

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

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

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Удосконалення конструкції токарного верстату з ЧПК із використанням засобів активного контролю вузлів»

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МВМ-61
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

_____ Ремезюк В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ Скляр Р.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль _____ Ярема І.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри _____ Кобельник В.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент _____ Паливода Ю.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

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

Факультет **інженерії машин, споруд та технологій**

(повна назва факультету)

Кафедра **конструювання верстатів, інструментів та машин**

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня **магістр**

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю **133 Галузеве машинобудування**

(шифр і назва спеціальності)

студенту **Ремезюк Василь Олександрович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Удосконалення конструкції токарного верстату з ЧПК із використанням засобів активного контролю вузлів»**

Керівник роботи **Склярів Руслан Анатолійович, к.т.н., доц.**

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «25» вересня 2020 року № 4/7-679

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21.12.2020

3. Вихідні дані до роботи **креслення та технологічний процес виготовлення деталі «Кришка КР33-18.305», паспорт базового верстату**

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) **Аналітичний розділ. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи. Інформаційно-патентний пошук. Постановка мети та задач дослідження. Технологічні розрахунки. Розробка структурно-кінематичної схеми верстата. Оптимізація компоувальної схеми верстату. Силкові та міцнісні розрахунки. Науково-дослідна частина. Заходи з охорони праці та безпеки в НС.**

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

Мета та завдання дослідження - 1 арк. ф.А1; Інформаційно-патентний пошук – 2 арк. ф.А1;

Аналіз схем формоутворення 1 арк. ф.А1; Привід головного руху верстату – 1 арк.ф.А0;

Револьверна головка – 1 арк.ф.А0; Результати наукових досліджень – 2 арк. ф.А1.

Анотація

Удосконалення конструкції токарного верстату з ЧПК із використанням засобів активного контролю вузлів // Дипломна робота магістра. Ремезюк Василь Олександрович. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет інженерії машин, споруд та технологій, кафедра конструювання верстатів інструментів та машин, група МВм-61.: ТНТУ, 2020.

Ключові слова: діагностика, активний контроль, токарний верстат з ЧПК.

Метою роботи є розробка схеми активного контролю токарного верстату з ЧПК з використанням датчиків.

В даній дипломній роботі магістра розглянуто основні способи формоутворення обробки поверхонь деталі типу «Кришка КР33-18.305». Проведено технологічні розрахунки на токарну операцію для деталі «Кришка КР33-18.305». Розроблено структурно-кінематичну схему верстата. Здійснено конструювання приводу головного руху верстату. Запропоновані конструктивні схеми, які дозволяють здійснити діагностику на запропонованому верстаті. Також розкриті питання охорони праці та безпеки життєдіяльності людини.

Annotation

Remeziuk V.O. Development of design and in-cycle gaging technique of CNC lathe. Thesis work for obtaining the educational qualification of Master degree of specialty 133 - Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

Key words: diagnostics, active control, CNC lathe.

The purpose of the thesis is to develop a scheme of active control for diagnosing the condition of a CNC lathe.

In this master's thesis the main methods of shaping the surface treatment of parts such as "Cover KR33-18.305" are considered. Technological calculations for turning operation for the part "Cover KP33-18.305" are carried out. The structural and kinematic scheme of the machine is developed. The design of the drive of the main movement of the machine is carried out. The constructive schemes which allow to carry out diagnostics on the offered machine are offered. Thesis work includes issues related to the industrial safety and the safety of human life.

Зміст

Прийняті скорочення	8
Вступ	9
Розділ 1. Аналітичний	11
1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	11
1.2. Інформаційно-патентний пошук	12
1.2.1. Поняття діагностики верстатів з ЧПК	12
1.2.2. Поняття активного контролю на верстатах з ЧПК	14
1.2.3. Особливості діагностики процесу різання і зношення інструменту	24
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	27
Розділ 2. Дослідно-проектний	29
2.1. Технологічні розрахунки	29
2.2. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату	33
2.2.1. Вибір рухів, які необхідні для обробки деталі на обраному верстаті	33
2.2.2. Обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата	35
2.3. Оптимізація компоувальної схеми верстату	36
2.4. Силкові та міцнісні розрахунки	40
2.4.1. Розрахунок приводу верстату	40
2.4.2. Розрахунок шпиндельного вузла верстату	48
2.4.3. Опис конструкції і принцип роботи револьверної головки	55
2.5. Висновки до розділу	56
Розділ 3. Науково-дослідна частина	57
3.1. Методика та план проведення наукових досліджень	57
3.2. Структурна схема діагностики	57
3.3. Схема встановлення давачів на верстаті для проведення його активної діагностики	61
3.4. Схеми практичної реалізації встановлення давачів на верстаті	62
3.4.1. Вимірювання складових сил різання при токарній обробці	62

3.4.2. Вимірювання тягового зусилля поздовжньої подачі	65
3.4.3. Встановлення тензометричної проставки між кареткою супорта і корпусом револьверної головки	68
3.4.4. Встановлення п'єзоелектричних давачів для вимірювання сил різання	68
3.4.5. Встановлення ТЕРС для діагностики шпиндельного вузла	71
3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів	72
3.6. Висновки за результатами наукового дослідження	72
Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	73
4.1. Опис виробничих шкідливостей цеху, що проектується та розробка заходів щодо зниження їх впливу на працюючих	73
4.2. Організація управління охороною праці на підприємствах	75
Загальні висновки	79
Бібліографія	81
Додатки	84

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АСНД – автоматизована система наукових досліджень;

БЖД – безпека життєдіяльності;

БІС – блок ідентифікатору станів;

БП – блок перетворень;

БС – блок сигналізації;

БСС – бібліотека станів системи;

БФКУ – блок формування команд управління;

БФПД – блок формування діагностичних повідомлень;

ВП – вимірювальний перетворювач;

ВЧ – високочастотний;

ДПС – двигуни постійного струму;

ЕРС – електрорушійна сила;

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

ЗТД – засоби технічної діагностики;

КЗпП – Кодекс законів про працю.

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КМУ – Кабінет міністрів України

МОР – мастильно-охолоджуюча рідина;

НЧ – низькочастотний;

ОД – об'єкт діагностики;

ОП – охорона праці;

СД – системи діагностики;

СЧ – середньочастотний;

ТЕРС – термо електрорушійна сила;

ТП – технологічний процес;

ЧПК – числове програмне керування;

ШВ – шпиндельний вузол.

ВСТУП

На сьогоднішній день на виробництві особлива увага приділяється вдосконаленню структури верстатів, верстатних комплексів і в першу чергу верстатів з ЧПК, які можуть бути оснащені засобами діагностики та активного контролю. Такі верстати можуть входити в склад автоматизованих і робототехнічних комплексів і ліній, гнучких виробничих систем.

Сучасні високопродуктивні токарні верстати з ЧПК можуть виконувати велику кількість технологічних операцій, невластивих токарним верстатам (поперечне свердління, фрезерування, нарізування різьби і т. ін.).

В роботах [1, 2] здійснено аналіз перспектив розвитку галузі, він показує, що перспективними є високопродуктивні верстати з ЧПК, в яких використовуються сучасні засоби діагностики.

Поява новітніх систем ЧПК розкриває широкі можливості щодо автоматизації вимірювань розмірів обробки, контролю процесу різання та комплексної діагностики стану верстата.

Саме тому тема «Удосконалення конструкції токарного верстату з ЧПК із використанням засобів активного контролю вузлів» є актуальною.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка схеми активного контролю токарного верстату з ЧПК з використанням давачів.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі основні задачі:

- здійснити інформаційно-патентні дослідження стосовно тематики роботи;
- провести технологічні розрахунки для деталі типу «Кришка КР33-18.305»;
- провести розробку основних виконавчих вузлів запропонованого верстату;
- здійснити комплекс заходів по організації діагностики на запропонованому верстаті;
- вирішити питання охорони праці на запропонованому верстаті;
- вирішити питання безпеки життєдіяльності людини.

Об'єкт дослідження – супортна група токарного верстату з ЧПК.

Предмет дослідження – конструктивні рішення засобів активної діагностики.

Методи дослідження. Системний підхід як метод дослідження дозволяє в роботі представити об'єкт як єдине ціле. Методи математичного моделювання. Векторна математика.

Структура і обсяг роботи. Дипломний проект складається із вступу, чотирьох розділів і основних висновків, які розміщені на __ сторінках, __ рисунку та _ таблиць на __ сторінках, списку літературних джерел з __ найменувань на _ сторінках і __ додатків на __ сторінках, всього _____ сторінок.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІТИЧНИЙ

1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

В останні роки на підприємствах машинобудівного профілю України набуло поширення таке високопродуктивне обладнання, як токарні верстати з ЧПК. Дане обладнання може бути автоматизоване за рахунок впровадження систем активного контролю вузлів верстату та інструментів. Такі системи дозволяють в режимі реального часу відстежувати процес токарної обробки на верстаті. Дані системи дозволяють застосовувати на верстатах оптимальні режими різання та уникнути передчасної поломки інструменту та виходу з ладу основних виконавчих вузлів.

В якості засобів активного контролю такі верстати можуть використовувати як силові давачі (крутного моменту, сили різання, амплітуди коливань, пружної деформації інструменту і основних виконавчих органів), так і давачі, які дозволяють визначати температуру в зоні різання, зношування інструменту та інші [3].

Конструкції перспективних верстатів з ЧПК можна вдосконалити за рахунок використання засобів активного контролю та діагностики. Тому є необхідність у проведенні патентно-інформаційних досліджень існуючих конструкцій таких давачів та розглянути можливість їх використання на верстатах даного типу. Здійснити аналіз робіт, в яких така можливість розглядається. На основі теоретичних досліджень слід здійснити проектування основних вузлів верстату, з використанням засобів активного контролю.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

1.2.1. Поняття діагностики верстатів з ЧПК

Виконання дипломної роботи передбачає проведення інформаційно-патентного пошуку. Такий пошук передбачає використання доступної науково-технічної інформації [4]. Найкраще пошук проводити по відкритим науково-метричним базам, доступ до яких є мережі Internet.

В багатьох токарних верстатах, які серійно випускаються промисловістю, можуть бути передбачені діагностичні засоби ЧПК. Такі системи діагностики (СД) створюються з метою: ефективного контролю працездатності апаратних засобів; правильності програмного забезпечення (в тому числі системного); контроль над основними процесами, які протікають в системі; запобігання виникнення позаштатних ситуацій (аварія в системі або її поломка).

Система ЧПК на верстаті дозволяє здійснювати діагностику системи автоматично, при її ввімкненні. Якщо у системі виникають якісь певні проблеми, то при цьому вона видає діагностичні повідомлення. Всього може бути дев'ять груп помилок [5], які видають СД (рис. 1.1).

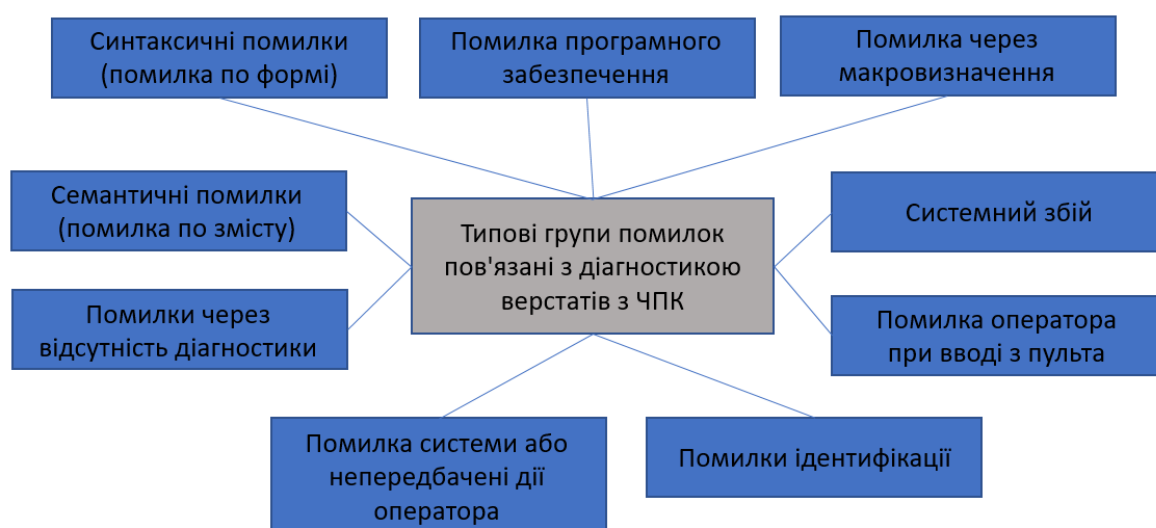


Рис. 1.1. Типові помилки пов'язані з діагностикою верстатів з ЧПК

Як правило СД можуть бути розміщені на автоматизованому обладнанні, тому і діагностика також повинна проходити в автоматичному режимі. Для цього на верстатах можуть використовуватися системи ЧПК. Така система може

контролювати роботу верстатного обладнання, фіксувати відхилення від норми процесів які на ньому відбуваються, спроможна аналізувати стан пульта оператора, а також керувати основним та різноманітним допоміжним обладнанням [5].

На виробництві, як правило, використовується два види діагностики (рис. 1.2), це діагностика в процесі експлуатації (експлуатаційна) та діагностика, яка проводиться перед початком експлуатації (передексплуатаційна) [6, 7].

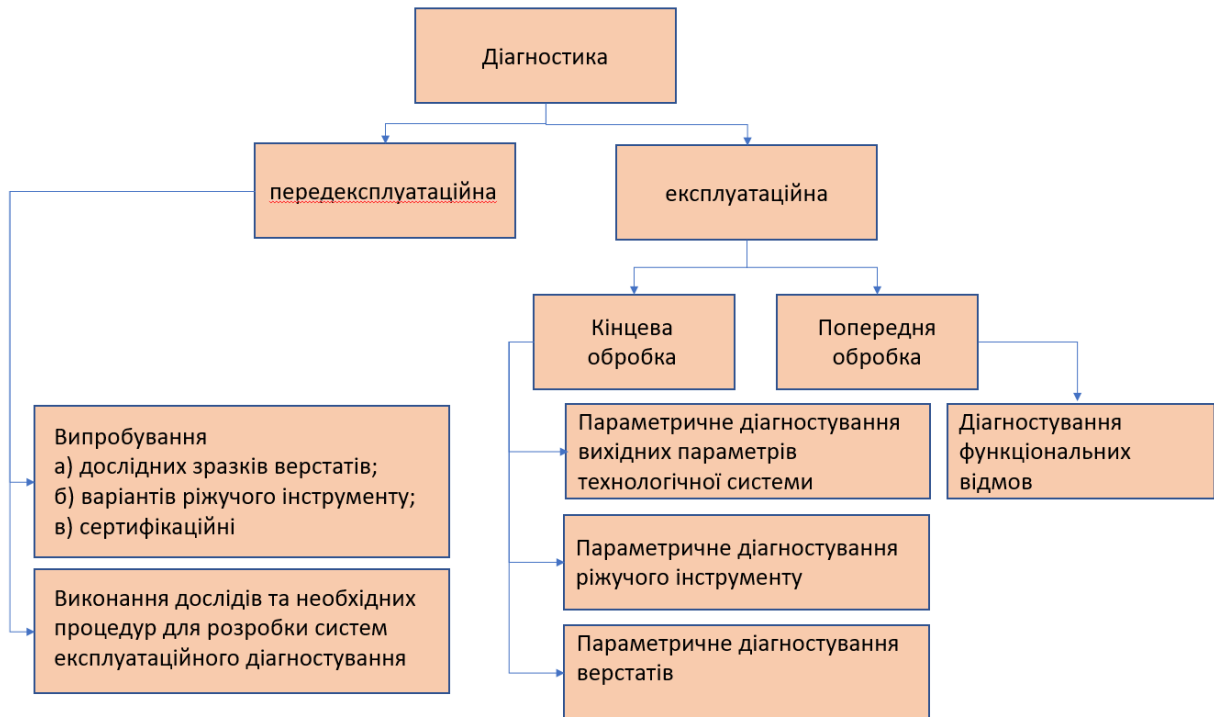


Рис. 1.2. Види діагностики

Експлуатаційна діагностика забезпечує своєчасне припинення роботи технологічного обладнання за рахунок оперативного визначення причини відмови.

Діагностика, яка проводиться перед початком експлуатації, як правило, створюється на базі різноманітного діагностичного устаткування. Для її проведення використовуються стенди АСНД.

Ці стенди дозволяють вирішувати широке кола задач за сприяння методів комплексної діагностики. Стенди можуть оснащуватися різноманітними давачами, які забезпечують вимірювання фізичних величин в процесі обробки.

Оскільки процес обробки певних видів деталей може відбуватися за різних умов експлуатації, то при цьому можуть виникати різні види пошкоджень та

причини відмов інструменту, що в свою чергу викликає застосування різних алгоритмів діагностики [8]. В основі роботи сучасних систем діагностики лежить єдиний науково-методичний підхід, який передбачає виконання наступних етапів робіт [9]:

- виявлення можливих змін стану інструменту в процесі експлуатації;
- визначення основних критеріїв стану інструментів;
- визначення критеріїв відмови інструменту;
- виявлення експериментальним шляхом непрямих діагностичних ознак можливих змін стану інструменту та формування на їх основі критеріїв відмови;
- опис зв'язків між критерієм стану інструменту та діагностичними ознаками стану (проводиться на основі дослідження та аналізу діагностичних сигналів із зони різання);
- розробка різноманітних діагностичних моделей, які можуть мати або детермінований, або стохастичний характер;
- розробка алгоритму і програмного забезпечення системи діагностики.
- розробка апаратної реалізації алгоритму діагностики.

1.2.2. Поняття активного контролю на верстатах з ЧПК

На підприємствах, які займаються металообробкою, а саме з використанням металорізальних верстатів, можуть використовуватися різноманітні засоби контролю [10], їх класифікація приведена на рис. 1.3.

Приведені засоби контролю повинні відповідати вимогам [10], які приведені на рис. 1.4.

В машинобудуванні використовують два основні типи засобів автоматичного контролю, які можуть чинити дію на технологічний процес, це пасивні (можуть здійснювати сортування деталей за результатами контролю) та активні (здійснюють керуючий вплив на технологічний процес з метою забезпечення необхідної точності обробки) [11].

В роботі [12] зазначено, що засоби активного контролю, як правило, мають однакову структурну схему (рис. 1.5), яка складається з визначених елементів,

що виконують певні функції, вона не залежить від виду та типу технологічного обладнання. Дану схему можна віднести до систем автоматичного регулювання.

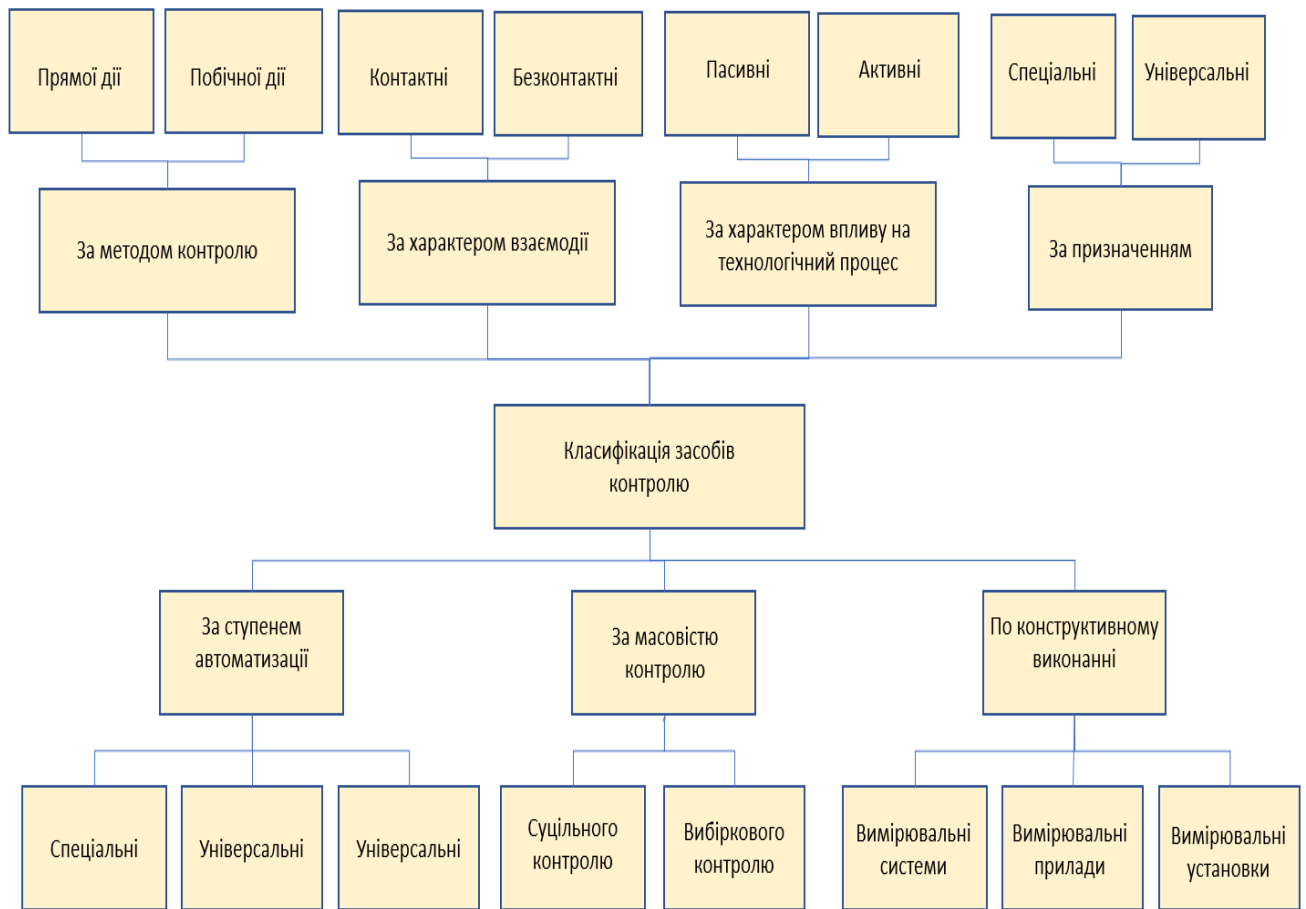


Рис. 1.3. Класифікація засобів контролю



Рис. 1.4. Вимоги до засобів контролю

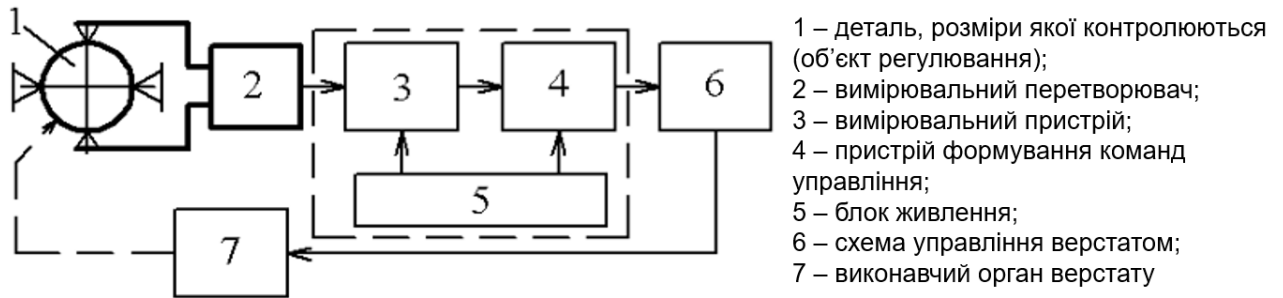


Рис. 1.5. Структурна схема засобу активного контролю

При використанні системи автоматичного керування на верстаті з ЧПК його мікропроцесорна система буде формувати закон автоматичного регулювання на верстаті.

Як видно зі схеми (див. рис. 1.5), система активного контролю є різновидом систем автоматичного регулювання – оскільки присутній замкнутий контур зі зворотним зв'язком. Об'єктом регулювання служить розмір деталі, яка обробляється. Закон регулювання формується в пристрої команд управління.

Якщо система активного контролю застосовується на верстаті з ЧПК, то функцію формування закону автоматичного регулювання доцільно покласти на мікропроцесорні засоби управління верстатом. У цьому випадку появляється можливість гнучкого управління верстатом, залежно від технологічних вимог. Тоді їй можуть присвоїти назву «система управління точністю обробки» [12].

Точність вимірювання у системах активного контролю, як правило, визначається таким елементом, як вимірювальний перетворювач. Всі вимірювальні перетворювачі класифікуються за принципом їх дії (рис. 1.6).

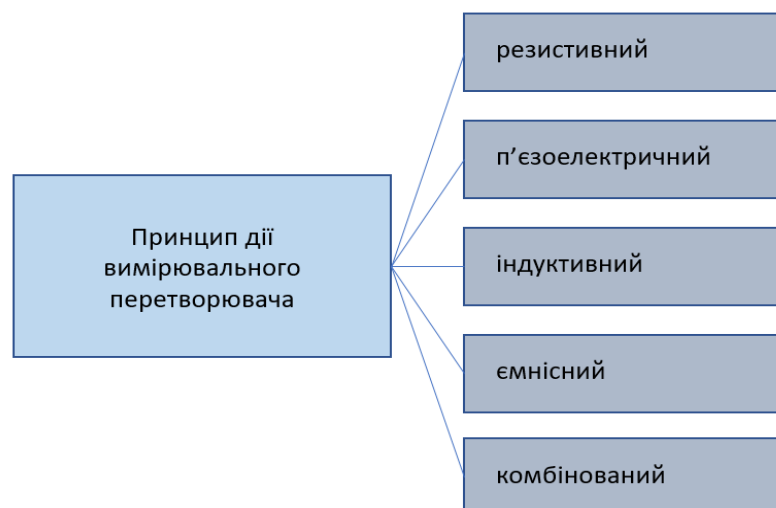


Рис. 1.6. Класифікація вимірювальних перетворювачів

В вимірювальних перетворювачах (ВП) або давчачах можуть реалізовуватися і знаходити практичне застосування електричні методи вимірювання фізичних величин [9]. Аналіз можливості їх використання для вимірювання різних фізичних величин приведений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Давачі для вимірювання різних фізичних величин

Принцип дії	Зусилля	Переміщення	Лінійна швидкість	Прискорення	Вібрація	Температура
Ємнісний	+	+	+	+	+	+
Термопарний	-	-	-	-	-	+
Термісторний	-	-	-	-	-	+
Тензорезисторний	+	-	-	-	-	-
П'єзоелектричний	+	+	-	+	+	-
Індуктивний	+	+	-	-	-	-
Струмовихревий	-	+	+	-	-	-
Ефект Холла	-	+	+	-	-	-

Розглянемо принцип вимірювання фізичних величин, який використовується різних давчачах, та за якими виразами можна їх розрахувати.

Тензорезистори. При вимірюванні сили їх наклеюють на бічну поверхню пружної деталі (поверхня сприймає силу, відбувається її деформація в межах закону Гука. На рис. 1.7. приведено схему кріплення такого давчача.

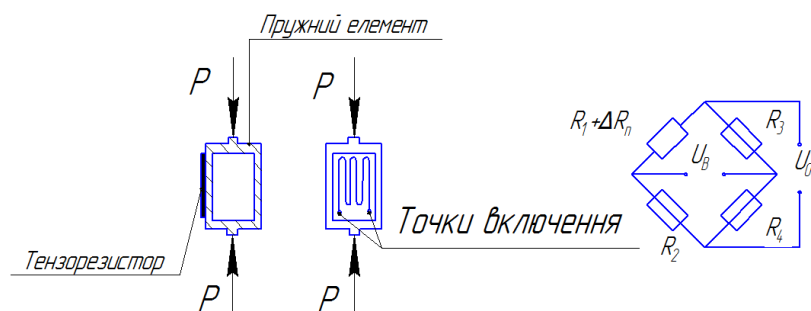


Рис. 1.7. Кріплення тензорезисторного давчача

Під дією стискаючої сили P відбувається деформація бічної поверхні пружної деталі, яка викликає зміну довжини дроту давача на величину Δl . Це спричиняє за собою зміну електричного опору тензодатчика:

$$\Delta R_{\Pi} = R_{\Pi} \cdot \frac{\Delta l}{l} \cdot S_E \quad (1.1)$$

де S_E - чутливість давача.

Для вимірювання сили з застосуванням тензорезисторів використовується мостова вимірювальна схема (рис. 1.8), обчислення по якій здійснюються по другому закону Кірхгофа.

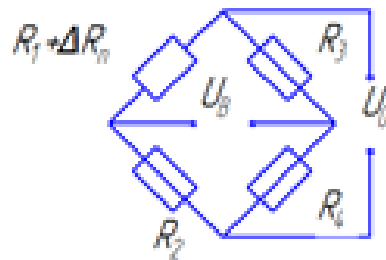


Рис. 1.8. Мостова вимірювальна схема

В плечі моста (рис. 1.) встановлено четверо тензорезисторів, які мають внутрішній опір R_1 , R_2 , R_3 і R_4 . Під дією зовнішньої сили опір R_1 зміниться на величину ΔR (за рахунок деформації датчика) напруга у вимірювальній діагоналі U_{β} може бути розрахована по другому закону Кірхгофа.

При однакових опорах R_i всіх датчиків:

$$U_{\beta} = \frac{1}{4} \cdot U_0 \cdot \frac{\Delta R_{\Pi}}{R_{\Pi}} \quad (1.2)$$

де U_0 - напруга, що подається на міст.

Для вимірювання таких величин як розтягуючі та стискаючі зусилля, а також згин та кручення використовуються динамометри. Їх виготовляють для вимірювання силових залежностей при різанні. Для цього можуть використовувати декілька активних та пасивних (в них незмінний опір) тензорезисторів (рис. 1.9).

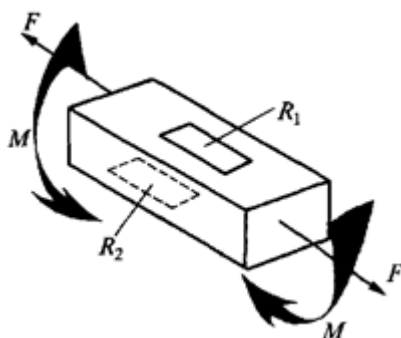


Рис. 1.9. Вимірювальний стержень з двома активними тензорезисторами R_1 і R_2

При вимірюванні деформацій (розтиск та стиск) використовується схема вимірювання яка приведена на рис. 1.10. В ній відбуватиметься зміна електричної напруги за рахунок дії сил F .

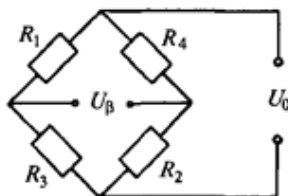


Рис. 1.10. Схема вимірювання електричної напруги за рахунок дії сил F

При вимірюванні деформацій які спричинені згином та крученням використовується схема вимірювання яка приведена на рис. 1.11.

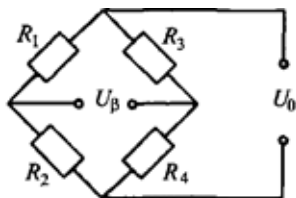


Рис. 1.11. Схема вимірювання електричної напруги за рахунок дії моментів M

Як правило, такі динамометричні пристрої можуть зафіксувати дуже малі силові параметри процесу різання (частота зміни до 40 Гц), тому їх потрібно підсилити за допомогою підсилювачів.

Тензометричні підшипники. Вони використовуються в передніх опорах шпindelних вузлів (ШВ) різних груп верстатів, за їх допомогою можна виміряти три складові різання. ВП для таких підшипників складається з первинного (давача) і електронного модуля для обробки сигналу [7].

На рис. 1.12. приведена схема, яка показує принцип вимірювання сил в тензометричних підшипниках.

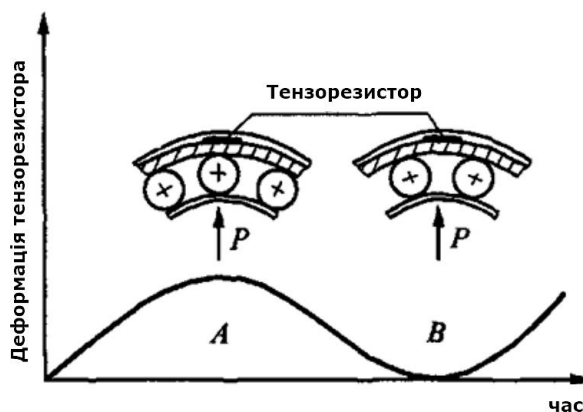


Рис. 1.12. Вимірювання навантаженого стану в тензопідшипниках

В процесі різання на підшипнику передньої опори ШВ виникають навантаження, під дією яких виникають деформації в кульках та кільцях, вони пропорційні навантаженню. В процесі обертання у зовнішньому кільці підшипника виникають зони деформації, які пульсують. Для того, щоб визначити величину деформації на зовнішньому кільці підшипника проточують спеціальну канавку, в яку наклеюють тензорезистор.

Принцип роботи тензопідшипника полягає у тому, що умовно існує дві позиції (А та В), при попаданні в які відбувається деформація тензорезисторів. Позиція А - кулька знаходиться проти тензорезистора і він потрапляє в зону деформації. Позиція В - тензорезистор потрапляє між двома зонами деформацій. За рахунок зміни електричного опору тензорезисторних давачів виникає електрорушійна сила, яка перетвориться в зміну напруги.

Давач вимірювання крутного моменту. Його в основному використовують для аналізу деформацій, що виникають при роботі осьового інструменту, він має безконтактний спосіб дії [9]. В принципі його лежить ефект Віллари (зміна намагніченості феромагнетика від його деформації). На рис. 1.13 приведено схему, на якій зображено принцип роботи індуктивного датчика.



Рис. 1.13. Вимірювач крутного моменту при роботі осьовим інструментом

В цій схемі в якості безконтактного датчика використовується котушка індуктивності, яка охоплює перехідну втулку. Оскільки втулка має феромагнітне осердя, то його індуктивність буде змінюватися в результаті деформації, яку спричиняють сили різання. В котушці виникає змінний струм звукової частоти, яку сприймає вимірювальний блок, в його функції також входить підсилення вихідного сигналу та перетворення в цифрову форму.

Давачі Холла. Їх в основному використовують для вимірювання потужності електричної енергії, напруги, струму, а також параметрів магнітних полів. Давачі на ефекті Холла також можуть застосовуватись для вимірювання таких неелектричних величин як: переміщення, тиск, кут повороту і ін. [7].

Принцип роботи давача, який працює на ефекті Холла показаний на рис. 1.14.

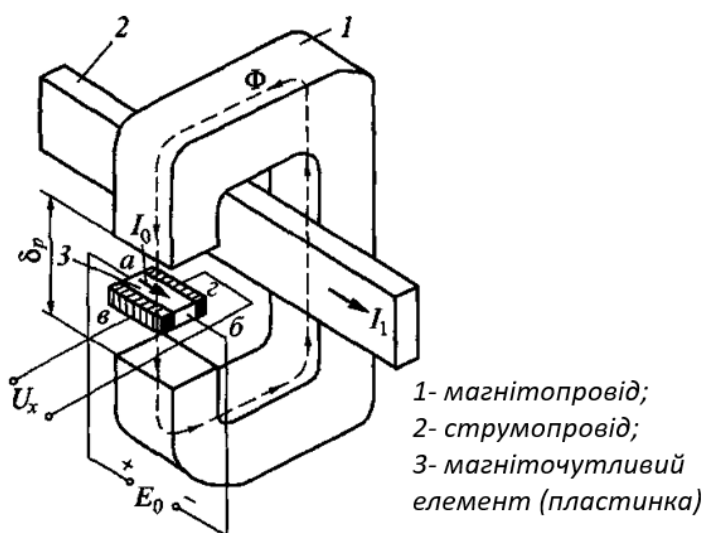


Рис. 1.14. Принцип роботи давача, що працює на ефекті Холла

При протіканні струму через струмопровід 2 в магнітопроводі 1 збуджується магнітний потік Φ , в результаті чого виникає струм I_0 в магніточутливому елементі (пластинці 3) і утворюється електричне поле. Це поле викликає різницю потенціалів U_x на електродах a і b , що стає електрорушійною силою Холла, яку можна визначити по формулі:

$$U_x = K_x \cdot I_0 \cdot B \quad (1.3)$$

де K_x - постійна Холла; B - магнітна індукція в робочому повітряному зазорі магнітопроводу (її величина пропорційна контрольованому струму I_1).

П'єзоелектричний давач. Цей тип давачів використовується тільки для проведення динамічних вимірювань. Вони працюють частотному діапазоні вимірювань до 10^5 Гц. В цих давачах використовується підсилювач заряду.

Як правило, такий давач може складатися з пластин п'єзоелектрика, яку затискають між двома металевими оболонками, до яких прикладається вимірюване зусилля. Під час прикладання зусилля між останніми виникає різниця потенціалів U_x , яка пропорційна силі F_x [6].

На рис. 1.15. приведена схема, яка пояснює принцип п'єзоефекту, а на рис. 1.16 - паралельну схему об'єднання пластин.

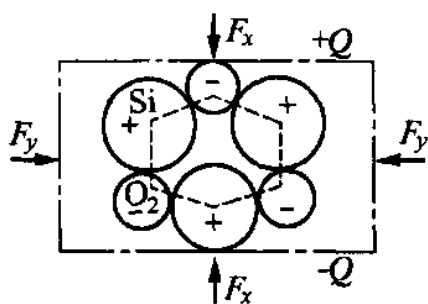


Рис. 1.15. Схема п'єзоефекту

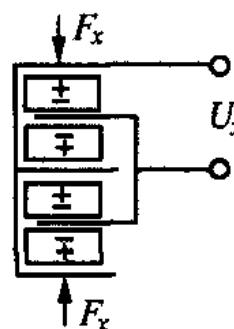


Рис. 1.16. Паралельна схема об'єднання пластин

Паралельну схему об'єднання пластин використовують для отримання більшого заряду, його величину можна розрахувати за формулою:

$$U_x = n \cdot d \cdot F_x \quad (1.4)$$

де n - число пластин; d - п'єзоелектричний модуль.

П'єзоелектричні давачі мають певні переваги, до яких можна віднести [6]: надзвичайно висока чутливість; широкий діапазон вимірювання; вимірювань малих переміщень (біля 1 мкм); можливість вимірювати високочастотні коливання; вимірювання стискаючих та зсувних навантажень (за рахунок властивостей кристалів).

Акустичні давачі. Їх, як правило, застосовують для реєстрації коливань, які можуть виникати в процесі різання. Вони в основному побудовані на використанні п'єзоелектричного ефекту [7]. Така діагностика базується на вимірюванні окремих параметрів коливань елементів пружної системи верстата. Коливання можуть вимірюватися в трьох діапазонах частот:

- менше кГц – низькочастотний (НЧ);
- від 1 кГц до 50...80 кГц – середньочастотний (СЧ) – це віброакустичні коливання;
- понад 80... 100 кГц – високочастотний (ВЧ) - акустична емісія.

На рис. 1.17 приведені основні джерела різних типів коливань на металорізальних верстатах.



Рис. 1.17. Джерела збудження різного виду коливань на металорізальних верстатах

На рис. 1.18 приведено типову конструкцію п'єзодавача. Так п'єзоелемент (1) спирається на ізоляційну шайбу (2). До посрібленої поверхні п'єзоелемента (1) припаяний провідник (5), через який електричні заряди подаються на струмомірач (4), який закріплений на шайбі (6). Інша поверхня п'єзоелемента з'єднується з корпусом (3). Давачі розрізняються по типу частотних коливань, які ними сприймаються. Для отримання інформативного сигналу важливо правильно визначити місце установки давача. Критерієм правильності вибору місця є найбільша різниця між рівнем сигналу в процесі різання і на холостому ході верстата [9].

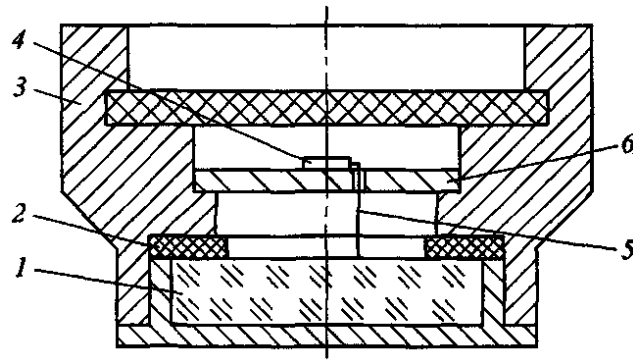


Рис. 1.18. П'єзодавач акустичної емісії

Широке використання для теплового контролю технологічного устаткування знаходять *термістори* або *терморезистори* – в основі їх роботи лежить фізична властивість напівпровідникових резисторів, електричний опір яких істотно змінюється із зростанням температури [6].

Аналогічний принцип дії мають безконтактні методи інфрачервоної термографії за допомогою тепловізорів і пірометрів.

1.2.3. Особливості діагностики процесу різання і зношення інструменту

На верстатах з ЧПК СД можна розглянути як сукупність інструменту та основних засобів для діагностики його стану. По відношенню до різних типів інструментів існує свій алгоритм діагностики, який і зумовлює структуру діагностики в цілому.

На різноманітних автоматизованих верстатах можуть використовуватись різні види і типи інструменту, серед яких найпоширенішими є: різці, свердла, фрези та мітчики, усі вони, як правило, виготовляються з твердих сплавів. В довідниках, що стосуються нормативів режимів різання, по різних видах обробки подаються значення величини допустимого зносу цих інструментів.

Також стосовно використовуваних інструментів є відомими загальні закономірності поширення зони їх зношення, особливості перебігу властивостей та структурних змін в ріжучій частині інструменту в залежності від його службового призначення та режимів різання.

Для того, щоб забезпечити надійну діагностику потрібно вивчити, що відбувається (які зміни стану проходять) в інструменті при конкретних умовах

експлуатації. Для цього необхідно визначити параметр, який може в подальшому використовуватися як критерій стану та критерій відмови.

Існують параметри які характеризують початковий стан інструменту, серед яких найважливішим є відмова через зношення робочих поверхонь. Тому надзвичайно важливим є контроль інструменту на зношення та діагностика його стану. Вони можуть бути як періодичними, так і постійними. Під час періодичного контролю інструменту можуть визначатися такі дефекти як: поломка, скол, зношення його ріжучої ділянки.

На практиці, як правило, віддається перевага непрямим методам вимірювання, які здійснюють контроль та вимірювання в процесі обробки.

Як відомо [6], в процесі різання відбувається взаємодія інструменту та оброблюваного матеріалу. Цей процес супроводжується одночасним руйнуванням оброблюваного матеріалу і ріжучого інструменту. В результаті цього утворюється стружка та поверхня деталі (поверхневий шар), вони характеризуються певними параметрами, які приведені на рис. 1.19.

В процесі обробки відбувається руйнування інструменту, яке проявляється через зношення його робочих поверхонь або зміну кольору ріжучої частини по відношенню до початкового стану інструменту. Також може змінюватися його геометрія, та основні параметри стану стружки і поверхневого шару деталі. Параметри стану стружки і деталі впливають на особливості руйнування інструменту і параметри його стану.

Серед параметрів першого і другого блоків є такі, за якими встановлюють безперервний контроль, моніторинг - нагляд за розвитком в часі. Це знос, сколювання, поломка інструменту, форма стружки, наріст, шорсткість, розмір деталі і ін.

В роботі [12] зазначено, що засоби активного контролю, як правило, мають однакову структурну схему (рис. 1.5), яка складається з визначених елементів, що виконують певні функції, вона не залежить від виду та типу технологічного обладнання. Дану схему можна віднести до систем автоматичного регулювання.

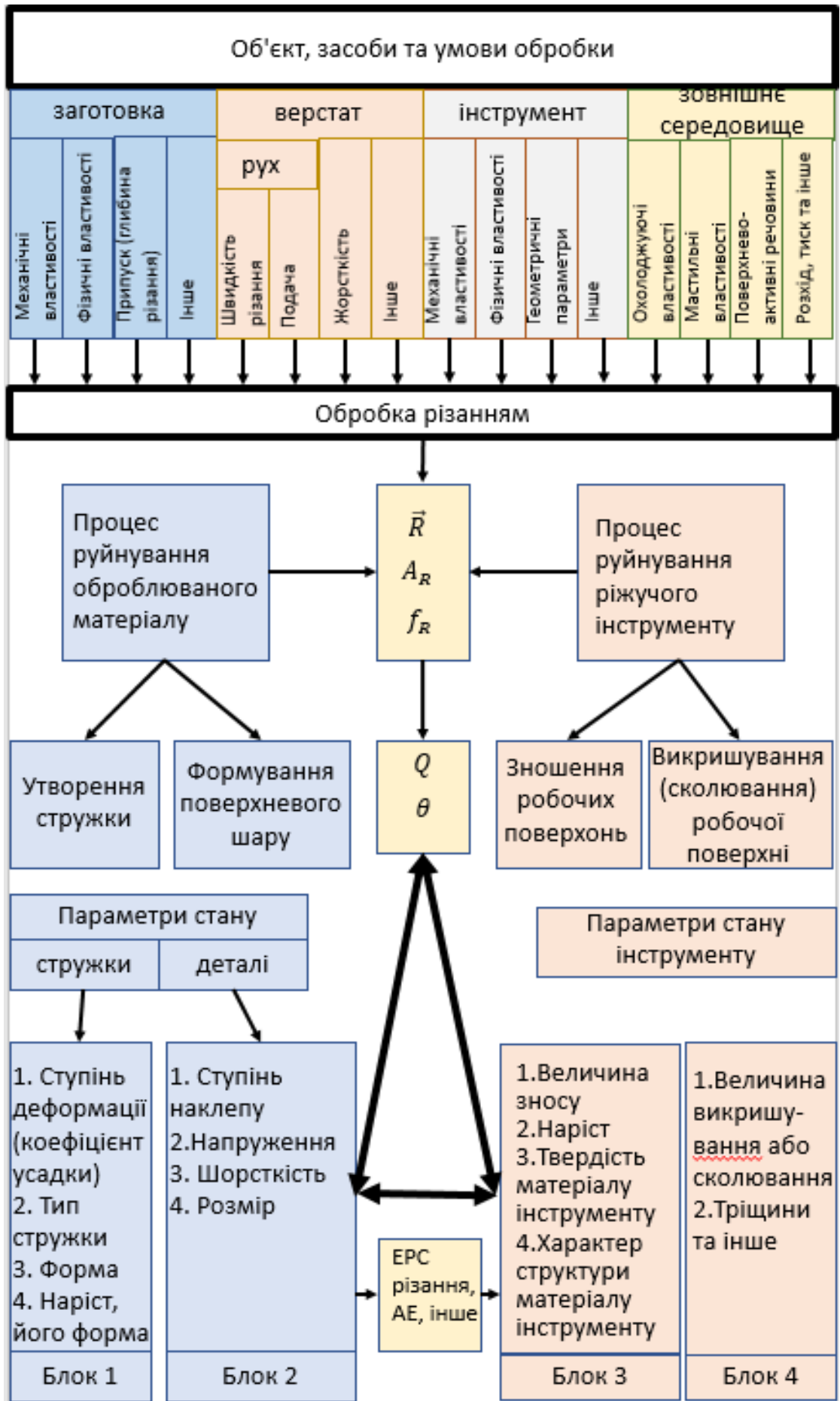


Рис. 1.19. Взаємозв'язок параметрів в процесі різання

Важливе місце серед параметрів, займають ті, що характеризують процес різання, їх ще називають функціональні параметри. Одним із найважливіших параметрів є сила різання R , яка виникає при відносному русі інструменту і оброблюваної заготовки. Сила різання підбирається такою, щоб вона була достатньою для подолання: опору руйнованого шару матеріалу та тертя, що виникає в русі в процесі обробки.

При зміні умов різання, яка може бути викликана зміною параметрів стану інструменту або стружки, відбувається зміна сили різання. При цьому у зв'язку зміни можуть зазнати такі параметри як середнє значення сили та напрям її дії \bar{R} , амплітуда A_R , і частота її коливання f_R .

Сила R визначає необхідну для різання роботу і потужність. В наслідок перетворення механічної енергії в теплову виникають джерела теплоти (Q), які визначаються температурою θ і температурними полями. Джерела теплоти та температурні поля є чутливими до змін умов різання та параметрів стану інструменту, стружки і деталі.

В основі діагностики стану інструменту лежить припущення про оборотність залежності між параметром його стану і іншими параметрами, що є його непрямими діагностичними ознаками $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n$.

Сила різання може використовуватися в якості діагностичної ознаки при використанні спеціальних динамометрів, які можуть вбудовуватися у вузли та деталі верстатів. На їх інформативність впливає їх конструктивна та апаратна реалізація, а також місце розташування давача на верстаті. Такі давачі можуть перетворювати значення параметрів сили в аналогові електричні сигнали.

1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

Система ЧПК на верстаті дозволяє контролювати процеси які відбуваються в процесі обробки деталі, а також спроможна аналізувати стан пульта оператора, та керувати основним та різноманітним допоміжним обладнанням. Оскільки процес обробки деталей супроводжується зношуванням ріжучого інструменту, то актуальним є проведення активної діагностики його стану.

Точність вимірювання в системах активного контролю на верстатах ЧПК може визначатися вимірювальним перетворювачем, їх точність може залежати від фізичного принципу, який лежить в їх основі.

Існуючі методи діагностики дозволяють вимірювати такі параметри оброблюваної деталі, як форма, шорсткість, знімати її розміри та температуру. Також вони дозволяють контролювати параметри стружки, а саме її форму та температуру. Сучасні давачі дозволяють вимірювати силові параметри, до яких можна віднести крутний момент, силу різання, потужність різання. Є окрема група давачів, які дозволяють здійснювати вібродіагностику верстатів.

Для забезпечення надійної діагностики необхідно знати та контролювати процеси які відбуваються в зоні різання. Тому потрібен надійний параметр, який може в подальшому використовуватися як критерій стану та критерій відмови.

Використання системи ЧПК дозволяє здійснювати моніторинг інструменту на зношування, сколювання, поломки, контролювати форму стружки, наріст, шорсткість, розмір деталі і ін.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка схеми активного контролю токарного верстату з ЧПК з використанням давачів.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі основні задачі:

- провести технологічні розрахунки для деталі типу «Кришка КР33-18.305»;
- провести розробку основних виконавчих вузлів запропонованого верстату;
- здійснити комплекс заходів по організації діагностики на запропонованому верстаті;
- вирішити питання охорони праці на запропонованому верстаті;
- вирішити питання безпеки життєдіяльності людини.

Об'єкт дослідження – супортна група токарного верстату з ЧПК.

Предмет дослідження – конструктивні рішення засобів активної діагностики.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ

2.1. Технологічні розрахунки

Деталь «Кришка КР33-18.350» відноситься до класу 71 [13]. До цього класу відносяться кільця, диски, шківни, блоки, втулки, стакани, вали, штоки та інше. По своїх габаритних розмірах вона відноситься до деталей з найбільшим діаметром.

Деталь - «Кришка КР33-18.350» (рис. 2.1) входить у конструкцію редуктора, який забезпечує передачу обертів за допомогою зубчастих коліс з постійним передаточним відношенням. У редукторі кришка є центральною шестернею, по якій відбувається обкат сателітів. Редуктор призначений для зменшення кутової швидкості й збільшення обертаючого моменту на вихідному валу. Деталь є досить трудомістка у виготовленні, містить різноманітні поверхні й конструктивні елементи: отвори, пази, зуби. До багатьох поверхонь висуваються високі вимоги по точності і якості.

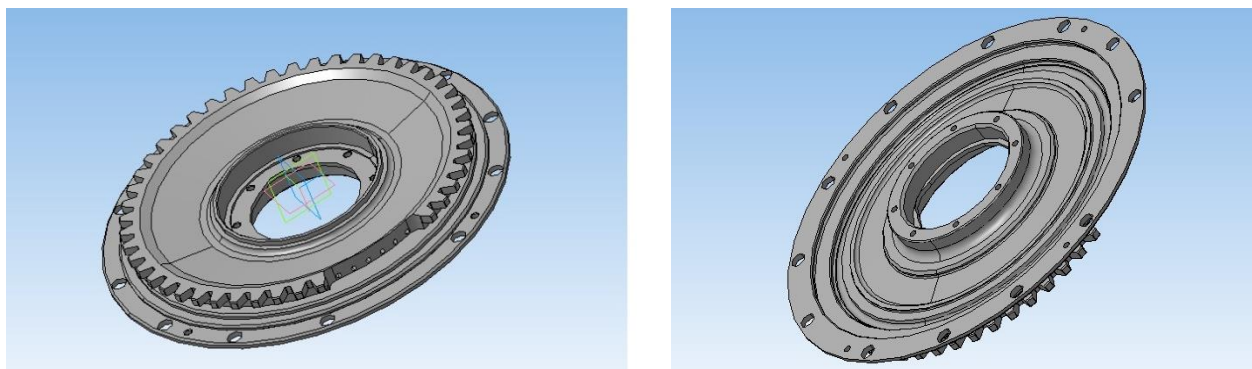


Рис. 2.1. Загальний вигляд деталі

Деталь «Кришка КР33-18.350» містить у собі всі елементарні поверхні які мають деталі даної групи (точні центральні отвори, кріпильні отвори розташовані поза віссю деталі, пази, зубчастий вінець, канавки, похилі отвори).

Матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 1050-88 [14]. Цей матеріал належить до хромистих сталей, що характеризуються високою міцністю, добре обробляються різанням.

На попередньому етапі були проведені технологічні розрахунки які показали, що деталь «Кришка КР33-18.350» є технологічною. Значення усіх трьох показників, а саме точності, шорсткості та уніфікації відповідають допустимим критеріям технологічності.

Заготовку для деталі отримуємо штампуванням в закритих штампах на кривошипних гарячештампвальних пресах у нероз'ємних матрицях [15].

Ескіз поковки для деталі «Кришка КР33-18.350» приведено на рис. 2.2.

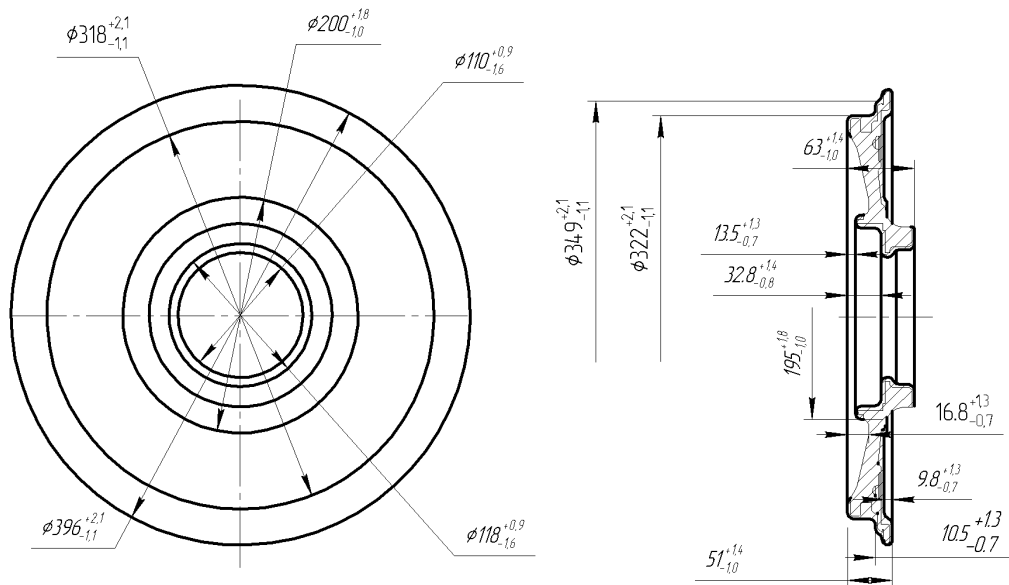


Рис. 2.2. Ескіз заготовки деталі «Кришка КР33-18.350»

Для обробки даної деталі було розроблено технологічний процес (табл. 2.1), який передбачає використання високопродуктивного обладнання з ЧПК, що дозволило суттєво зменшити кількість використовуваного обладнання.

Таблиця 2.1. Проектований маршрутний технологічний процес

№	Назва операції	Верстат, обладнання
005	Комбінована з ЧПК	Токарний н/а 1П756Ф4
010	Комбінована з ЧПК	Токарний н/а 1П756Ф4
015	Зубодовбальна	Зубодовбальний н/а 5М150
020	Фрезерна з ЧПК	Фрезерний з ЧПК 6Р11Ф3-01
025	Слюсарна	Стіл слюсарний
030	Мийна	МКП-0620
035	Контрольна	Стіл контрольний

Оскільки в представленому дослідженні об'єктом є супортна група верстату, то для технологічних розрахунків було обрано операції, які проводились на токарному верстаті.

Приведемо приклад розрахунку режимів різання для точіння, а саме чорнове точіння торця.

Спочатку проведемо розрахунок швидкості різання, для цього скористаємось виразом [16]:

$$V = \frac{C_v \cdot K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_v \cdot K_{1v} \cdot K_r}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \quad (2.1)$$

$C_v = 330$ – коефіцієнт, що враховує фактори, які не ввійшли в формулу;

$K_{mv} = 0,64$ – коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу;

$K_{nv} = 0,8$ - коефіцієнт, дозволяє врахувати стан поверхневого шару;

$K_{uv} = 1$ - коефіцієнт, дозволяє враховувати вплив матеріалу з якого виготовлений інструмент;

$K_v = 0,8$ – коефіцієнт, дозволяє враховувати вплив головного кута в плані;

$K_{1v} = 1$ - коефіцієнт, дозволяє враховувати вплив допоміжного кута в плані;

$K_r = 1$ - коефіцієнт, який залежить від радіуса на вершині різця;

$T = 50$ - період стійкості інструмента, хв;

$m = 0,2$ - показник степені, який дозволяє врахувати період стійкості інструменту;

$t = 2,2$ - глибина різання, мм;

$x = 0,15$ - показник степені, який дозволяє врахувати глибину різання;

$S = 0,6$ - подача, мм/об;

$y = 0,45$ - показник степені, який дозволяє врахувати величину подачі.

$$V = \frac{330 \cdot 0.64 \cdot 0.8 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{50^{0.2} \cdot 2.2^{0.15} \cdot 0.6^{0.45}} = 74 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою [16]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (2.2)$$

де $d = 140$ – розрахунковий діаметр, мм.

$$n = \frac{1000 \cdot 74}{3.14 \cdot 140} = 168 \text{ об/хв}$$

Для визначення хвилинної подачі скористаємось виразом [16]:

$$S_{\text{хв}} = n \cdot S \quad (2.3)$$

де $n = 168$ - частота обертання шпинделя об/хв;

$S = 0,6$ - подача в мм/об.

$$S_{\text{хв}} = 168 \cdot 0.6 = 101 \text{ мм/хв}$$

На основі проведених розрахунків здійснимо перевірку потужності верстата. Для цього спочатку розрахуємо складову сили різання [16]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_0^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.4)$$

де $C_p = 300$ – коефіцієнт, який враховує параметри, що не увійшли в формулу;

$t = 4$ мм - глибина різання;

$x = 1$ – показник степеня, який враховує вплив глибини різання;

$S = 0.6$ мм - подача;

$y = 0.75$ – показник степеня, який враховує вплив подачі;

$V = 74$ м/хв – швидкість різання;

$n = -0.15$ - показник степеня, який враховує вплив швидкості різання;

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \quad (2.5)$$

де $K_{mp} = 1.58$ - коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу;

$K_{\varphi p} = 1$ - коефіцієнт, який враховує вплив кута φ ;

$K_{\gamma p} = 1$ - коефіцієнт, який враховує вплив кута γ ;

$K_{\lambda p} = 1$ - коефіцієнт, який враховує вплив кута λ ;

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4 \cdot 0.6^{0.75} \cdot 74^{-0.15} \cdot 1.58 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6777.3 \text{ Н}$$

Здійснимо розрахунок необхідної потужності [17]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} < 30 \quad (2.6)$$

$$N = \frac{6777.3 \cdot 74}{1020 \cdot 60} = 8.1 < 30 \text{ кВт}$$

Обробка на верстаті 1П756Ф4 при вказаних режимах обробки можлива.

2.2. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату

2.2.1. Вибір рухів, які необхідні для обробки деталі на обраному верстаті

Для обробки деталі «Кришка КР33-18.350» на верстаті необхідно забезпечити певний набір формоутворюючих рухів. Тому необхідно в'яснити, які саме рухи потрібно забезпечити на кожній операції [18].

На рис. 2.3. приведено схему формоутворення при розточуванні отворів із вказанням усіх необхідних рухів.

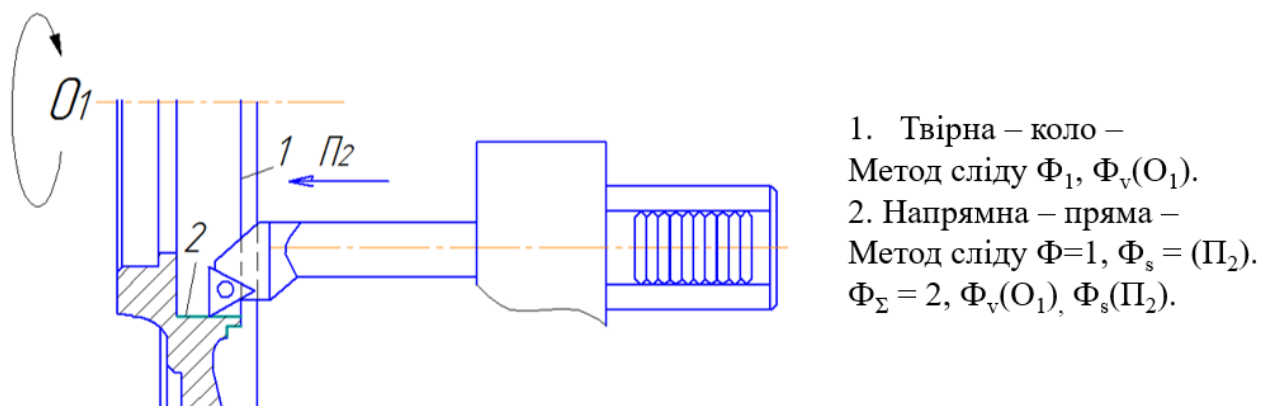


Рис. 2.3. Формоутворюючі рухи при розточуванні отвору

Для виконання операції проточування канавки необхідно забезпечити обертовий рух заготовки та поступальний рух інструменту, формоутворюючі рухи при цьому приведені на рис. 2.4.

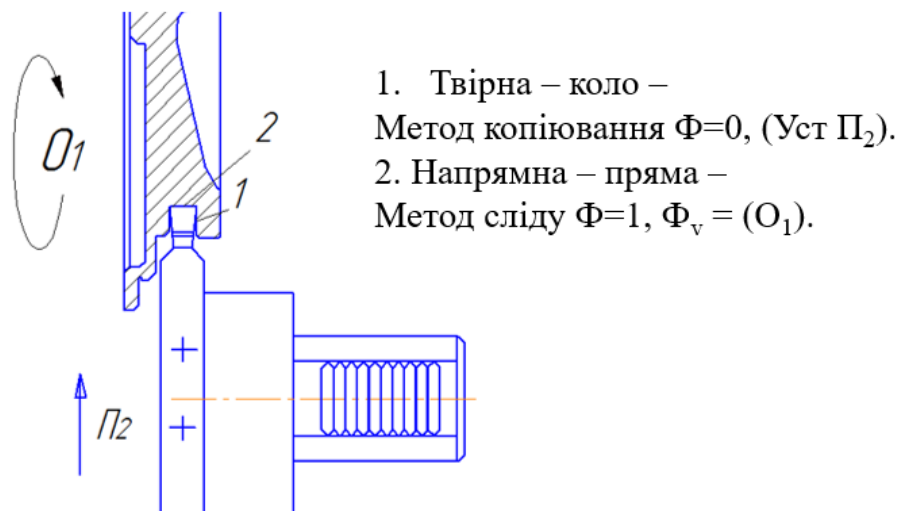
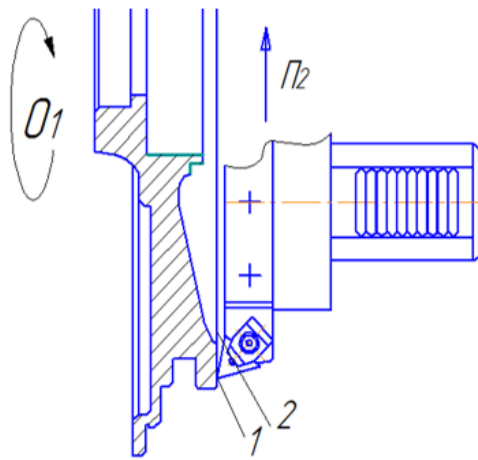


Рис. 2.4. Формоутворюючі рухи при точінні канавки

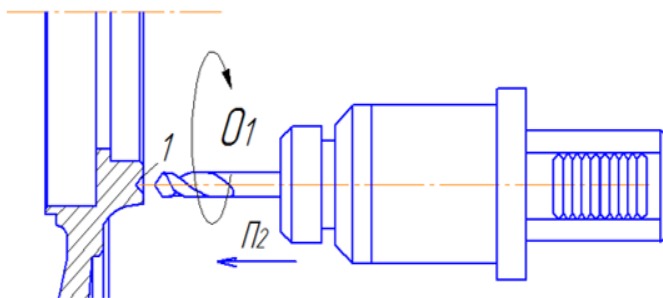
На токарному верстаті також здійснюють операцію підрізання торця, для її виконання необхідні формоутворюючі рухи, які приведені на рис. 2.5. Дана операція передбачає обертання заготовки та поступальний рух різця.



1. Твірна – коло -
Метод сліду $\Phi=1$: $\Phi_v=(O_1)$.
2. Напрямна – пряма –
Метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_s = (P_2)$.
 $\Phi_\Sigma = 2$, $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_s(P_2)$.

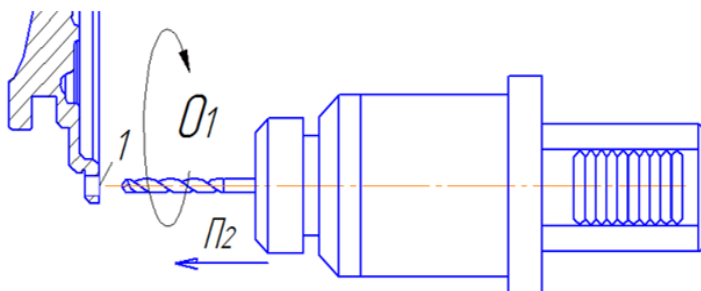
Рис. 2.5. Формоутворюючі рухи при підрізанні торця

Також на обраному верстаті можуть виконуватися операції центрування та свердління отвору. Дані операції передбачають, що заготовка нерухома, а свердло має обертовий рух та рух подачі. Формоутворюючі рухи по цих операціях приведені на рис. 2.6 та 2.7 відповідно.



1. Твірна лінія – коло - Метод копіювання $\Phi_v = 0$.
2. Направляюча лінія – пряма -
Метод сліду $\Phi = 1$, $V_r(P_2)$.
 $\Phi_\Sigma = 1$, $\Phi_v(O_1 P_2)$.

Рис. 2.6. Формоутворюючі рухи при центруванні отвору



1. Твірна – коло –
Метод сліду Φ_1 , $\Phi_v(O_1)$.
2. Направляюча - відтворююча лінія –
Метод сліду $\Phi=1$, $\Phi_s = (P_2)$.
 $\Phi_\Sigma = 2$, $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_s(P_2)$.

Рис. 2.7. Формоутворюючі рухи при свердлінні

Згідно розробленого технологічного процесу на обраному верстаті може також проводитися нарізання різи мітчиком. На рис. 2.8 представлено схему, де відображено весь комплекс формуючих рухів.

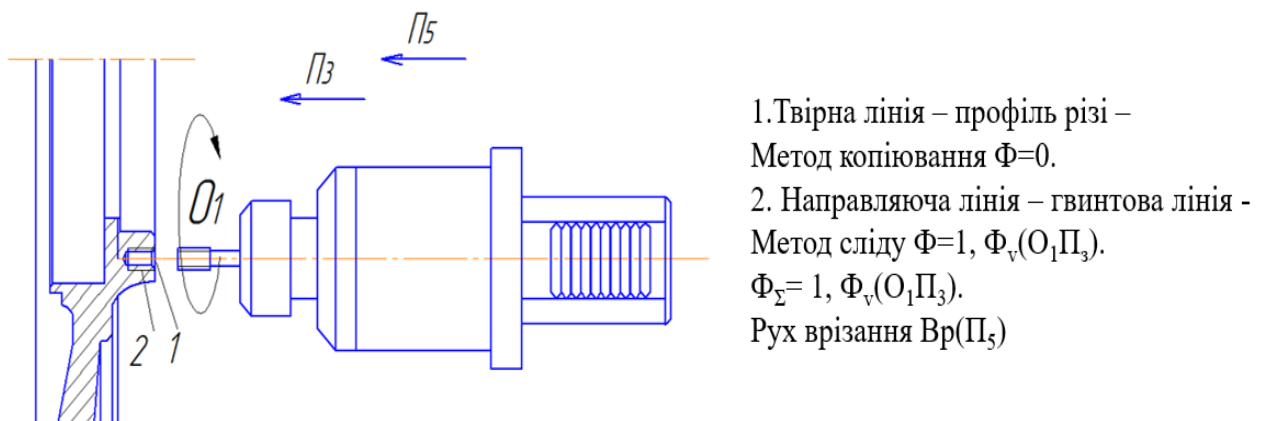


Рис. 2.8. Формуючі рухи при нарізанні різи мітчиками

Однією із конструктивних особливостей деталі «Кришка КР33-18.350» є наявність пазу, який отримується при обробці деталі фрезою. Особливості формоутворення при виконанні даної операції приведені на рис. 2.9.

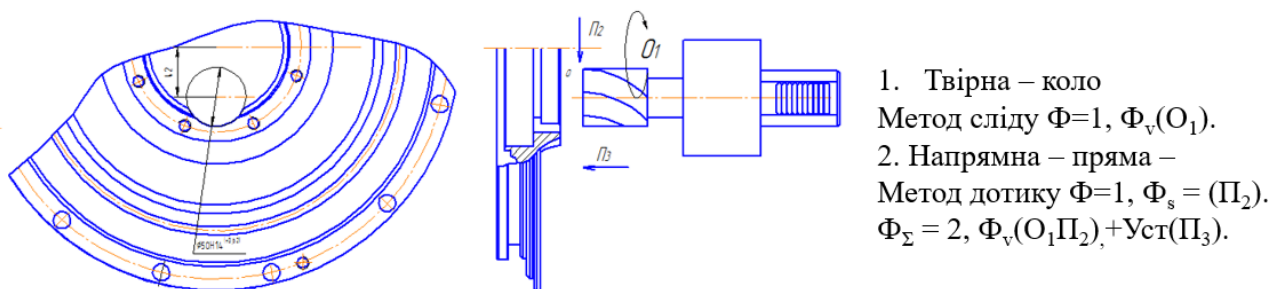


Рис. 2.9. Формуючі рухи при обробці пазу фрезою

2.2.2. Обґрунтування структурно–кінематичної схеми верстата

На основі приведених схем формуючих рухів розробляється структурно-кінематична (рис. 2.10) та кінематична схема верстату.

До особливостей розроблюваної схеми слід віднести те, що виконання всіх рухів забезпечують незалежні двигуни. Це дозволяє спростити кінематичну схему.

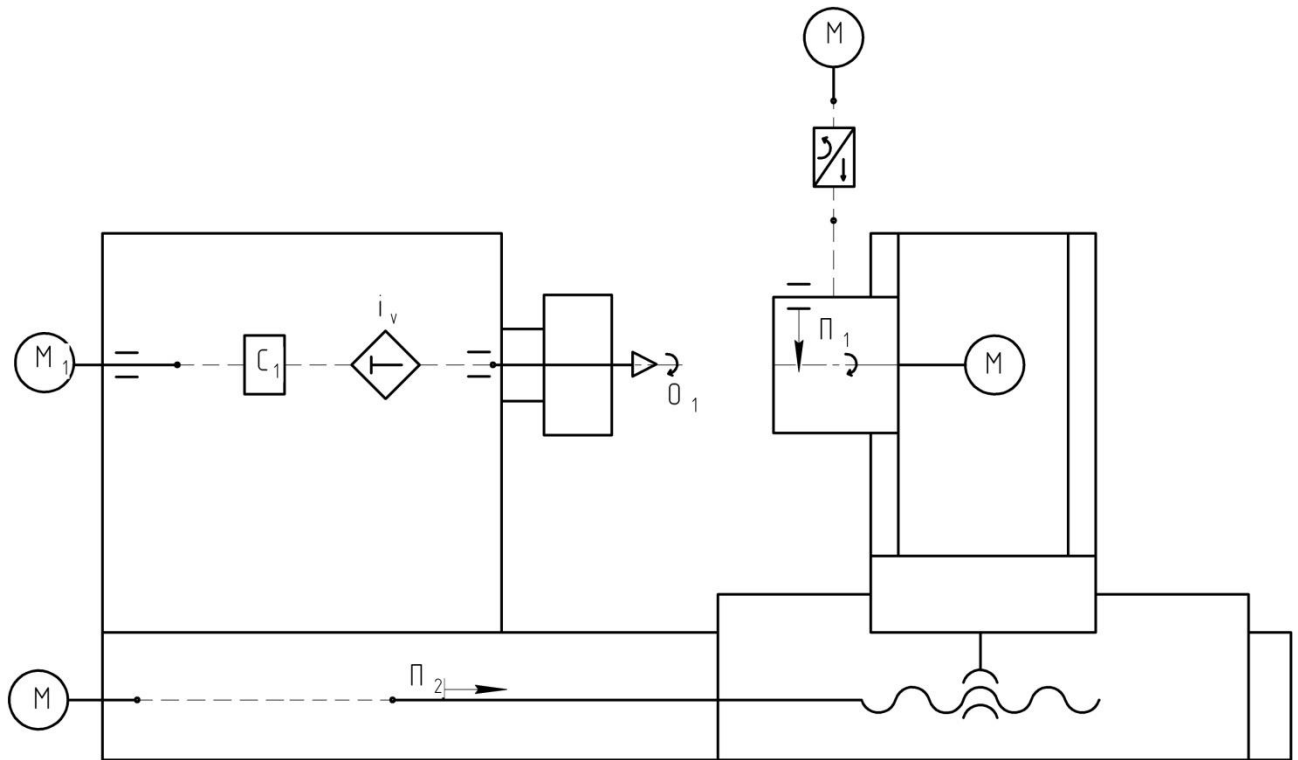


Рис. 2.10. Розроблена структурно-кінематична схема верстату

2.3. Оптимізація компоувальної схеми верстату

Як відомо, компоувальна схема верстату повинна відобразити як забезпечується виконання необхідних формоутворюючих та виконавчих рухів на верстаті [19].

Для формалізованого опису компоування верстату використовують структурні формули [19, 20], які представляють собою певну послідовність символів (вони позначають блоки та їх координатну причетність) і методи їх спряження між собою.

Запишемо рівняння загальної матриці можливих варіантів компоувальних схем верстату:

$$A = \begin{bmatrix} ZXCO & ZXOC & ZOXC & OZXC \\ XCXO & ZCOX & ZOCX & OZCX \\ CZXO & CZOX & ZOCX & OCXZ \\ XZCO & XZOC & XOZC & OXZC \\ XCZO & XCOZ & XOCZ & OXCZ \\ CXZO & CXOZ & COXZ & OCXZ \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Оскільки існує багато варіантів компоувальних схем, то є необхідність у їх математичному відборі. Це можна здійснити застосувавши математичні методи відбору, при цьому умови відбору слід формалізувати.

Відбір компоувальних схем може здійснюватися як з технологічних, так і конструктивних міркувань. Провівши детальний аналіз праці Ю.Д. Врагова, вибираємо найважливіші, стосовно проєктованого верстату, структурні ознаки відбору компоувальних схем [19].

M_1 : Підвищення стійкості мас. Блок, який має велике переміщення, повинен бути ближче розміщеним до стаціонарного вузла $Z > X$.

$$M_1 = \bar{Z}\bar{Z}ZO + \bar{Z}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z} \quad (2.8)$$

M_2 : Кінцевим блоком компоувальної схеми є блок обертового руху.

$$M_2 = C\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}CO\bar{O} + OO\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C \quad (2.9)$$

M_4 : Покращення динамічних характеристик, для цього здійснюється розподіл рухомих блоків між гілками компоування.

$$M_3 = \emptyset + \bar{O}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{O} + \emptyset \quad (2.10)$$

M_4 : Підвищення жорсткості системи ВПД, за рахунок надання обертового руху заготовці.

$$M_4 = \bar{O}\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}\bar{O}O\bar{C} + CO\bar{C}\bar{C} + \emptyset \quad (2.11)$$

Визначаємо структурні формули компоновок, що задовольняє всім структурним ознакам з використанням математичного методу відбору компоновок.

$$\begin{aligned} M_1 &= \bar{Z}\bar{Z}ZO + \bar{Z}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z} \\ M_2 &= C\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}CO\bar{O} + OO\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C \\ M_3 &= \emptyset + \bar{O}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{O} + \emptyset \\ M_4 &= \bar{O}\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}\bar{O}O\bar{C} + CO\bar{C}\bar{C} + \emptyset \\ \sum M &= \emptyset + CZOX + COZX + \emptyset \end{aligned} \quad (2.12)$$

Проведені математичні перетворення дозволили отримати набір базових компоувальних схем верстата, варіанти їх можливої реалізації приведені на рис. 2.11-2.16.

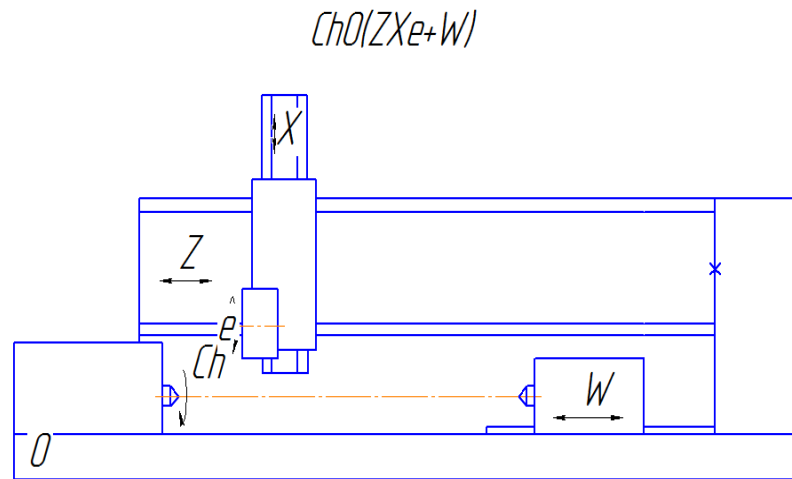


Рис. 2.11. Компонування токарного верстату за формулою $ChO(ZXe + W)$

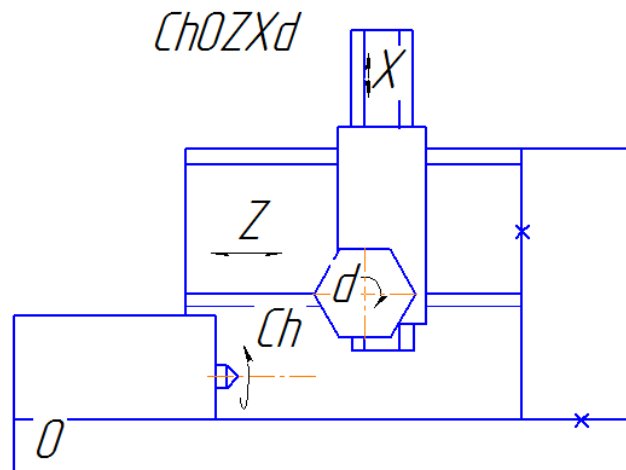


Рис. 2.12. Компонування токарного верстату за формулою $ChOZXd$

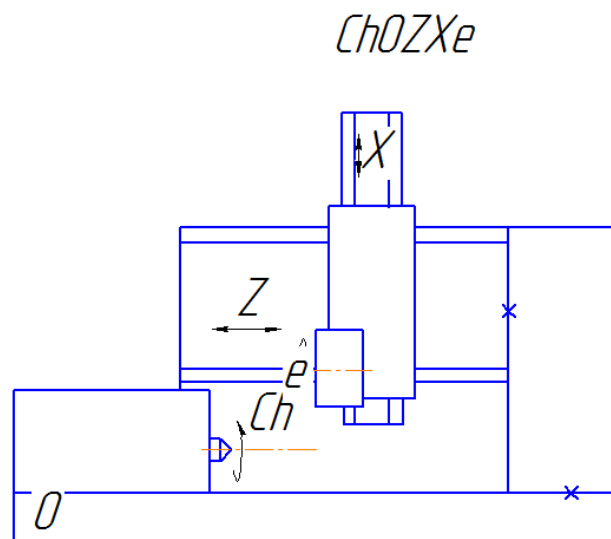


Рис. 2.13. Компонування токарного верстату за формулою $ChOZXe$

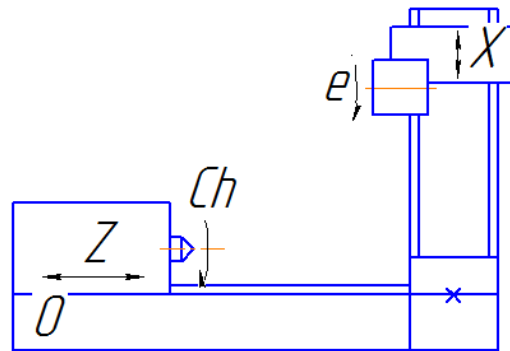
$$ChZOXe$$


Рис. 2.14. Компонування токарного верстату за формулою ChZOXe

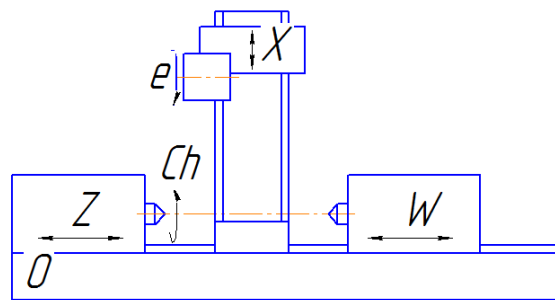
$$ChZO(Xe+W)$$


Рис. 2.15. Компонування токарного верстату за формулою ChZO(Xe + W)

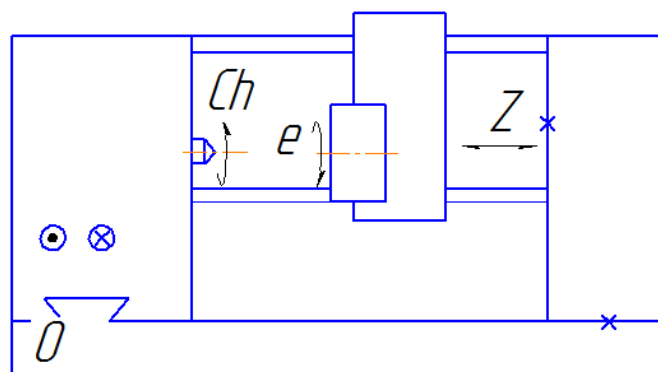
$$ChXOZe$$


Рис. 2.16. Компонування токарного верстату за формулою ChXOZe

2.4. Силіві та міцнісні розрахунки

2.4.1. Розрахунок приводу верстату

На підставі розробленої структурно-кінематичної схеми розробляємо кінематичну схему верстата в цілому та приводу верстату зокрема. Однією із головних особливостей верстату є те, що в його приводі знайшли використання високомоментні двигуни постійного струму (ДПС), їх є сім.

На проектованому токарному верстаті з ЧПК здійснюється обробка деталей з важкооброблюваних сталей та алюмінієвих сплавів. Верстат дозволяє виконувати такі технологічні операції як точіння, обробка отворів осьовим інструментом та нарізування різі.

Для розрахунків попередньо були визначені силові параметри (при цьому виходили із операцій, в яких передбачені чорнові режими різання). Дані розрахунки показали (в роботі не приведені), що максимальне значення ефективної потужності становить $N_{\text{сф}}=16,59$ кВт.

Оскільки на верстаті встановлюють високомоментні ДПС з тиристорною системою керування, то діапазон швидкості обертання приводу токарного верстату з ЧПК буде мати двозонне регулювання [21, 22].

Методика розрахунку безступеневого регулювання приводу є загальновідомою, тому далі приводимо тільки результати розрахунків.

Попередні розрахунки показали, що привід верстату повинен забезпечити наступні діапазони регулювання:

- при стійній потужності від 2000 до 3000 об/хв;
- при постійному моменті від 21 до 3000 об/хв.

Виходячи з цього діапазон регулювання приводу:

$$R = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}} = \frac{2000}{10} = 200; \quad (2.13)$$

двигуна:

$$R_{\text{д}} = \frac{n_{\text{дmax}}}{n_{\text{дmin}}} = \frac{3000}{315} = 9,52; \quad (2.14)$$

двигуна при постійній потужності:

$$R_{дР} = \frac{n_{дmax}}{n_{дн.}} = \frac{3000}{1500} = 2; \quad (2.15)$$

двигуна при постійному моменті:

$$R_{дМ} = \frac{R_{д}}{R_{дР}} = \frac{9,52}{2} = 4,76 \approx 5 \quad (2.16)$$

шпинделя при постійній потужності:

$$R_{Р} = \frac{R}{R_{дМ}} = \frac{200}{5} \approx 40. \quad (2.17)$$

Щоб забезпечити безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя при постійній потужності знаменник ряду φ_1 приймаємо рівним $R_{дР}$. Тоді необхідне число ступенів коробки швидкостей буде становити [21]:

$$z = \frac{\lg R_{Р}}{\lg \varphi_1} = \frac{\lg 40}{\lg 2} = \frac{1.6}{0.301} = 5 \quad (2.18)$$

Приймаємо $z = 5$

Згідно цього нам потрібно двоступеневу коробку швидкостей.

Проведемо розрахунок діапазону регулювання коробки швидкостей:

$$R_{М} = \varphi^{z-1} = 1,12^{5-1} = 1,57; \quad (2.19)$$

Тоді діапазон електричного регулювання приводу буде становити:

$$R_{е} = \frac{R}{R_{М}} = \frac{200}{1,57} = 127 \quad (2.20)$$

Для реалізації пропонується коробка швидкостей, в якій буде одиночна та групова передачі. Для цього побудуємо структурну сітку.

Спочатку визначимо мінімальні частоти обертів для кожного із діапазонів регулювання:

- $n_{1min} = 8 \text{ об/хв};$
- $n_{2min} = n_{1min} \cdot \varphi_1 = 8 \cdot 5 = 40 \text{ об/хв}$

При постійній потужності діапазон регулювання швидкості:

$$R_{Р} = R_{дР} \cdot R_{М} = 9,52 \cdot 1,57 = 15 \quad (2.21)$$

При цьому мінімальна частота обертання:

$$n_{Pmin} = \frac{n_{max}}{R_p} = \frac{3000}{15} = 200 \text{ об/хв} \quad (2.22)$$

Максимальні значення чисел обертів шпинделя слід визначати для кожного із піддіапазонів регулювання. Одним із правил якого потрібно дотримуватися, є те, що вони визначаються як члени геометричної прогресії із знаменником φ_1 :

- $n_{1max} = n_{Pmin} \cdot \varphi_1 = 200 \cdot 2 = 400 \text{ об/хв}$
- $n_{2max} = n_{1max} \cdot \varphi_1 = 400 \cdot 2 = 800 \text{ об/хв}$

Приймаємо $\varphi = 1,12$

Проведемо розрахунок числа зубів для приводу головного руху верстату, результати розрахунку зводимо в таблицю 2.2., а розроблений графік частот обертання шпинделя приведено на рис. 2.17, на рис. 2.18 приведено розроблену кінематичну схему.

Таблиця 2.2 - Значення чисел зубів для приводу головного руху.

№ колеса	φ	Число зубів
z_1	1,12	22
z_2	1,12	88
z_3	1,12	60
z_4	1,12	24
z_5	1,12	60
z_6	1,12	96

Графік частот обертання шпинделя ($\varphi=1,12$)

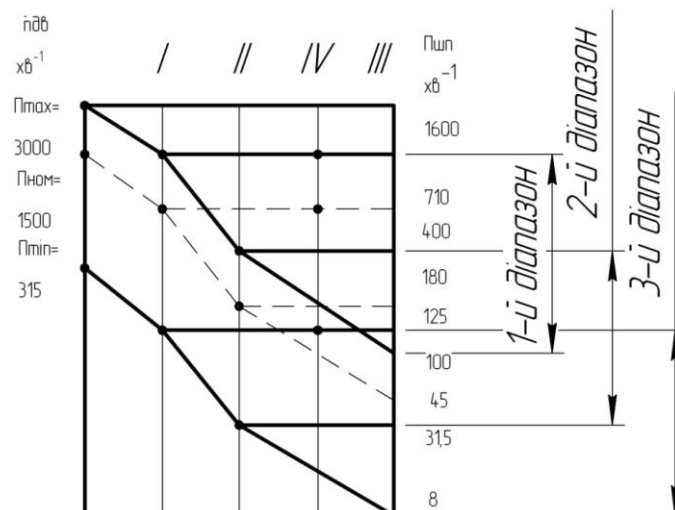


Рис. 2.17. Графік чисел обертів розрахованого приводу

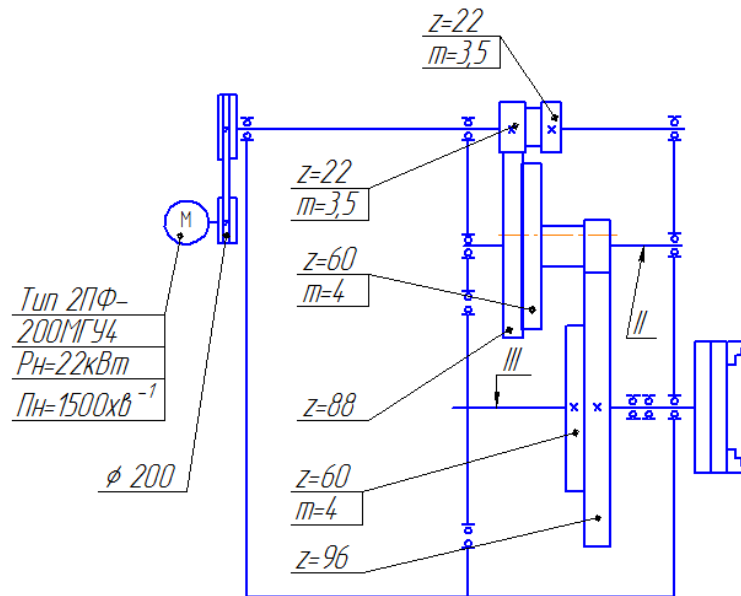


Рис. 2.18. Розроблена кінематична схема приводу головного руху

Наступним кроком є підбір потужності електродвигуна, для цього потрібно знати ефективну потужність різання та коефіцієнту корисної дії верстату [23].

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{еф}}}{\eta \cdot 0.8} + N_{\text{х.х.}}, \text{ кВт.} \quad (2.23)$$

Ефективна потужність різання $N_{\text{еф}}=16,5$ кВт

ККД приводу головного руху:

$$\eta = \eta_{\text{зп}}^2 \cdot \eta_{\text{підш}}^3 = 0,99^2 \cdot 0,985^3 = 0,934$$

де $\eta_{\text{зп}}=0,99$ – ККД зубчастої передачі, $\eta_{\text{п.}}=0,985$ – ККД підшипників кочення.

Визначаємо втрати потужності на холостому ході:

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{ср}} (n_I + n_{II} + \dots + c \frac{d_{\text{шп}}}{d_{\text{ср}}} n_{\text{шп}}), \quad (2.24)$$

де $d_{\text{ср}} \approx 56$ мм - середнє арифметичне діаметрів всіх опорних шийок валів за виключенням шпинделя, мм; $d_{\text{шп}}$ - середнє арифметичне значення діаметрів опорних шийок шпинделя, $d_{\text{шп}}=140$ мм.; C – коефіцієнт рівний 4 для шпинделя змонтованого на підшипниках кочення, $n_I, n_{II}, \dots, n_{\text{шп}}$ - частоти обертання валів (об/хв.) і шпинделя.

$$n_I = n_{\text{дв}} = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

$$n_{\text{шп}} = 2000 \text{ об/хв}$$

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 56(3000 + 40 + 4 \cdot \frac{140}{56} \cdot 2000) = 5,16 \text{ кВт.}$$

$$N_{дв} = \frac{N_{еф}}{\eta} + N_{x.x.} = \frac{16,59}{0,934 \cdot 0,8} + 5,16 = 21,24 \text{ кВт}$$

Приймаємо $N_{дв} = 22 \text{ кВт}$

Для подальших конструктивних розрахунків вузлів верстату необхідно розрахувати крутні моменти та кутові швидкості на всіх валах кінематичного ланцюга приводу головного руху.

Їх розрахунок проводимо на основі відомих виразів [23]:

$$T_{пр} = 9930 \frac{N_{еф}}{n_{розр}} \quad (2.25)$$

де $n_{розр}$ - мінімальна частота обертання розрахованого валу, при якому може бути повністю реалізована потужність електродвигуна.

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (2.26)$$

де n - частота обертання відповідно валу, об/хв.

Результати розрахунків зводимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. Розрахункові значення частоти обертання валу, моментів та кутових швидкостей

Вал	Частота обертання	Крутний момент	Кутова швидкість
	валу	на валу	валу
	n , об/хв	T , Нм	ω , 1/с
I	170	964	18
II	680	241	72
III	170	964	18
IV	680	241	72

Для розрахунку конструктивних параметрів зубчастих коліс проведемо розрахунок модуля передач для найбільш навантаженої вітки, яка знаходиться на 1/3 від нижньої вітки на графіку чисел обертів.

Вихідними даними для розрахунку є попередньо отримані розрахункові значення та вибрані табличні коефіцієнти, а саме:

Крутий момент на шестерні $T = 241 \text{ Нм}$

Допустимі контактні напруги $\sigma = 350 \text{ МПа}$

Число зубів шестерні $Z_1 = 22$

Число зубів колеса $Z_2 = 88$

Кількість обертів шестерні $n = 670 \text{ об/хв.}$

Для автоматизованого розрахунку геометричних та конструктивних параметрів зубчастих коліс у проектованій коробці необхідно сформувані вихідні дані, до яких відносяться: міжосьова відстань передачі; модуль передачі; передаточне число; контактна напруга при дії максимального навантаження (для вибраного матеріалу); допустима контактна напруга при дії максимального навантаження (для вибраного матеріалу); степінь точності передачі; характер навантаження.

Деякі значення з приведенного переліку є табличними, а деякі потрібно розрахувати. До значень, які потрібно розрахувати відноситься модуль передачі та її міжосьова відстань.

Для розрахунку даних параметрів використовуємо загальновідомі формули [23]:

$$m = 12.6 \sqrt[3]{\frac{T_{об} \cdot K_n}{y \cdot Z_k \cdot \psi_m \cdot [\sigma]_n}} \quad (2.27)$$

При прийнятих значеннях: $K_n = 1.1$; $y = 0.284$; $\psi_m = 6$ отримаємо

$$m = 12.6 \sqrt[3]{\frac{964 \cdot 1.1}{0.284 \cdot 88 \cdot 6 \cdot 350}} = 4$$

Згідно стандартного ряду модулів приймаємо модуль $m = 4$.

Міжосьова відстань між валами визначається з умови поверхневої міцності:

$$A = 10 \cdot (U + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{U \cdot [\sigma]_{нод}}\right)^2 \cdot \frac{T_{об}}{\psi_m}} \quad (2.28)$$

де: $[\sigma]_{\text{нод}} = \sigma_{\text{к.д.}} \cdot K_{\text{к.реж}}$, $\sigma_{\text{к.д.}} = 900$ МПа

$$K_{\text{к.реж}} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_0 \cdot P}{60 \cdot T_p \cdot n_p}} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{1,7 \cdot 10^8 \cdot 8,34}{60 \cdot 241 \cdot 680}} = 2,3 \quad (2.29)$$

$\sigma_{\text{к.д.}} = 900 \cdot 2,2 = 2070$ МПа

Знаходимо міжосьову відстань $A_{\text{розр}}$:

$$A_{\text{розр}} = 10 \cdot (4 + 1) \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{332}{4 \cdot 2070}\right)^2 \cdot \frac{241}{0.15}} = 74 \text{ мм}$$

Визначаємо величину міжосьової відстані, одержану з модуля передачі:

$$A = \frac{m \cdot (Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{4 \cdot (22 + 88)}{2} = 220 \text{ мм} \quad (2.30)$$

Оскільки одержана Величина «А» більше « $A_{\text{розр}}$ », то вибране значення модуля забезпечує працездатність передачі по згину і контактній міцності. Модулі всіх інших передач в коробці передач з технологічних міркувань приймемо таким же. Міжосьові відстані між іншими валами знаходимо з одержаного модуля.

$$A = \frac{m \cdot (Z_2 + Z_3)}{2} = \frac{4 \cdot (60 + 24)}{2} = 168 \text{ мм}$$

Використовуючи пакет прикладних програм «DM», який містить програмний модуль «Автоматизований розрахунок коробки швидкостей» проводимо розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс.

Результати розрахунку приведено на рис. 2.19-2.25.

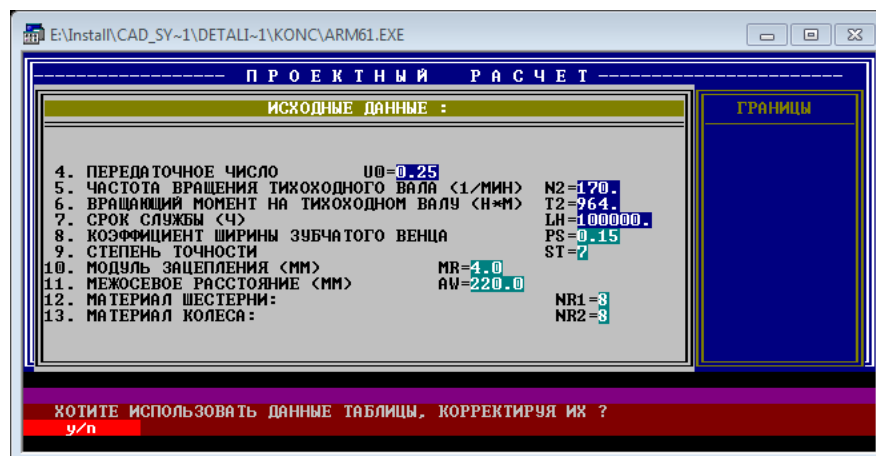


Рис. 2.19. Вихідні дані на розрахунок

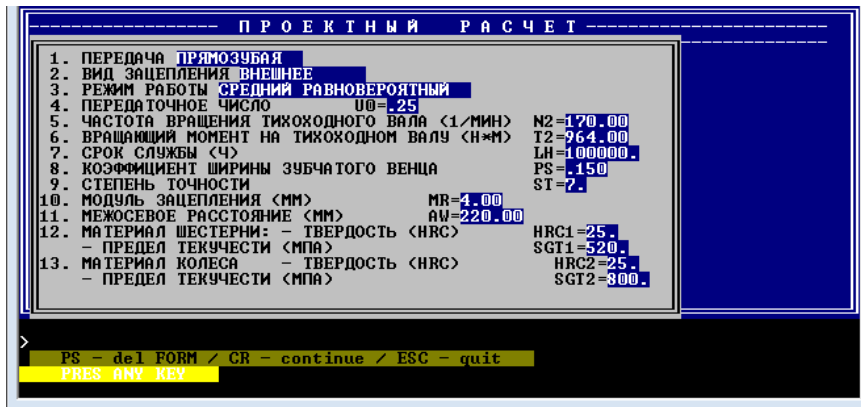


Рис. 2.20. Результаты проектного розрахунку зубчастої передачі

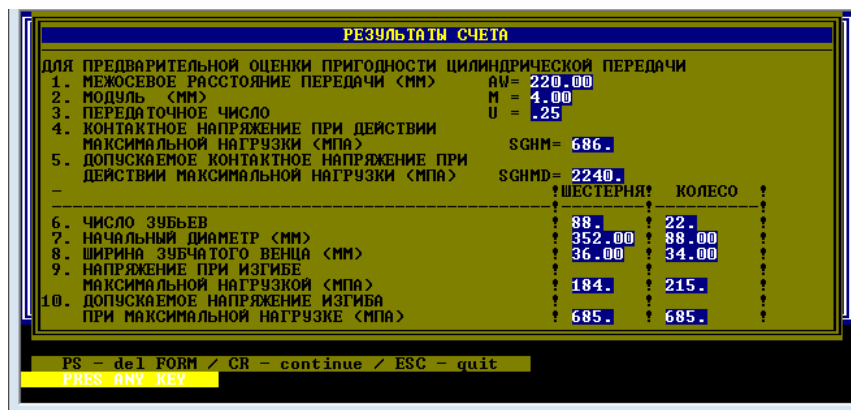


Рис. 2.21. Результаты попереднього розрахунку зубчастої передачі



Рис. 2.22. - Результаты розрахунку зубчастої циліндричної передачі

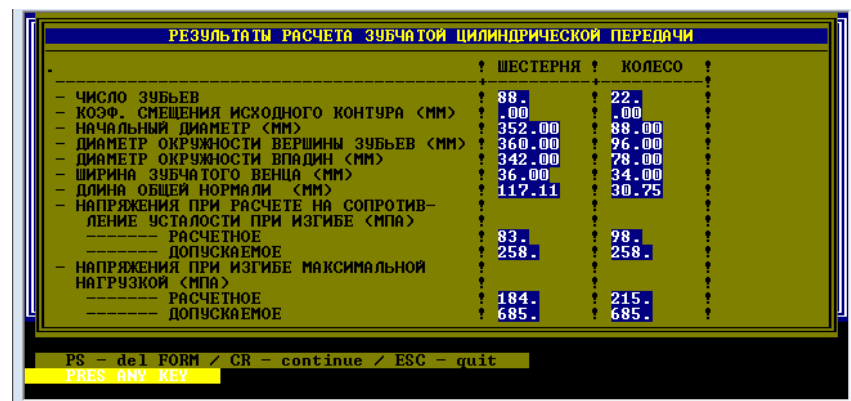


Рис. 2.23. - Кінець розрахунку зубчастої передачі

2.4.2. Розрахунок шпиндельного вузла верстату

Розрахунок шпиндельного вузла (ШВ) передбачає наявності певних вихідних даних рис. 2.24.



Рис. 2.24. Вихідні дані для розрахунку ШВ

Спочатку вибираємо тип кінця ШВ, який визначається типом верстату. Для токарних верстатів згідно [24] вибираємо кінець ШВ, який приведено на рис. 2.25. При проектуванні верстатів необхідно спрогнозувати значення його технічних характеристик в недалекій перспективі, це дозволить отримати конкурентоспроможний верстат [25].

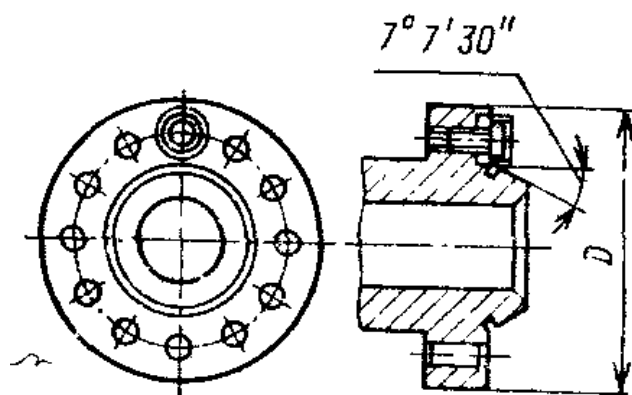


Рис. 2.25. Вибір кінця шпиндельного вузла верстату

З врахуванням призначення верстата та коефіцієнта швидкохідності вибираємо 4 компоновальну схему ШВ (рис. 2.26) [24].



Рис. 2.26. Компонувальна схема ШВ

В якості опор ШВ використовувати упорно-радіальні підшипники серії 178800 або 178900, для яких параметр швидкохідності буде становити $d \cdot n < (4 - 5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$. Швидкохідність підшипників даного типу приблизно в 2-2,5 рази більша від швидкохідності звичайних підшипників [21].

Величини сил різання нами були розраховані раніше. Згідно розрахунків приймаємо $P_Z \approx 6800 \text{ Н}$; $P_Y = 3400 \text{ Н}$; $P_X = 1020 \text{ Н}$.

Величина колового зусилля $F_t = 2545 \text{ Н}$; $F_r = 985 \text{ Н}$ (на основі автоматизованого розрахунку коробки (див. рис. 2.22)).

Проведемо розрахунки геометричних параметрів ШВ [26].

Діаметр шпинделя d визначається за залежністю:

$$d = \frac{(d \cdot n)_{\text{табл}}}{n_{\text{max}}} \frac{(4.6 \cdot 10^5)}{3000} = 153.3 \quad (2.31)$$

$n_{\text{max}} = 3000$ – максимальна частота обертання шпинделя, хв^{-1} .

Попередньо приймаємо 160 мм.

Міжопорна відстань l , визначається за формулою:

$$l = (3 \mp 6) \cdot d_{\text{ном}} = 3.75 \cdot 160 = 600 \text{ мм} \quad (2.32)$$

Діаметр переднього кінця шпинделя $d_{\text{п}}$, визначаємо за формулою:

$$d_{\text{п}} = (1 \mp 1.2) \cdot d = 1 \cdot 160 = 160 \text{ мм} \quad (2.33)$$

Попередньо приймаємо $d_{\text{п}} = 160 \text{ мм}$.

Діаметр шпинделя в задній опорі d_3 , визначаємо із виразу:

$$d_3 = (1 \mp 0.8) \cdot d = 0.8 \cdot 160 = 160 \text{ мм} \quad (2.34)$$

Попередньо приймаємо $d_3 = 120 \text{ мм}$

Діаметр шпинделя між опорами $d_{\text{м}}$, визначаємо за формулою:

$$d_{\text{м}} = (1 \mp 0.9) \cdot d = 0.9 \cdot 160 = 144 \text{ мм} \quad (2.35)$$

Попередньо приймаємо $d_{\text{м}} = 140 \text{ мм}$.

Виліт кінця шпинделя C , визначаємо за формулою:

$$C = (1 \dots 2.1) \cdot d = 1.0 \cdot 160 = 160 \text{ мм} \quad (2.36)$$

Подальші розрахунки ШВ із використанням програми (рис. 2.27), яку було розроблено 2001 року в «ЕНІМСІ», вона дозволяє проводити вибір геометричних параметрів шпинделів, опор та проводити розрахунок основних характеристик.

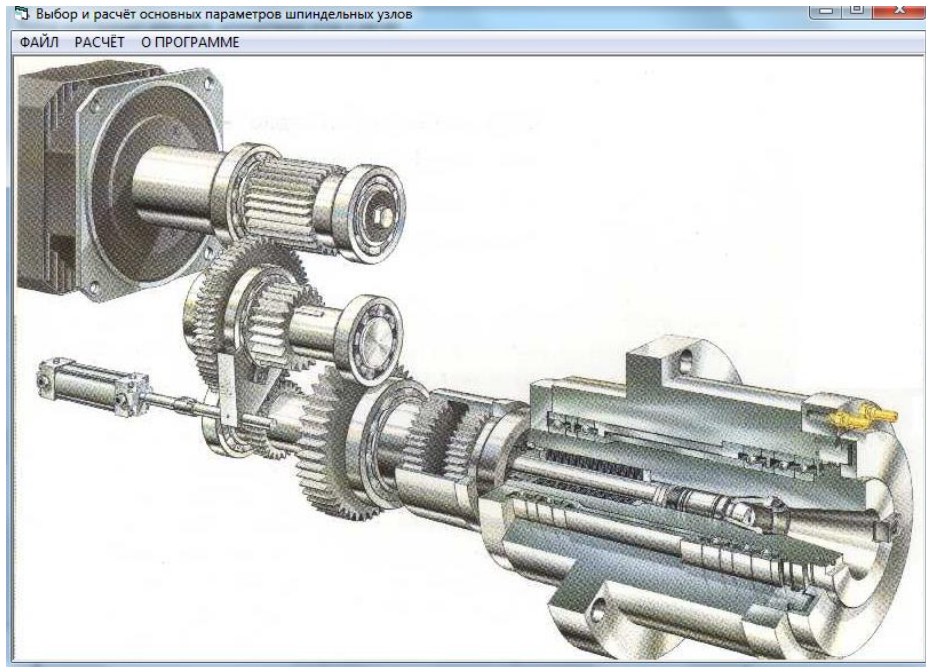


Рис. 2.27. Стартове вікно програми

На першому етапі необхідно вибрати типу кінця ШВ верстату (рис. 2.28).

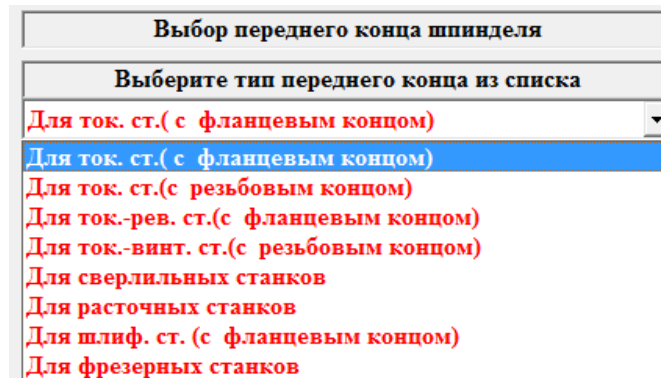


Рис. 2.28. Вікно вибору переднього кінця шпиндельного вузла

На наступному етапі на основі попередніх розрахунків (див. вище) відбувається попередній вибір кінця шпинделя та вказуються діаметри шпинделя в передній та задній опорі (див. рис. 2.29).

В якості вихідних даних вказується максимальна частота обертання шпинделя на верстаті. При попередньому розрахунку ми приймали:

$$n_{\max} = 3000 \text{ хв}^{-1}.$$

Після вводу цих даних відбувається розрахунок параметру швидкості шпиндельного вузла. На основі цього розрахунку ми вибираємо яку схему опор яка буде реалізована в конструкції ШВ.

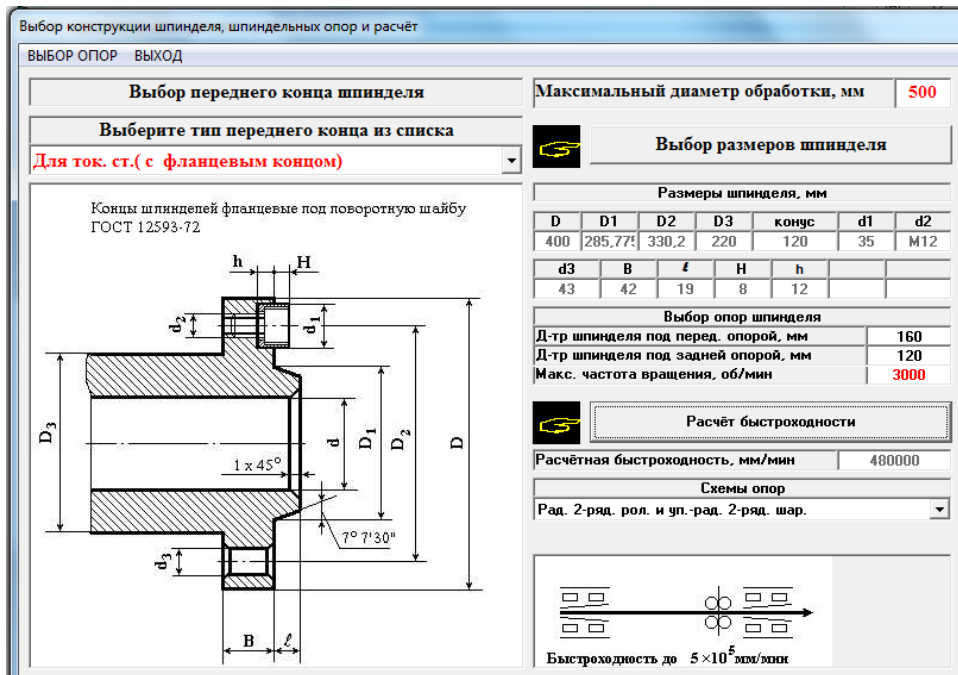


Рис.2.29. Вікно програми вибору і розрахунку основних параметрів ШВ

Наступним етапом розрахунку є підбір підшипників для передньої та задньої опори. На основі цього підбору відбувається розрахунок радіальної жорсткості (рис. 2.30).

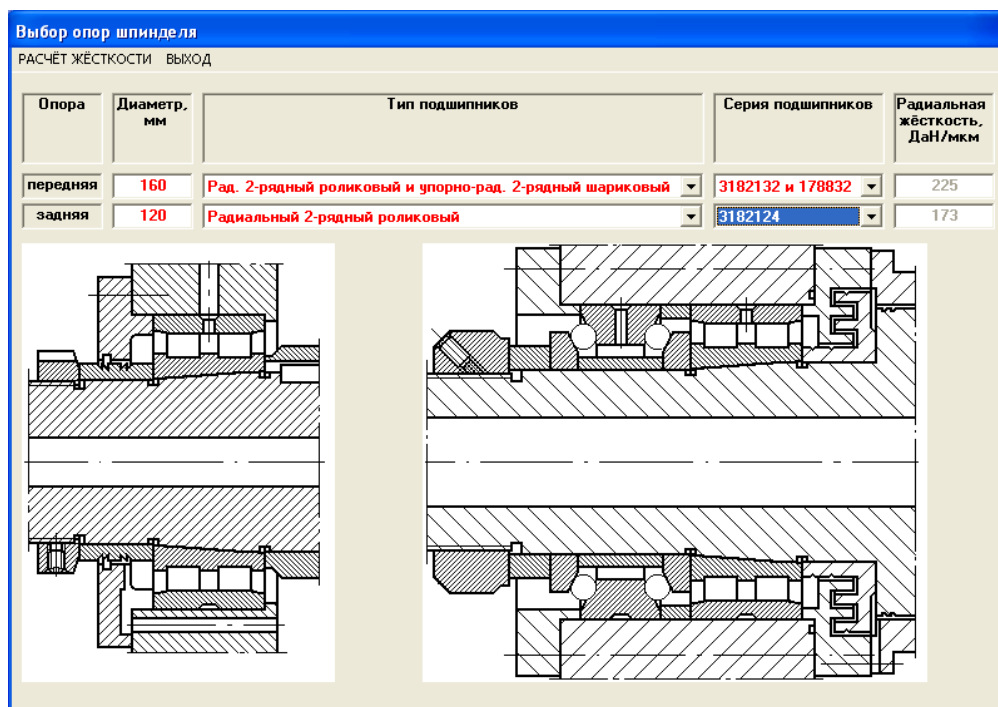



Рис. 2.30. Вибір опор та розрахунок жорсткості шпинделя

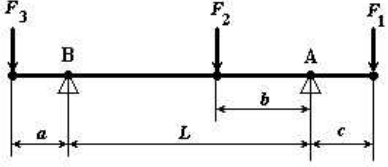

Після цього в наступному вікні необхідно ввести яка величина консолі кінця шпинделя (рис. 2.31).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД

Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160	Оптимальное межопорное расстояние, мм	
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000		
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		

Расчёт жёсткости шпинделя с учётом схемы

Расчётная схема шпинделя	Исходные данные	Результаты расчёта
	Составляющие силы резания, Н	
	F1 по оси y	
	F1 по оси z	
	Сила в зубчатом зацеплении, Н	
	F2 по оси y	
	F2 по оси z	
	Сила от ремённой передачи, Н	
	F3 по оси y	
	F3 по оси z	
	Расстояние L, мм	
Расстояние b, мм		
Расстояние a, мм		
		Момент инерции сечения шпинделя под опорами, мм⁴
		передней
		задней
		Перемещение по осям, мкм
		y
		z
		Суммарные значения
		силы резания, Н
		перемещения, мкм
		Жёсткость шпинделя, Н/мкм
		на переднем конце

Расчёт жёсткости

Рис. 2.31. Ввід величини консолі шпинделя

Це дозволяє нам провести розрахунок оптимальної між опорної відстані в запропонованій конструкції шпиндельного вузла (рис. 2.32).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД



Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160	Оптимальное межопорное расстояние, мм	
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000	414	
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		

Рис. 2.32. Вибір кінця шпиндельного вузла та схеми його опор

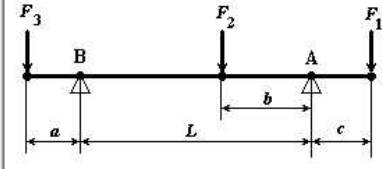
На фінальному етапі розрахунку вводяться значення силових факторів які діють на ШВ. При цьому відбувається розрахунок моменту інерції сечення шпинделя під опорами, переміщення шпинделя вздовж осей X та Y, а також сумарні значення сили різання, прогину та жорсткості шпинделя (рис. 2.33).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД

Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160		
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000	Оптимальное межопорное расстояние, мм	414
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		

Расчёт жёсткости шпинделя с учётом схемы

Расчётная схема шпинделя	Исходные данные	Результаты расчёта		
	Составляющие силы резания, Н	Момент инерции сечения шпинделя под опорами, мм ⁴		
	F1 по оси y	3400	передней	2,58E+07
	F1 по оси z	6800	задней	3,44E+06
	Сила в зубчатом зацеплении, Н		Перемещение по осям, мкм	
	F2 по оси y	2450	y	11,0116
	F2 по оси z	985	z	21,1586
	Сила от ремённой передачи, Н		Суммарные значения	
	F3 по оси y	0	силы резания, Н	7602,6
	F3 по оси z	0	перемещения, мкм	23,8525
	Расстояние L, мм	600	Жёсткость шпинделя, Н/мкм	
Расстояние b, мм	350	на переднем конце	318,74	
Расстояние a, мм	0			


 Расчёт жёсткости

Рис. 2.33. - Розрахунок жорсткості шпинделя

Розраховане значення жорсткості ШВ повинно знаходитись в межах від 200 до 400 Н/мкм [24]. Умова виконується.

На рис. 2.34 приведена конструкція спроектованої шпиндельної коробки верстата.

Корпус 1 кріпиться гвинтами на станині в передній частині верстата. Шпиндель 2 встановлений на двох опорах: дворядному роликовому підшипнику, що працює в парі з упорно-радіальним підшипником в передній опорі, і дворядному роликопідшипнику в задній опорі. Передній кінець шпинделя - фланцевий з можливістю швидкозмінної установки патрона. На задньому кінці шпинделя є посадочний поясок для кріплення затискного пристрою патрона. Вхідний вал 3 механізму привода пов'язаний зі шпинделем 2 через один з двох проміжних валів 4 або 5, на яких встановлені, відповідно, пересувні блоки 6 і 7 зубчастих коліс.

Налаштування на один із трьох діапазонів частот обертання шпинделя здійснюється механізмом управління, що містить вал 8, пов'язаний зубчастими колесами 9 і 10 з приводом (головкою типу ПРИЗ ВС-05) 11, а також вилки 12 і 13 перемикачів, рухомо встановлені на осі 14. Положення вилок перемикачів

зубчастих блоків контролюються кінцевими вимикачами та стопоряться пружними фіксаторами 15. Датчик 16 різенарізання пов'язаний через пружну муфту пластинчасту з валом 17, який через зубчасту передачу з'єднаний зі шпинделем.

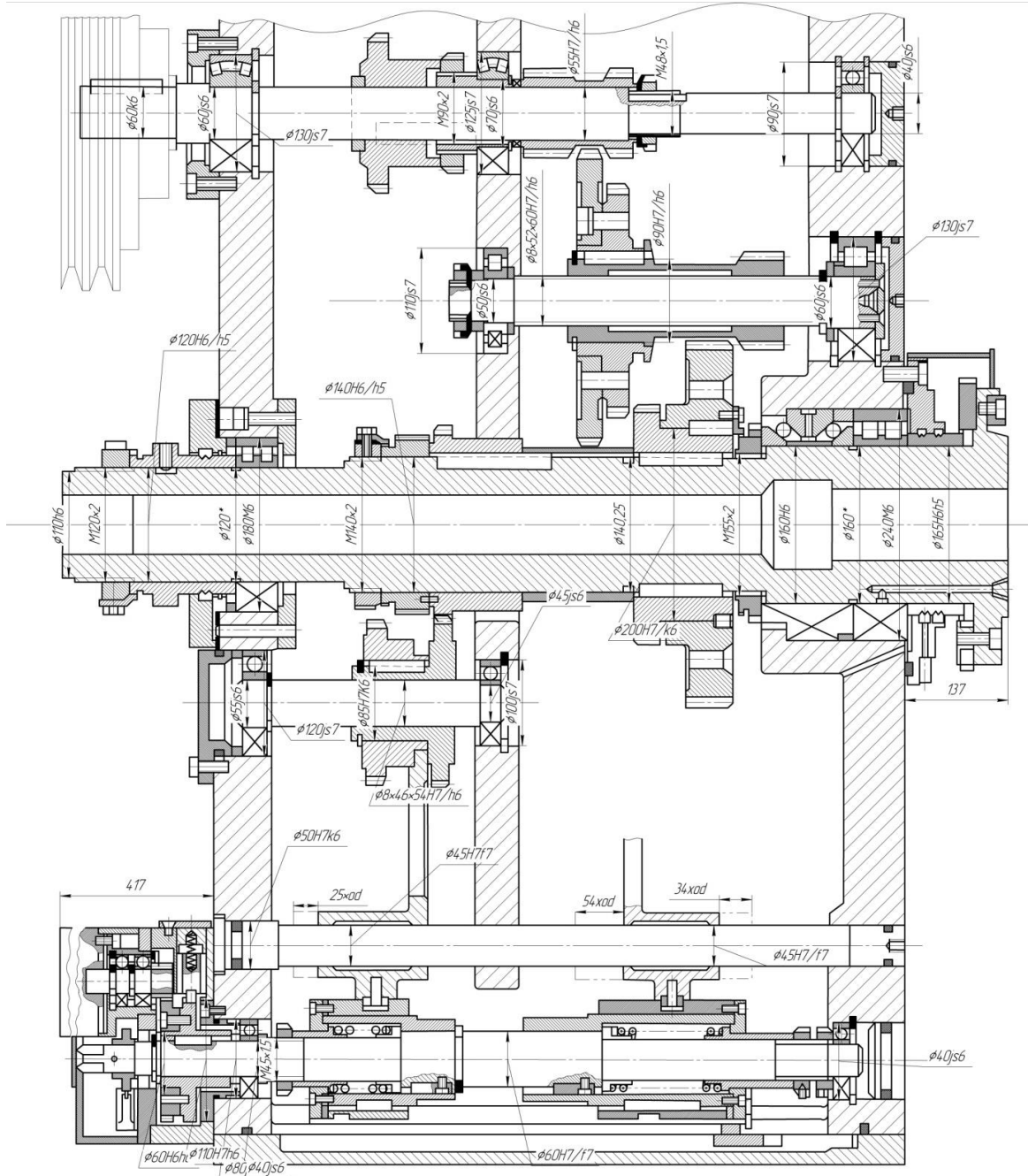


Рис. 2.34. Конструкція шпиндельного вузла верстату

Для вибору зазору в зачепленні розрізні зубчасте колесо 18 цієї передачі забезпечено спеціальним пружинним пристроєм 19. Змащення механізмів шпиндельної коробки здійснюється централізовано від маслорозподільювача, встановленого в корпусі.

Механізм повороту головки змонтований в порожнині стакана 2 і жорстко пов'язаний з ним віссю 9. Електродвигун 10 через зубчаті колеса, 12, 13 і 14, планетарну передачу з сателітами 15 з'єднується з центральними колесами (з внутрішніми зубами), пов'язаними із стаканом 2 і муфтою затиску. Муфта затиску револьверної головки виконана у вигляді двох напівмуфт з гвинтовим зачепленням, одна з яких жорстко пов'язана з привідним зубчатим колесом 16, а інша (поз. 17) через проміжну зубчасту муфту 18 — з віссю 9.

Рух валу електродвигуна 10 через проміжні і планетарні передачі передається гвинтовій напівмуфті 16. При повороті напівмуфти 16 корпус револьверної головки підіймається по гвинтових зубах напівмуфти 17 під дією пружин в основі 3, розчіпляючи напівмуфти 6 і 7. Після цього корпус повертається до заданого положення, контрольованого одним з чотирьох мікрореле в командоапараті 19, який вмонтовується у верхній частині стакана 2. При спрацьовуванні одного з них дається команда на реверс електродвигуна: корпус повертається до упору 8, а потім затискається гвинтовою муфтою в заданому положенні. Окремий мікрореле дає у цей момент команду на виключення електродвигуна.

2.5. Висновки по розділу

Здійснено вибір раціонального маршруту обробки деталі «Кришка КР33-18.350». Проведено розрахунок режимів різання на лімітуючі операції.

На основі аналізу деталі та ТП її виготовлення проведено розгляд можливих варіантів формоутворення, на основі яких здійснено побудову структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.

З використанням програмного модуля «Автоматизований розрахунок коробки швидкостей» здійснено розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс приводу головного руху.

З використанням програми «Выбор и расчет основных параметров шпиндельных узлов» здійснено вибір геометричних параметрів шпинделів, опор та проведено розрахунок основних характеристик ШВ.

РОЗДІЛ 3.

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

Перші два розділи дипломної роботи дозволили зібрати необхідний масив інформації для здійснення наукових досліджень.

В процесі обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК нас буде цікавити можливість контролю стану основних вузлів, що входять в супортну групу. Для цього спочатку потрібно знайти конструктивні рішення засобів активної діагностики на обраному верстаті.

Для цього потрібно розробити узагальнену структуру діагностики, запропонувати схему розміщення датчиків на верстаті.

Розглянути конструктивні особливості розміщення датчиків для різних вузлів верстату, та з'ясувати які технічні параметри при цьому можна контролювати.

На основі вибраних схем та обраних для них датчиків провести конструктивні зміни в базових кресленнях вузлів верстатів.

3.2. Структура системи діагностики

Розглянемо структурну схему системи керування звичайним верстатом з ЧПК (рис. 3.1), вона передбачає два джерела інформації, а саме, керуючу програму (яка складається для обробки деталі) та інформація яка отримується від датчика зворотного зв'язку (вимірює швидкість, визначає біжучі координати виконавчих вузлів верстату, а також допоміжних механізмів та засобів автоматизації). Всю іншу необхідну інформацію отримує оператор верстату за рахунок візуальних спостережень та деяких універсальних вимірювальних пристроїв. Після аналізу інформації оператор може вносити корективи в керуючу програму та продовжувати процес обробки деталі на верстаті [27].

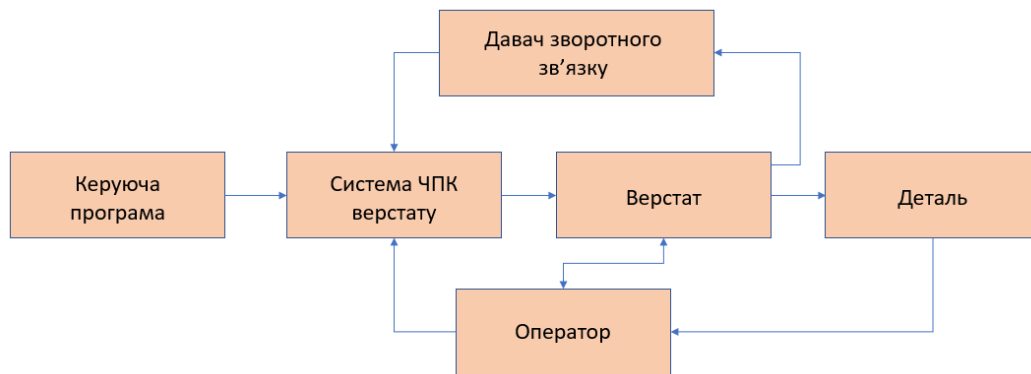


Рис. 3.1. Структурна схема верстату з ЧПК

Для більш ефективної роботи верстату пропонується застосовувати структурну схему, яка включає у свій склад систему підтримки роботоздатності верстата, яка може бути реалізована за рахунок використання засобів активного контролю (спеціальні вимірювальні пристрої) (рис. 3.2).

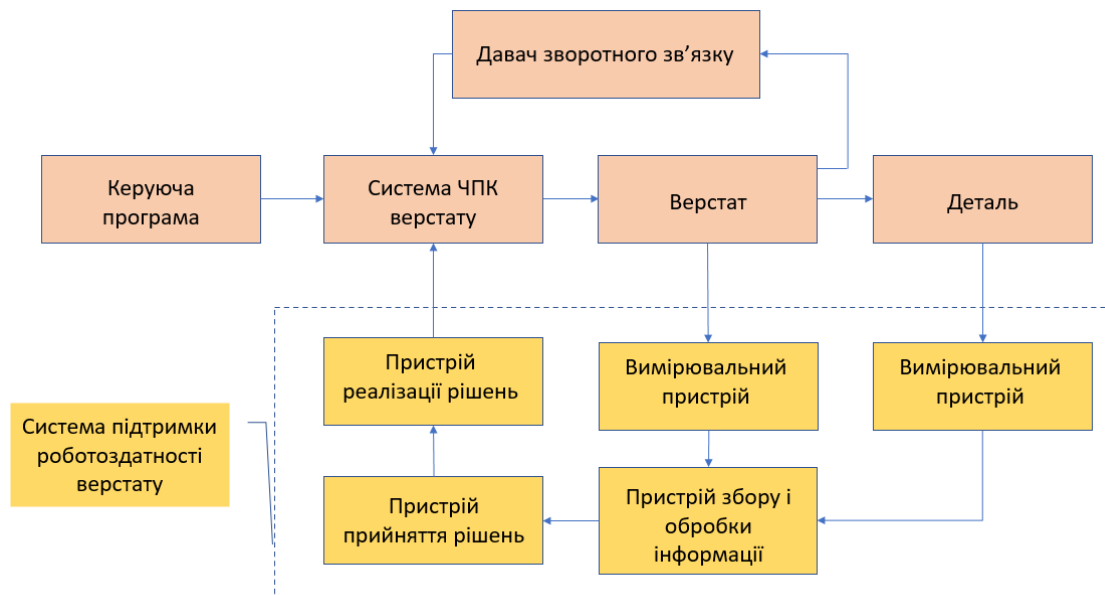


Рис. 3.2. Структурна схема верстату з ЧПК з системою підтримки роботоздатності

Система підтримки роботоздатності верстату (рис. 3.3), в залежності від конструктивного виконання може складатися як з окремих підсистем, які можуть працювати автономно, так і спільно.

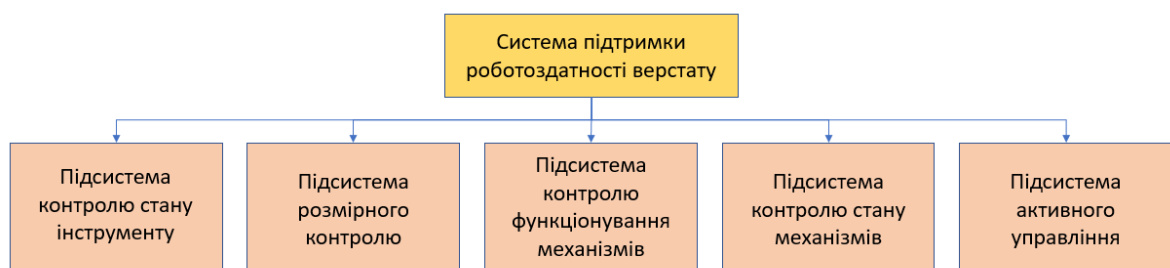


Рис. 3.3. Система підтримки роботоздатності верстату

В залежності від того який етап роботи обладнання досліджується система діагностики може виконувати конкретні технічні задачі (етап навчання та експлуатації).

Так на етапі навчання система діагностики повинна виявити сукупність i -х діагностичних параметрів j -х фізичних станів об'єкта діагностики (ОД). Після вибираються найкращі для оцінки його працездатності в аналізованих умовах експлуатації. Даний етап передбачає встановлення рівнів граничних станів ОД, виявлення їх взаємозв'язку з можливими дефектами. Як правило, виділяють чотири найбільш характерних граничних рівні, що відповідають чотирьом функціональним станам вузлів верстатного обладнання [27]: працездатний стан (в якому вихідні параметри виробу перебувають в допустимих межах змін, які встановлюються технічними вимогами на їх виготовлення); гранично допустимий працездатний стан (вихідні параметри виробу перебувають на межі гранично допустимих значень); передаварійний стан; аварійний або катастрофічний стан. На етапі навчання необхідно скласти словник інформативних ознак несправностей.

Етап експлуатації верстатного обладнання (другий етап) передбачає роботу верстату в реальних умовах. Основне призначення системи діагностики оперативно виявляти усі несправності вузлів верстата шляхом постійного порівняння біжучого технічного стану ОД з переліком найбільш ймовірних, попередньо встановлених непрацездатних станів.

Система діагностики на цьому етапі формує команди керування по аварійній зупинці обладнання або виробляє технологічні заходи щодо підтримки працездатного стану верстату в межах усього безперервного циклу його функціонування.

Для виконання поставлених завдань діагностики повинна мати у своєму складі такі функціональні блоки, як блок формування діагностичних повідомлень (БФДП), блок перетворень (БП), бібліотеку станів системи (БСС), блок ідентифікатору станів (БІС), блок сигналізації (БС), блок формування команд управління (БФКУ) та ін.

На рис 3.4 представлено загальну структурну блок-схема системи діагностики, яку доцільно використовувати для верстатів з ЧПК [27].

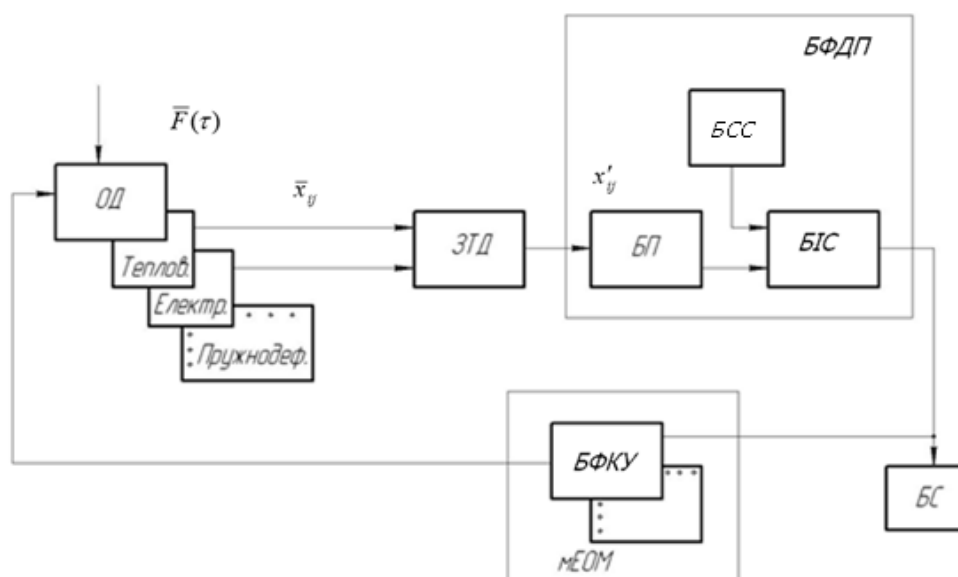


Рис. 3.4 - Узагальнена структурна блок-схема системи діагностики верстатного обладнання: \bar{x}_{ij} - вектор положення; x'_{ij} - вимірне значення вектору положення; $\bar{F}(\tau)$ - вектор дестабілізованих збурюючих дій

Вузол верстата як об'єкт діагностики характеризується набором із j фізичних станів, по кожному з яких існує i діагностичних параметрів. Засіб технічної діагностики (ЗТД) виділяє інформативний сигнал, що найбільше повно характеризує стан об'єкта діагностики, після чого БФДП перетворить діагностичну інформацію відповідно до прийнятих алгоритмів як на етапі навчання, так і в процес експлуатації верстата.

БП трансформує виділений сигнал x_{ij} у зручний для подальшого застосування вигляд. Основу БСС складає отримана на етапі навчання сукупність еталонних діагностичних сигналів, що характеризують можливі дефекти вузлів верстата. БІС порівнює поточні й еталонні діагностичні повідомлення і приймає рішення про відповідність діагностичного параметра допустимим рівням станів. Результатом функціонування даного блоку є діагноз про стан ОД. Отже процедура діагностики вузла верстата полягає в тому, щоб встановити відповідність величини і характеру зміни в часі перетвореного ЗТД і БП вектора x'_{ij} стосовно встановленим допустимим граничним рівням і еталонному характерові змін виділеного діагностичного параметру.

БФКУ за результатами вимірювання й аналізу стану верстатного устаткування формує керуючий вплив на ОД, наприклад команди для аварійного припинення функціонування верстата у випадку катастрофічного стану діагностичного вузла, виробляє комплекс заходів (зміна режиму роботи, податливості й просторової орієнтації вузлів верстата) по підтримці працездатності вузла в передаварійному стані до завершення розрахункового періоду роботи верстата.

Для ефективної роботи верстату з ЧПК необхідно забезпечити оперативний контроль на всіх етапах його роботи. Основні задачі оперативного контролю приведені на рис. 3.5.

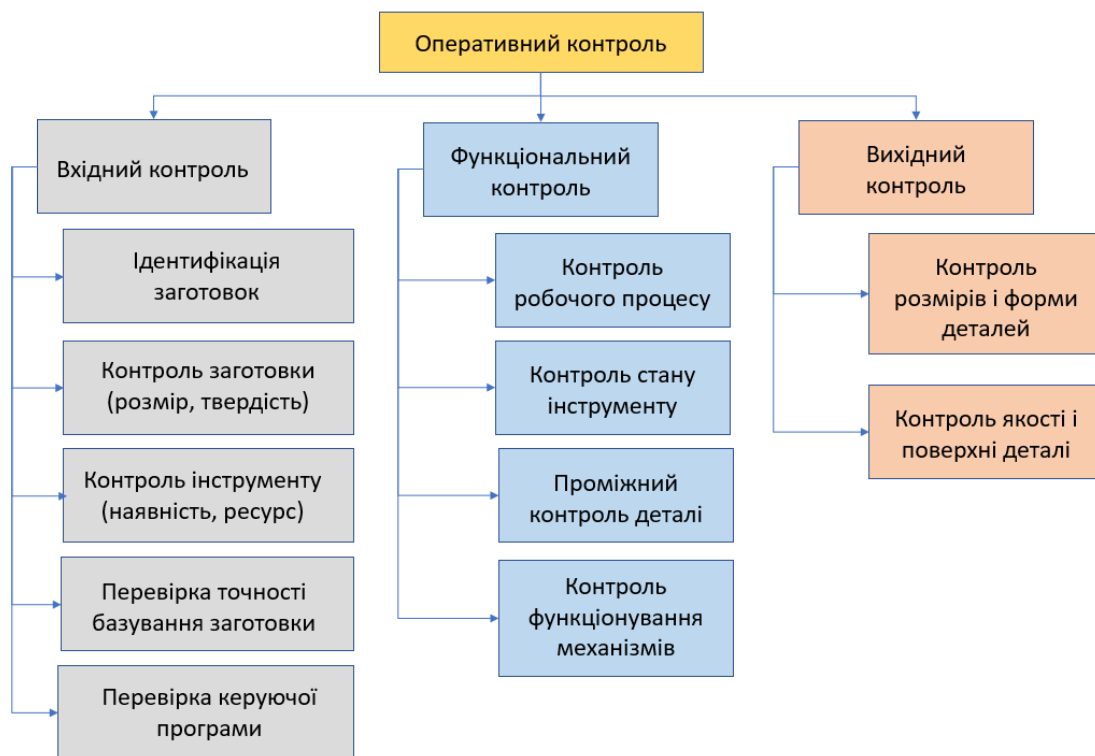


Рис. 3.5. Завдання оперативного контролю на верстаті з ЧПК

3.3. Схема встановлення давачів на верстаті для проведення його активної діагностики

На рис. 3.6 наведена схема сил, що діють на вузли й деталі токарного верстата, яка дозволяє намітити місця установки давачів сил і визначити їх конструктивне рішення. Подібні схеми можуть бути застосовні і для інших верстатів.

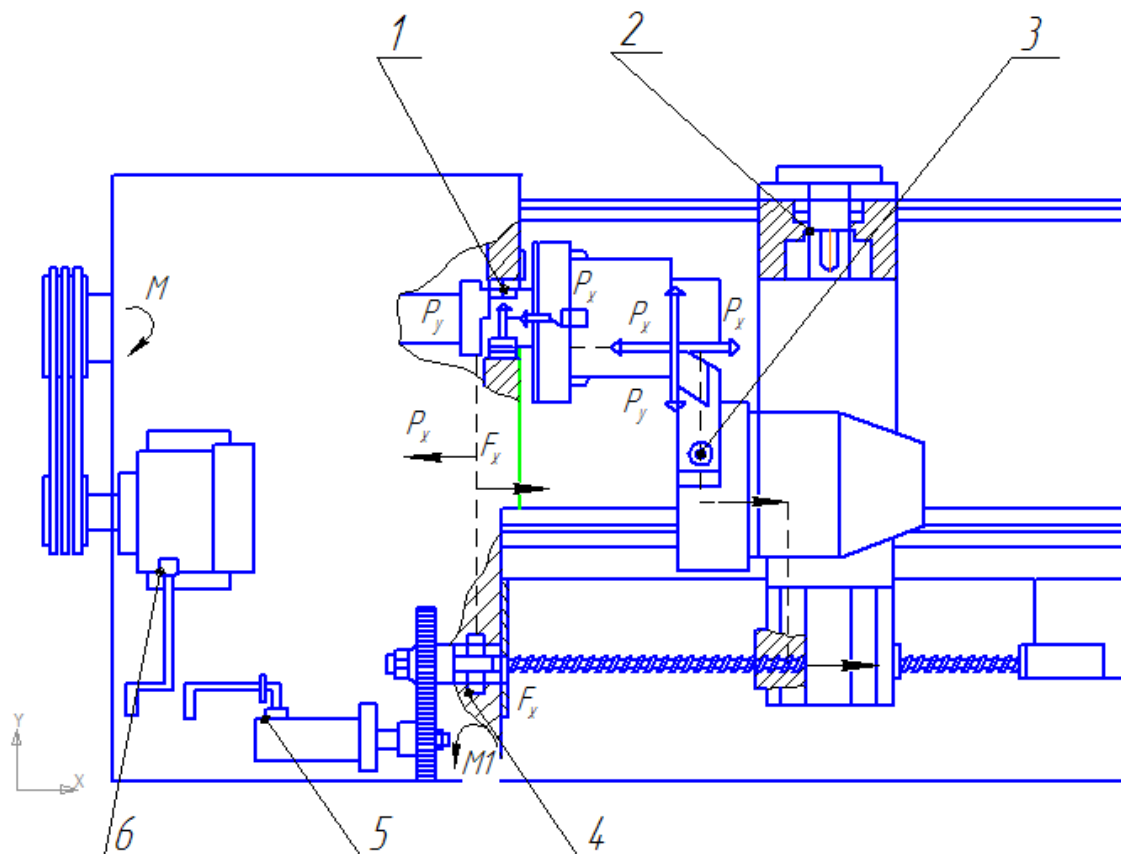


Рис. 3.6. Схема сил які діють в процесі різання на вузли токарного верстата та основні давачі, які встановлені на ньому:

- 1 -тензометричний підшипник;
- 2,4 - тензометричні опори ходового гвинта, 3-давач сили в державці різця;
- 5,6 - давачі потужності приводів

3.4. Схеми практичної реалізації встановлення давачів на верстаті

3.4.1. Вимірювання складових сил різання при токарній обробці

Розглянемо особливості дії сили різання при токарній обробці. На рис. 3.7 приведена схема, яка відображає дію складової сили різання P_z на різець, деталь і передній підшипник шпинделя.

Сила P_z в центрі заготовки, перенесена в центр передньої опори шпинделя, діє на неї, викликаючи деформації деталей підшипника. Функціональний зв'язок між силою і цими деформаціями дозволяє використовувати підшипник як давач сили.

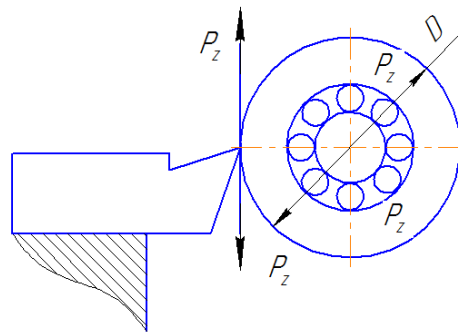


Рис. 3.7. Дія складової сили різання P_z на різець, деталь і передній підшипник шпинделя

Також можна використовувати для вимірювання складових сил різання деталі токарного патрону та центр задньої бабки. Сила P_z деформує державку різця, опору обертання револьверної головки і опору шпинделя. У цих місцях також можуть бути встановлені давачі сили. Складова сила різання P_x діє в осьовому напрямку на передній радіально-упорний підшипник шпинделя, а її реакція на вершину різця. Силове замикання показане на рис. 3.6 штриховою лінією і стрілками. Воно дозволяє визначити місця розташування та конструкції давачів для вимірювання P_x . При поздовжній подачі різця опір переміщенню супорта долається двигуном подачі. Він створює обертовий момент для обертання ходового гвинта, що забезпечує на гайці тягове зусилля, необхідне для подачі супорта. Опори гвинта так само, як і двигун подачі, можуть бути використані в якості давачів зусиль. Аналогічно визначаються можливі місця встановлення давачів для визначення складової сили різання P_y . Давачі як первинні перетворювачі є невід'ємними елементами контрольно-вимірювальних систем та систем автоматичного управління технологічними процесами.

Розглянемо схему для вимірювання складових сили різання P_y і P_x при токарній обробці [6]. При цьому для вимірювання використовуються в комплекті два радіально-упорні підшипники, на зовнішні кільця кожного з яких наклеюються по чотири тензорезисторні давачі, що утворюють вимірювальний міст. Конструкція опори шпинделя з тензометричними підшипниками показана на рис. 3.8.

Втулки різних конструктивних варіантів встановлюються звичайно в опорах механізмів подовжньої і поперечної подач.

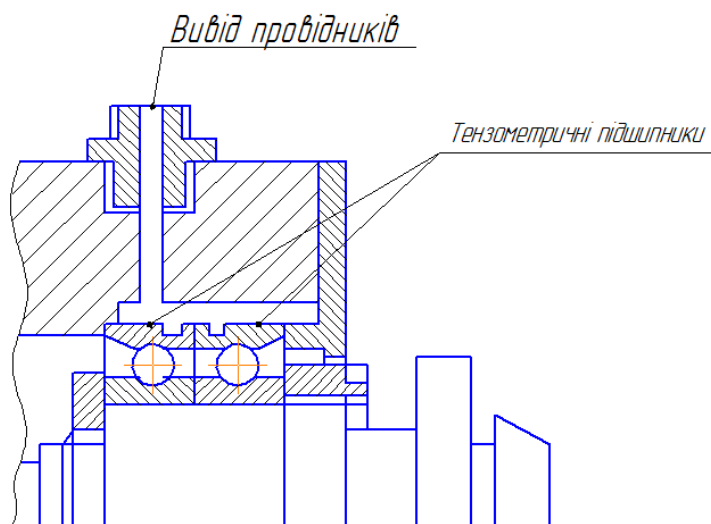


Рис. 3.8. Передня опора шпинделя верстату з тензометричними підшипниками

При вимірюванні, наприклад, складовою P_y , її дія в напрямку, вказаному на рис. 3.9, приводить до приросту величини деформацій переднього і заднього підшипників, а разом з цим - до зміни електричних опорів тензорезисторних давачів. В результаті змінюється напруга у вимірювальних точках мостів.

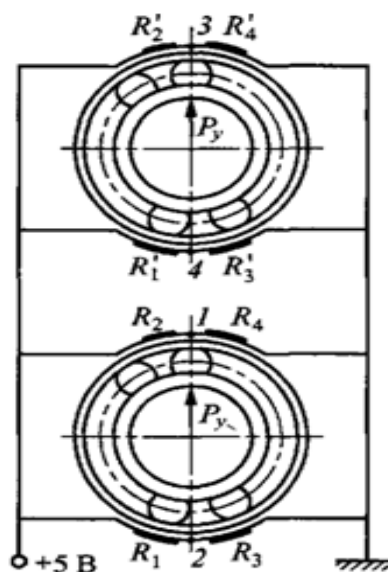


Рис. 3.9. Точки вимірювання в тензометричними підшипниками

При використанні двох тензометричних підшипників здійснюється також вимірювання складової P_x . При цьому забезпечується виключення їх взаємного впливу один на одного.

Для визначення величини сили по електричних сигналах система повинна бути протарована. При цьому навантаження тензометричних підшипників

повинне проводитися при їх обертанні на спеціальному пристосуванні динамічного тарування.

Істотним недоліком тензометричних підшипників є складність їх монтажу у вузлі шпинделя верстата, пов'язана з високими вимоги до точності їх базування. Незначні деформації зовнішнього кільця при монтажі викликають появу шкідливого сигналу давачів і порушують точність вимірювання сили різання.

Перевагою методу є близьке до зони різання розташування тензометричних підшипників і безпосередня передача сил різання на вимірювальні елементи.

Описаний метод вимірювань застосовують при різних видах обробки для визначення поточного і граничного зносу, а також моменту поломки інструменту. В якості давача використовують тензометричні втулки, які вбудовуються у вузли верстатів.

3.4.2. Вимірювання тягового зусилля повздовжньої подачі

На рис. 3.10 показано варіант встановлення тензометричних втулок в опорі ходового гвинта поперечної подачі токарного верстата.

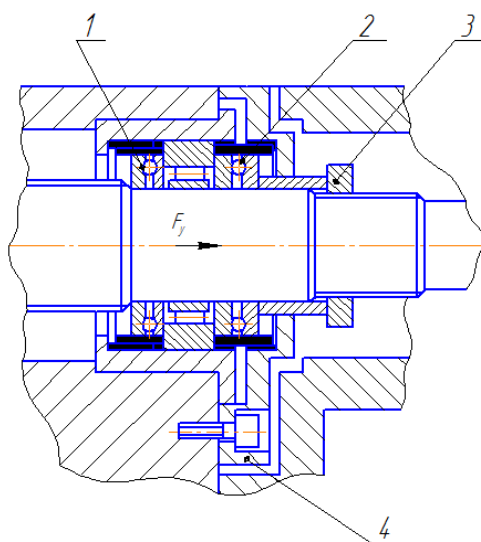


Рис. 3.10. Опора ходового гвинта з тензометричними втулками: 1, 2-тензометричні втулки, 3-гайка, 4-регулюючий фланець

Для реєстрації сили F_y в вузол опори з попереднім натягом за допомогою фланця 4 і гайки 3 встановлюються дві втулки 1 і 2. За рахунок мостового

включення тензорезисторів обох втулок в електричний контур, вдається підвищити чутливість вимірювальної системи. При дії сили F_y в напрямі, відзначеному стрілкою, втулка 2 випробовує стискаюче зусилля, а втулка 1 розтягує. Разом з втулками деформуються відповідні тензорезистори, змінюється їх електричний опір. При протилежному напрямі дії сили втулка 2 стискається, а втулка 1 розтягується.

Втулки різних конструктивних варіантів встановлюються звичайно в опорах механізмів подовжньої і поперечної подачі.

Така ж конструкція опор використовується для вимірювання тягового зусилля подовжньої подачі [9]. На рис. 3.11 представлено креслення тензометричної втулки, на поверхню якої наклеєні тензорезистори.

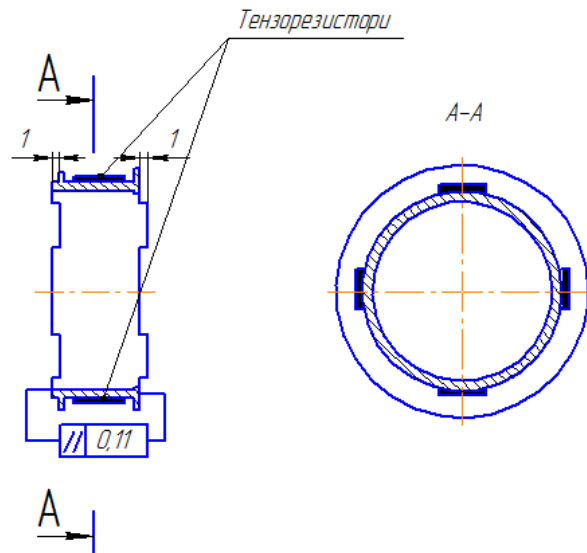


Рис. 3.11. Тензометрична втулка

Важливо, що вимірювані в опорах сили P_x і P_y істотно відрізняються від величин, що становлять сили різання P_x і P_y .

Так, сила F_x є тяговим зусиллям на ходовому гвинті верстата, необхідним для забезпечення руху подовжньої подачі при різанні. Її величина визначається по формулі [28]:

$$F_x = \frac{P_x \cdot \cos \alpha + f \cdot \left[(P_z + G_1 + G_2) - (1 - \cos \alpha) \cdot \frac{M_x}{y_c} \right]}{\cos \alpha + 0.5 \cdot f \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot K_\alpha} \quad (3.1)$$

де α - кут нахилу граней напрямних; f - коефіцієнт тертя напрямних; G_1 - вага супорта, Н; G_2 - вага різцевої головки, Н; Ka - коефіцієнт підйому різі ходового гвинта; Mx - момент відповідних сил і мас, Н*м:

$$M_x = P_z \cdot y_p + G_1 \cdot y_1 - G_2 \cdot y_2 - P_y \cdot z_p \quad (3.2)$$

Розміри y_p, y_c, y_1, z_p показані на рис. 3.12.

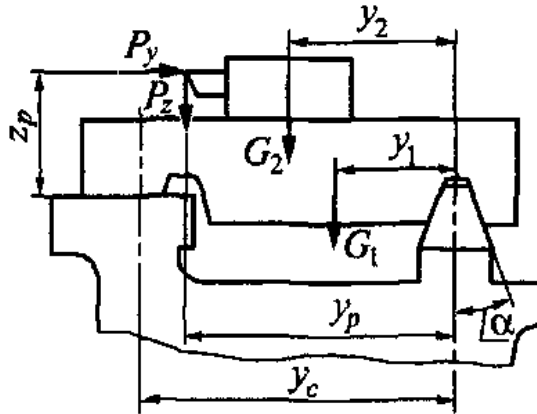


Рис. 3.12. Схема до розрахунку тягового зусилля на ходовому гвинті

З формули (3.1) виходить, що F_x вимірювана в опорі ходового гвинта, крім складової P_x залежить не тільки від постійних, але і від змінних в процесі різання параметрів. Наприклад, коефіцієнт тертя на напрямних ковзання f може змінюватися у декілька разів залежно від швидкості подачі. В цьому ряду змінних і постійних складових F_x на частку сили P_x доводиться до 60%. Зміна P_x , пов'язана із зносом інструменту, складатиме зовсім невелику частку. Тому не слід чекати високої інформативності діагностичного сигналу, що поступає з тензометричної опори гвинта подовжньої подачі. Дослідження показали, що при зростанні зносу на задній поверхні твердосплавного різця на 0,1 мм, контрольована сила збільшується всього на 6% [9].

Із залежності, що має аналогічну структуру, можна розрахувати силу F_y , яка виникає при різанні в опорі гвинта поперечної подачі. Природно, що сила F_y за своїм значенням буде ближче до сили P_y , ніж F_x до P_x . Це пов'язано із зменшенням числа силових параметрів, що впливають на величину F_y . Велику інформативність має діагностичний сигнал, що поступає з тензометричної опори гвинта поперечної подачі. Чим ближче встановлені датчики до зони різання, тим вищою є їх інформативність.

3.4.3. Встановлення тензометричної проставки між кареткою супорта і корпусом револьверної головки

Тензометрична проставка встановлюється між кареткою супорта і корпусом револьверної головки токарного верстата з ЧПУ (рис. 3.13).

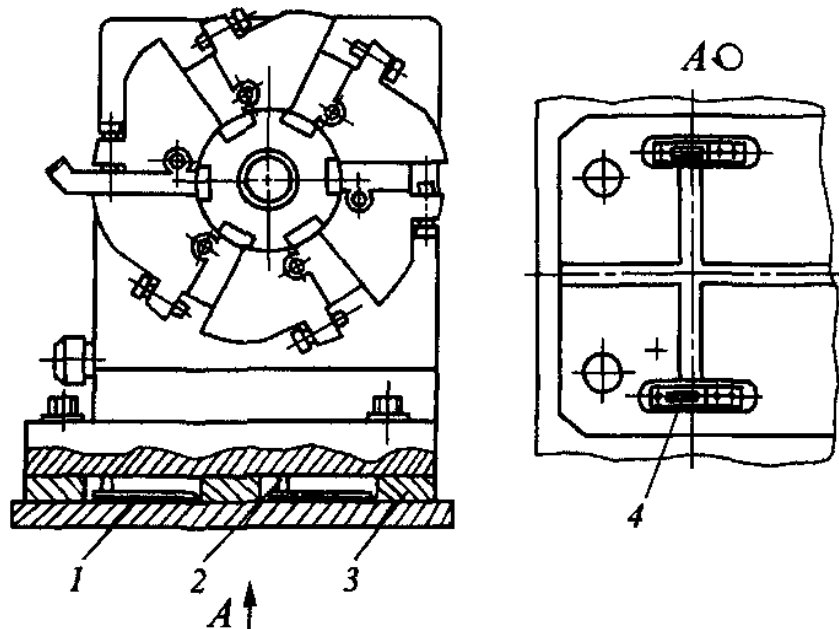


Рис. 3.13. Тензометрична проставка

У компенсаторній проставці 3 профрезеровані східчасті пази. В пазах закріплюються пружні пластини 1 з наконечниками 2.

На пластинках розміщуються тензорезистори 4. В результаті ми отримуємо консольно розташовані пружні чутливі елементи, які сприймають деформації проставки під дією сил різання.

3.4.4. Встановлення п'єзоелектричних датчиків для вимірювання сил різання

У системах діагностики для вимірювання сил різання застосовуються п'єзоелектричні датчики, виконані у вигляді кілець, пластин, дубелів і ін. Використовуються датчики відносного подовження [6].

Вимірювальна пластина для визначення сил, показана на рис. 3.14, а вимірювальне кільце (рис. 3.15). Вимірювальна пластина - є сталеву плитою з розміщеними в ній чотирма п'єзоелектричними датчиками.

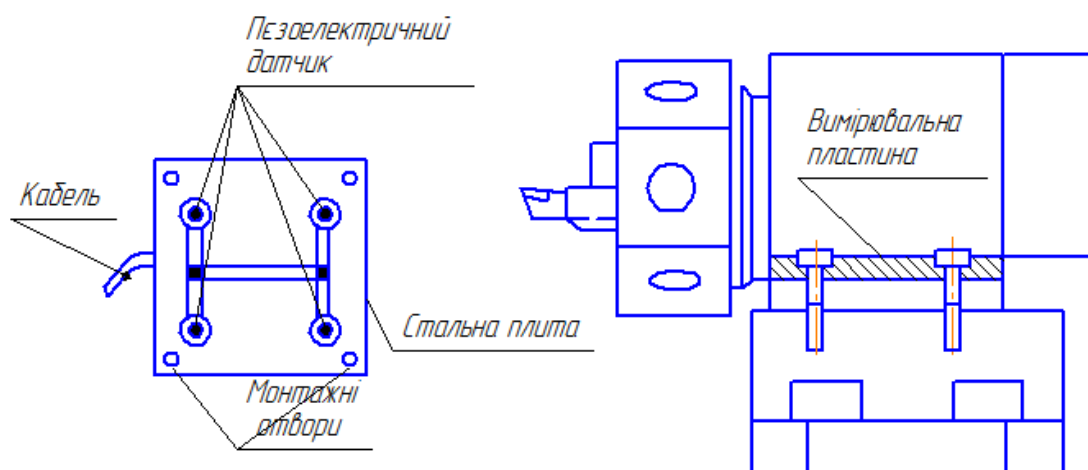


Рис. 3.14. Вимірювальна пластина і її застосування

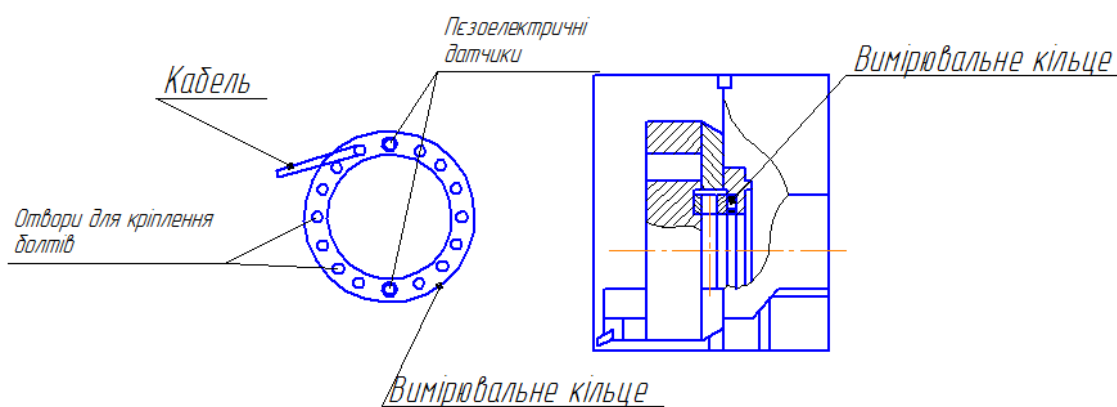


Рис. 3.15. Конструкція вимірювального кільця(а) і його монтаж в револьверну головку (б)

Пластина встановлюється на базовій площині салазок токарного верстата під опорою корпусу інструментальної револьверної головки. Чутливі до деформації стиснення п'єзоелектричні давачі виступають над поверхнею пластини на величину 10...15 мкм. За рахунок цього при монтажі забезпечується необхідний попередній натяг давачів, а вимірюване навантаження, яке може досягати значної величини, розподіляється рівномірно за всією площею сталевієї плити. Жорсткість верстата при цьому трохи знижується.

У результаті давачі реєструють зміну під дією сили товщини сталевієї плити, при цьому давач може фіксувати навантаження порядку 10 Н. Пластина,

встановлена під револьверною головкою, дає надійну інформацію про знос інструменту і дозволяє виявляти до 95% його відмов.

Вимірювальні кільця з п'єзоелектричними давачами мають такі ж конструктивні особливості, що і пластини. Вони встановлюються в револьверній головці токарного верстата з ЧПК між корпусом і нерухомим кільцем або між корпусом і бабкою шпинделя (рис. 3.15).

П'єзоелектричний давач подовження (рис. 3.16) дозволяє визначити сили різання шляхом вимірювання деформацій деталей верстата. Місце закріплення давача визначається експериментальним шляхом. Воно є ланкою силового замикання у верстаті, і істотно деформується від дії сили різання.

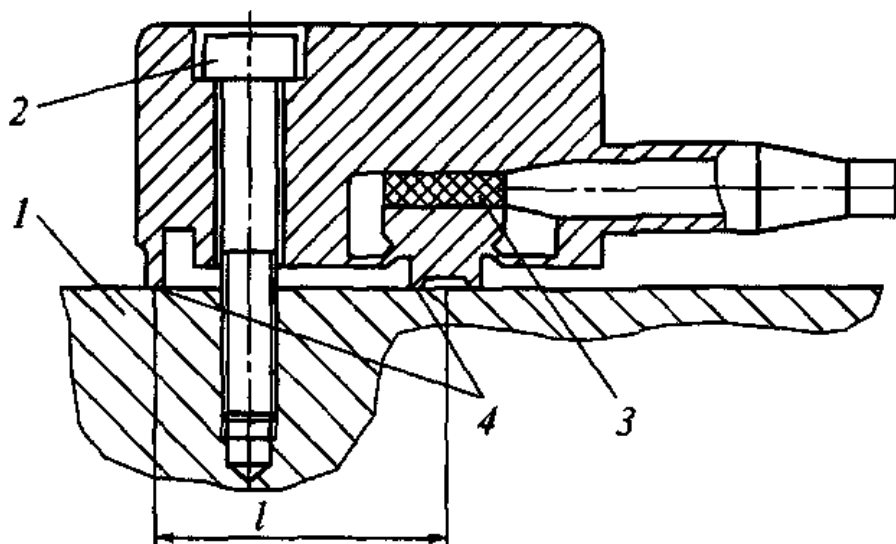


Рис. 3.16. П'єзоелектричний давач подовження

При установці давача не вимагається конструктивних доробок у вузлах верстата. Давач пригвинчується зовні гвинтом 2, наприклад, до корпусу бабки шпинделя. Розтягування або стиснення на певній довжині вимірювання l за рахунок сил тертя в поверхнях контакту 4 створює в п'єзоелектричній пластині 3 напруги зсуву і електричний заряд, пропорційний силі.

Контроль стану ріжучого інструменту реалізується шляхом отримання вимірювальної інформації від двох давачів подовження, один з яких вимірює силу подачі інструменту, а інший силу відтиску різця від заготовки.

За допомогою давачів подовження, крім зносу інструменту, визначають його поломку і аварійні зіткнення у верстаті.

3.4.5. Встановлення ТЕРС для діагностики шпиндельного вузла

Для вимірювання ТЕРС верстат оснащується струмознімачем, який закріплюється на задній частині шпинделя (рис. 3.17) і сполучається з входом вимірювального приладу I з великим електричним опором. Другий вхід приладу з'єднується з інструментом. При цьому електричний опір підшипників шпинделів повинен бути істотно більшим за опір площадки контакту інструменту з оброблюваною деталлю. Надійність вимірювання ТЕРС знижується при порушенні умов роботи підшипників, коли можливе зменшення їх електричного опору через втрату цілісності масляної плівки між деталями підшипників [9].

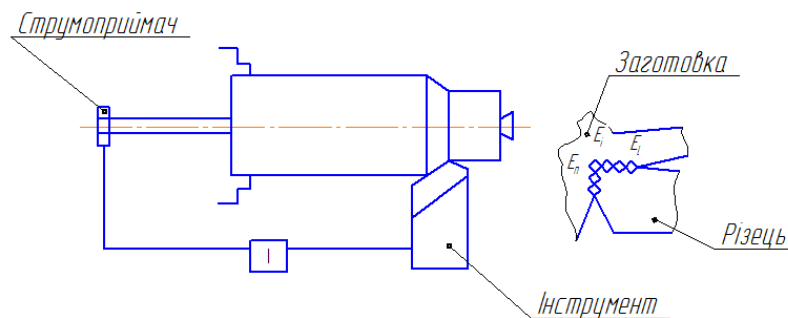


Рис. 3.17 - Схема вимірювання термоелектрорушійної сили в процесі різання

Істотною перевагою сигналу ТЕРС в процесі різання є те, що для його обробки не вимагається спеціальних перетворювачів, оскільки відразу виходить електричний сигнал.

Із зростанням зносу на задній або передній поверхнях інструменту збільшуються відповідні площадки контакту, а разом з ними зменшуються електричні опори R_0 , R_k . Залежно від розташування переважного зносу зростатиме або зменшуватиметься вимірювана величина ТЕРС.

Так, при переважному зносі на задній поверхні R_0 зменшуватиметься швидше, ніж R_k , а це викликає зменшення вимірюваної величини ТЕРС. При переважному зносі по передній поверхні, навпаки, ТЕРС зростає.

Вимірювати ТЕРС для визначення стану інструменту рекомендується на початку проходу, поки не нагрілися поверхні різцетримача і не з'явилася паразитна ТЕРС, яка спотворює корисний контрольований сигнал.

3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*оприлюднені результати досліджень подаються в додатках)

Виконанню магістерської роботи передували інформаційно-патентні дослідження, які передбачали здійснення аналізу систем діагностики, що можуть використовуватися на багатоцільових верстатах та токарних верстатах з ЧПК. В результаті проведеного аналізу опубліковані тези [29]:

Ремезюк В.О., Склярів Р.А., Особливості системи діагностики багатоцільового верстату // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей ІХ міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 214. — С. 190.

3.6. Висновки за результатами наукового дослідження

На основі аналізу структурної системи керування звичайним верстатом з ЧПК визначено основні джерела інформації які мають вплив на прийняття рішень системою ЧПК. Вони формуються за рахунок візуальних спостережень, та прийнятих рішень, які здійснює оператор верстату. Така система має певні недоліки. Для їх усунення запропоновано структурну схему верстату ЧПК з використанням «системи підтримки роботоздатності системи», яка передбачає наявності у своєму складі засобів активного контролю.

Запропоновано схему, на якій приведено сили які діють в процесі різання, та зображено їх вплив на вузли токарного верстата, а також приведені місця можливого встановлення датчиків на ньому.

Запропоновані схеми та конструктивні рішення діагностики окремих вузлів верстата, та контролю режимів різання.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Опис виробничих шкідливостей цеху, що проектується та розробка заходів щодо зниження їх впливу на працюючих

При експлуатації металообробних верстатів відбувається забруднення навколишнього середовища, степінь якого залежить від виду приводів, складу змащувально-охолоджувальних рідин та багатьох інших факторів. Так, наприклад, в коробках швидкостей і подач металорізальних верстатів дуже часто використовується масло індустріальне марки 1-20А.

Недотримання умов експлуатації масла може призвести до забруднення земельних ресурсів (при його попаданні на підлогу виробничого приміщення). Тому для контролю за станом з'єднань трубопроводів і елементів гідросистем, окрім щоденного огляду наладчиками призначається періодичний профілактичний огляд гідроапаратури через кожні 6 місяців роботи.

Відпрацьоване індустріальне масло піддаємо фільтрації на фільтрах грубої, середньої та тонкої очистки, сепарації (з метою видалення із нього найменших феромагнітних частинок) і відстоювання в спеціальних очисних баках з магнітними пробками.

Мастильно-охолоджувальні рідини (МОР) застосовують головним чином для відводу тепла від ріжучого інструменту [30]. Вони знижують температуру в зоні обробки і тим самим підвищують стійкість ріжучого інструменту, поліпшують якість оброблюваної поверхні й охороняють від корозії різальний інструмент і оброблювана заготівля. До мастильно-охолоджувальних рідин пред'являються наступні вимоги: висока охолодна і мастильна здатність, антикорозійність, нешкідливість для працюючих.

Підведення МОР у зону різання здійснюється поливом у зону різання, поливом під тиском з боку задньої поверхні інструмента, розпиленням і іншими способами.

Раціональне застосування МОР дозволяє в ряді випадків підвищити стійкість ріжучого інструменту, від 1,5 до 4 разів. Мастильно-охолоджувальні рідини і способи їхнього застосування, ефективні для однієї групи оброблюваних матеріалів і видів обробки, можуть бути малоефективними для інших оброблюваних матеріалів і видів обробки і навіть впливати на комбінації: оброблюваний матеріал - вид обробки - інструментальний матеріал - режим різання - найбільш ефективна для даних умов мастильно-охолодна рідина.

Підведення МОР безпосередньо в зону різання забезпечується достатньою маневреністю системи підведення сопла. При ослабленій гайці сопло можна повертати під будь-яким кутом і встановлювати по висоті.

Антитуманні присадки зменшують утворення і виділення масляного туману (аерозолю) при використанні МОР на масляній основі. У якості антитуманних присадок (0,5-3%) рекомендовано поліолефіни, наприклад, сополімер етилену та пропілену (з вмістом пропілену 30-50%) [31].

Для захисту від мікробіологічного ураження до складу МОР додають бактерициди. На ділянці широко застосовуються похідні тریазину (в склад МОР додають «Гротан»). Вміст бактерициду в емульсії складає 0,05-0,15%.

Для збору МОР (відпрацьованої) на кориті основи є ґратчаста кришка, через ці ж ґрати проводиться заливання емульсії. Знімати кришку не дозволяється в зв'язку з можливістю загоряння резервуара і псування насоса охолодження МОР.

Обробка сталі твердосплавним інструментом виконується без охолодження різального інструмента; унаслідок цього в навколишнє середовище верстата виділяється значна кількість металевого пилу – шкідливого для органів дихання і шкірного покриву обличчя робітника.

Для усунення цього шкідливого фактору до шпindelної головки верстата кріпиться гнучкий шланг, з'єднаний із загальною мережею примусової вентиляції цеху, що дозволяє максимально наблизитися до різального інструмента верстата і відсмоктати виділений в ході металообробки пил, не даючи йому розлетітися й осісти.

Шум, що поширюється в ході роботи вузлів верстата, негативно діє на слуховий апарат робітника і може створювати небезпечне захворювання – глухуватість. Створюваний верстатом шум має широкополосний спектр, він не перевищує 50 дБА, що відповідно до шкали «А» не є небезпечним для органів слуху людини.

Вібрація, що виникає в ході металообробки на верстаті, через опорну поверхню (підлогу) передається на організм робітника, негативно впливаючи на центральну нервову систему, викликаючи цілий комплекс стійких порушень фізіологічних функцій організму.

Для зниження рівня вібрації застосовуємо віброізолюючі опори, що значно гасять вібрації (особливо високоамплітудні), створювані верстатом у процесі роботи.

Також для зниження високочастотної вібрації, що виникає внаслідок роботи верстата, у зоні обслуговування (під ноги робітника) стелиться гумовий килимок (ГОСТ 17725-72).

4.2. Організація управління охороною праці на підприємствах

Основою правового забезпечення БЖД про охорону праці, що створює безпечний стан виробництва, є закон України «Про охорону праці», та низка законів, кодексів та прийнятих до них нормативно-правових актів [32].

Державна політика України в галузі охорони праці (ОП) спрямована на створення безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням (НПАОП 0.00–7.11–12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників»). Вона базується на ряді принципів, основними з яких є пріоритет життя і здоров'я працівників, повна відповідальність роботодавця за створення безпечних та належних умов праці, підвищення рівня промислової безпеки, комплексне розв'язання завдань з охорони праці, соціальний захист працівників, повне відшкодування особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань.

Головними пунктами, які має виконати підприємство для відповідності законодавству України у сфері ОП є:

1. Створення служби охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону «Про охорону праці» така служба обов'язково має бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб згідно з Типовим положенням про службу ОП, затвердженому наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 р. № 255 (НПАОП 0.00–4.21–04 «Типове положення про службу ОП»). На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу ОП цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. Крім того, мають бути затверджені посадові інструкції посадових осіб служби, що визначають їх обов'язки, права та відповідальність за виконання покладених на них функцій.

2. Розроблення та затвердження на підприємстві положень, інструкцій та інших актів з охорони праці.

Обов'язок роботодавця за твердженням таких документів передбачений в ст. 13 Закону «Про охорону праці». Вони повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях. Інструкції та інша документація з охорони праці розробляються на підставі положень законодавства з ОП, типових інструкцій та технологічної документації підприємства з урахуванням виду діяльності підприємства і конкретних умов праці на ньому.

3. Організування проведення інструктажів з питань охорони праці.

Перед початком роботи нового працівника роботодавець згідно зі ст. 29 КЗпП та НПАОП 0.00–4.12–05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» зобов'язаний проінформувати його під розписку про умови праці, наявні на його робочому місці. У тому числі, про всі небезпечні чи шкідливі виробничі чинники, які ще не усунуто, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

Крім того, при прийнятті на роботу всі працівники повинні за рахунок роботодавця пройти вступний інструктаж, навчання, перевірку теоретичних знань, первинний інструктаж на робочому місці, стажування і набуття навичок безпечних методів праці. Тільки після цього працівники допускаються до самостійної роботи. Вступний інструктаж проводить спеціаліст з охорони праці, а первинний – безпосередній керівник працівника.

4. Забезпечення навчання і перевірка знань з питань охорони праці.

Згідно зі ст. 18 Закону «Про охорону праці» працівники, зайняті на роботах з підвищеною небезпекою або там, де є потреба у професійному доборі, повинні щороку проходити навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Навчання з питань ОП таких працівників може проводитися як безпосередньо на підприємстві, так і іншим суб'єктом господарювання, що займаються таким навчанням. Перевірка знань працівників з питань ОП має здійснюватися відповідною комісією підприємства, склад якої затверджується керівником підприємства. Керівники підприємств з кількістю працівників понад 1000 осіб, керівники та спеціалісти служби з питань ОП та члени комісії з питань ОП таких підприємств повинні раз на три роки проходити навчання з питань ОП у галузевих навчальних центрах або в навчальних закладах та установах, які проводять таке навчання.

Там також навчання проходять посадові особи малих підприємств.

5. Дбання про проведення медичних оглядів.

Згідно зі ст. 169 КЗпП роботодавець зобов'язаний за свої кошти організувати проведення попереднього та періодичних медоглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі. Також він зобов'язаний проводити щорічний обов'язковий медогляд осіб віком до 21 року. Перелік професій, виробництв та організацій, працівники яких підлягають обов'язковим професійним медичним оглядам затверджені постановою КМУ від 23.05.2001 р. № 559. Терміни проведення таких медоглядів встановлюються Міністерством охорони здоров'я. Результати професійних медоглядів працівників у вигляді висновку фахівців про можливість допуску працівника до роботи заносяться в їхні медичні книжки, які мають зберігатися у роботодавця.

6. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту.

На роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також на роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими температурними умовами, працівникам згідно зі ст. 164 КЗпП має безкоштовно видаватися спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). Норми безплатної видачі ЗІЗ затверджені окремими наказами профільних міністерств або інших держорганів для конкретних видів виробництва. Видача замість ЗІЗ матеріалів для їх виготовлення або грошових сум для їх придбання заборонена. Але, якщо працівник купить ЗІЗ за свій рахунок через порушення термінів їх безкоштовної видачі, то роботодавець зобов'язаний компенсувати працівникові вартість їх придбання.

7. Проведення атестації робочих місць за умовами праці.

На підприємствах, де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина та/або матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працюючих, має проводитися атестація робочих місць за умовами праці. Така атестація має проводитися атестаційною комісією, склад і повноваження якої визначаються наказом по підприємству в строки, передбачені колективним договором, але не рідше одного разу на 5 років. Порядок проведення такої атестації передбачений постановою КМУ від 01.08.1992 р. № 442. Відомості про результати атестації заносяться в картку умов праці.

8. Налагодження обліку нещасних випадків.

Згідно зі ст. 22 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій у порядку, встановленому постановою КМУ від 30.11.2011 р. № 1232. За результатами такого розслідування роботодавець повинен скласти акт за формою Н-5 (якщо нещасний випадок визнано таким, що не пов'язаний з виробництвом) або Н-1 (якщо він визнаний пов'язаним з виробництвом). Один з примірників має видатися потерпілому або іншій зацікавленій особі не пізніше трьох днів з моменту закінчення розслідування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На верстатах з ЧПК в якості засобів активного контролю можуть використовуватись силові давачі (крутного моменту, сили різання, амплітуди коливань, пружної деформації інструменту і основних виконавчих органів), так і давачі, які дозволяють визначати температуру в зоні різання, зношування інструменту та інші.

Проведений інформаційно-патентний аналіз показав, що система активного контролю на верстаті дозволяє контролювати процеси які відбуваються в процесі обробки деталі.

Точність вимірювання в системах активного контролю на верстатах ЧПК може визначатися вимірювальним перетворювачем, їх точність може залежати від фізичного принципу, який лежить в їх основі. Для діагностики можуть використовуватися давачі резистивного, п'єзоелектричного, індуктивного ємнісного та комбінованого принципу дії.

Грунтовний аналіз показав, що існуючі засоби діагностики дозволяють вимірювати такі параметри оброблюваної деталі, як форма, шорсткість, знімати її розміри та температуру, а також вони дозволяють контролювати параметри стружки (її форму та температуру), крім того ними можна вимірювати силові параметри (крутний момент, силу різання, потужність різання). Існує окрема група давачів, які дозволяють здійснювати вібродіагностику верстатів.

Використання системи ЧПК з засобами активного контролю дозволяє здійснювати моніторинг інструменту на зношування, сколювання, поломки, контролювати форму стружки, наріст, шорсткість, розмір деталі і ін.

В дипломній роботі здійснено вибір раціонального маршруту обробки деталі «Кришка КР33-18.350». Проведено розрахунок режимів різання на лімітуючі операції.

Для операції точіння було здійснено розрахунок режимів різання, та прийнято робочу частоту обертання шпинделя, яка становить $n = 168 \text{ об/хв}$, а величина подачі становить $S = 0,6 \text{ мм/об}$. Визначено значення складової сили різання при точінні, яка складає $P_z = 6777.3 \text{ Н}$.

На основі аналізу деталі та ТП її виготовлення проведено розгляд можливих варіантів формоутворення, на основі яких здійснено побудову структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.

Здійснено обґрунтування та вибір компонок токарного верстату з ЧПК, для цього сформульовані правила відбору базових вузлів компонок. Запропоновано декілька варіантів-альтернатив компонок верстатів, серед яких вибрано базове.

З використанням програмного модуля «Автоматизований розрахунок коробки швидкостей» здійснено розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс приводу головного руху.

З використанням програми «Выбор и расчет основных параметров шпиндельных узлов» проведено розрахунок шпиндельного вузла верстату, вибрано його опори, визначено жорсткість шпиндельного вузла, та проведено його оптимізацію.

На основі аналізу структурної системи керування звичайним верстатом з ЧПК визначено основні джерела інформації які мають вплив на прийняття рішень системою ЧПК. Така система має певні недоліки, вона формується за рахунок візуальних спостережень, та прийнятих рішень, які здійснює оператор верстату.

В роботі запропоновано структурну схему верстату ЧПК з використанням «системи підтримки роботоздатності системи», яка передбачає наявності у своєму складі засобів активного контролю.

Запропоновано схему, на якій приведено сили, що виникають в процесі обробки деталі на верстаті, та зображено їх вплив на вузли токарного верстата. На даній схемі приведені місця можливого встановлення датчиків на верстаті.

Запропоновані схеми та конструктивні рішення діагностики окремих вузлів верстата, та контролю режимів різання. Ці схеми в подальшому отримали конкретне конструктивне втілення в запропонованих конструкціях вузлів верстатів.

В роботі також знайшли висвітлення питання, які присвячені виробничим шкідливостям, що виникають на ділянці при обробці деталі на верстаті, а також висвітлено питання організації управління охороною праці на підприємстві.

Бібліографія

1. Кузнецов Ю.М., Скляр Р.А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю.М. Кузнецов, Р.А. Скляр; під ред. Ю.М. Кузнецова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.
2. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Під ред. Ю.М. Кузнецова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
3. Мустафаев, Г.А. Использование датчиков адаптивного управления для повышения качества обработки деталей на станке с ЧПУ / Г.А. Мустафаев, Е.В. Сидорчик. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2013. — № 9 (56). — С. 60-62. — URL: <https://moluch.ru/archive/56/7662/> (дата звертання : 16.11.2020).
4. Луців І.В., Інтелектуальна власність. (частина 1). Система охорони інтелектуальної власності: навчальний посібник / Луців І.В., Скляр Р.А., Шанайда В.В. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. – 112 с.
5. Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Редько Р.Г., Зубовецька Н.Т. / РЕЖИМИ РОБОТИ СИСТЕМИ ЧПУ ВЕРСТАТА В ПРОЦЕСІ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ. Наукові нотатки №66, 2019. - С. 373-377.
6. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник. — 2-е изд., перераб. и доп. —М.: Машиностроение, 1990. —512 с.
7. Ширман А.Р., Соловьев А.Б. Практическая вибродіагностика и мониторинг состояния механического оборудования. М., 1996. - 276с.
8. Контрольно-вимірювальні системи технологічного обладнання. Під ред. Ю.М. Кузнецова /автори Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Бабич В.М. Кириченко А.М. .- Кіровоград, КНТУ, 2005. — 500 с.
9. Григорьев С.Н., Кохомский М.В., Маслов А.Р. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: Справочник. Под. общ. ред. А.Р. Маслова. –М.: Машиностроение, 2006. –544 с.
10. Секацкий В.Ф. Методы и средства измерений и контроля [Текст]: учебное пособие / В.С. Секацкий, Н.В. Мерзликина. - Красноярск: ИСЦСФУ, 2007. - 286с.

11. Классификация средств и методов активного контроля [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://pereosnastka.ru/articles/klassifikatsiya-sredstv-i-metodov-aktivnogo-kontrolya>.

12. Денисюк В.Ю., Симонюк В.П., Лапченко Ю.С., Новосад Б.І. / МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТОЧНОСТІ ПРИЛАДІВ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ В ПРОЦЕСІ ОБРОБКИ. Перспективні технології та прилади, №16, 2020.- С.38-47.

13. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения; под общей ред. Шуба В.Г. – М.: Издательство стандартов, 1976.

14. Сорокин В.Г., Волосников А.В. Марочник сталей и сплавов. М.: Машиностроение, 1989.

15. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. – Львів: Світ, 1996.

16. Справочник технолога-машиностроителя В 2-х т. Т2 / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, - М: Машиностроение, 1986.-496 с.

17. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанью металлов и режущему инструменту. – М.: Машиностроение, 1990 г. – 448 с.

18. Основы формообразования поверхностей резаньем. Родин П.Р.- Киев: Вища школа, 1977.- 192 с.

19. Врагов Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков.- М.: Машиностроение, 1978.– 208с.

20. Скляр Р., Шанайда В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Скляр, В. В. Шанайда // Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року — Т. : ТНТУ, 2016 — С. 74. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17396>

21. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование. Учеб. пособие для вузов — Мн.: Вышш, шк., 1991,- 382 с.

22. Скляр Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Скляр Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. - 2011. - Том 16. - № 1. - С.117-125.

23. Металлорежущие станки / Н.С. Ачеркан, А.А. Гаврюшин, В.В. Ермаков и др. Под ред. Н.С. Ачеркана. М.: Машиностроение, 1965, т. 2, 628 с.

24. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В.Э. Пуша.- М.: Машиностроение, 1986.- 576 с.

25. Скляр Р., Шанайда В. Використання багатofункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.

26. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. - М.: Высш. школа. 1989.-447 с.

27. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. В 14 кн.. Кн. 7 М.С. Городецкий, Д.Л. Веденский. Контроль и диагностика в ГПС: Практ. Пособие / под.ред. В.И. Черпакова. – М.: Высш. шк., 1989.- 96 с.

28. Василюк Г.Д., Лоев В.Ю., Мельничук П.П. Конструювання, розрахунок та експлуатація токарних верстатів з ЧПК: Навчальний посібник – Житомир: ЖІТІ, 2001.- 400с.

29. Ремезюк В.О., Скляр Р.А., Особливості системи діагностики багатоцільового верстату // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей ІХ міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 25–26 листоп. 2020.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 214. — С. 190.

30. Полимерсодержащие смазочно-охлаждающие жидкости. /А.И. Сошко, Я.Д. Плоткин, В.С. Кузнецов и др. - Львов: Каменяр, 1986. - 62 с.

31. Классификация смазочно-охлаждающих технологических средств для обработки металлов резанием. /Г.Т. Малиновский, Е.В. Лебедев, А.К. Маскаев, А.А. Стулий // Химия и технология топлив и масел. - 1981, №9. - С.20 - 22.

32. Стищенко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є Стищенко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 336 с.

Додатки