q = 15;$$

$$z_k = 40;$$

$$\theta = 2\gamma = 180^{\circ}.$$

Напруження згину визначимо згідно формули:

$$G_u = \frac{600 \cdot M_k}{Z_k \cdot m^3 \cdot g \cdot y \cdot 2\gamma} = \frac{600 \cdot 37,5 \cdot 10^3}{40 \cdot 8 \cdot 15 \cdot 0,128 \cdot 180} = 21 \text{ МПа},$$

що менше допустимих $[G]_u > G_u$, та рівні $[G]_u = 55 \text{ МПа}$.

Контактні напруження визначимо згідно формули:

$$G_k = \frac{500}{m \cdot Z_k} \sqrt{\frac{M_k}{d_g \cdot 2\gamma}} = \frac{500}{2 \cdot 40} \sqrt{\frac{37,5 \cdot 10^3}{30 \cdot 180}} = 15 \text{ МПа},$$

що менше допустимих $[G]_k > G_k$, та рівні $[G]_k = 16 \text{ МПа}$.

3.6 Розробка системи автоматичного розмірного підналагодження (САРП) ТРВ

3.6.1 Обґрунтування необхідності використання пристроїв розмірного підналагодження для підвищення точності обробки на ТРВ

Аналізуючи питання підвищення точності обробки на токарно-розточувальних верстатах (ТРВ), виправдання необхідності застосування пристроїв розмірного підналагодження стає очевидним. Сучасні виробничі процеси вимагають високої точності та стабільності параметрів обробки, що безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Розмірне підналагодження дозволяє мінімізувати відхилення розмірів деталей та забезпечує дотримання заданих технічних характеристик. Використання таких пристроїв виконує кілька важливих функцій. По-перше, це дає змогу оперативно коригувати параметри обробки без необхідності тривалих зупинок обладнання, що особливо важливо у серійному або масовому виробництві. По-друге, завдяки автоматизованій або напівавтоматичній роботі таких систем зменшується людський фактор, який часто є причиною помилок. Нарешті, забезпечується можливість обробляти матеріали з різними властивостями, точно дотримуючись технічних вимог навіть у випадку складних конструктивних елементів. Отже, впровадження пристроїв розмірного підналагодження – це не просто модифікація технологічного процесу, а практична необхідність для досягнення оптимального балансу між

продуктивністю, точністю і якістю виробництва. Це інвестиція у скорочення браку, зниження витрат на переробку деталей і покращення загальної ефективності обробки на ТРВ.

Рівень похибок, що виникають під час обробки деталей на технологічному революційному верстаті (ТРВ), обумовлений численними факторами, які мають систематичний або випадковий вплив на технічну систему обладнання. Основними причинами систематичних похибок є термічні деформації, зношування компонентів технологічної системи верстата та ріжучого інструменту.

Випадкові похибки можуть з'являтися в результаті таких чинників:

- нестабільності затискної сили в патроні;
- неточності у фіксації робочих головок (РГ); наявності чи зміщень зазорів в опорах шпинделя, валів чи вузлів фіксації;
- неоднорідності матеріалу, що обробляється;
- змін у припуску заготовок;
- варіацій у жорсткості системи під час раптового збільшення навантаження (наприклад, під час багатофункціональної обробки) або змін у характері прикладеного навантаження;
- впливу зовнішніх факторів: ударів, вібрацій тощо.

Поліпшити точність обробки на ТРВ можна шляхом підвищення точності виготовлення окремих вузлів та збільшення їхньої жорсткості. Це також передбачає раціональний вибір режимів роботи й послідовності обробки деталей, оптимальне налаштування ріжучого інструменту та використання автоматизованих систем керування точністю обробки. Враховуючи широке використання автоматизованих ТРВ у дрібносерійному виробництві, де умови обробки часто змінюються, найбільш доцільним видається застосування систем управління точністю обробки.

Підналагоджувальні пристрої дозволяють компенсувати або стабілізувати систематичний вплив різних чинників на точність налаштування обладнання. Під час роботи на верстаті, оснащеному підналагоджувальними

пристроями, зазвичай здійснюється безперервний або періодичний контроль розмірів готових деталей. На основі отриманих даних видається команда на коригування налаштувань верстата, що забезпечує підтримання точності розмірів у допустимих межах. Необхідність створення автоматичних та ручних підналагоджувальних пристроїв для ТРВ пов'язана зі зростанням вимог до точності обробки, а також із збільшенням кількості поверхонь, що обробляються.

Унаслідок концентрації операцій використання ТРВ супроводжується певними труднощами, серед яких:

- потреба у тривалому підтриманні високої точності обладнання;
- трудомісткість процесів налаштування та переналаштування;
- необхідність зупиняти верстат для повторного налаштування;
- вищі вимоги до кваліфікації операторів і налагоджувальників;
- додаткові обмеження стосовно розсіювання параметрів заготовок і характеристик ріжучих інструментів;
- збільшення кількості операцій для забезпечення якості найвідповідальніших поверхонь.

Підналагодження ріжучого інструменту на токарно-револьверних верстатах (ТРВ) зазвичай здійснюється шляхом використання спеціального оснащення з механізмами для точного налаштування інструменту або шляхом корекції позиції робочих органів, які утримують інструменти, таких як супорти, револьверні головки (РГ) тощо.

Підналагоджувальні механізми можуть інтегруватися в систему позиціонування верстатів або ж виконуватися у вигляді окремих додаткових пристроїв, що встановлюються на вже працюючі верстати. Використання таких пристроїв на спеціалізованих верстатах не тільки підвищує точність обробки, але й сприяє зростанню продуктивності завдяки скороченню часу, затрачуваного на обслуговування обладнання.

Однією з ключових задач, пов'язаних із підналагодженням інструменту, є забезпечення точності малих переміщень у діапазоні 1-2 мкм разом із

необхідною жорсткістю передач. На практиці найбільш поширеними є механізми, побудовані за принципом пружного з'єднання елементів приводу малих переміщень. Вони гарантують високу точність позиціонування, адже мінімізують вплив зовнішнього тертя та зазорів.

Дослідження експлуатаційних характеристик ТРВ середнього типу, аналіз їх конструкції та характеристик оброблюваних деталей висвітлюють основні вимоги до автоматичних підналагоджувальних пристроїв. Вони мають забезпечувати:

- діапазон підналагоджувальних переміщень: 0-300 мкм;
- стабільність позиції вершини різця після налаштування з точністю 1-2 мкм;
- жорсткість системи не меншу за 15 Н/мкм;
- здатність переміщати вершину різця до та від деталі;
- можливість корекції положення в будь-якій заданій позиції револьверної головки;
- підналагодження мінімум у двох позиціях РГ під час обробки однієї деталі;
- відведення різця від поверхні деталі перед переміщенням револьверного супорта.

У окремих випадках також може знадобитися забезпечення можливості обробки деталей у зафіксованому положенні револьверної головки.

3.6.2 Технічний опис системи автоматичного розмірного підналагодження ТРВ

Для вивчення ефективності застосування розмірного коригування задля підвищення точності процесу обробки, в лабораторних умовах було розроблено та протестовано систему автоматичного розмірного коригування (САРП). Ця система реалізує управління за допомогою стабільних імпульсів переміщень ріжучого інструменту на основі верстата моделі 1Г340П. Загальна схема обробки деталей на токарно-револьверному верстаті (ТРВ) із використанням

САРП наведена на рисунку 3.7. Вона складається з таких елементів: вимірювального пристрою (ВП), відліково-командного пристрою (ВКП), проміжного блоку керування (ПБК), системи циклового програмного управління (ЦПУ), силового приводу для коригування супорта, а також різцетримача, обладнаного механізмом мікропереміщень (ММП).

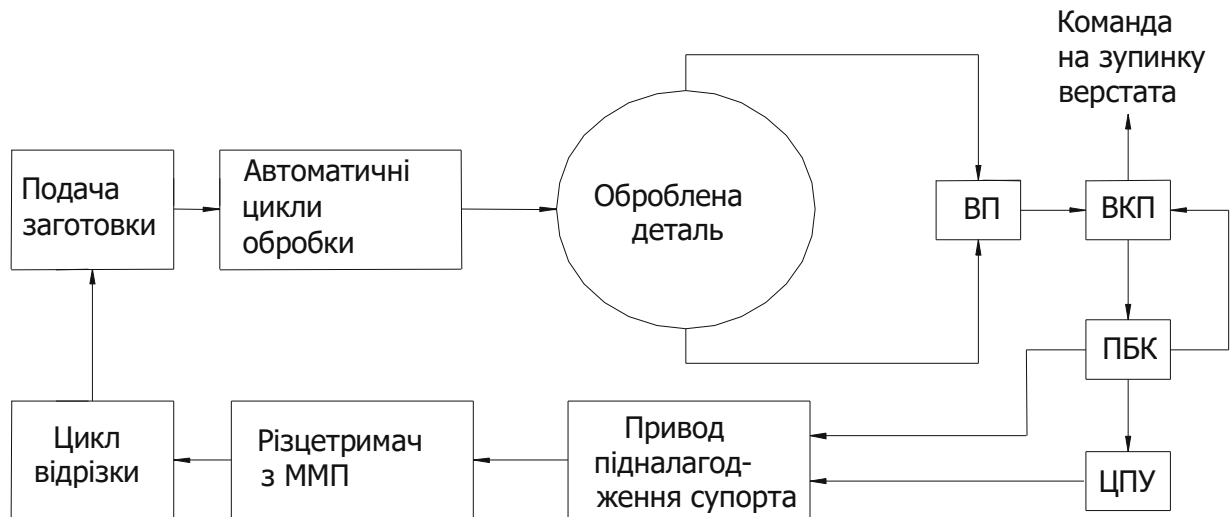


Рисунок 3.7 – Схема автоматичної обробки деталей на ТРВ з САРП

Для вимірювання параметрів заготовки використовується механічна двоконтактна скоба із плоскопаралельним переміщенням губок моделі БВ-3152. Цю скобу монтують на відрізному супорті верстата, налаштовуючи її під розмір оброблюваної деталі в межах від 10 до 80 мм. Для перетворення механічного сигналу, що виникає при зсуві губок, у пропорційний електричний сигнал застосовується індуктивний перетворювач марки БВ-6067.

Використовуваний вимірювально-контрольний пристрій (ВКП) виконує функції посилення та перетворення сигналів індуктивних датчиків у команди для автоматизації робочого циклу верстата. Пристрій генерує одну з п'яти дискретних команд залежно від величини виміряного параметра:

1. Деталь бракується через перевищення допустимого розміру;
2. Потреба в коригуванні в більшу сторону (плюс);
3. Розмір деталі відповідає допускам (придатна);
4. Потреба в коригуванні в меншу сторону (мінус);

5. Деталь бракується через недопустиме зменшення розміру.

Сформований перетворювачем сигнал слугує джерелом як аналогового сигналу для відображення на приладі, так і чотирьох дискретних команд для виконавчих механізмів верстата. Модернізований ВКП побудований на основі моделі БВ-6134-01 і має ціну поділки точної шкали в 1 мкм. Модернізація виконана за схемою, яка вже використовувалась у системах автоматизованого регулювання параметрів токарних автоматів багатопиндельного типу. Передавальний блок команд (ПБК), отримуючи дискретні команди від ВКП, включає електродвигуни приводу корекції та може вручну ініціювати коригування розмірів інструменту за допомогою кнопок.

Для забезпечення автоматичного контролю розмірів та коригування інструменту під час роботи верстата в режимі автоматизації в систему циклового програмного управління додано окремий елементарний цикл.

Привід коригування встановлено в револьверному супорті. Згідно з наведеними кінематичними схемами (рис. 3.8), він пов'язаний із приводом швидкого обертання револьверної головки (РГ). У супорті інтегровано керуючий вал, який співвісно з інструментальним отвором РГ знаходиться поза робочою зоною верстата. Один кінець валу взаємодіє із приводом коригування різцетримача, а інший з'єднаний з гідроприводом, який забезпечує зчеплення валу з механізмом різцетримача на початку коригування і повернення його у вихідне положення після завершення цього процесу.

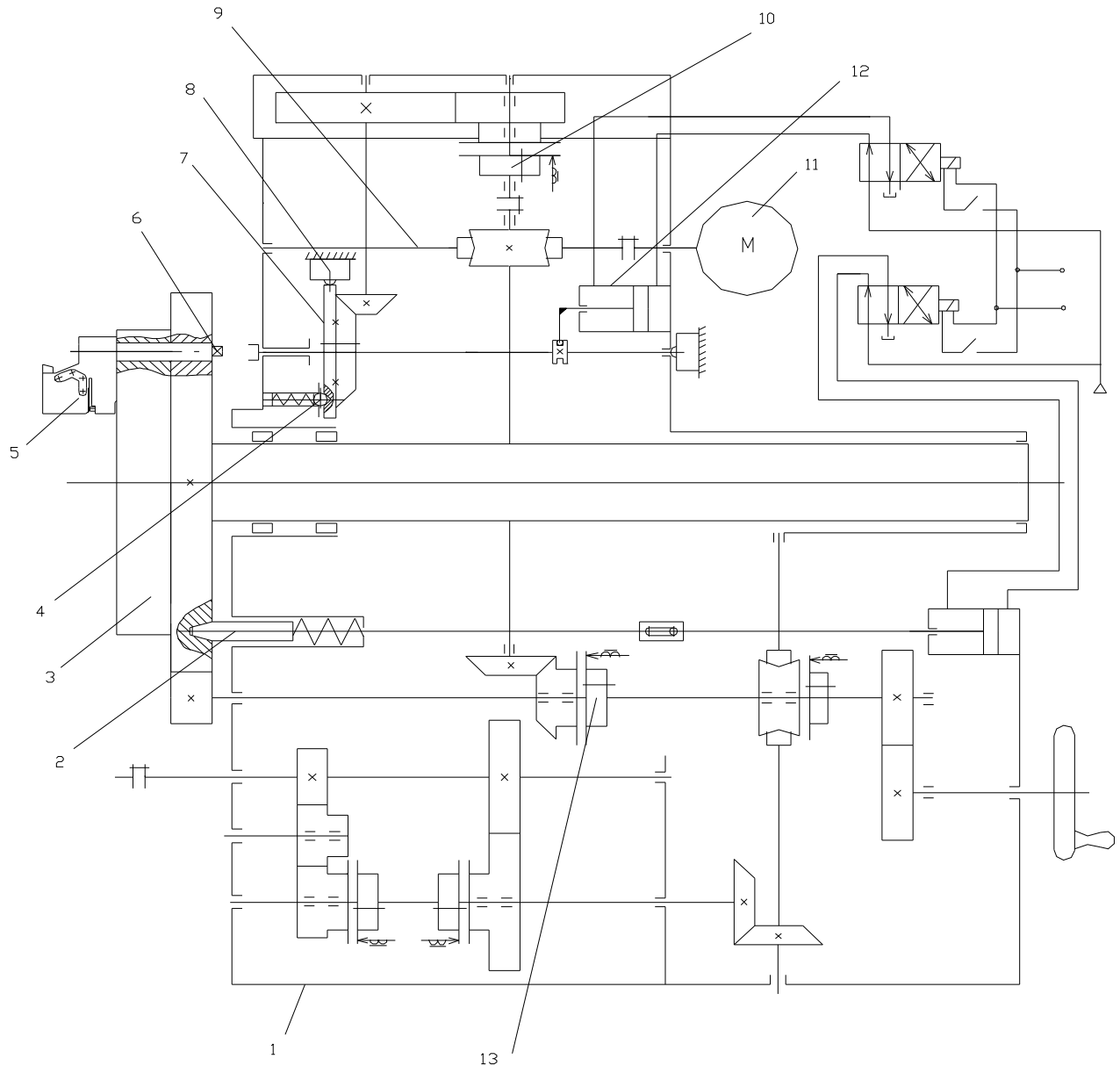


Рисунок 3.8 – Кінематична схема револьверного супорта

Керуючий вал кінематично сполучений з електродвигуном швидкого повороту РГ 11. Система використовує електромагнітну муфту 10, яка відключається після повороту керуючого валу на певний кут. Цей кут, що задає дискретність руху підналагодження, формується через передаточні відношення кінематичного ланцюга приводу підналагодження, механізму різцетримача та кількість рівномірно розподілених виступів на кулачку 7, які взаємодіють із датчиком 8, що керує муфтою. У корпусі супорта встановлений фіксуєючий елемент 4 з пружним закріпленням, який контактує зі западинами на торцевій

поверхні кулачка. Момент опору, створюваний цим елементом, перевершує залишковий момент, котрий передається муфтою після її відключення. Це дає змогу зменшити вплив різниці у часі спрацьовування муфти на точність позиціонування різця під час автоматичного підналагодження верстату. Корекцію положення різця виконують, коли супорт відведений від оброблюваної деталі, а РГ утримується в нерухомому стані фіксатором 2. Для підналагодження за командою системи програмного управління або оператора подається сигнал на звільнення фіксатора. Вмикається муфта 13, запускаючи швидкий поворот РГ до моменту, коли вісь її інструментального отвору із встановленим різцетримачем співпаде з віссю обертання керуючого валу. Після цього фіксатор 2 зупиняє РГ, а муфта 13 вимикається. Далі, завдяки гідроприводу 12, керуючий вал вводиться в зачеплення з приводом підналагодження різцетримача. Коли поступальний рух валу завершується, активується муфта 10, обертання якої разом із приводом підналагодження передається на різцетримач. Це спричиняє переміщення вершини різця у напрямку до оброблюваної деталі через дію на супровідну частину 5 різцетримача. Процес підналагодження триває, поки виступ на кулачку 7 не почне взаємодіяти з датчиком 8, котрий подає команду на вимкнення муфти 10. Водночас фіксує елемент 4 входить у западину кулачка. Якщо переміщення вершини різця компенсує його знос, процес підналагодження вважається завершеним.

У разі необхідності забезпечення значного переміщення різцетримача, система управління автоматично подає команди на багаторазове включення муфти. Перед початком швидкого повороту робочого органу (РО), керуючий вал від'єднується від приводу підналагодження різцетримача, що ініціює подачу сигналу до системи управління на вимкнення фіксатора другого режиму та активації муфти. Поворот РО здійснюється доти, доки різцетримач із мікрометричною малогабаритною подачею (ММП) не досягне потрібної робочої позиції. Автоматизована система регулювання підналагодження (САРП) функціонує наступним чином. Перед операцією відрізання оброблена

деталь вимірюється за допомогою механічної скоби, а сигнал від індуктивного перетворювача надходить до вузла керування підналагодженням (ВКП), де перетворюється на одну з чотирьох можливих команд. Одночасно різцетримач із ММП і керуючий вал приводу підналагодження з'єднуються в робоче зачеплення. Наприклад, при активації команди на виході Ш 4/12 (рис. 3.9), живлення спрямовується до обмотки реле Рм, яке запускає реле Р11 у контурі відпрацювання кроку підналагодження. Паралельно живлення подається на пускач електродвигуна та муфту електромагнітного включення (ЕМ) приводу підналагодження, передаючи обертання гвинту регульованого різцетримача. Величина кроку підналагодження встановлюється шляхом контролю кута обертання керуючого валу приводу через змінний кулачковий механізм і кінцевий вимикач КВ1. Під час обертання валу приводу кулачок спершу розмикає контакти КВ1, внаслідок чого живлення надходить до обмотки реле Р12, готуючи схему до завершення кроку. У подальшому циклі, коли кулачок завершує обертання та контакти КВ1 замикаються, послідовно вимикаються реле Р11, Р12, Рм, електродвигун і муфта ЕМ, повертаючи систему у початковий стан. Якщо ж із ВКП надходять команди на виходи Ш 4/9 або Ш 4/16, верстат зупиняється для усунення причин, які можуть призвести до появи браку.

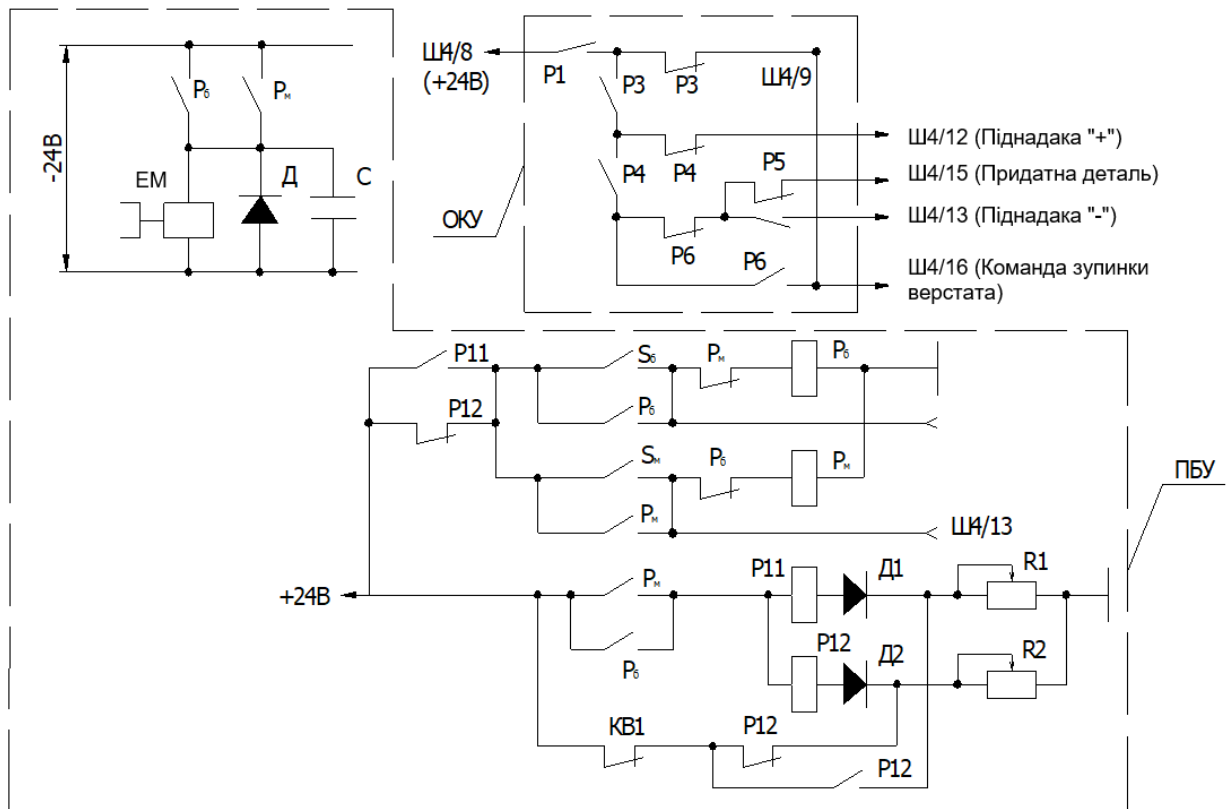


Рисунок 3.9 – Схема керування приводом підналагодження

3.6.3 Виконавчі пристрої для автоматичного розмірного регулювання ТРВ

Регулювання положення ріжучого інструменту на технологічних роботах і верстатах (ТРВ) здебільшого реалізується за допомогою спеціального інструментального оснащення з механізмами мікропереміщень (ММП), а також за рахунок використання систем корекції положення несучих інструменту елементів, таких як супорти, робочі головки тощо. Найефективнішим методом для ТРВ є застосування інструментального оснащення із вмонтованими механізмами мікропереміщень, зокрема різцетримачів. Це оснащення може інтегруватися безпосередньо в механізми позиціонування або бути встановлене як додаткова конструкція на верстаті. Характеристики виконавчих пристроїв систем автоматичного розмірного регулювання (САРП) визначаються такими параметрами: компоновання робочої зони верстата, способи керування, вимоги до точності позиціонування, конструкційна жорсткість ріжучого інструменту, діапазон регулювань та тип приводу для мікропереміщень. Функціонування

виконавчих пристроїв САРП у складі ТРВ вимагає можливості автоматичної заміни у випадку дефектів ріжучого інструменту або процесу переналаштувань. Для цього різцетримачі з ММП повинні мати конструктивні поверхні для встановлення їх у монтажні-знімальні адаптаційні зони (МАЗІ) верстатів. При створенні таких різцетримачів для САРП важливо використовувати оптимізовані методи розрахунків залежно від типу та специфіки обладнання.

3.6.4 Методика розрахунку різцетримачів із механізмами мікропереміщень

Конструктивні характеристики різцетримачів із ММП визначаються шляхом проведення розрахунків за такою процедурою:

1. Оцінка робочої зони верстата та попередній вибір габаритних розмірів різцетримача.
2. Вибір типу керування позиціонуванням: ручне, дистанційне, автоматичне або комбіноване управління системою.
3. Встановлення технічних параметрів – точність позиціонування, стабільність роботи, діапазон регулювань і необхідна жорсткість конструкції.
4. Визначення конструктивної схеми приводу мікропереміщень на основі аналізу можливих варіантів із використанням морфологічної матриці принципівих схем ММП.
5. Вибір конфігурації пружнодеформованих елементів у складі приводу ММП.
6. Попередній розрахунок розмірів таких елементів відповідно до їх функціональних характеристик.

Конструкція різцетримача з ММП має забезпечувати максимальну точність обробки за мінімальної деформації та високої жорсткості. Ця умова виконується, якщо напруження в пружнодеформованих елементах будуть рівномірними та не перевищуватимуть допустимих значень. Оскільки такі елементи зазвичай мають вигляд пластин, при розрахунках використовується формула міцності балки при згині:

$$\frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma_u], \quad (3.1)$$

$W = b \cdot h^2/6$, де h – товщина пластини, b – її ширина, M_{\max} – максимальний згинальний момент, а $[\sigma_u]$ – допустиме напруження згину пластини.

На представленій схемі (рисунок 3.10, а) зображений різцетримач із ММП, де відгинаюча частина механізму з різцем сполучена з жорсткою основою за допомогою вертикально розташованих пружнодеформованих пластин. Довжини цих пластин l_1 і l_2 адаптуються.

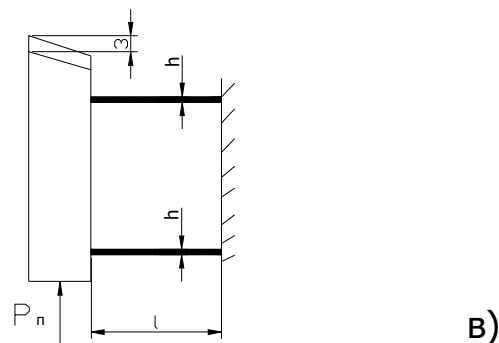
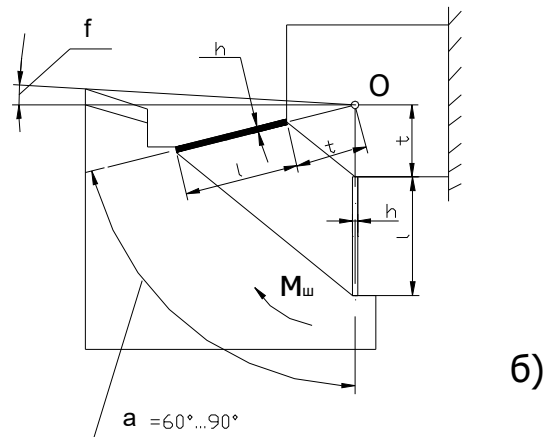
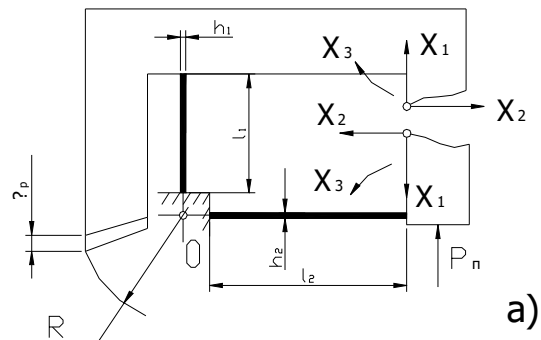


Рисунок 3.10 – Розрахункові схеми різцетримачів

У процесі розв'язання системи отримано значення невідомих зусиль:

$$X_1 = P_{II}/9, \quad X_2 = -10/9 P_{II} \cdot \frac{l_2}{l_1}, \quad X_3 = P_{II} \cdot \frac{l_2}{2},$$

а також деформації на кінцях пластин l_1 і l_2 , визначені відповідно.

$$\Delta_1 = \frac{5}{54} \cdot \frac{P \cdot l_1^2 \cdot l_2}{E \cdot I_1} \quad \text{і} \quad \Delta_2 = \frac{4}{54} \cdot \frac{P \cdot l_2^2}{E \cdot I_2}. \quad (3.2)$$

Це дозволило обчислити найбільші згинальні моменти для цих пластин через задані залежності.

$$M_{1_{\max}} = \frac{5}{9} \cdot P \cdot l_2 \quad \text{і} \quad M_{2_{\max}} = \frac{4}{9} \cdot P \cdot l_2. \quad (3.3)$$

Переміщення вершини різця Δ_p виражається через отримані деформації пластин за допомогою співвідношень, що враховують відстань R від осі 0 пружного шарніра до вершини різця.

$$\Delta_1 = \Delta_p \cdot \frac{l_1}{R} \quad \text{і} \quad \Delta_2 = \Delta_p \cdot \frac{l_2}{R}, \quad (3.4)$$

З комбінованого використання залежностей для деформацій та моментів отримано вирази для ключових параметрів:

$$M_{1_{\max}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta_p}{R} \cdot \frac{E \cdot I_1}{l_1 \cdot l_2} \quad \text{і} \quad M_{2_{\max}} = \frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta_p}{R} \cdot \frac{E \cdot I_2}{l_2^2}.$$

Подальша підстановка значень граничних моментів M_{\max} і модуля опору W до умови міцності балки при згині дала рівняння

$$\frac{h_1}{l_1} = \frac{h_2}{l_2} \leq \frac{1}{3} \cdot \frac{[\delta_{\#}] \cdot R}{\Delta_p \cdot E}. \quad (3.5)$$

яке виражає співвідношення між довжиною l і товщиною h пластин:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{l_1}{l_2},$$

відношення довжин пружно-деформованих елементів пропорційне відношенню їх товщин.

Для орієнтовного розрахунку конструкції різцетримача з мікрометричною механічною підналагоджувальною системою (ММП), в умовах розташування

пружно-деформуємих елементів під кутом $\alpha = 60^\circ \div 90^\circ$ (рис. 3.10, б) та невеликого подовження, використовуються аналітичні залежності, які враховують момент пружного шарніра, кут повороту робочої частини та геометричні розміри конструкції.

$$M_u = \frac{2 \cdot b \cdot h^3 \cdot E \cdot \varphi}{l} \cdot \left[\left(\frac{t}{l} \right)^2 + \left(\frac{t}{l} \right) + \frac{1}{3} \right]; \quad (3.6)$$

$$\sigma_u = \frac{h \cdot E \cdot \varphi}{l} \cdot \left(3 \cdot \frac{t}{l} + 2 \right) \leq [\sigma_u], \quad (3.7)$$

де M_u – момент пружного шарніра відносно осі обертання, позначеної т. О;

φ – кут повороту відгинаємої частини різцетримача;

t – відстань від осі пружного шарніра т. О до пружних елементів.

Для конструкцій із паралельним розташуванням елементів наведено специфічні формули, які враховують жорсткість пластин і її зв'язок із основними параметрами (рис. 3.10, в).

$$\Delta_p = \frac{P \cdot l^3}{2 \cdot b \cdot h^3 \cdot E} = \frac{P}{2 \cdot c}; \quad (3.8)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot h \cdot E \cdot \Delta_p}{l^2} \leq [\sigma_u], \quad (3.10)$$

де c – жорсткість пружної пластини, що визначається з виразу:

$$c = b \cdot \left(\frac{h}{l} \right)^3 \cdot E. \quad (3.11)$$

Ці залежності дозволяють підібрати геометричні характеристики елементів так, щоб забезпечити їхню надійність і максимальну жорсткість.

7. На основі заданих форм і розмірів пружно-деформуємих елементів відбувається визначення розмірів різцетримача з ММП, параметрів приводу та проводиться розрахунок жорсткості за основними напрямками P_x , P_y , P_z сили різання. Аналіз таких розрахунків дозволяє оцінити вплив форми та укріплення елементів на зміну жорсткості конструкції.

8. Більш детально вплив динамічних характеристик різцетримачів з ММП на якість обробки поверхонь аналізується через математичну модель системи.

Комплекс досліджень сприяє визначенню раціональних конструктивних параметрів для конкретного обладнання та технологічного процесу.

3.6.5 Опис дослідної конструкції різцетримача

Різцетримач оснащений корпусом 1, з'єднаним через пружні ділянки 2 з відгинаючою частиною 3. У цій частині розташовані головна базуюча поверхня 4 та напрямна поверхня 5, які забезпечують базування різця 6, а також установча поверхня 7, призначена для налаштування різця на необхідний розмір обробки (рис. 3.11). Привід підналагодження включає диференціальний гвинт 8 з обмежувальним упором 9, нерухомий штовхач 10, важіль 11 і регульовальний гвинт 12. Упор 9 на диференціальному гвинті контролює величину його осевого руху Δ . Осьовий рух Δ гвинта 8 визначає максимальний хід вершини різця, а це, у свою чергу, впливає на найбільші деформації пружних ділянок 2. Рух від штовхача 10 до відгинаючої частини 3 передається через важіль 11. Пружні ділянки 2 створено шляхом вирізання наскрізних прорізів 13 і 14. Їх розташування вибрано так, що лінія перетину нейтральних площин цих ділянок проходить через точку К. Вона знаходиться в площині (проекція лінії РК), яка перпендикулярна до головної базуючої та напрямної поверхонь, і розташована на відстані, що відповідає довжині різця від установчої поверхні. Переміщення вершини різця забезпечується за рахунок згину пружних ділянок 2 під дією сили приводу підналагодження. Конструктивне розташування пружних ділянок 2 обумовлює характер переміщення відгинаючої частини разом із різцем. Таке переміщення виглядає як поворот навколо миттєвої осі з проекцією в точці К. Оскільки максимальний хід вершини різця є незначним, його переміщення Р можна вважати прямолінійним та таким, що спрямоване перпендикулярно до оброблюваної поверхні деталі 15. Таким чином, вплив підналагоджувальних рухів на зміну лінійних розмірів деталей фактично зводиться до мінімуму.

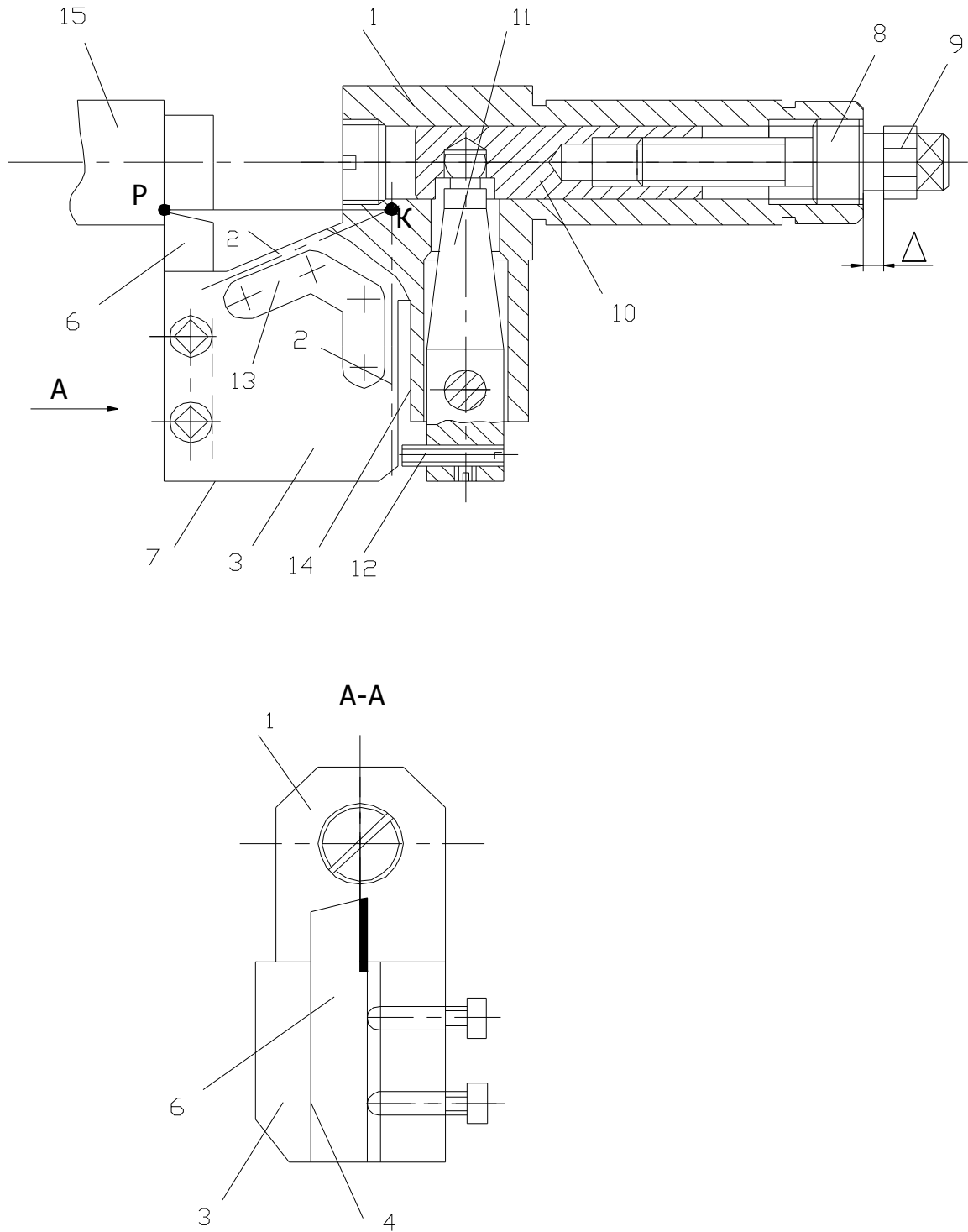


Рисунок 3.11 – Конструкція різцетримача з пристроєм підналагодження

Різцетримач функціонує наступним чином. Важіль 11 перетворює осьове переміщення штовхача 10 у поворот відгинаючої частини 3. Сили пружної деформації ділянок 2 через важіль 11 передаються вздовж осі штовхача 10.

У результаті штовхач і гвинт 8 зазнають однонапрявленого осьового навантаження, яке, вибираючи зазори у гвинтових з'єднаннях, замикається на корпусі 1. Це суттєво підвищує точність підналагоджувальних переміщень різця за рахунок відсутності мертвих ходів у приводі при зміні напрямку обертання гвинта 8. Різець 6 встановлюється на базуючі поверхні 4 і 5 таким чином, щоб його задній торець знаходився в одній площині з установчою поверхнею 7.

Для виконання підналагоджувального переміщення різця 6 у напрямку до оброблюваної деталі 15 гвинт 8 обертається на кут, що відповідає необхідному значенню підналагодження вершини різця. Штовхач 10 зміщується вправо і повертає важіль 11. Останній, обертаючись навколо своєї осі, через гвинт 12 передає рух відгинаючій частині 3. Частина, що відгинається, здійснює переміщення відносно корпусу 1, згинаючи ділянки 2, при цьому натяг у приводі збільшується. Відведення різця від оброблюваної поверхні виконується зворотним обертанням гвинта 8. Під впливом сил пружної деформації ділянок 2, що передаються через важіль 11, штовхач 10 переміщується вліво, і натяг у приводі зменшується.

3.6.6 Розрахунок дослідної конструкції різцетримача

У цій конструкції пружно деформовані елементи розташовані під кутом $\alpha=70^\circ$ (рис. 3.12).

Для приблизного розрахунку використовується методика, описана в пункті 3.6.4 раніше.

При цьому напруження пластини при згині розраховується наступним чином:

$$\sigma_n - \frac{h \cdot E \cdot \varphi}{l} \cdot \left(3 \cdot \frac{t}{l} + 2 \right) \leq [\sigma_n],$$

де $t = 17$ мм; $l = 30$ мм; $h = 3,0$ мм; $\varphi = 0,208^\circ$.

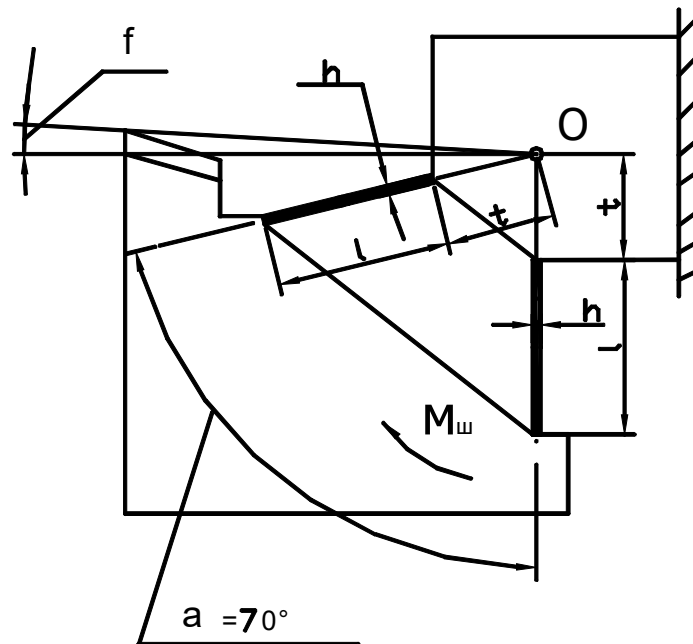


Рисунок 3.12 – Розрахункова схема дослідної конструкції різцетримача

Визначимо напруження пластини під час згину, що склало певне значення

$$\sigma_H = \frac{3 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,00363}{30} \cdot \left(3 \cdot \frac{17}{30} + 2 \right) = 270 \text{ мПа.}$$

Таким чином, умова $\sigma_H < [\sigma_H]$ витримується, адже допустимі напруження становлять $[\sigma_H] = 430 \text{ мПа}$.

З цього випливає, що збільшення товщини пластини h та зменшення її довжини l призведе до досягнення максимальної жорсткості конструкції.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У випускній роботі, яка присвячений модернізації системи розмірного підналагодження токарно-револьверного верстата моделі 1Г340П, проведено ґрунтовний аналіз конструкцій і функціональних можливостей наявних пристроїв підналагодження, що використовуються в токарно-револьверних верстатах (ТРВ). У рамках дослідження було здійснено огляд їх стану, вивчено перспективні шляхи вдосконалення, а також визначено основні принципи та методологічні підходи для підвищення загального технічного рівня верстатів такого типу. У розділі, присвяченому конструкторській частині, детально обґрунтовано напрямки модернізації конструкції верстата, розроблено інноваційні рішення щодо оновлення вузлів та агрегатів обладнання. Була представлена технічна характеристика модернізованого агрегату, докладно описані його конструктивні особливості, будова та принципи функціонування. Розрахункова частина проєкту включає комплексний аналіз та виконання необхідних інженерних розрахунків із модернізації ключових елементів верстата. Особливу увагу приділено розробці системи автоматичного розмірного підналагодження (САРП) для токарно-револьверного обладнання. У цьому контексті було запропоновано принципово нове конструктивне рішення для різцетримача з інтегрованим пристроєм підналагодження, здійснено його детальну проєктну опрацювання та виконано всі необхідні розрахунки. Ця інноваційна розробка спрямована на забезпечення більшої точності й надійності технологічного процесу обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рудь В.Д., Божко Т.Є., Гальчук Т.Н. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131- Прикладна механіка: навчальний посібник. Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2017. 487с.
2. Налобіна О.О., Бундза О.З., Серілко Д.Л., Голотюк М.В. Конструювання вузлів та агрегатів: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2020. 331 с.
3. Ревнівцев М.П., Паршина Н.П. Режими різання на металообробних верстатах у машинобудуванні: навч. посіб. К.: А.С.К., 2006. 416 с.
4. Боровик А.І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: підручник. К.: Кондор, 2008. 726 с.
5. Кузнєцов Ю.І. Оснащення для верстатів з ЧПУ: Довідник. К.: Машинобудування, 2003. 359 с.
6. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: навч. посіб. К.: Кондор, 2009. 220 с.
7. Гумен О.М. Візуальне програмування задач механіки із залученням геометричних засобів САД – систем. Прикладна геометрія та інженерна графіка. М.: ТДАТУ, 2013. – Вип. 4. Т.55. С.18 – 23.
8. Джур Є.О., Бондаренко О.В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д.: “Інновація”, 2011. 109с.
9. Кавецький В.В., Козловський В.О. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013.
10. Деталі машин: підручник / [Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін.]. – К.: Агроосвіта, 2013. – 448 с.
11. Деталі машин: Навчальний посібник / Г.М. Борозенець, В.М. Павлов., І.В. Семак. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. – 220 с.
12. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.; з іл.

13. Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: Монографія Упорядник Кузнєцов Ю.М. – К.: Тернопіль: Тернограф, 2011. -692с.

14. Булига Ю.В. Теорія різання. Розрахунок режимів різання: практикум / Булига Ю.В., Веселовська Н.Р., Міськов В. П. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 67 с.

15. Вайнтрауб М. А. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей: монографія / Г.С. Тимчик, В.І. Скицюк, М.А. Вайнтрауб, Т.Р. Клочко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 516 с., іл. – Бібліогр.: с. 503 – 513.

16. Кобзар Є.П., Мельничук Л.С., Громовий О.А. Розрахунки і проектування вузлів та деталей верстатів і систем: Навчальний посібник. - Житомир: ЖІТІ, 2000. - 361 с.

17. Обладнання і транспорт механообробних цехів: навч. посіб. / А.Ю. Довгополов, А.О. Нешта, В.О. Колесник. Суми: Сумський державний університет, 2023. 96 с.

18. Організація виробництва: підручник / за ред. А.І. Яковлева, С.П. Сударкіної, М.І. Ларки. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2016. – 436с.

19. Муляр Ю.І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II: навчальний посібник / Ю.І. Муляр, С.В. Репінський. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 123 с.

20. Паливода Ю.Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

21. Технологія верстатних робіт: навч.пос. для проф.-техн. навч. закладів / М.А. Вайнтрауб, В.Й. Засельський, Д.В. Пополов, за наук. ред. М.А. Вайнтрауба. – К.: 2015. – 199с.

22. Залога В.О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник / В.О. Залога, О.О. Залога, В.Д. Гончаров; за загальн. ред. В.О. Залози. – Суми: Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

23. Технологія машинобудування: навч. посіб. / [І.І. Юрчишин, Я.М. Литвиняк, І.Є. Грицай та ін.] // За ред. І.І. Юрчишина. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 528 с.

24. Міренський І.Г. Основи технології машинобудування: навч. посіб. / І.Г. Міренський. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 275 с.

25. Муляр Ю.І. Програмування багатоінструментальної обробки на верстатах з ЧПК: навчальний посібник. / Муляр Ю.І. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 192 с.

26. Невлюдов І.Ш. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва [Текст]: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, М.А. Бережна. – Харків: Компанія СМІТ, 2007. – 368 с.

27. Розрахунок найвигідніших режимів різання при точінні: навч. посіб. / А.І. Грабченко, М.Д. Узунян, Н.В. Зубкова та ін. – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – 88 с.

28. Стискін Г.М. Інструменти для механічної обробки матеріалів. / Г.М. Стискін, М.П. Ревнівцев, М.М. Берізко, В.А. Мелешик – Л.: Оріяна-Нова, 2002. – 240 с.

29. Н. Грибок. Розробка дослідної конструкції різцетримача. Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ, 2025р. – 201-204 с.

28. Бочков В.М. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник. / В.М. Бочков, Р.І. Сілін, О.В. Гаврильченко. За ред. Р.І. Сіліна. – Львів: Видавництво «Бескид Бід», 2008. – 448с.

29. Методичні рекомендації до написання кваліфікаційної роботи за ступенем вищої освіти «магістр»: методичні рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка», спеціальності 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна

інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич. Луцьк: ЛНТУ, 2024. 48 с.

30. Полінкевич Р.М. Методика розрахунку силових зміщень корпусних деталей металорізальних верстатів. / Полінкевич Р.М., Четвержук Т.І., Зубовецька Н.Т. // Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (24-23 вересня 2020 року). - м. Чернігів, 2020.

31. Р.М. Полінкевич. Статистичне моделювання технічних характеристик металорізальних верстатів / Т.І. Четвержук, Р.М. Полінкевич, Р.Г. Редько, О.М. Залета, Р.А. Склярів // Наукові нотатки. – Випуск 71.– Луцьк, 2021. – С. 322-329.

32. Р.М. Полінкевич. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень / Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022 №73. с.101-104. DOI 10.36910/775.24153966.2022.73.15