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: **Дослідження похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулюванням поділом подачі**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МВнм-61
спеціальності
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

	(підпис)	Ларочкін А. (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	Луців І.В. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	Ярема І.Т. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	(підпис)	Кобельник В.Р. (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	Ляшук О.Л. (прізвище та ініціали)

Тернопіль 2022

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)
« 28 » березня 2022 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Ларочкіну Андрію
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулюванням поділом подачі

Керівник роботи Луців Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «*25*» *03* 2022 року № 4/7-1983

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 травня 2022року

3. Вихідні дані до роботи Типовий технологічний процес обробки деталі, паспорт верстата, ескіз пристрою

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) 1)Аналітичний розділ. Аналіз проблематики кваліфікаційної роботи. Задачі дослідження.
2) Аналіз типової технологічної операції токарної обробки на верстаті
3) Обґрунтування конструкції верстату. Вибір компоновки, структурної, кінематичної схеми.
4) Розрахунки і конструювання системи регулювання подачі;
5) Розробка методики досліджень і математичної моделі
6) Дослідження похибок оброблення; 7) Техніко-економічні обгрунтування.
8) Охорона праці і безпека життєдіяльності стосовно об'єкту дослідження. 9) Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
1) Тема, мета роботи, об'єкт і предмет дослідження; завдання роботи
2) Витяг з технологічного процесу обробки типової деталі
3) Аналіз можливих компоновок верстатів. Вибір раціонального варіанту.
4) Розробка схем формоутворення при обробленні і формування кінематичної схеми
5)Розробка конструкції формоутворючого вузла.
6)Аналіз формування похибок токарного оброблення.
7)Способи регулювання процесів двостороннього точіння.
8) Математична модель похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулюванням
9) Графічні результати дослідження 10)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сеник А.А., к.т.н., ас. каф ВІ		
Безпека життєдіяльності	Клепчик В.М., проректор з АГР		
Нормоконтроль	Ярема І.Т., к.т.н., доц. каф. ВІ		

7. Дата видачі завдання 28 квітня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	Тиждень 1	
2	Інформаційно-патентний пошук	Тиждень 2	
3	Постановка мети і завдань дослідження	Тиждень 2	
4	Опис варіантів конструкцій		
	токарних верстатів	Тиждень 2	
5	Типовий технологічний процес обробки	Тиждень 3	
6	Розробка структурної та кінематичної схем верстату	Тиждень 3	
7	Вибір раціональної компоновки верстату	Тиждень 3	
8	Конструювання функціонального вузла верстату	Тиждень 4	
9	Розробка методики для проведення наукових досліджень	Тиждень 5	
10	Розробка прикладів системи регулювання подачі	Тиждень 5	
11	Представлення математичної моделі	Тиждень 5	
12	Побудова графічних залежностей процесу	Тиждень 5	
13	Дослідження характеристик похибок оброблення		
	при двосторонньому точінні з регулюванням поділу		
	подачі	Тиждень 6	
14	Застосування елементів автоматизованих досліджень	Тиждень 6	
15	Аналіз графічних залежностей формування	Тиждень 6	
	похибок		
16	Техніко-економічні обґрунтування	Тиждень 7	
17	Заходи з охорони праці відповідно до завдання	Тиждень 7	
18	Безпека життєдіяльності для розроблених об’єктів	Тиждень 7	
19	Оформлення кваліфікаційної роботи	Тиждень 7	
20	Захист кваліфікаційної роботи	Тиждень 8	

Студент _____ Ларочкін А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Луців І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

Реферат ……7

Анотації ……8

Вступ.……11

1. Аналітичний розділ……13

1.1. Особливості проблематики точності при токарному обробленні заготовок ..……..……13

1.2. Аналіз формування похибок токарного оброблення..……..16

1.3.Похибки викликані процесом різання ……19

1.4. Вплив на роботу верстатної технологічної системи поздовжної подачі та її регулювання……24

1.5. Двостороннє точіння як засіб компенсації похибок……...26

Висновки до розділу 1…….……...30

2. Технологічні обгрунтування і конструкторська частина……...32

2.1. Аналіз особливостей деталі-представника..…… ……..32

2.2. Вибір і обгрунтування маршруту оброблення …….33

2.3. Визначення і розрахунок технологічних передумов…….33

2.4. Опис формоутворюючих рухів……36

2.5. Побудова структурної схеми верстату……...44

2.6. Обгрунтування і призначення компоновки верстату ……...47

2.7. Кінематичний розрахунок і побудова загальної кінематичної схеми…….51

2.8. Розрахунок і базове конструювання формоутворюючого вузла……..53

2.9. Пошук компоновочного рішення……57

2.10. Розроблення структури приводу головного руху і загальної кінематичної схеми……..60

2.11. Приклади силового розрахунку…….65
Висновки до розділу 2…….....72

3. Науково-дослідна частина ……..73
3.1. Порядок проведення наукових досліджень …….73
3.2. Методика усунення похибок при токарному обробленні……74
3.3. Компенсація пружних деформацій технологічної системи при двосторонньому точінні……..76
3.4. Визначення принципів регулювання поділом подачі при двосторонньому точінні……..81
3.5. Конструювання установки двостороннього точіння…….86
3.6. Розробка математичної моделі визначення похибок токарного оброблення при двосторонньому поділі подачі……..91
3.7. Графічний аналіз формування похибок оброблення при регулюванні подачею. Компютерні дослідження…….94
3.8. Вплив похибок технологічної спадковості на систему……95
Висновки до розділу 3…….103

4. Охорона праці і безпека життєдіяльності……..104
4.1. Вимоги до верстату з точки зору охорони праці……104

4.2. Характеристика БЖД…….108

Загальні висновки…….113

Перелік посилань……..115

Додатки……..119

РЕФЕРАТ

Тема роботи. Дослідження похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулювання поділом подачі

Метою даного дослідження є підвищення точності процесу токарного оброблення деталей на основі використання двостороннього різання з регулюванням поділом подачі

Об'єкт дослідження - процес двостороннього токарного оброблення деталей

Предмет дослідження – закономірності формування похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулюванням методом поділу подачі

Досягнення мети даної кваліфікаційної роботи дозволило сформувати такі найбільш вагомі **результати**:

1. Аналітичний огляд низки відомих досліджень із питань точності токарного оброблення і його похибок дозволив визначити основні завдання наукового дослідження.
2. Запропонована кваліфікаційна структура похибок при токарному обробленні.
3. Проведений аналіз окремих похибок, які зумовлені зусиллями різання токарного оброблення. Визначена двостороннє точіння у якості важливого напрямку компенсації похибок при токарному обробленні.
4. Описане застосування схем двостороннього точіння та визначені його переваги.
5. Запропоновані способи регулювання процесів двостороннього точіння з використанням поділу подачі.
6. Показані порівняльні характеристики стратегій компенсацій похибок оброблення, на основі чого наведена методика досліджень.
7. Представлена технологія оброблення типової деталі, яку використано для розроблення структури і формоутворюючого вузла токарного верстату.

8. На основі схем формоутворення розроблений компоновочний синтез верстату.
9. Для вибраного верстату проведений розрахунок кінематики і показаний приклад формоутворюючого вузла.
10. Запропонована конструкція токарного пристрою для двостороннього точіння з можливісю регулювання подачі її поділом.
11. Досліджено формування похибок токарного оброблення при використанні системи двостороннього поділу подачі з її регулюванням.
12. Запропоновані загальні висновки і подані рекомендації щодо охорони праці та засобів безпеки життєдіяльності.

АНОТАЦІЇ

Ларочкін А.Л.; " Дослідження похибок оброблення при двосторонньому точінні з регулюванням поділом подачі ". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2022 р.

Кваліфікаційна робота представляє результати науково-прикладного дослідження похибок, які формуються в результаті токарного оброблення при застосуванні двостороннього точіння, яке передбачає поділ подачі між різальними елементами з можливісю регулювання. Метою роботи є підвищення точності оброблення деталей. Це досягається на основі використання двосторонньої схеми різання токарними різцями при умові регулювання процесу шляхом поділу поздовжньої подачі.

Для коректного розв'язання задач кваліфікаційної роботи з метою вивчення процесу розраховані технологічні передумови конструкторського блоку роботи, а також показані можливі схеми формоутворення типової деталі та сформована структурно-кінематична схема верстатного обладнання. У паралельному порядку визначені кінематичні і компоновочні характеристики пропонованого верстату. За результатами цих розрахунків сконструйований механізм формоутворюючого вузла та визначені його

конструкційні параметри. З метою проведення наукового дослідження визначений його порядок. Задекларованe двостороннє точіння як один із вагомих методів компенсації похибок токарного оброблення. При цьому істотного результату процесу компенсації похибок можна досягнути при застосуванні регулювання поділом поздовжньої подачі. Так, у кваліфікаційному дослідженні запропонований пристрій вирівнювання навантажень різання і компенсації похибок токарного оброблення, який працює за методом поділу подачі на різцях із можливістю їх регулювання. Розроблена математична модель формування похибок токарного оброблення при такій системі. На основі запропонованої моделі стало можливим показати графічні картини похибок, побудованих із використанням компютерних досліджень. У роботі запропоновані економічні висновки щодо технічних рішень і подані пропозиції з охорони праці, а також необхідної безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: похибка оброблення, токарний верстат, двостороннє точіння, регулювання, поділ подачі

Larochkin A.; " Study of machining errors in two-sided turning with feed division adjustment”" 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2022.

Qualification Paper deals with the results of scientific and applied research of errors which are formed as a result of machining at application of two-sided turning which provides the feed division between cutting elements with a possibility of adjustment. The objective of the paper lies in parts machining accuracy increasing. This is achived through the use of a two-side cutting scheme with lathe cutters providing the process by regulated division of the longitudinal feed division.

To solve correctly the problems of Qualification Paper in order to study the process the technological foundations of the design study are calculated, as well as the possible schemes of typical part surface forming are developed and structural

and kinematic schemes of machine equipment are proposed. The kinematic and lay-out characteristics of the proposed machine are determined in parallel. Base on the results of these calculations, the mechanism of the work unit is constructed and its design parameters are determined.

In order to conduct scientific research, its order is proposed. Two-sided turning is declared as one of the important methods of errors compensation in the turning machining. At the same time, a significant result of the error compensation can be achived by applying longitudinal feed division control. Thus, in the Qualification study, a device for equalizing of cutting loads and compensation of turning errors is proposed, which operates by the method of dividing the feed on the cutters with the possibility of its adjustment. A mathematical model of turning errors forming in such a system has been developed. Based on the proposed model, it became possible to show errors graphical images developed using computer research. The Paper offers economic conclusions and gives proposals on labor protection, as well as the necessary safety of life.

Key words: machining error, lathe, two-sided turning, adjustment, feed division

Вступ

У машинобудуванні при визначення якості виробів перш за все звертають увагу на їх точність, [1,2,3].

Це пов’язане із тим, що тільки забезпечення необхідного рівня точності виготовлення елементів машин може забезпечувати високі параметри швидкості їх у процесі реалізації необхідного процесу, а відповідно і необхідні характеристики потужності. Вимоги до точності виготовлення також пов’язані із необхідністю уникнення значних динамічних навантажень, шкідливих вібрацій, щоб не допускати порушень у нормальному функціонуванні машин та уникати відповідних у таких випадках відмов і навіть руйнувань елементів.

Питанні досягнення необхідної точності виготовлення елементів машин та їх складання у єдине ціле також забезпечує надійнісні характкерики виробу. Зокрема, це особливо важливо для заданої довговічності машини, збільшення експлуатаційного циклу роботи як машини в цілому, так і її окремих механізмів.

Отже, зазначене визначає актуальність вивчення та дослідження питань точності виготовлення деталей машин.

Найбільш широко застосовуваним методом обробки деталей машин є власне токарна обробка., яка складає більше половини обсягу всіх технологічних операцій, [2]. Тому точність токарного оброблення, формування похибок в процесі виготовлення є надзвичайно важливими. А відповідно дослідження формування похибок, пошук методів їх зменшення та компенсації під час реалізації технологічного проесу є актуальними завданнями і складають важливу господарську і прикладну проблему.

Очевидно, що при обробленні використовують різноманітні токарні системи. Поряд з цим останнім часом багато уваги приділяється токарним пристроям із багатьма різцями, які розміщені по периметру оброблюваної заготовки. Такі системи дозволяють у значній мірі компенсувати похибки,

що утворюються при обробленні ,[3,4]. В той же час для експлуатації такого обладнання було б доцільно оцінити яким чином формуються похибки двостороннього токарного оброблення і як це впливає на функціонування таких систем. Отже, знання впливу різних факторів у процесі різання, зокрема поздовжньої подачі, за двосторонньою вирівнювальною схемою дає можливість забезпечити бажані та необхідні умови компенсації шкідливих похибок оброблення.

Тому дослідження похибок токарного оброблення при застосуванні схем двостороннього різання із поділом подачі регуляторного типу виступає як актуальне завдання та важлива науково-технічна проблема.

Виконана кваліфікаційна робота спрямована на здобуття освітньо-наукового ступеня магістр. Робота представляється по кафедрі ВІ на захист у екзаменаційній комісії ТНТУ.

Наукова новизна роботи магістра:

1. На основі визначення впливу окремих характеристик пружної технологічної системи та факторів елементів різання на процес точіння розроблено математичну модель оцінки похибок оброблення при при застосвування двосторонньої схеми регулювання поздовжньої подачі.

Практичне значення кваліфікаційної роботи таке:

1. Для обраного типу токарного верстату розроблені схеми формоутворення, структура, компоновочне рішення та відповідний формоутворюючий вузол.
2. Запропоноване конструктивне виконання пристрою двостороннього точіння з регулюванням за схемою поділу подачі.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку літератури (37 найменувань), 3 додатків. Загальний обсяг текстової частини – 118 сторінок, 13таблиць, 35 рисунків.

1. Аналітичний розділ

1.1. Особливості проблематики точності при токарному обробленні заготовок

Дана кваліфікаційна робота значною мірою пов’язана із проблемою точності оброблення.

Як відомо, [5,6], точність виготовлення елементів машин і, відповідно точність технологічного процесу оброблення, є одним із основних показників якості машин, їх вузлів та деталей. Технологічні процеси формують деталь і забезпечують отримання необхідних розмірних, якісних і експлуатаційних характеристик деталі певними технологічними методами. Оскільки токарні операції складають переважну більшість обсягу оброблення механічними методами, то надалі будемо мати на увазі перш за все токарне оброблення.

Точність виготовлення деталей є однією із основних і найважливіших характеристик якості. Під точністю розуміють ступінь наближення дійсних значень геометричних параметрів деталі, які отримують в результаті механічного оброблення, до заданих робочим кресленням величин, [6]. Вона повинна характеризуватись стабільністю розмірів, мінімальними відхиленнями від геометричної форми, як найменшими хвилястістю і шорсткістю поверхні.

Слід зауважити, що на точність оброблення впливають різні фактори. Серед них, зокрема, похибки, що стосуються верстата та інструментів. Це похибки виготовлення верстата та його зношення. Також це похибки виготовлення інструментів, і спорядження та їх зношування. Слід зважати і на похибки, що виникають при встановленні різальних інструментів, та налагодженні їх на задані розміри.

Стосовно мікрогеометрії поверхонь обробки, то основним фактором, який визначає точність токарного оброблення, є в більшості випадків пружні деформації технологічної системи, [5,6].

Ці деформації носять складний і комплексний характер і стосуються деформацій системи верстату і пристосування, в тій же мірі як металорізальних інструментів та оброблюваної деталі. Вони виникають внаслідок дії сил різання.

Такі пружні деформації вказаної системи в переважній більшості випадків можуть визначатись деформаціями власне заготовки при обробленні. Це викликано тим, що пружні переміщення деталі набувають в окремих випадках критичних значень. Вони відбуваються під дією як радіальної складової зусилля різання (у випадку одно різцевого точіння), так і внаслідок дії головної, тобто тангенціальної складової, [6]. В технології машинобудування доведено, що прогин оброблюваної заготовки майже повністю визначається зміщенням деталі відносно різця в радіальному (нормальному) напрямку. Дотичне зміщення, яке мало б викликатись тангенціальною складовою, викликає за собою відповідну похибку, яка носить другий порядок малості. Тому більшістю дослідників встановлено, що найбільший вплив на величину пружної деформації оброблюваної заготовки у напрямку нормалі однозначно складає власне радіальна складова зусилля, яке виникає при різанні точінням, [5,6].

Отже, можна зробити висновок, що під дією радіальної складової сили різання виникають при оброблення пружні деформації деталі. Ці деформації накладають обмеження як на досягнення необхідної точності за доцільно встановлених режимів різання, так і на підвищення продуктивності токарного оброблення. Бо, власне, досягнення високої продуктивності оброблення кардинально впливає на економічність технологічного процесу, [2,3].

Також в окремих випадках важливе значення можуть мати температурні деформації технологічної системи.

Окрему групу деформацій займають деформації оброблюваної заготовки під дією власної маси, сил затиску заготовки і перерозподілу внутрішніх напружень.

Незалежну від технологічного процесу сукупність похибок складають похибки вимірювання, що зумовлені неточністю засобів вимірювання, їх зношенням і деформаціями.

Слід зауважити, що вплив цих факторів на процес оброблення змінюється, внаслідок чого і виникають змінні похибки оброблення.

Коли говорити про точність загалом, то можна виділити досяжну точність і економічну точність оброблення. Зупинимось на їх описі детальніше.

Під досяжною точністю розуміється точність оброблення, яка може бути забезпечена оператором з високою кваліфікацією при наявності відповідних засобів обчислювальної техніки для контролю результатів обробки на верстаті за максимально можливих затрат праці і часу на оброблення. При цьому верстат повинен знаходитись у нормальному стані.

Існує також поняття економічної точності [3]. Для її досягнення затрати за даного способу оброблення виявляються меншими, ніж якби використати інший спосіб оброблення для однієї і тієї ж поверхні.

Зобразимо графічно вказані характеристики (рис. 1.1).

Нехай досягнення високої точності характеризується допуском T. Для цього необхідні значні витрати C на оброблення.

Покажемо це на прикладі.

Для забезпечення точності T_2 при чистовому точінні потрібні затрати C_1. Для досягнення більш високої точності T_1 необхідні більші витрати C_2. Чистове точіння виявляється більш економічним за допуску T_3, а за меншого допуску більш економічним є шліфування.

В науковій та інженерній літературі наводиться сукупність рекомендацій щодо підвищення точності обробки.

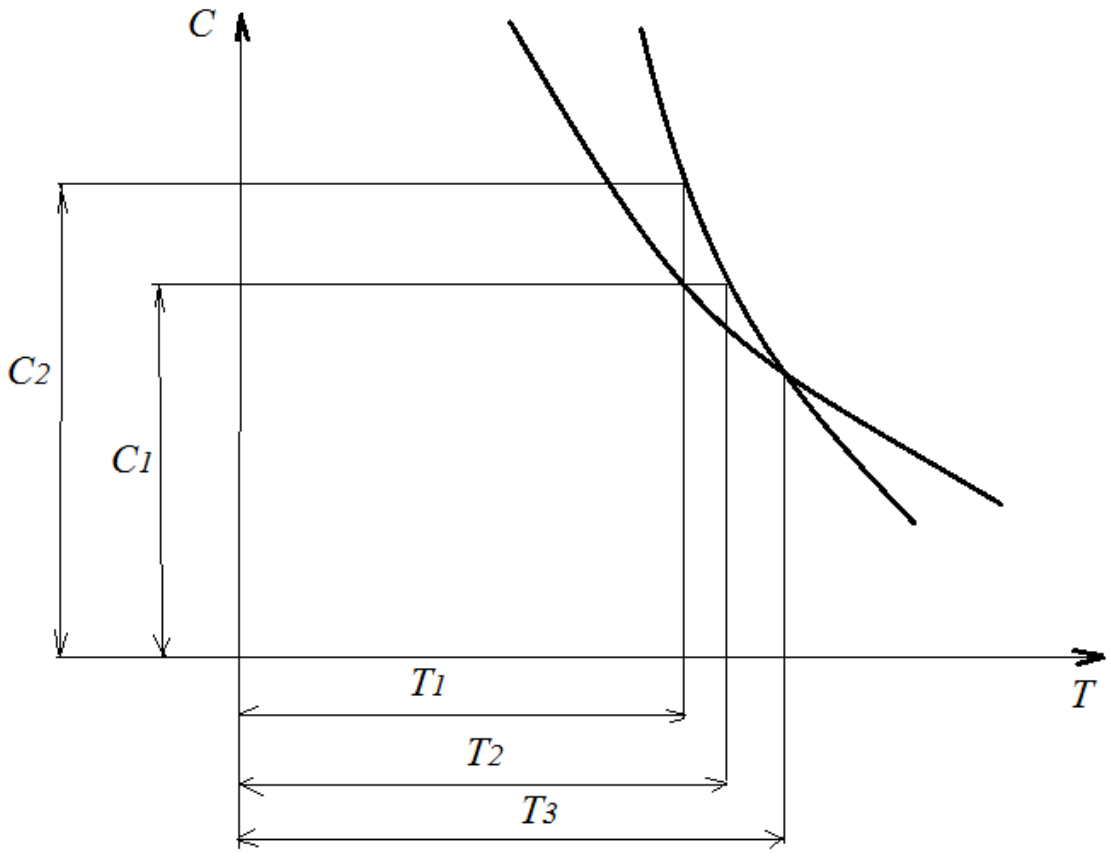


Рис. 1.1. Економічна точність оброблення при точінні (1) і шліфуванні (2)

1.2. Аналіз формування похибок токарного оброблення

Вище показано, що серед основних типів похибок виділяють геометричні, теплові, а також ті похибки, які зумовлені власне силами різання.

Якщо щодо геометричних похибок можна сказати, що вони є основною частиною неточності верстату, то похибки, зумовлені силами різання, залежать як від металорізального інструменту та оброблюваної заготовки, так і від встановлених елементів режиму різання.

Існує необхідність у визначенні та усуненні джерел похибок.

Незважаючи на різні застосовувані методи підвищення точності, важко усунути повністю похибки, зумовлені пружними переміщеннями. Зокрема, похибки від теплових деформацій чи від різальних зусиль важко усунути конструктивними методами.

Важливим методом на сьогодні є метод компенсації похибок. Система компенсації зорієнтована на контроль стану металообробного обладнання і включення механізму компенсації. Тобто, похибки, які виникають взаємно компенсуються. Методи компенсації є ефективними доти, доки похибки, які виникають будуть систематичними і повторюваними, а, отже, їх можна буде виміряти і накопичити.

Розглянемо детальніше джерела похибок.

В цьому плані точність визначимо як ступінь відповідності деталі з встановленими розмірними і геометричними похибками.

Для токарного оброблення похибки можна трактувати як відхилення положень різального леза від теоретичного значення, якщо орієнтуватись на отримання деталі із заданим допуском. Величина похибки обладнання виявляє ступінь його точності.

Похибки можна класифікувати на 2 категорії. Це є похибки квазістатичні і похибки динамічні (рис. 1.2).

Рис. 1.2. Аналіз формування похибок токарного оброблення

До квазістатичних похибок слід віднести похибки між лезом і заготовкою, що змінюються з перебігом часу нешвидко, та пов'язані власне зі побудовою самого верстату. Відповідно до рис. 1.2 ці похибки включають геометричні і кінематичні, похибки викликані дією сил ваги верстату, а також пов'язані із температурними напруженнями у верстатній структурі.

Щодо динамічних похибок, то вони можуть бути спричинені нерівномірностями в обертанні шпинделя, коливаннями (вібраціями), похибками різних давачів. Ці похибки є залежними від роботи обладнання, його експлуатації. Вони можуть трактуватись як спричинені змінами процесу.

Квазістатичні похибки є більш очевидними, вони займають біля 70% від усіх можливих верстатних похибок. Їх простіше компенсувати.

Проаналізуємо можливі похибки для токарного верстату, зважаючи, що він складається із станини, бабки і шпиндельного вузла верстату з патроном, інструментального блоку із різцетримачем, а також різних лінійних і кругових осей. Кожен із цих елементів вносить свою долю до сумарної похибки. Тому в загальному похибки можуть бути згруповані у три класи.

Перший клас стосується похибок геометричних – компонентів, структури верстату, складання обладнання. До цього класу віднесемо і похибки кінематичні та похибки базування (інерційні похибки).

До другого класу слід віднести похибки, викликані термальними ефектами, зокрема, теплові деформації.

Найважливіший третій клас для аналізу складають похибки, які спричинені дією сил різання. Це похибки, що спричинені власне процесом різання, відповідними гравітаційними навантаженнями при різанні, за рахунок масових прискорень. До цих похибок віднесемо і похибки, пов'язані із змінною структурою оброблюваного металу, похибки інструменту та його зношення та похибки корекції процесу різання.

В подальшому в рамках аналізу, що стосується завдань нашої роботи розглядатимемо цей третій клас похибок і в більшості похибки, пов'язані із реакцією технологічної оброблюваної системи на дію статичних і змінних складових зусиль різання.

1.3. Похибки, викликані процесом різання

Відомо, [7,8,9], що компоненти верстату (станина, шпиндельний вузол та інші) володіють статичною (і динамічною) жорсткістю. Ці компоненти є складовими різального ланцюга. Відповідно кожний із них відповідає за певні похибки, що виникають в процесі різання.

Це є найважливішим джерелом похибок токарного оброблення, бо зусилля у верстаті в процесі різання є значної величини. При цьому різні елементи верстату деформуються, а, отже, відбувається зміщення положення різального леза відносно оброблюваної заготовки. Таким чином, за конкретних умов різання залежно від композиції жорсткісних елементів, може змінюватись і точність токарного верстату.

Технологічна система токарного верстату є пружною. Деформації компонентів цієї системи в процесі різання викликають утворення похибок. Це похибки форми і розмірів поверхонь оброблення.

Схема (рис. 1.3) показує характерний випадок формування похибок токарного оброблення. При цьому маємо взаємодію пружної системи заготовки і різального інструменту. В наслідок різання виникає сила різання із радіальною складовою P_y . В процесі різання має місце відтиск різця $y_{рз}$ головного супорта. На схемі показані три варіанти в процесі оброблення. При знаходженні різця поблизу задньої бабки (заднього центру) має місце деформація величиною $y_{зб}$. Якщо ж різець знаходиться біля кінця шпинделя, то деформацію пружної системи можна записати як $y_{пб.}$ Загалом заготовка деформується у різних місцях прикладення сили різання за кривою $y_{зг}$. Отже фактичний діаметр деталі, яка отримується в результаті токарного оброблення, є іншим, ніж це прогнозується відповідно до робочого креслення.

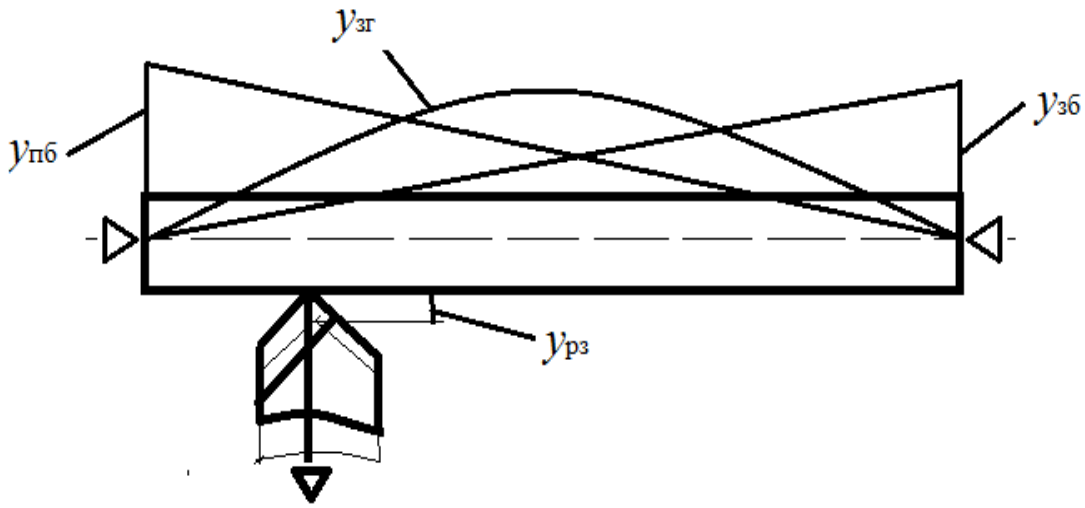


Рис. 1.3. Деформації елементів пружної системи при токарному обробленні

В технології машинобудування доведено, [6], що фактичний діаметр $d_ф$ деталі при такому обробленні є:

$$d_ф = d_{зд} + 2(y_{зб} + y_{пб} + y_{рз} + y_{зг}),$$

де $d_{зд}$ – заданий діаметр, який повинен бути отриманий при налагодженні на розмір.

Представлена картина показує наглядно змінність по довжині оброблюваної деталі як форми, так і розміру (діаметру). Цим пояснюється можлива бочкоподібність маложорстких оброблюваних деталей і корсетність форми деталей, якщо заготовки є дуже жорсткими.

Найбільші похибки токарного оброблення визначаються відомими з технології машинобудування, [2,5], залежностями для випадків оброблення заготовки довжиною l із моментом інерції I :

- у центрах

$$y_{зг} = \frac{P_y l^3}{48EI},$$

- закріплення тільки у патроні

$$y_{зг} = \frac{P_y l^3}{3EI},$$

- затиску у патроні і підтримці заднім центром

$$y_{зг} = \frac{P_y l^3}{100EI},$$

де E – модуль пружності.

Проаналізуємо також важливі випадки токарного оброблення і вплив на похибки при цьому жорсткості технологічної системи.

Так розглянемо класичний випадок, розглянутий у праці [10].

Нехай деталь обробляється із найменшою і найбільшою глибинами різання. Ці глибини відповідатимуть зусиллям різання P_{y1} і P_{y2} . Тоді матимемо, що найбільший і найменший відтиски різця при токарному обробленні складатимуть:

$$y_1 = P_{y1} / j_{рз}, \qquad y_2 = P_{y2} / j_{рз}.$$

Тоді позначивши $j=j_{рз}$, можна записати похибку, яка характеризує еліптичність отримуваної деталі:

$$\delta = y_1 - y_2 = \frac{1}{j}(P_{y1} - P_{y2}).$$

Отримане рівняння вказує на зв'язок похибки із режимами різання при обробленні.

Загалом при токарному обробленні бажано розглядати одночасну дію як зусилля P_y, так і зусилля P_z. Це викликане тим, що горизонтальні зміщення вершини різця зумовлені впливом обох складових зусиль різання. Сила P_y намагається відтягнути різець. Поряд з цим сила P_z викликає опускання вершини різця і в той же час її зміщення вперед у напрямку оброблюваної деталі. Такий характер деформації зумовлений конструкцією супорта токарного верстату.

Визначимо жорсткість токарного верстату при обробленні у центрах (рис. 1.4).

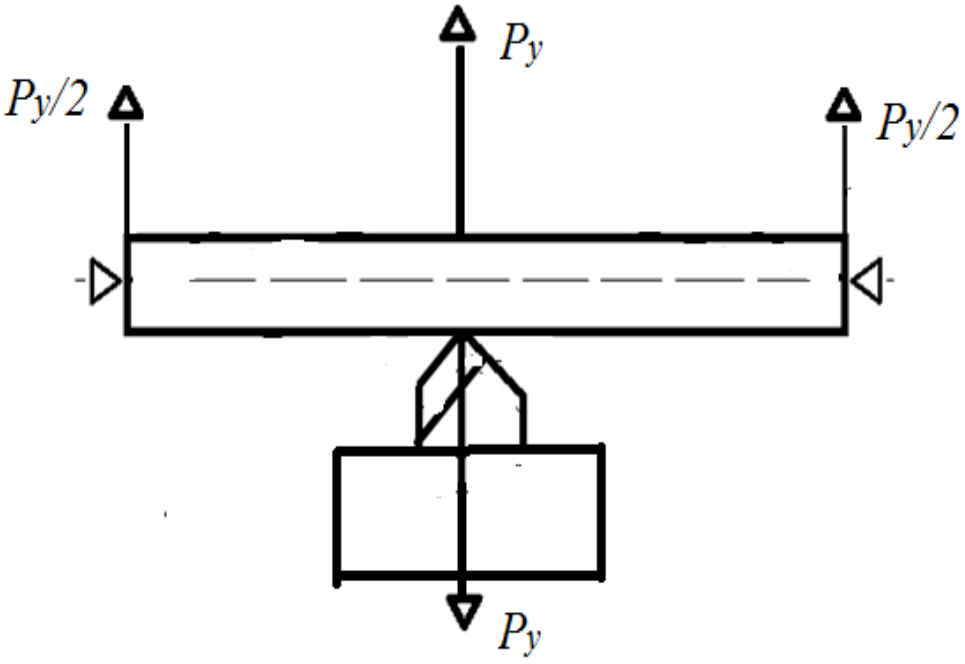


Рис. 1.4. Картина зусиль при токарному обробленні у центрах

Деформація супортної групи дорівнює

$$y_{суп} = P_y / j_{суп},$$

де $j_{суп}$ – жорсткість супорта.

Сумарна деформація бабок токарного верстату дорівнює

$$y_{баб} = \frac{1}{2}(P_y /(2 j_{пб}) + P_y /(2 j_{зб})),$$

де $j_{пб}$ і $j_{зб}$ – жорсткості передньої і задньої бабок відповідно.

Це дозволило отримати існуючу залежність, [6], для визначення жорсткості верстату при обробленні у центрах вала, зважаючи на максимальну деформацію посередині заготовки:

$$\frac{1}{j_в} = \frac{1}{j_{суп}} + \frac{1}{4}(\frac{1}{j_{пб}} + \frac{1}{j_{зб}}),$$

де $j_в$, $j_{суп}$, $j_{пб}$ і $j_{зб}$ – радіальні жорсткості верстату, супорта, і бабок: передньої та задньої відповідно.

Очевидно, що деформація оброблюваного вала складає

$$y_д = P_y / j_д,$$

де $j_д$ – жорсткість оброблюваної деталі.

Тоді можна сформулювати сумарну похибку токарного оброблення вала у центрах у вигляді деформації системи верстат-інструмент – деталь:

$$y = y_в + y_д = P_y / j_в + P_y / j_д.$$

При цьому жорсткість технологічної системи:

$$1/ j = 1/ j_в + 1/ j_д.$$

1.4. Вплив на роботу верстатної технологічної системи поздовжньої подачі та її регулювання

Поздовжня подача є одним із головних факторів, який беруть до уваги при керуванні процесом точіння, зважаючи на отримання деталей із меншими похибками.

Існують різні підходи щодо призначення подачі. Один із них враховує жорсткість технологічної системи, [10]. Цей підхід базується на отриманні значення подачі з врахуванням неточності заготовки $\Delta = t_1 - t_2$ (t_1 і t_2 – відповідно найбільша і найменша глибини різання. Умовами задачі задається похибка δ - неточність деталі, яка обробляється на верстаті.

При цьому

$$\delta = y_1 - y_2 = P_{y1} / j - P_{y2} / j.$$

Вважатимемо, що радіальна складова зусилля різання складає 40% від тангенціальної складової:

$$P_y = 0{,}4 P_z.$$

Скористаємось відомою залежністю:

$$P_z = C_P t s^{0{,}75},$$

де C_P – коефіцієнт пропорційності; s – величина поздовжньої подачі, мм/об. Тоді матимемо

$$\delta = \frac{1}{j}(P_{y1} - P_{y2}) = \frac{0{,}4 C_P}{j}(t_1 - t_2) s^{0{,}75}.$$

Отже,

$$\delta = \frac{0{,}4 C_P}{j} \Delta s^{0{,}75}.$$

Таким чином, можна отримати співвідношення неточності заготовки і неточності (похибки) токарного оброблення:

$$\Delta / \delta = 2{,}5 j / (C_P s^{0{,}75}).$$

При цьому отримаємо значення рекомендованої подачі при обробленні за один прохід з врахуванням величини жорсткості технологічної системи і співвідношення похибок оброблення і заготовки:

$$s = (2{,}5 / C_P)^{4/3} j^{4/3} (\frac{\delta}{\Delta})^{4/3}.$$

Слід проаналізувати подібний вибір подачі для випадків токарної обробки і два чи три проходи.

Позначимо подачі на відповідних проходах як s_1, s_2, s_3. Також позначимо неточність, яка залишилась після першого проходу як Δ_1, а неточність яка залишилась після другого проходу як Δ_2. Тоді матимемо таку систему рівнянь:

$$\Delta_1 = \frac{0{,}4 C_P}{j} \Delta (s_1)^{0{,}75},$$

$$\delta = \frac{0{,}4 C_P}{j} \Delta_1 s_2^{\,0{,}75}.$$

Підставивши друге рівняння системи у перше, матимемо

$$\delta = (\frac{0{,}4 C_P}{j})^2 \Delta_1 (s_1 s_2)^{0{,}75}.$$

Таким чином можемо отримати співвідношення подач при обробленні у два проходи:

$$s_1 s_2 = (2{,}5 / C_P)^{8/3} j^{8/3} (\frac{\delta}{\Delta})^{4/3},$$

або

$$\sqrt{s_1 s_2} = (2{,}5 / C_P)^{4/3} j^{4/3} (\frac{\delta}{\Delta})^{2/3}.$$

Якщо розглядати роботу у три проходи, отримаємо

$$\sqrt[3]{s_1 s_2 s_3} = (2{,}5 / C_P)^{4/3} j^{4/3} (\frac{\delta}{\Delta})^{4/3}.$$

Наведені розмірковування показують важливість поздовжньої подачі у плані впливу на процес токарного оброблення і його результат, в тому числі із врахуванням точності оброблення і відповідних похибок. Тому подачу і її регулювання слід вважати основним фактором для керуванням формування похибок під час оброблення.

1.5.Двостороннє точіння як засіб компенсації похибок

Для підвищення точності і продуктивності токарного оброблення можна застосовувати різноманітні методи і прийоми.

Серед таких шляхів можна виділити:

- підвищення жорсткості верстатів;
- компенсація малої жорсткості верстатів;
- компенсація зусиль різання, що діють на технологічну систему;
- стабілізація і компенсація розмірного зношування металорізальних інструментів;
- вибіркова до оброблення;
- нові способи налагодження верстатів і токарних пристроїв.

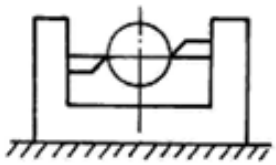
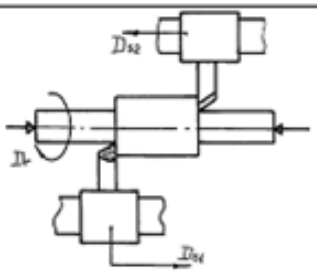
Такий аналіз підтверджує висновки теорії токарного оброблення і його практики, які полягають у тому, що з метою компенсації похибок доцільно застосовувати двостороннє точіння як можливий засіб вказаної компенсації.

Існують різні способи двостороннього точіння. Розглянемо їх детальніше, розбивши на декілька груп [36].

Перша група (таблиця 1.1) передбачає застосування двостороннього точіння при обробці жорстко закріпленими інструментами чи блоком.

Таблиця 1.1

Двостороннє точіння жорстко закріпленими інструментами (блоком)

	Назва	Функціональна схема	Характеристика
Обробка жорстко закріпленим блоком	1. Блок жорстко закріплених різців в радіально нерухомій каретці		Компенсація пружних деформацій системи ВПІД, низька вібростійкість
	2. Обробка з протилежними напрямками подач		Зменшення пружних деформацій, підвищена вібростійкість, зростання продуктивності

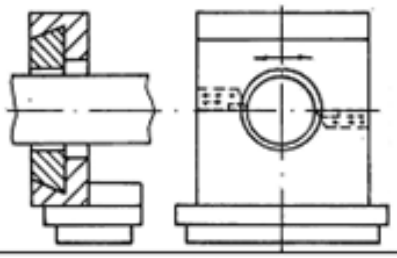
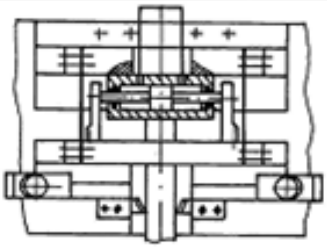
Перша схема показує оброблення блоком жорстко закріплених різців в радіально нерухомій каретці, [3,4]. При цьому досягається певна компенсація пружних деформацій технологічної системи. Проте система характеризується досить низькою вібростійкістю (що буде проаналізовано згодом).

Друга схема (табл. 1.1) показує випадок оброблення з протилежними за напрямком подачами на спеціальному верстаті. При цьому досягається зменшення пружних деформацій, а також підвищена вібростійкість і зростання продуктивності оброблення. Проте для реалізації такої схеми необхідним є конструювання окремого приводу.

Друга група пристроїв двостороннього точіння (таблиця 1.2) передбачає застосування пристроїв із самовстановленням.

Таблиця 1.2

Схеми двостороннього точіння із само встановленням

	Назва	Функціональна схема	Характеристика
Точіння пристосібленнями, які самовстановлюються	3. Блок, що самовстанов-люється в радіальному напрямку		Компенсація пружних переміщень, низька вібростійкість і якість обробленої поверхні
	4. Двохрізце-вий блок з демпфером		Компенсація пружних переміщень, висока точність і вібростійкість

Так, схема 3 представляє пристрій, який має можливість самовстановлення у радіальному напрямку, [3,4].

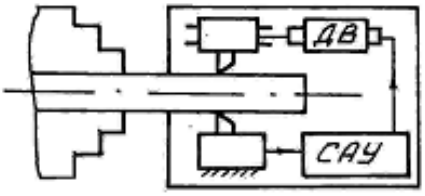
Проте, зрозуміло, що в даному випадку, хоч і досягається компенсація пружних переміщень, але якість поверхні не є достатньою, бо при обробленні копіюються попердні похибки оброблення. Також поганою є і стійкість такої системи до виникнення шкідливих вібрацій.

Подібних явищ в значній мірі позбавлена система, яка передбачає демпфування при використанні дврізцевого блоку із гідравлічною системою стабілізації. Проте така система є досить складною і вона все таки не позбавлена недолікв щодо виникнення похибок у радіальному напрямку.

І нарешті третя група пристроїв передбачає засоби адаптивного регулювання процесу токарного оброблення, [3,4] (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Схеми двостороннього точіння адаптивним керуванням

Назва		Функціональна схема	Характеристика
Адаптивне регулювання	5. Система адаптивного управління		Управління точністю, продуктивністю, вібростійкістю

Адаптивні системи широко використовуються останнім часом як досить прогресивні. Такі схеми є найбільш якісними з точки зору компенсації похибок [12]. Проте вони вимагають застосування окремої системи керування, давачів, складних вимірювальних пристроїв, є досить дорого вартісними, і тому їх застосування не завжди є виправданим у умовах реального виробництва.

Висновки щодо розділу 1

Аналіз розглянутих у розділі 1 матеріалів дає змогу такі висновки:

1) точність деталей є дуже важливою характеристикою і диктується різноманітними похибками як самого верстату, залученого для обробки деталі, так і самого процесу оброблення;

2) аналіз формування похибок токарного оброблення дозволяє виділити похибки, які повільно змінюються в часі - квазістатичні і похибки швидкозмінні – похибки динамічного характеру;

3) найважливішими для підвищення якісних параметрів оброблення є похибки, які залежать від пружної поведінки системи оброблення в процесі власне різання;

4) Для отримання в процесі токарного оброблення похибок меншої величини слід звернути першочергову увагу на поздовжню подачу як об’єкт ефективного регулювання процесу різання;

5) З метою зменшення похибок токарного оброблення доцільно використовувати двостороннє точіння, яке можна розрізняти за трьома схемами точіння: жорсткими блоками, з елементами регулювання і з використанням адаптивних систем. Найбільш ефективною може розглядатись група пристроїв, які об’єднують композиційну простоту двостороннього точіння з використанням адаптивних елементів.

Як результат аналітичного розділу сформульована мета роботи, яка разом із формулюваннями об’єкту і предмету дослідження наведена у реферативній частині кваліфікаційної роботи.

Визначена мета роботи диктує виконання таких завдань:

1. Провести аналітичний огляд проблематики точності токарного оброблення. Провести кваліфікацію відомих похибок оброблення і визначити з них ключові для даного дослідження.
2. Проаналізувати існуючі схем двостороннього точіння та визначити їх переваги і недоліки у компенсації похибок.
3. Розробити типову технологію токарного оброблення деталі-представника як підстави для розробки елементів верстатного обладнання.
4. Представити можливі схеми формоутворення щодо поверхонь деталей при обробленні на верстаті- представнику, показати його компоновочну побудову.
5. Розробити кінематичну структуру верстату і супроводити це кінематичним розрахунком і синтезом кінематичної схеми.
6. Забезпечити конструкторське виконання формоутворюючого вузла верстату.
7. Запропонувати принципи і стратегії компенсації похибок токарного оброблення та сформулювати послідовність досліджень наукового плану.
8. Представити основні схеми двостороннього точіння.
9. Розробити конструкторське виконання двостороннього супорта.
10. Розробити математичну модель компенсації похибок токарного оброблення при використанні двостороннього точіння.
11. Дослідити кількісно формування похибок двостороннього точіння для випадків обробка валів, торцевих поверхонь і трубчастих заготовок.
12. Представити рішення питань щодо охорони праці і методів щодо безпеки життєдіяльності.

2.Технологічні передумови і конструкторська частина

2.1.Аналіз типової деталі

Виберемо деталь-представника. Більшість деталей, які обробляються на токарних верстатах – стальні. Проте для вивчення критичних випадків для аналізу візьмемо деталь із чавуну. Це деталь типу «стакан». Її призначення – для установки первинного валу у корпусі певного редуктора. При цьому вал – з конічним зубчастим колесом.

Розглядувана деталь виготовляється із сірого чавуна [11]. Марка матеріалу - СЧ20. Такий чавун широко застосовують як корпусний матеріал. Він – добрий конструкційний матеріал. СЧ20 порівняно дешевий і має добрі технологічні властивості. Це проявляється у його текучості та прийнятній оброблюваності за допомогою різання. Його властивості можна в широкому діапазоні змінювати, що впливає межі використання такого матеріалу.

Укрупнено механічні властивості чавуну СЧ20[21]. наведені у табл. 2.1, а хімічні – відповідно у табл. 2.2. При цьому орієнтувались на ГОСТ 1412-85.

Таблиця 1.1 - Механічні властивості СЧ20

$\sigma_{м,}$ МПа	$\sigma_{зг}$, МПа	$\sigma_{ст}$, МПа	$\tau_{зр}$, МПа
200÷250	420	800	200

Таблиця 1.2 - Хімічні складові СЧ20

C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Cu	Sn
3,2÷3,5	2,0÷2,4	0,6÷0,8	0,3÷0,45	0,15	0,03÷0,08	0,15÷0,4	-

Окрім властивостей застосовуваного для деталі представника матеріалу оцінимо технологічність самої деталі.

2.2. Питання технологічності деталі

Технологічність конструкції і деталей, з яких складається виріб істотно впливають на протікання технологічного процесу [1,2].

Розглядувана деталь може бути виготовлена виливанням. При такому методі отримання заготовки отримання зовнішнього контуру необхідної конфігурації і бажаної форми внутрішніх поверхонь контуру не викликають особливих складностей.

Як видно з креслення дана деталь є технологічною [2,3,13,14] в достатній степені і допускає застосування режимів оброблення високої продуктивності, володіє добрими базовими поверхнями. Деталь «стакан» є досить простою за конструкцією. Поверхні обертання деталі можуть бути обробленими успішно на більшості універсальних верстатів. Також на деталі немає місць, які важкодоступні для оброблення. Тому при виготовленні можна використовувати стандартні металорізальні і вимірювальні інструменти.

2.3. Вибір типу виробництва, заготовки і обґрунтування маршруту

Даними про розглядувану деталь передбачено, що її маса складає 5,39 кг, а програма випуску складає 8000 шт. На основі цієї інформації визначимо тип виробництва.

Першопочатково приймемо, що тип виробництва – серійний. Щоб провести уточнення цього припущення розрахуємо тип виробництва за відомою формулою коефіцієнта закріплення операцій [2]:

$$K_{з.о} = \frac{\sum O}{\sum C_{пр}} \qquad (2.1)$$

де О – кількість операцій на робочому місці;

$C_{пр}$ - прийнята кількість робочих місць.

За відомим виразом [2] кількість операцій дорівнює

$$O = \frac{\eta_{з.п}}{\eta_{з.ф}} \qquad (2.2)$$

Приймемо значення нормативного коефіцієнту завантаження обладнання $\eta_{з.п}$ = 0,75. Тоді, враховуючи що допустимий фактичний коефіцієнт $\eta_{з.ф}$ =0,5,

для першої операції (це буде токарна операція) отримаємо:

$$O = \frac{0,75}{0,5} = 1,5.$$

Для подальшого розрахунку запропонуємо укрупнену маршрутну схему і аналогічно до приведеного визначимо кількість операцій для всіх схем обробки. Тоді отримані результати представимо в зведеній таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Кількість операцій на робочому місці

номер та найменування операції	$C_{пр}$ шт	$\eta_{зф}$,%	О
005 токарна	1	50	1,5
010 токарна	1	12	6,25
015 токарна	1	15,5	4,84
020 алмазно-розточна	1	14,6	5,17
025 свердлувальна	1	20,4	3,68
030 свердлувальна	1	15,6	4,8
035 свердлувальна	1	15	5
040 різьбонарізна	1	11,7	6,4
			∑37,64

Тоді, $K_{зо} = \frac{37,64}{8} = 4,7$. З врахуванням того, що для серійного виробництва $1 < K_{з.о} < 10$, підтверджуємо попередній вибір.

Тепер вирішимо питання щодо заготовки. Попередньо встановлено, що для даної деталі заготовку отримують виливанням, зважаючи на її матеріал – СЧ20.

Для аналізу розглянемо методи виливання: в оболонкові форми і в піщані форми, провівши економічне обґрунтування обох методів.

Для правильного вибору метода отримання заготівки робимо економічне обґрунтування обох методів.

Спершу оцінимо вартість заготовки у випадку виливання у піщані форми.

При цьому така вартість визначається так [22]:

$$S_{заг} = (\frac{C}{1000} Q k_т k_с k_в k_м k_п) - (Q - q)\frac{S_{вітх}}{1000} \quad , \quad (2.3)$$

де C - вартість 1 т заготовки, (базова в грн.);

$k_т k_с k_в k_м k_п$ - поправочні коефіцієнти для заготовки (залежать від точності, складності, маси, матеріалу і обсягу виробництва);

q і Q – маси (кг) вже готової деталі та заготовки відповідно.

Враховується також ціна 1т відходів $S_{відх}$ (грн.).

Припустимо, що маса заготовки складатиме 1,5 маси готової деталі:

$$Q = q * 1{,}5$$
$$Q = 5{,}39 * 1{,}5 = 8{,}08 кг$$

Отже,

$$S_{заг} = (\frac{4320}{1000} 8{,}08 * 1{,}05 * 1 * 0{,}91 * 1{,}08 * 0{,}52) - (8{,}08 - 5{,}39)\frac{297{,}6}{1000} = 17{,}93 грн$$

Аналогічно оцінимо вартість заготовки для випадку її отримання в оболонкових формах:

$$S_{заг} = (\frac{7500}{1000} 8{,}08 * 1 * 1 * 0{,}45 * 1 * 0{,}83) - (8{,}08 - 5{,}396)\frac{297{,}6}{1000} = 21{,}83 грн$$

Тому з міркувань економічної доцільності робимо вибір на користь лиття у піщані форми.

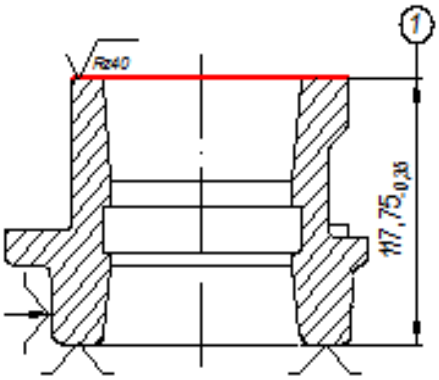
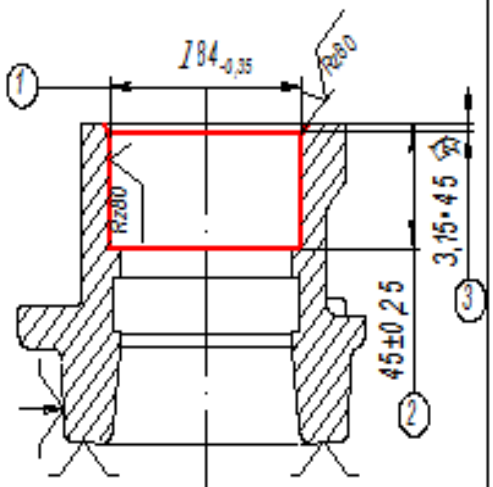
Необхідно також провести вибір базування.

Перша операція передбачатиме підготовку основної чистової технологічної бази. Тому за чистову базу приймаємо отвір деталі діаметром 100Н8. Його отримують на першій токарній операції. На цій операції чорновою базою є поверхня з діаметром відповідно 140мм. Для свердлування і нарізання різі базою є отвір діаметром 100 Н8. Для кріплення використаємо розтискну оправку.

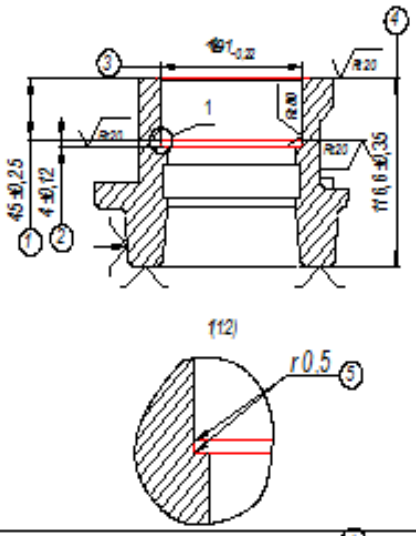
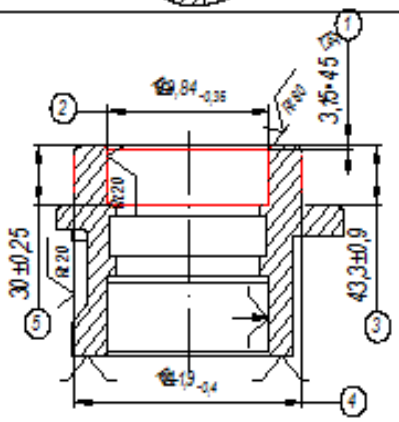
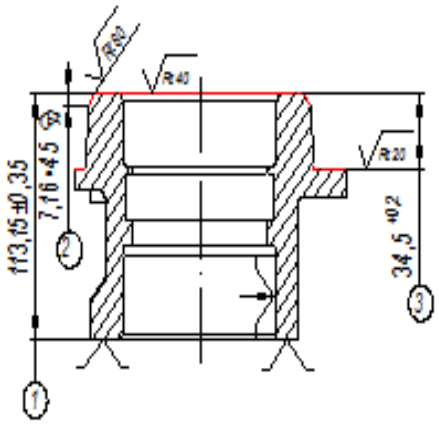
2.4. Опис технологічних операцій

Як вже вказувалось для маршруту виготовлення [23]обрано 8 операцій, (табл. 2.3). Представимо цей маршрут детальніше у зведеній таблиці 2.4.

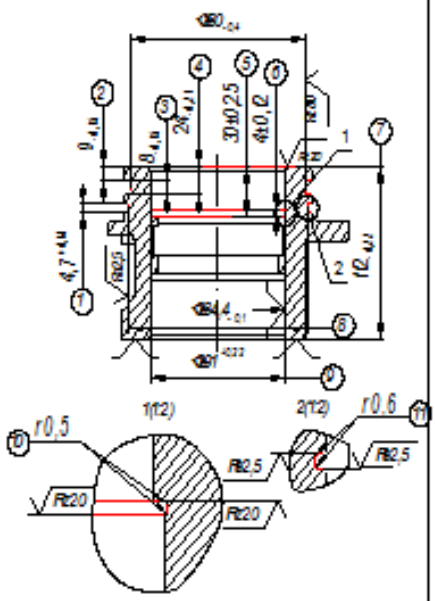
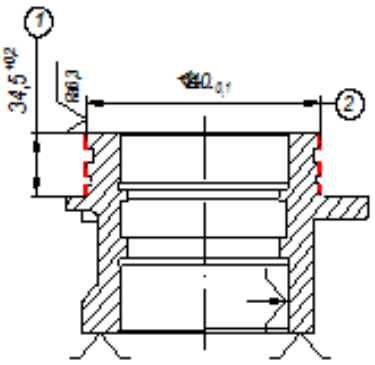
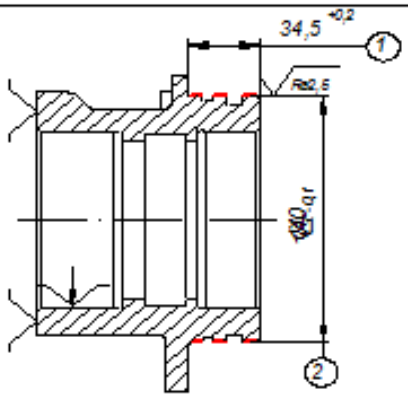
Таблиця 2.4. – Опис технологічних операцій маршруту

Номер та зміст операції		Ескіз позицій операції	Верстат з пристосуванням та РІ
	1	2	3
005 Токарна			
поз.1	завантажити; начорно точити торець, під розмір 1;		Напівавтомат токарний 1К282, 3кулачковий патрон, розтискна оправка, Різці: прохідні, розточні, відрізні ВК6,ВК8
поз.5	начорно точити отвір та фаску, витримуючи розміри 1,2,3;		

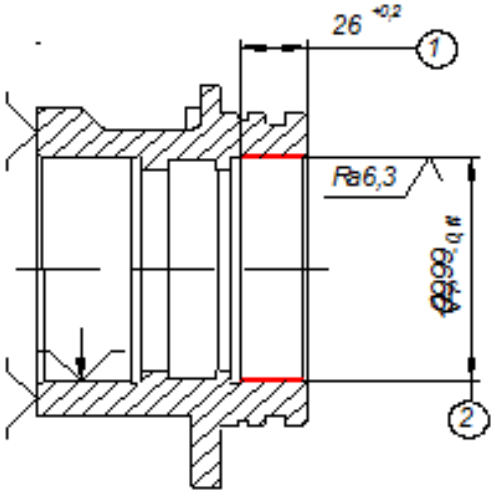
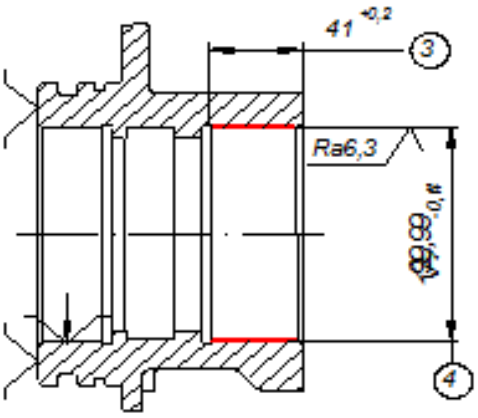
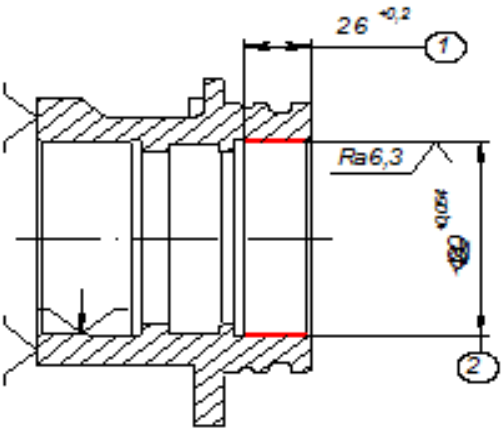
Продовження табл. 2.4

1		2	3
поз.7	точити торець начисто та канавку, витримуючи розміри 1,2,3,4,5;		
поз.2	точити отвір, фаску та поверхню начорно, витримуючи розміри 1,2,3,4,5;		
поз.4	точити отвір, фаску та поверхню начорно, витримуючи розміри 10,11,12,13,14;		

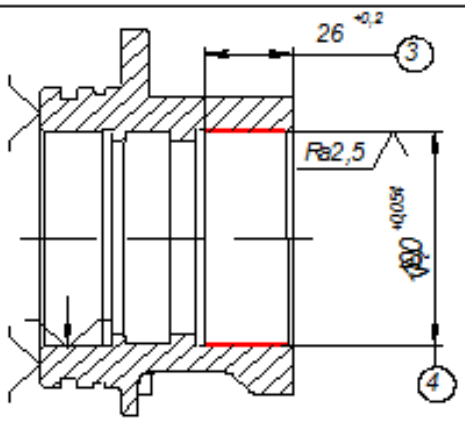
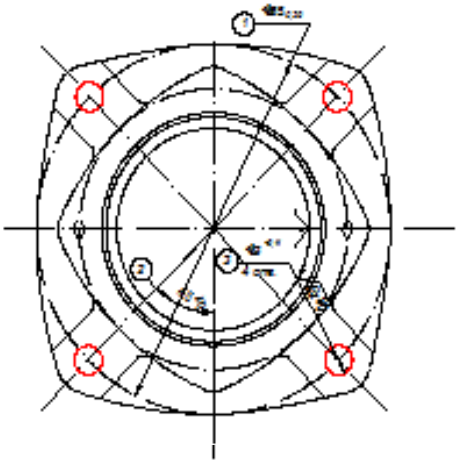
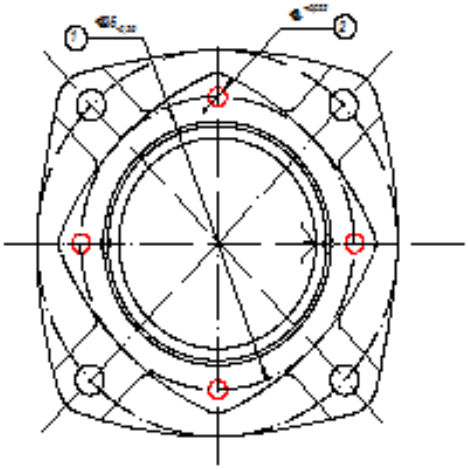
Продовження табл. 2.4

1		2	3
поз.6	точити канавки та торець начисто, витримуючи розміри 1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11;		
поз.8	точити поверхню начисто, витримуючи розміри 1,2;		
010 Токарна	Точити поверхню начисто, витримуючи розміри 1,2;		Токарний станок 16К20;оправка розтискна;різець прохідний ВК6

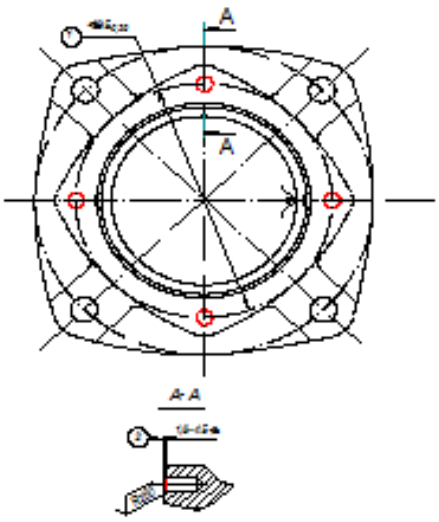
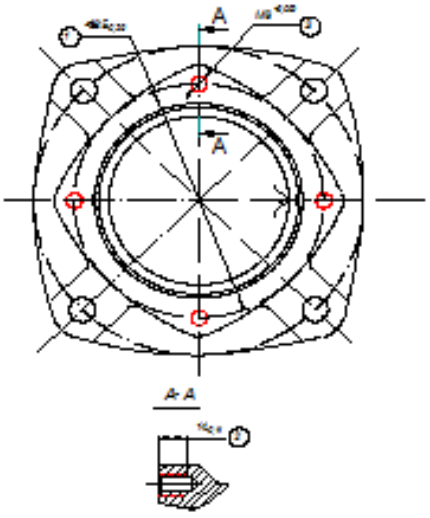
Продовження табл. 2.4

	1	2	3
015 Токарна **Установ.А**	Точити отвір напівчисто, витримуючи розміри 1,2;		Токарний станок 16К20;оправка розтискна;різець розточний ВК6
Установ.Б	Точити отвір напівчисто, витримуючи розміри 3,4;		
020 Алмазно-розточна **Установ.А**	Точити отвір начисто, витримуючи розміри 1,2;		Алмазно-розточний напівавтомат 2705В; оправка розтискна; різець розточний ВК3

Продовження табл. 2.4

	1	2	3
Установ.Б	Точити отвір начисто, витримуючи розміри 3,4;		
025Свердлувальна	Свердлувати послідовно 4 отвори, витримуючи розміри 1,2,3;		Вертикально-свердлувальний станок 2Н125;оправка розтискна;кондукторна втулка; свердло спіральне Р9
030Свердлувальна	Свердлувати послідовно 4 отвори, витримуючи розміри 1,2;		

Закінчення табл. 2.4

1		2	3
035Свердлу-вальна	Зенкувати 4 фаски, витримуючи розміри 1,2;		Вертикально-свердлу-вальний станок 2Н125;оп-равка роз-тискна,кон-дукторна втулка; зенковка Р9
040 Різьбо-нарізальна	Нарізати різьбу в чотирьох отворах, витримуючи розміри 1,2,3.		Вертикально-свердлу-вальний станок 2Н125;оп-равка роз-тискна; мітчик Р6М5

Здійснимо також вибір металорізальних верстатів, що беруть участь у токарній операції деталі типу стакан, яка надалі буде піддана аналізу.

Це – токарно-гвинторізний верстат 16К20 [25].

Опишемо його основні характеристики (рис. 2.1).

Найбільший діаметр оброблюваної заготовки :

над станиною – 400мм;

над супортом – 220 мм;

Найбільший діаметр прутка, який проходе через отвір шпинделя - 53 мм;

Найбільша довжина оброблюваної заготовки – 710;1000;1400;2000 мм;

Частота обертання шпинделя – 12,5-1600 об/хв;

Число швидкостей шпинделя – 22;

Найбільше переміщення супорта:

поздовжнє – 645-1935 мм;

поперечне – 300 мм;

Подача супорта :

поздовжня – 0,05-2,8 мм/хв.;

поперечна – 0,025-1,4 мм/хв.;

Число ступіней подач – 24;

Швидкість швидкого переміщення супорта:

поздовжнього – 3800 мм/хв.;

поперечного -1900 мм/хв.;

Потужність електродвигуна головного привода – 11 кВт

Рис. 2.1. Основні технічні характеристики верстата 16К20

Тепер опишемо також основні інструменти, які використовуються при обробленні деталі-представника. Зупинимось на інструментах щодо токарної операції.

Операція 005. Токарна. Верстат 1К82.

Позиція 3. Прохідний різець. ВК8. Пристрій – трикулачковий патрон.

Вимірювальний інструмент – штангенциркуль.

Позиція 5. Розточний різець. Прохідний різець. ВК8. Пристрій – трикулачковий патрон.

Вимірювальний інструмент – мікрометр.

Позиція 7. Відрізний різець. Прохідний різець. ВК6. Пристрій – трикулачковий патрон.

Вимірювальний інструмент – мікрометр, штангенциркуль.

Позиція 4. Прохідний різець. ВК8. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент –штангенциркуль.

Позиція 2. Прохідний різець. Розточний різець. ВК8. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент – мікрометр, штангенциркуль.

Позиція 6. Прохідний різець. Розточний різець. Відрізний різець. ВК8. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент –штангенциркуль.

Позиція 8. Прохідний різець.ВК6. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент –штангенциркуль.

Операція 010. Токарна. Верстат 16К20.

Прохідний різець. ВК6. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент –штангенциркуль.

Операція 015. Токарна. Верстат 16К20.

Розточний різець. ВК6. Пристрій – розтискна оправка.

Вимірювальний інструмент – мікрометр.

2.5. Розрахунок припусків

Спочатку використаємо аналітичний метод [22,24]. Такий прийом застосуємо для отвору діаметром 100Н8. Для його виготовлення використовують три операції: чорнового точіння і напівчистового та чистового розточування.

Зведемо результати розрахунку припусків в таблиці 2.5. Таблиця містить послідовні операції та значення величин припусків.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку припусків обробки отвору 100Н8

Технологічні переходи обробки поверхні діаметром 100Н8	Елементи припуска, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p, мм	Допуск δ, мкм	Граничний розмір, мм		Граничні значення припусків, мм	
	Rz	T	ρ	ε				d_{min}	d_{max}	$2z^{пр}_{min}$	$2z^{пр}_{max}$
Заготівка	700		147,2	-	-	97,59	1600	96,19	97,59	-	-
точіння: чорнове	50	-	7,36	400	2*1126	99,84	350	99,49	99,84	2250	3500
напівчистове	25	-	2,94	8	2*71,3	99,987	140	99,85	99,99	150	360
чистове	5	-	0,736	2	2*33,5	100,054	54	100	100,05	60	150
									Всього:	2460	3810

Зауважимо, що сума *Rz* і *T*, для вилитих заготовок - 700 мкм [2]. Для обробки для деталей з чавуна *T* надалі виключають із розрахунків. Величини *Rz* відповідають довідниковим даним [26].

Для нашої заготовки значення просторових відхилень сумарно визначається так:

$$\rho_з = \sqrt{\rho^2_{жол} + \rho^2_{зм}}, \qquad (2.4)$$

де жолоблення обробки

$$\rho_{жол} = \sqrt{(\Delta k * d)^2 + (\Delta k * l)^2}$$

при Δk = 1 [11]; і діаметрі отвору d=100мм і його довжині *l*=41мм

складатиме $\rho_{жол} = \sqrt{(1*100)^2 + (1*41)^2} = 108 мкм$

Отже, для сумарного зміщення 100 мкм

$$\rho_з = \sqrt{108^2 + 100^2} = 147{,}2 мкм.$$

Відповідно отримаємо проміжні значення припусків після точіння: чорнового: ρ_1=7,36мкм; напівчистового: ρ_2=2,94мкм;чистового: ρ_1=0,736мкм. Тоді розраховуємо мінімальні значення для між операційних припусків. Використаємо для цього залежність[21]

$$2Z\min = 2(Rz_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{i-1}^2}) \qquad (2.5)$$

Розраховані значення відображені в табл.2.5.

За відомими методиками розраховуємо також інші дані, які теж заносимо у вказану таблицю.

Як результат проведених розрахунків виступає схема графічного розміщення припусків та допусків (рис. 2.2).

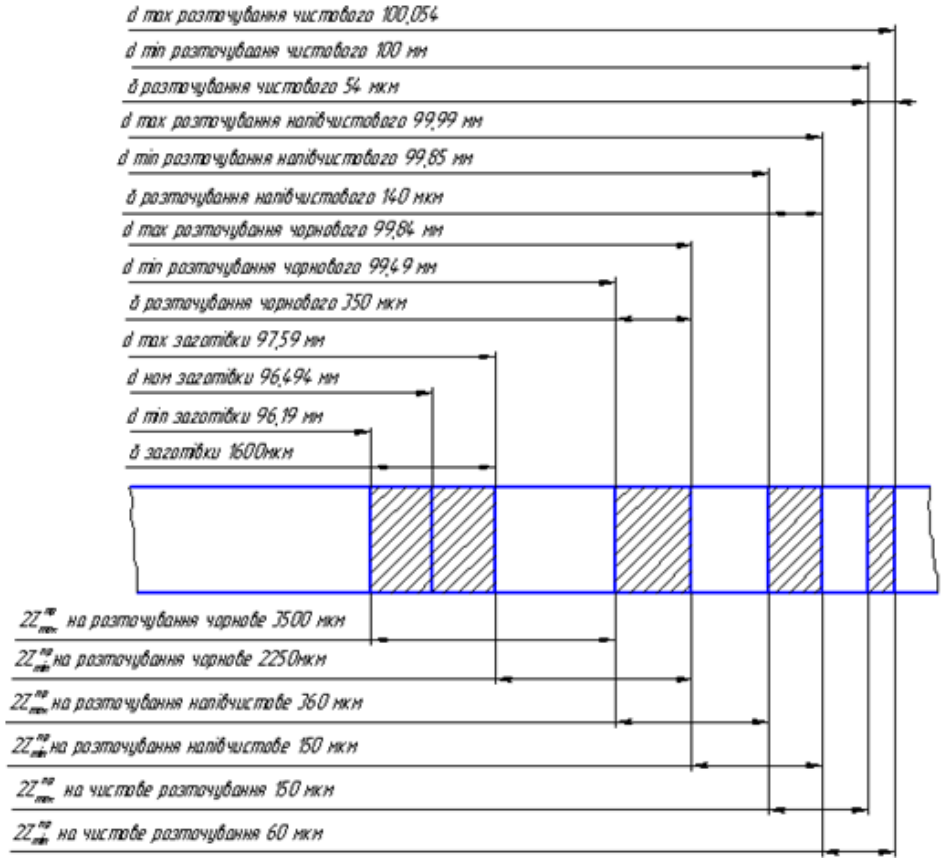


Рисунок 2.2 - Графік розташування припусків та допусків для випадку обробки отвору діаметром 100Н8

Для призначення інших припусків щодо оброблюваних поверхонь використаємо табличний метод, який спирається на дані стандарту ГОСТ 1855-55. Для поверхонь деталі «стакан» занесемо ці дані в табл.2.6.

Таблиця 2.6 - Припуски та допуски стосовно поверхонь деталі стакан, які підлягають обробленню

Розмір	Припуск		Допуск
	табличний	розрахунковий	
112	2*46	-	±1,1
34,5	4,2	-	±0,9
d140	2*3,8	-	±1,2
d100	-	2*1,753	$1,6^{+1,1}_{-0,5}$

Вказану у табл. 2.6 інформацію обробимо з метою нанесення відповідних припусків і допусків на креслення заготовки, яку відповідно проектуємо. Це зображено на рис. 2.3.

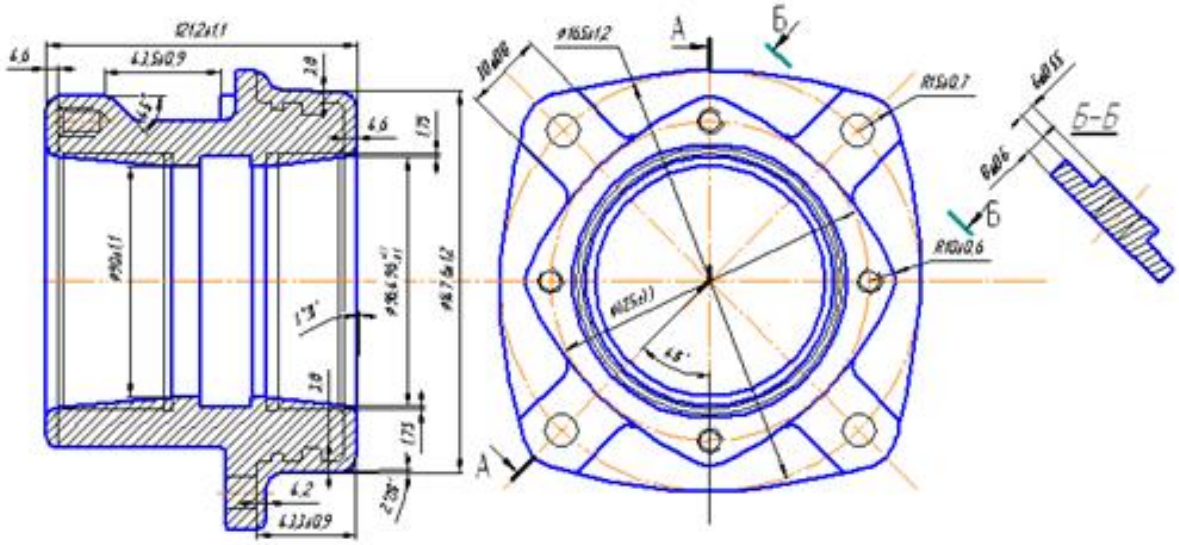


Рис. 2.3 – Ескіз спроектованої заготовки

2.6. Розрахунок складових режимів різання

Спочатку скористаємось аналітичним розрахунком [24].

Прикладом для розрахунку служитиме визначення режимів для отвору Ø100H8 деталі стакан, поверхні якого є найбільш відповідальними і найбільш точними.

В попередніх параграфах були вказані вхідні дані, що передбачають інформацію про операцію, обладнання, різальні інструменти і величини припусків.

Отже, розглянемо операцію:

005 точіння чорнове.

Для визначення швидкості різання скористаємось відомою формулою [15,16]:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v \text{, м/хв.,} \qquad (2.6)$$

де відповідні величини були описані у розділі 1.

Глибина різання *t* в даному випадку дорівнює: 1,126мм.

Згідно до рекомендацій [23] призначаємо значення подачі і уточняємо згідно паспортних даних s=0,2 мм/об.

Задаємось періодом стійкості різця [24] у 60 хв:

Поправочний коефіцієнт складається із трьох складових, які після проведених розрахунків: $K_{mv} = 1;\ K_{nv} = 0{,}8;\ K_{iv} = 0{,}83.$

Після підстановки вказаних даних отримаємо значення швидкості різання 104,3 м/хв.

Можемо визначити частоту обертання шпинделя: 332,7 об/хв.

Уточняємо її за паспортними даними *n*=315 об/хв.

Тоді дійсна швидкість різання $v_Д$=98,8м/хв.

Для силових розрахунків важливими є значення величин складових сили різання P_z, P_y, P_x [24]. Формули для них можна об'єднати у залежності:

$$P_{z,y,x} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \text{, Н.} \qquad (2.7)$$

Відповідні складові формул описані у розділі 1.

Для наглядності значення поправочних та інших коефіцієнтів зведемо у сумарні таблиці 2.7 і 2.8.

Таблиця 2.7 - Поправочні коефіцієнти сил різання щодо впливу на них геометричних параметрів РЧ інструменту

Поправочні коефіцієнти	Для P_z	Для P_y	Для P_x
$K_{\varphi p}$	0,94	0,77	1,11
$K_{\gamma p}$	1,1	1,4	1,4
$K_{\lambda p}$	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2.8 - Коефіцієнт Ср і показників ступенів у формулах для сили різання

Коефіцієнти	Pz	Py	Px
Ср	92	54	46
x	1,0	0,9	1,0
y	0,75	0,75	0,4
n	0	0	0

Тоді після розрахунків отримаємо значення складових сили різання:

P_z=320 Н; P_y=194 Н; P_x=423 Н.

Ефективну потужність різання (кВт) визначаємо за відомою залежністю

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_д}{1020 \cdot 60} \qquad (2.8)$$

Отже, *Ne*=0,3кВт.

Розрахуємо машинний час чорнового проходу:

$$T = \frac{l + l_{вр} + l_{вих}}{n_{ст} \cdot S_{ст}}, \qquad (2.9)$$

де l =41мм; величина врізання $l_{вр} = t \cdot ctg\varphi$;перебіг інструменту $l_{вих} = 2$мм.

В результаті розрахунку машинний час обробки складає 41 сек.

Також аналітично визначимо режими різання для такої операції:

015 точіння напівчистове.

При цьому глибина різання складає 0,07мм.

Подача дорівнює 0,35 мм/об.

При стійкості різця у 60 хв з врахуванням поправочних коефіцієнтів на швидкість різання, отримаємо її значення для напівчистового точіння - 177 м/хв.

Тоді частота обертання шпинделя дорівнює 563 об/хв.

За паспортом верстату уточняємо: n=500 об/хв.

Отже, дійсне значення швидкості: $V_Д$=157 м/хв.

Розраховуємо складові сили різання

P_z=30 Н;

P_y=24 Н;

P_x=33 Н.

При цьому ефективна потужність різання складає 0,8 кВт.

Розрахований машинний час для такого оброблення – 15 сек.

Для інших розрахунків скористаємось табличними методами [11].

Значення елементів режимів різання для різних операцій заносимо розраховуємо аналогічно та заносимо дані до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Значення режимів різання для всіх операцій оброблення деталі стакан

Найменування операції	Швидкість різання V,м/хв	Подача S,мм/об	Глибина різання t,мм	Кількість проходів ,шт.	Частота обертання n, 1/хв	Машинний час T_o, хв.	Стійкість інструмента T,хв.
005Токарна поз.3	59,8	0,8	3,45	1	170	0,2	60
поз.7	79,2	0,8	1,15;0,5	1	250	0,14	60
поз.4	59,8	0,8	3,45;2,8	1	170	0,15	60
поз.6	49,2	0,8	1,15;0,5;5;2,8	1	140	0,21	200
поз.8	96,7	0,8	0,75	1	220	0,2	60
010 Токарна	96,7	0,8	0,25	1	220	0,2	60
025 Свердлувальна	20,8	0,35	6,5	1	510	0,1	25
030 Свердлувальна	22,5	0,24	4	1	1015	0,08	20
035 Свердлувальна	49	0,24	-	1	1950	0,007	20
040Різьбонарізальна	9	1,25	-	1	360	0,12	20

2.7. Нормування технологічного процесу

В подальшому нам необхідно встановити технічні норми часу. Для умов серійного виробництва скористаємось розрахунково-аналітичним методом. Спочатку проведемо обчислення для токарної операції 015.

При цьому розрахунок норми штучно-калькуляційного часу проведемо за формулою (n - кількість деталей)[22]

$$T_{шт-к} = \frac{T_{п-з}}{n} + T_{шт}, хв \qquad (2.10)$$

де $T_{п-з}$ - підготовчо-заключний час, хв.

Штучний час розрахуємо скориставшись залежністю:

$$T_{шт} = To + (T_{ус} + T_{30} + T_{уп} + T_{вим}) \cdot к + T_{обсл}, хв \qquad (2.11)$$

У даній формулі представлені значення часу (хв.):

To - основного;

$T_{ус} = 0{,}26$ - встановлення і зняття деталі;

T_{30}=0,084 - закріплення і відкріплення деталі;

$Ту$ =0,11 - управління;

$T_{вим}$=0,24 - вимірювання.;

$T_{обсл}$ - обслуговування та відпочинку.

У (2.11) $к$=1,85 – поправочний коефіцієнт.

Допоміжний час визначимо за формулою:

$$T_{в} = T_{ус} + T_{зо} + T_{уп} + T_{из} = 1{,}28 хв. \qquad (2.12)$$

Таким чином, оперативний час:

$$T_{оп} = T_0 + T_{в} = 1{,}53 хв \qquad (2.13)$$

Час на відпочинок та обслуговування робочого місця складає 6% від оперативного часу $T_{обсл}$=0,092хв. Підготовчо-заключний складає 16 хв, включно налагоджування верстата – 6 хв.;отримання спорядження і його здача після закінчення роботи – 10 хв.

Кількість деталей в партії 380 шт

Тоді остаточно значення штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт-к} = \frac{16}{380} + 0{,}25 + (0{,}26 + 0{,}084 + 0{,}11 + 0{,}24) * 1{,}85 + 0{,}092 = 1{,}6 хв$$

Аналогічно отримуємо часи на інші операції, які заносимо до таблиці 2.10.

Таблиця 2.10. Норми часу, хв

Номер та найменування операції	То	Тв			Топ	Тоб.от	Тшт	Тп-з	n	Тш-к
		Тус, Тзо	Туп	Тиз						
005 Токарна поз.3	0,2	0,312	0,0779	0,04	0,5	0,03	0,53	30	378	0,609
поз.5	0,68		0,0779	0,08	1,05	0,063	1,113			1,192
поз.7	0,14		0,0779	0,18	0,699	0,042	0,741			0,82
поз.2	0,2		0,0779	0,33	1,04	0,062	1,102			1,181
поз.4	0,15		0,0779	0,16	0,67	0,04	0,71			0,789
поз.6	0,21		0,0779	0,36	0,998	0,0599	0,1198			0,1988
поз.8	0,2		0,0779	0,11	0,629	0,03	0,659			0,738
010 Токарна	0,2	0,344	0,11	0,09	1,188	0,077	1,283	16	378	1,325
015 Токарна	0,25	0,37	0,11	0,24	1,582	0,095	1,677	16	378	1,619
020 Алмазно-розточна	0,215	0,37	0,11	0,24	1,49	0,089	1,579	16	378	1,621
025 Свердлу-вальна	0,4	0,32	0,26	0,24	2,398	0,12	2,518	18	378	2,266
030 Свердлу-вальна	0,32	0,32	0,26	0,24	1,764	0,088	1,685	18	378	1,733
035 Свердлу-вальна	0,028	0,32	0,26	0,24	1,545	0,084	1,608	18	378	1,666
040 Різьбонарі-зальна	0,48	0,32	0,26	0,84	3,107	0,15	3,257	18	378	3,305

2.8. Основні схеми формоутворення поверхонь і побудова структурно-кінематичної схеми

Розглянемо основні схеми формоутворення поверхонь, що можуть бути віднесені до визначеного для конструювання верстату. Ці схеми будемо визначати на базі вибраної нами деталі-представника стакан, яка є деталлю типу тіла обертання.

Проілюструємо схеми формоутворення на базі аналога токарно-гвинторізного верстату (наприклад, моделі 16К20). Такий верстат допускає токарне оброблення заготовок. Передбачається кріплення їх або в центрах, або у трикулачковому патроні. Обробленню підлягають зовнішні і внутрішні поверхні обраної деталі. Допускається різний ступінь складності.

Відомо, [8] , що при механічній обробці реальні твірні і напрямні утворюються за рахунок відносних рухів як інструменту, так і заготовки. Ці рухи можуть бути також і пов'язаними один із одним. Вказані рухи носять назву рухів формоутворення.

Розглянемо окремі рухи формоутворення на базі аналітичного вивчення поверхонь деталі-представника. Зобразимо це з допомогою схем.

Схема рис. 2.4 показує підрізку торця. Символами Ф позначені рухи формоутворення: індекс v означає головний рух, s – рух подачі. Позначено обертовий рух літерою О, а поступальний рух – буквою П.

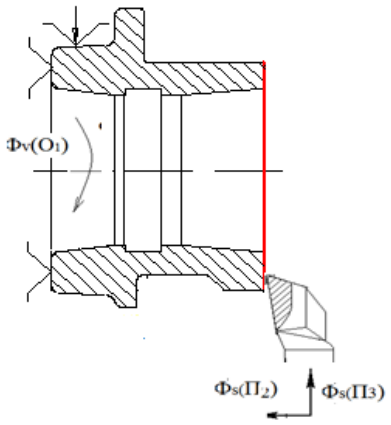


Рис. 2.4. Рухи при підрізанні торця

Точіння зовнішньої поверхні відбувається за допомогою використання токарного різця (рис. 2.5).

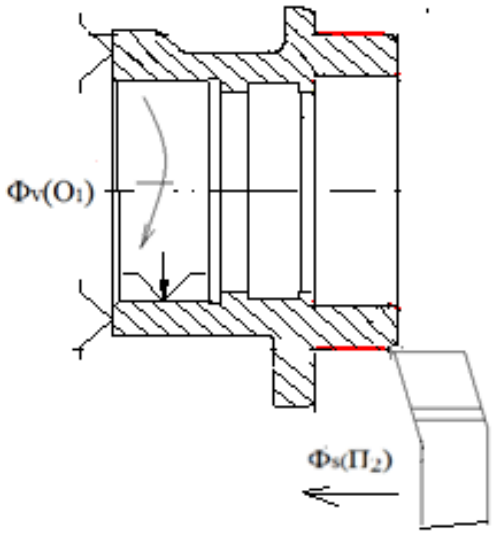


Рис. 2.5. Рухи при обробленні зовнішньої поверхні

Розглянемо також точіння внутрішньої поверхні (рис. 2.6):

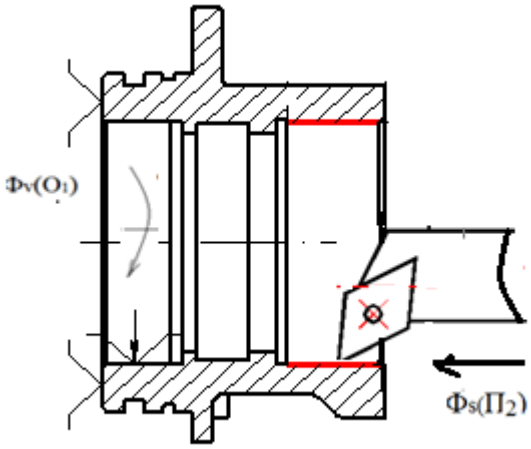


Рис. 2.6. Рухи при обробленні внутрішньої поверхні

На такому верстаті також виготовляють канавки (рис. 2.7).

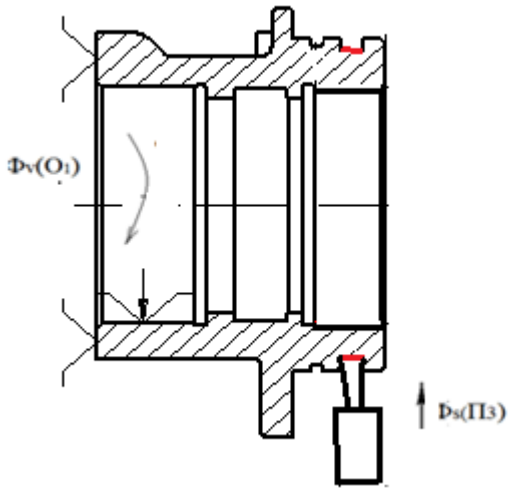


Рис.2.7. Рухи при оброблення канавочним різцем

Додамо також до складу схем рух оброблення осьовими інструментами і рухи при нарізанні різей (рис. 2.8).

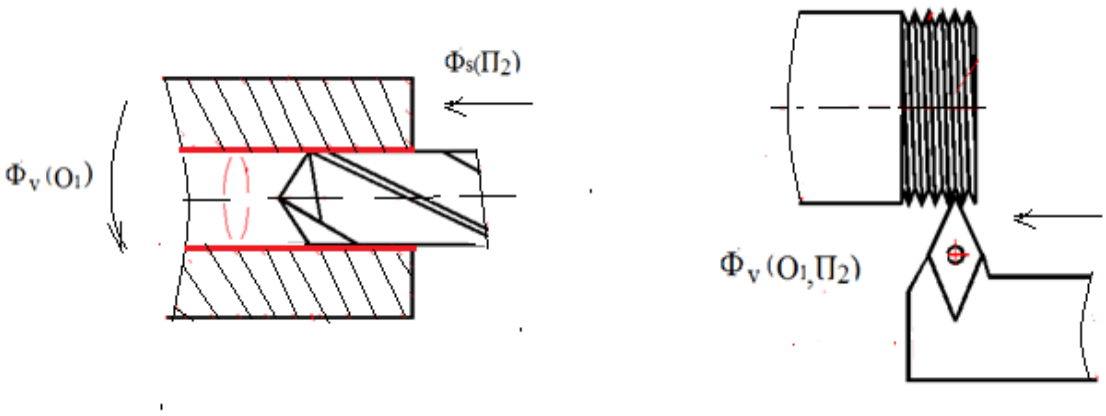


Рис. 2.8. Рухи при роботі свердла і різцевого різця

Таким чином, ми отримуємо комплекс варіантів формоутворюючих рухів у їх композиції.

Поза формоутворюючими рухами існують інші необхідні для кінематики верстату рухи. Це, зокрема, рухи встановлення і рухи врізання та інші.

Об’єднання вказаних рухів в єдиному форматі дозволяє приступити до розроблення структурно-кінематичної схеми токарно-гвинторізного верстату.

Побудуємо структурно-кінематична схему [8] узагальненого типу для токарно-гвинторізного верстата, передбачаючи його горизонтальну компоновку.

Розроблена структурно-кінематична схема (рис. 2.9) містить декілька структурних складових. Це структура, яка забезпечує поздовжнє точіння; структура, яка забезпечує поперечне точіння, а також дві структури, які додатково представляють гвинторізні схеми.

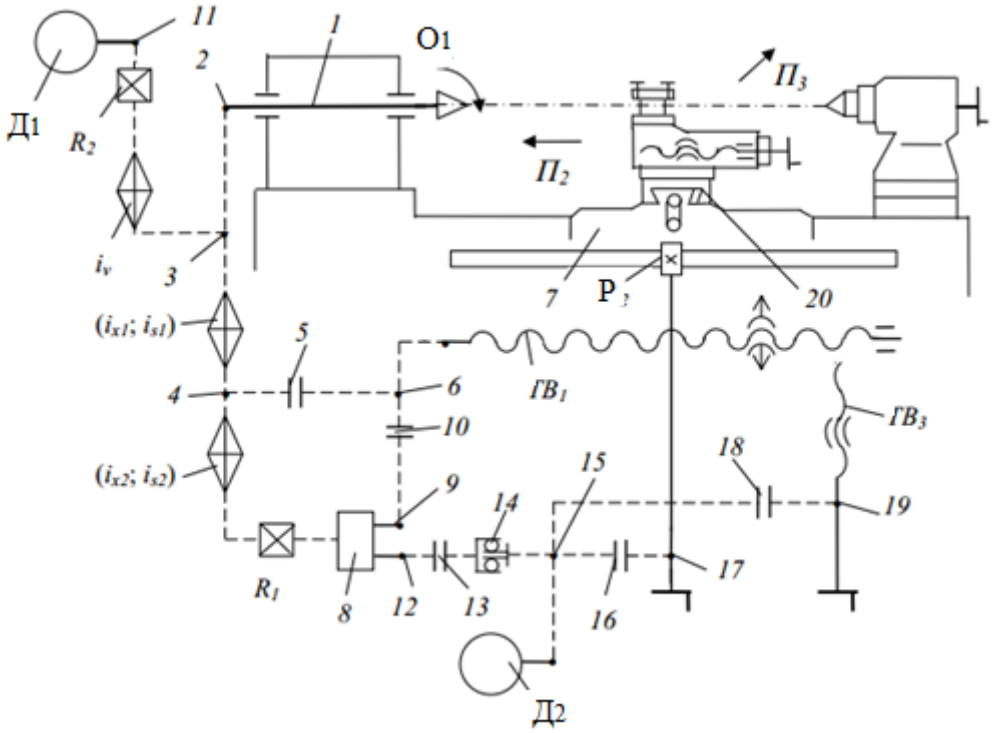


Рис. 2.9. Структурно-кінематичні схема

На схемі показані такі елементи: 1 – шпиндель; 2-3- кінематичний зв’язок головного руху; 3-4- регулювання головного руху із можливістю реверсу R_2; 4-8 – регулювання руху подач із реверсом R_1; 4-6 – зв'язок руху різенарізання; інші зв’язки 12-15; 15-19; 15-17; муфти: 5,10,13,16,18; обгінна муфта 14; супорт 7; різцетримач 20.

Реалізація такої структурно-кінематичної схеми за допомогою різних механізмів дасть змогу побудувати конструкцію токарно-гвинторізного верстату шуканої побудови і необхідних функціональних потреб.

2.9. Пошук компоновочного рішення

Компонувальні схеми використовують, щоб у спрощеному вигляді представити основні риси конструкції верстату. Тобто компонувальні схеми розглядають у якості інформаційних аналогів власне компоновок [27]. На таких схемах елементами служать вузли, що несуть заготовку чи інструмент. Такі блоки повинні забезпечити відповідні відносні рухи інструменти із заготовкою, що відповідатиме проаналізованому раніше комплексу формоутворення поверхонь [28]. Щоб обґрунтовано вибрати компоновку верстату здійснюють аналіз прогнозованої конструкції за рядом умов технологічного і конструкторського плану.

Зокрема послідовність творення компоновок передбачає першочергове вивчення композиції виконавчих рухів. Такий аналіз проведений нами у попередньому розділі. Це призвело до визначення сукупності технологічних операцій, що не тільки необхідні для оброблення даної деталі-представника, але й загалом підлягають реалізації на обраному верстаті.

Наступним щодо відбору компоновки верстату виступає етап визначення модулів. При цьому обґрунтовано визначають зміст структури, тобто склад блоків так званого технологічного модуля. Цей модуль передбачає знання про кількість шпинделів, визначену нами технологічну схему оброблення, позиції схеми при обробленні і розміри (пропорційного плану). В науці про верстатні компоновки говориться про модульний комплект. Він [16] формується структурно шляхом вивчення відомої інформації про оброблювані деталі та відомі із практики приклади використання базових компоновок подібних.

Наукою про компоновки [27,28] показано, що структура компоновки необхідно повинна складатись як із рухомих так і з стаціонарної частин, що носять назву блоків. Це є сукупність власне вузлів

(металорізального верстата) [19,20].

Вже було визначено, що певний виконавчий рух реалізується власне за допомогою конкретного блоку. Отже, представлені попередньо виконавчі рухи слід замінити самостійними блоками.

Можна створити на основі оглядового аналізу так звану загальну матрицю компоновок. Проте у нашому випадку, коли вже детально розроблена структурно-кінематична схема токарно-гвинторізного верстату горизонтальної компоновки , можна скористатись вже відомими рішеннями.

Зокрема, замінимо рухи самостійними компонувальними блоками:

1) $\Phi_v(O_1) \longrightarrow C_h$;

$\Phi_{s1}(П_2), Вст(П_3) \longrightarrow Z$ (у поздовжньому напрямі основний і допоміжний рухи виконуються єдиним блоком);

2) $\Phi_{s2}(П_3), Вст(П_2) \longrightarrow X$ (в поперечному напрямі основний та допоміжний рухи також виконуватимуться єдиним рухомим блоком).

Отже:

технологічний модуль має склад:

$$ТМ = \{0\ C_h Z\ X\},$$

і відповідно модульний комплект запишеться виразом:

$$МК = \{0\ C_h Z\ X\}.$$

Скориставшись відомими аналізами матриць компоновок для даного конкретного випадку обираємо варіант, що повністю відповідає поставленим перед нами завданням щодо технологічних і конструкторських передумов.

Цей варіант зображено на схемі рис. 2.10.

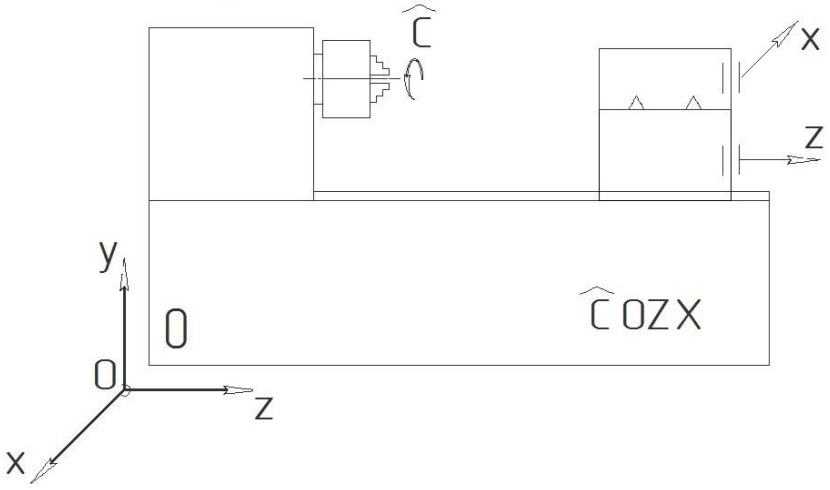


Рис. 2.10. Прогнозований варіант компоновки

Відповідно ми можемо представити ескізний варіант загального вигляду шуканого токарно-гвинторізного верстату, що відповідає представленому компоновочному вирішенню (рис. 2.11).

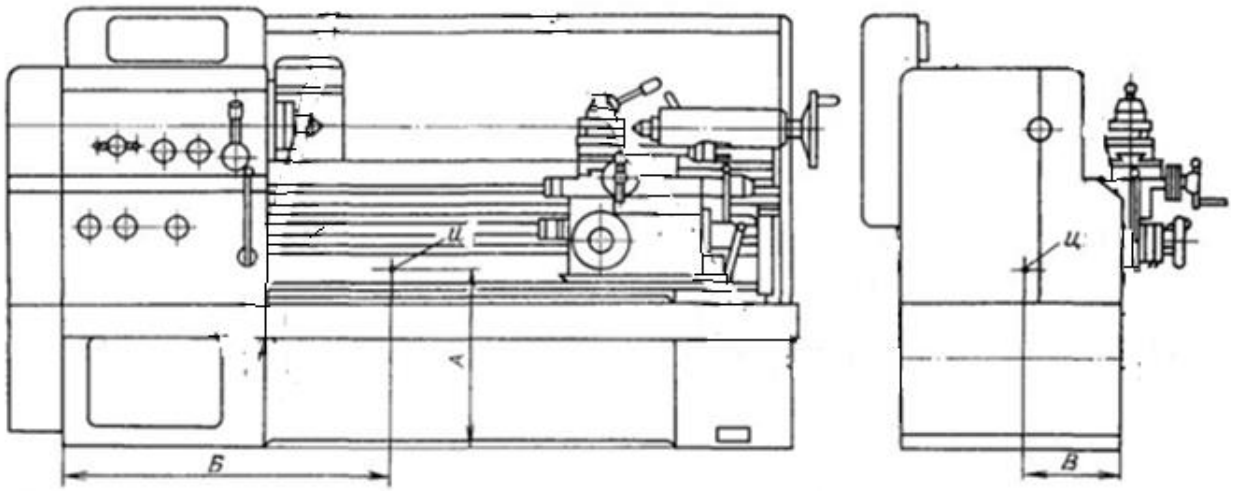


Рис. 2.11. Ескізне вирішення загального вигляду токарно-гвинторізного верстата

2.10. Розроблення структури приводу головного руху і загальної кінематичної схеми

Приймаємо для подальшої розробки щодо приводу головного руху привід ступінчастого регулювання [7,8,25].

Спочатку визначимо діапазон регулювання приводу.

Аналіз різних технологічних процесів, які реалізуються обраним верстатом підказує, що для реалізації більшості можливих випадків можна скористатись тим, що найбільша і найменша частоти обертання шпинделя (об/хв) набувають таких значень

$$n_{\max} = 1600;$$
$$n_{\min} = 12{,}5.$$

Звідси можемо визначити діапазон регулювання приводу головного руху:

$$D_{рег} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1600}{12{,}5} = 128.$$

.

Оберемо величину знаменника ряду φ=1,26 [7,8] (як для токарно-гвинторізного верстату).

Тоді можна визначити число ступеней *z*.

Оскільки

$$n_{\max} = n_{\min}\varphi^{z-1},$$

то отримаємо значення z=22.

Для протости реалізації такої структури приймемо z=24.

Передбачимо, що такий набір частот обертання шпинделя можна реалізувати як безпосередньо через коробку на шпиндель, так і з використанням механізмів перебору.

Тому отримане число 24 розбиваємо на дві частини: 12+12=24.

Тоді можемо приступити до генерації варіанту приводу.

Як правило, ступінчасті приводи простіше синтезувати шляхом послідовного з‘єднання елементарних двовалових механізмів. Кожен із цих механізмів може забезпечувати 2, 3 чи 4 ступені частот обертання. Реалізація цих частот досягається послідовним включенням різних пар зубчастих коліс за рахунок використання пересувних блоків.

Наглядне представлення кінематичної структури можна отримати з використанням структурної сітки [8,29].

Для побудови структурної сітки запишемо структурну формулу для коробки із безпосереднім виходом на шпиндель:

$$z = 2_1 \cdot 3_2 \cdot 2_6,$$

де індекси означають характеристики групи.

Тоді шукана нами структурна сітка чисел обертів матиме вигляд, зображений на рис. 2.12.

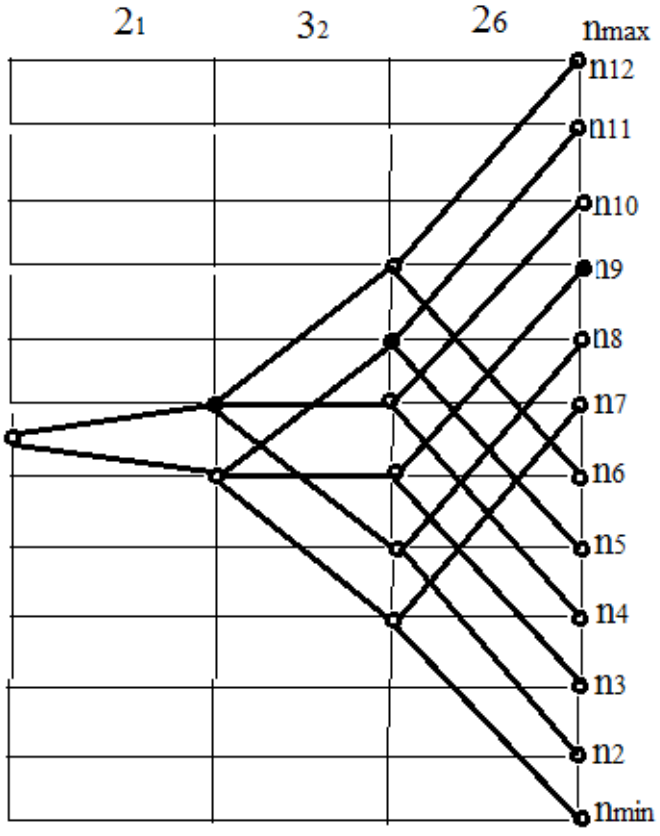


Рис. 2.12. Структурна сітка частини приводу головного руху

Побудована структурна сітка є основою для побудови графіку чисел обертання шпинделя верстату, який безпосередньо ілюструє структуру приведу.

Побудуємо цей графік для двох частин приводу: 1)частини безпосереднього виходу на шпиндель (рис. 2.13) і частини при включення перебору (рис. 2.14).

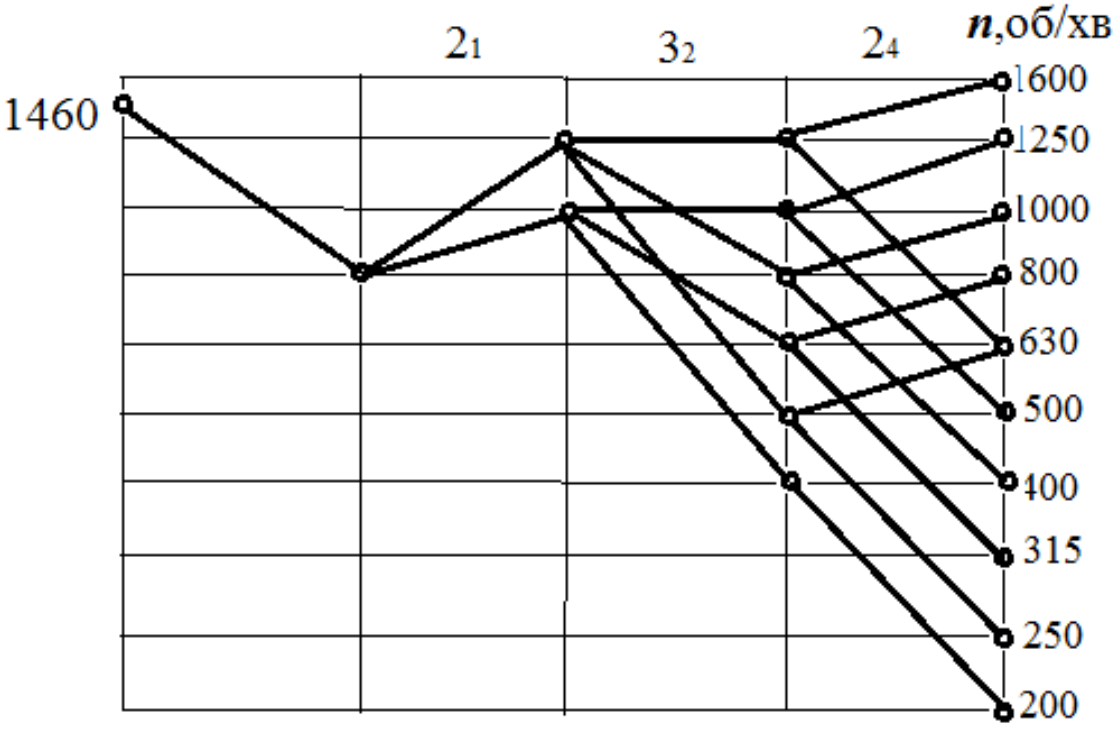


Рис. 2.13. Частини графіку чисел обертів, яка безпосередньо стосується виходу на шпиндель

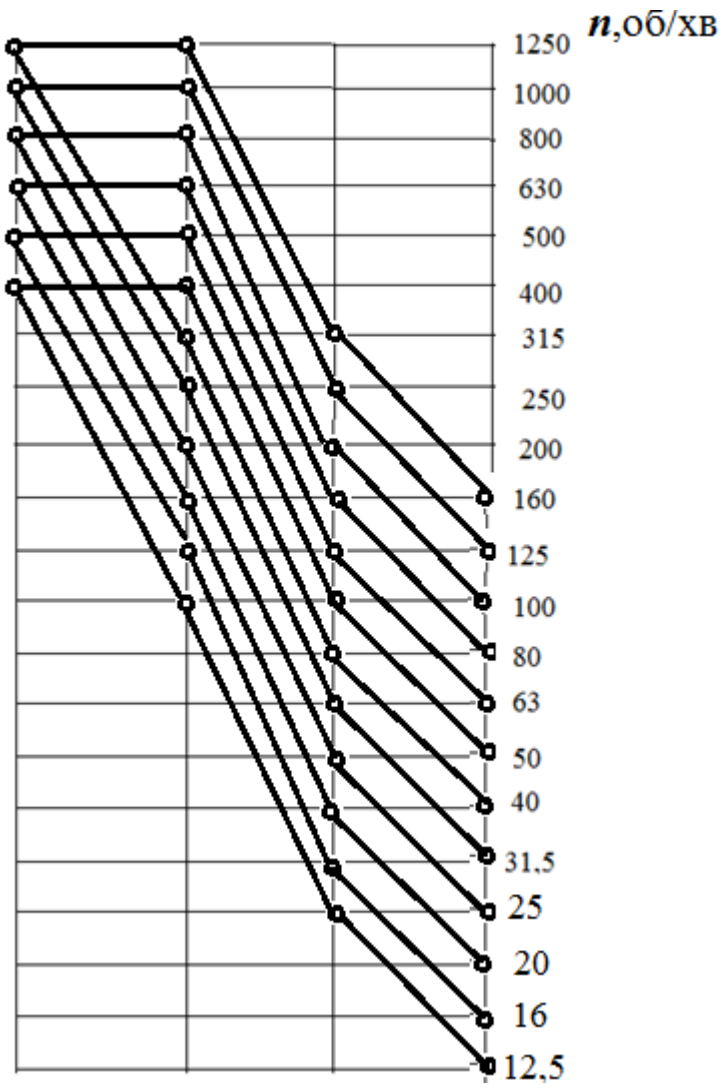


Рис. 2.14. Частини графіку чисел обертів із включеним перебором

Із рис. 2.13 видно, що у структурі приводу головного руху використовується також пасова передача. За допомогою вказаних на даних рисунках характеристик можна визначити передаточні відношення окремих пар зубчастих коліс, які є основою для призначення відповідних чисел зубів передач.

У сукупності наведені дані дають змогу розробити загальну кінематичну схему верстату включно із приводом головного руху (рис. 2.15). Охарактеризуємо як як здійснюється головний рух, тобто обертання шпинделя верстату. Він отримує рух від електродвигуна через клинопасову передачу зі шківами 140/268 і коробку швидкостей.

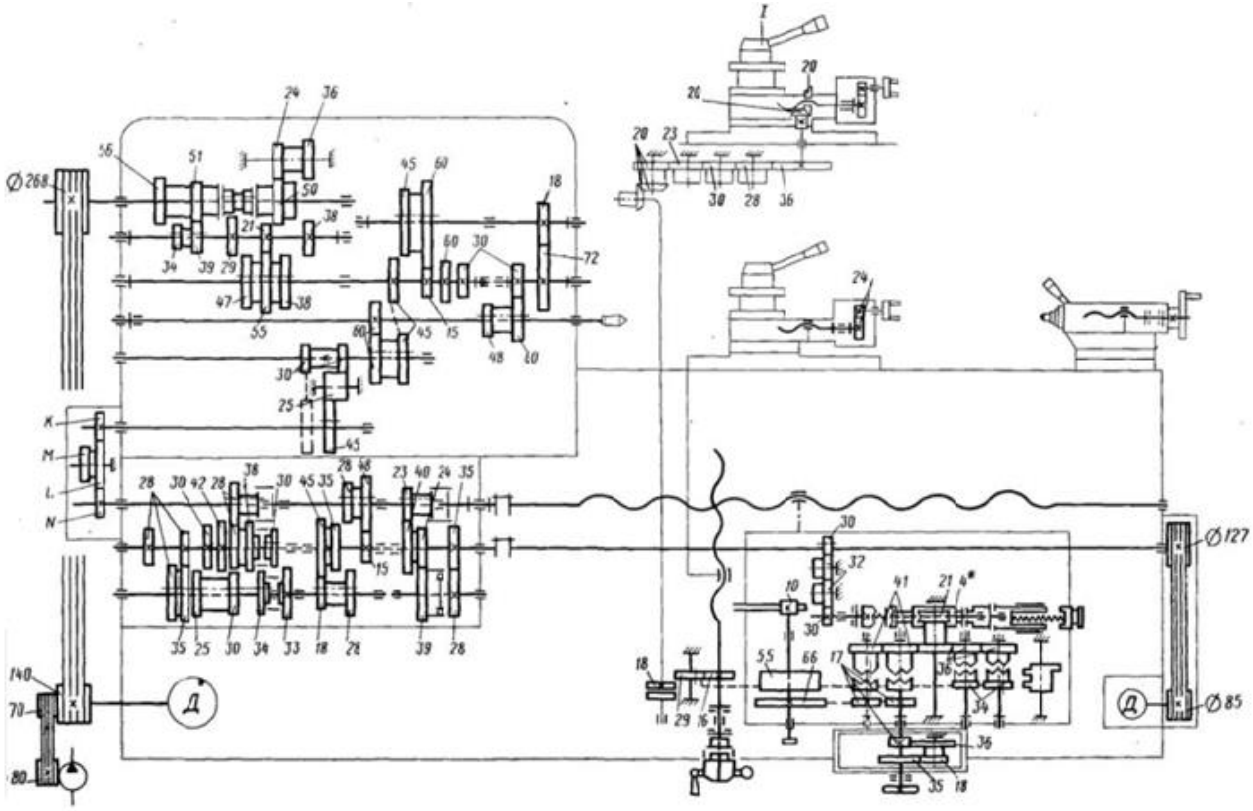


Рис. 2.15. Кінематичні схема верстату

На вхідному валу коробки розміщена фрикційна муфта двосторонньої дії. Для отримання безпосередньо обертання шпинделя муфту зміщують вліво і привід обертання реалізується за наступним ланцюгом зубчастих коліс: 56/34 і 51/39. Після цього за рахунок різних позицій пересувного блоку рух передається парами 29/47; 21/56 і 38/38. Далі для прямого включення шпинделя рух передається зубчастими колесами 6048 або 3060 безпосередньо на шпиндель. Проте для розширення діапазону, що було показано вище, застосовується механізм перебору. Тоді рух передається парами 45/45 або 15/45 і далі послідовно 18/72 і 30/60.

Таким чином, переключаючи блоки зубчастих коліс, можна отримати 12 варіантів зачеплення при передачі руху безпосередньо на шпиндель і 12 варіантів – при передачі через перебор.

Як було показано на графіку чисел обертів реально ми отримуємо не 24 варіанти зачеплень, а 22 варіанти, що і потрібно було отримати, зважаючи на обчислений діапазон регулювання.

2.11. Приклади силового розрахунку

Як приклад розрахуємо одну із критичних зубчастих передач.

Зубчасті передачі металорізальних верстатів мають свої певні особливості порівняно із передачами інших машин. Вони повинні задовольняти вимогам точності і плавності роботи; достатньої довговічності і надійності [9].

Перша вимога диктується призначенням ступені точності СТ передачі. Для верстатів найбільш розповсюдженими є 6,7 і 8 ступені за ГОСТ 1643-72. При призначенні ступені точності треба також враховувати і колову швидкість.

За розрахункову гілку (згідно графіку чисел обертів) візьмемо наступну:

$$1460 - \frac{140}{268} - \frac{51}{39} - \frac{21}{55} - \frac{30}{60} = 200.$$

Розрахунку підлягатиме найбільш критична пара з числами зубів

$$z_1=21;\ z_2=55.$$

Для валу шестерні частота обертання становитиме n=997 об/хв.

З інформації про кінематичну схему маємо, що потужність двигуна головного руху – N=11 кВт. Тоді можемо визначити обертовий момент на валу шестерні

$$T_1 = 9550\frac{N}{n}\eta = 100 Нм,$$

де η – коефіцієнт корисної дії.

Розрахунок проводитиме згідно методики, наведеної у [29].

Сутність розрахунку зубчастої передачі металорізального верстата (з евольвент ним профілем) полягає у визначенні модуля зачеплення. Значення цього модуля знаходять із умов: контактної міцності зубів та витривалості при згині.

Для розрахунку контактних напружень стальних зубчастих прямозубих коліс використовують формулу[29]:

$$\sigma_k = 12270 z_H z_\xi \frac{1}{d_{W1}} \sqrt{\frac{T_1}{\psi_{bd} d_{W1}} \frac{u_H}{u} k_{Hv} k_{H\beta}} \quad (2.14),$$

де d_{W1} - початковий діаметр шестерні, мм; ψ_{bd} – відношення ширини вінця до початкового діаметру шестерні, u – передаточне число, z_H - коефіцієнт, що враховує форму спряження поверхонь зубів (для прямозубих передач дорівнює 1,76); z_ξ - коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній; k_{Hv} – коефіцієнт динамічного навантаження; $k_{H\beta}$ - коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця.

Щодо згинної міцності зубів, то допустимий модуль зачеплення визначається за витривалість по згину за формулою [29]:

$$m = k_m \sqrt{T_1 k_{F\beta} y_F \frac{1}{z_1^2 \psi_{bd} \sigma_{FP}}} \quad (2.15),$$

де k_m – коефіцієнт модуля (для прямозубих передач дорівнює 14); $k_{F\beta}$ - коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження; σ_{FP} - допустиме навантаження по згину; y_F – коефіцієнт, що враховує форму зуба шестерні.

Отже, можемо перейти до конкретного розрахунку.

Крім зазначених вище вхідними даними є:

- допустимі напруження [29] σ_{HP} =800 Мпа; σ_{FP}=230 Мпа;
- відношення ширини вінця ψ_{bd}=0,3;
- ступінь точності передачі СТ=7;
- код розміщення передачі відносно опор[29] Код=1.

Обчислимо коефіцієнт торцевого перекриття

$$\varepsilon_\alpha = 1{,}88 - 3{,}2\left(\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2}\right) = 1{,}88 - 3{,}2\left(\frac{1}{21} + \frac{1}{55}\right) = 1{,}67.$$

Тоді значення коефіцієнта, що враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$z_\xi = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_\alpha}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1{,}67}{3}} = 0{,}881.$$

Визначимо величину коефіцієнту $k_{H\beta}$ за регресійною залежністю:

$$k_{H\beta} = 0{,}915 + 0{,}0588\psi_{bd} + 0{,}799\psi_{bd}^{\ 2} - 0{,}554\psi_{bd}^{\ 3} + 0{,}17Код -$$
$$- 0{,}0474Код^2 - 0{,}684\psi_{bd}Код + 0{,}283\psi_{bd}Код^3 + 0{,}0933\psi_{bd}^{\ 2}Код.$$

Таким чином, після обчислення цієї величини матимемо $k_{H\beta}$=1,00026≈1.

Приймаємо також k_{Hv}=1.

Переходимо до подальшого розрахунку. Для розглядуваної пари зубів передаточне число дорівнює

$$u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{55}{21} = 2{,}619.$$

Знаходимо значення величин [29]

$$kd = 100 \cdot ((12{,}27 \cdot 1{,}76 \cdot z_\xi) ** (2/3)) = 100 \cdot (\sqrt[3]{19{,}025^2}) = 7130.$$

$$pr = \psi_{bd} u \sigma_{HP}^{\ 2} = 0{,}3 \cdot 2{,}619 \cdot 800^2 10^{12} = 502848.$$

Тепер можемо визначити початковий діаметр шестерні

$$d_{w1} = kd \cdot (T_1 \cdot (u+1) \cdot k_{Hv} k_{H\beta} / pr) ** (1/3).$$

$$d_{w1} = 7130 \cdot (100 \cdot (2{,}619+1) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^{-12} / 502848) ** (1/3) =$$
$$= 7130 \cdot 10^{-4} \sqrt[3]{100 \cdot 3{,}619 / 502848} = 0{,}1383м = 13{,}83мм$$

Розрахункове значення модуля, виходячи із контактної міцності

$$m_k = d_{w1} / z_1 = 13{,}83 / 21 = 0{,}658мм$$

Тепер визначимо значення модулю, виходячи із умов згину.

Значення коефіцієнту $k_{F\beta}$ за відповідною регресійною залежністю:

$$k_{F\beta} = 0{,}759 + 1{,}081\psi_{bd} - 0{,}985\psi_{bd}^{\ 2} + 0{,}453\psi_{bd}^{\ 3} + 0{,}232Код -$$
$$- 0{,}0549Код^2 - 1{,}022\psi_{bd}Код + 0{,}380\psi_{bd}Код^2 + 0{,}313\psi_{bd}^{\ 2}Код.$$

Після обчислень отримуємо $k_{F\beta}$=1,26012≈1,26.

Значення коефіцієнту, що враховує форму зуба шестерні дорівнює:

$$y_F = 3{,}518 + \frac{6}{z-10} - \frac{0{,}11}{z-16} + (z-60)\cdot 0{,}00034.$$

$$y_F = 3{,}518 + \frac{6}{21-10} - \frac{0{,}11}{21-16} + (21-60)\cdot 0{,}00034 = 4{,}0277.$$

Отже, можемо перейти до визначення значення модуля за формулою

$$m_{зг} = 14\cdot(T_1\cdot k_{F\beta}\cdot y_F/(z_1^{\ 2}\psi_{bd}\sigma_{FP}))**(1/3).$$

$$m_{зг} = 14\cdot\sqrt[3]{(100\cdot 1{,}26\cdot 4{,}028/(21^2 0{,}3\cdot 230\cdot 10^6))} = 14\cdot 10^{-2}\cdot 9{,}5 = 1{,}33 мм.$$

За результатами розрахунків з умов контактної міцності і згину приймаємо значення модулю зубчастого зачеплення m=2 мм.

Далі розробляємо конструкцію коробки швидкостей. Основою для цього є кінематична схема верстату і попередні розрахунки. При кінематичних розрахунках були визначені числа зубів коліс, діаметри шківів, крок ходового гвинта та інші параметри.

Також за вказаним вище порядком визначаються модулі зубчатих коліс.

Після цього визначають діаметри валів коробки з умови міцності на кручення і згин або ж конструктивно, а також основні розміри муфт.

Для розрахунків приймаємо середній діаметр шпинделя 100мм [9].
При конструюванні коробки швидкостей передбачається виконання креслення розгортки по валам і згортки.

Зокрема, спочатку викреслюємо розгортку. Знаючи міжосьові відстані зубчастих пар, визначаємо відстані між валами і проводимо осьові лінії. На осях розміщуємо зубчасті колеса і муфти. Далі викреслюємо вали, опори і засоби для кріплення зубчастих коліс та інші елементи.

Виконання згортки передбачає вибір розміщення осі центру коробки швидкостей. Вихідним параметром для цього служить висота центрів (200мм). Центр вибираємо з врахуванням можливості раціонального

розміщення і інших валів. При розміщенні валів забезпечуємо простоту форми корпуса, зручність його складання і розбирання.

Найбільш відповідальним є розрахунок і розробка конструкції шпиндельного вузла верстату.

Виходячи із необхідної точності і швидкохідності проектованого шпиндельного вузла в залежності від призначення верстату вибираємо його опори [9,19,20]. В якості передньої опори призначаємо радіальний дворядний роликовий підшипник типу 3182100 з посадкою на конічну шийку. В задній опорі встановлюємо два радіально-упорні шарикопідшипники типу 4600, які сприймають радіальні і осьові навантаження.

Розраховуємо податливості опор: передньої $k1=0{,}3\cdot10^{-8}$м/Н і задньої – $k2=0{,}6\cdot10^{-8}$м/Н [19,20]. Тоді, зважаючи на значення діаметру шпинделя (100мм) розрахуємо оптимальне значення між опорної відстані. Зробимо це згідно до методики, яка наведена у [29].

Ця методика передбачає, що шпиндельний вузол як балка лежить на двох пружних опорах. Зусилля яке деформує балку є тангенціальною складовою сили різання. Максимальна жорсткість шпиндельного вузла відповідає екстремуму кривої його податливості. Тому жорсткість шпиндельного вузла визначально залежить від величини між опорної відстані. У методиці [8,29] оптимальне значення міжопорної відстані $L_{опт}$ визначається шляхом розв'язку кубічного рівняння

$$L_{опт}^{\,3}-\left\{\frac{6EJ\ k1}{a}L_{опт}+6EJ\ \left[k1\ (1-\xi_з)+k2\ \right]\right\}=0, \qquad (2.16)$$

де E – модуль пружності матеріалу; а J осьовий момент інерції шпинделя, коефіцієнт защемлення опори $\xi_з$, і величина a - виліт шпинделя. Тому будемо шукати між опорну відстань у точці перетину кривої (2.16) із нульовою віссю.

Для цього побудуємо невелику програму у середовищі MathCAD, [31]. Проілюструємо цю програму і її графічний результат на рис. 2.16.

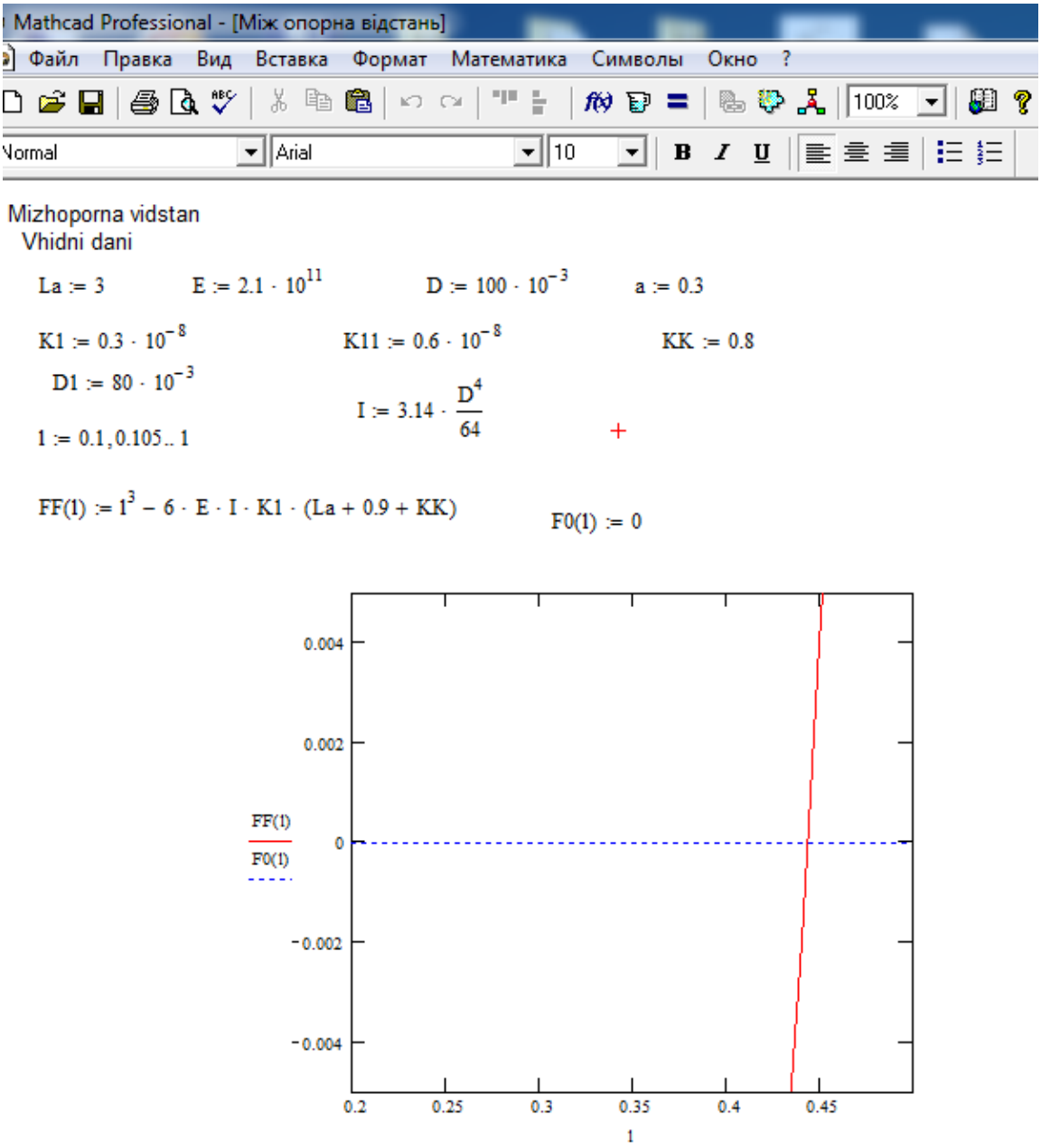


Рис. 2.16. Приклад розрахунку міжопорної шпиндельної відстані

Шуканий оптимальний розв'язок знаходиться на перетині кривої із віссю y=0. Отже, маємо, що значення відстані $L_{опт}$ знаходиться в околі 450 мм. Конструктивно вибираємо між опорну відстань 720мм.

Тепер ми можемо повністю зобразити конструкцію коробки швидкостей (розгортку і згортку), яка включає і конструкцію шпиндельного вузла із його опорами (рис. 2.17).

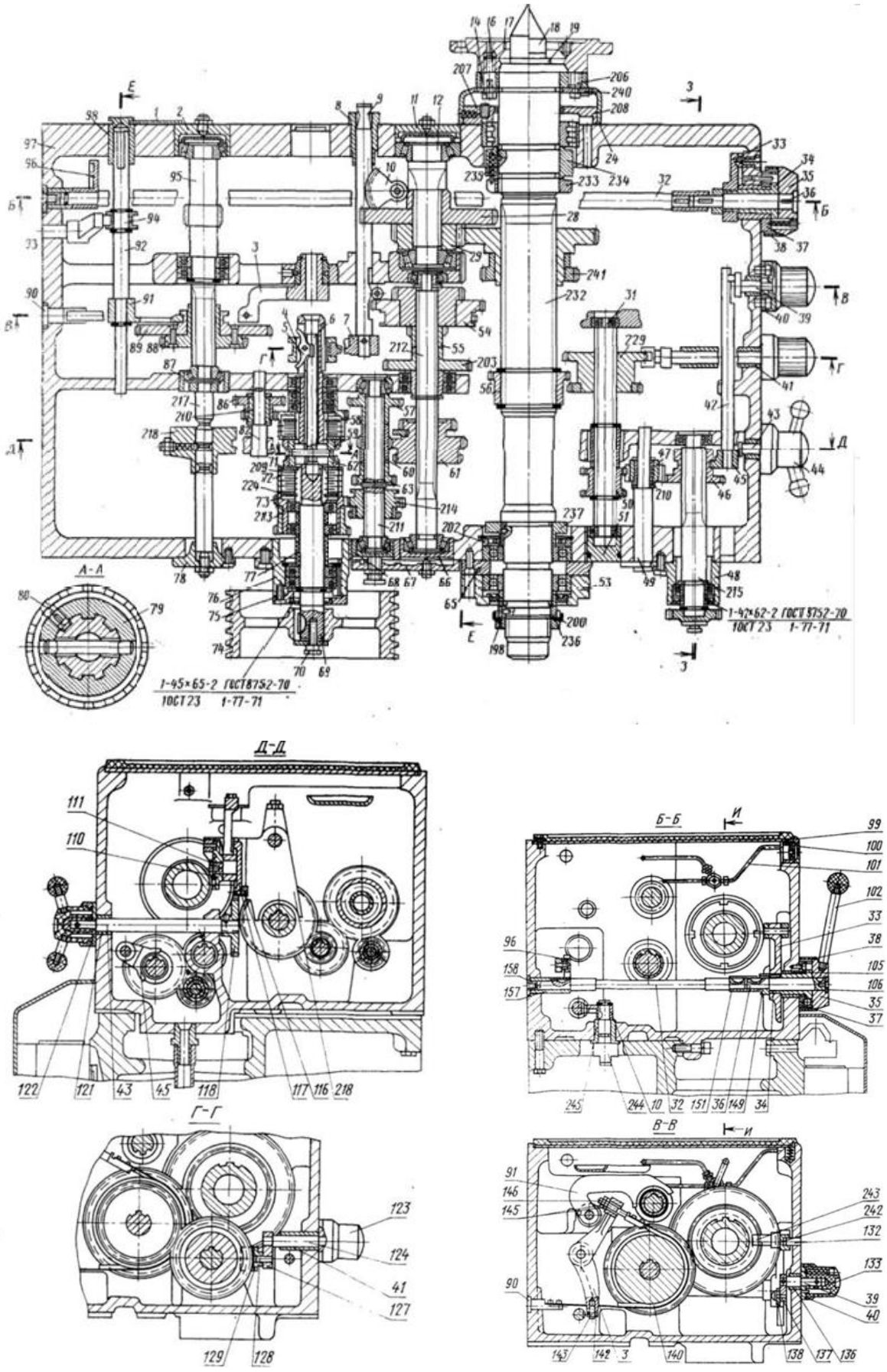


Рис. 2.17. Конструкція шпиндельної бабки

Висновки до розділу 2

В результаті проведених у розділі 2 розрахунків і розробок визначено таке:

1) Детально пропрацьований технологічний маршрут і токарна операція для обробки деталі-представника стакан. Це послужило основою розробки головного приводу токарного верстату
2) Були проаналізовані основні рухи формоутворення щодо точіння і побудована структурно-кінематична і компоновочна схеми верстату.
3) Розроблений графік чисел обертів для коробки швидкостей з перебором і на його основі спроектована повна кінематична схема.
4) Силовий розрахунок критичної зубчастої пари та оптимізаційний розрахунок між опорної відстані шпиндельного вузла дозволили представити конструкцію шпиндельної бабки у завершеному вигляді

3. Науково-дослідна частина

3.1. Порядок проведення наукових досліджень

Вказаний порядок пов'язаний із загальною тематикою кваліфікаційної роботи.

Насамперед слід буде побудувати загальну методологію (методику) усунення похибок при токарному обробленні.

Така постановка, в свою чергу, зумовлює проведення аналізу впливу конструкційних схем двостороннього точіння на зменшення пружних деформацій технологічної обробної системи в радіальному напрямку, [3,12,13]. При цьому слід визначити яким чином формуються пружні деформації при такому точінні.

В розвиток такого аспекту [32] слід проаналізувати можливі схеми двостороннього точіння з постійним підналагодженням верстату за рахунок плинного в часі поділу подачі.

Далі потрібно розробити конструкційну схему двостороннього (здвоєного) супорта на основі аналізу вже відомих конструкцій.

Для дослідження похибок оброблення при такому двосторонньому точінні слід розробити математичну модель формування похибок оброблення, яка враховувала б регулювання процесу оброблення шляхом неперервного поділу подачі.

Далі необхідно показати як змінюється величина похибки оброблення при такому регулювання подачею для різних схем оброблення, зокрема валів, торцевих деталей чи кільцевих деталей (деталей типу труб).

Отримані значення деформацій з метою кількісної оцінки планується розрахувати із застосуванням комп’ютерних розрахунків з допомогою пакету MathCAD [31].

Пропонована методика і порядок дослідження після їх реалізації слід оформити формулюванням загальних висновків, економічного обґрунтування і пропозицій.

3.2. Методика усунення похибок при токарному оброблення

Раніше було показано, що окремі компоненти загальної похибки оброблення залежно від складності процесу різанні, а також наявних умов теплообміну і температурного режиму змінюються безперервно.

Тому дуже нелегкою є оцінка таких похибок одноразово. Тому для зменшення похибок існують багато шляхів [16,19,20]. Ці підходи можна розбити на два типи шляхів: 1) уникнення похибок і 2) компенсація похибок.

Перший шлях реалізується, як правило, при проектуванні і виготовленні дуже точних верстатів та інструментів, що сприяє мінімізації похибок. В той же час він вимагає великих витрат.

Другий шлях (метод) вимагає компенсації похибок є і більш гнучким для застосування (перший метод не виключається). При цьому похибка визначається і підлягає компенсації різними шляхами.

На відміну від методу «усунення» другий метод передбачає, що, якщо якась похибка і існує, то її можна виміряти і компенсувати. Таким чином, компенсація похибок виступає простішим методом того ж усунення можливої похибки. При цьому не обовязково знати як власне формується така похибка.

Очевидно, що власне компенсування похибки може бути розділеним на дві різні групи (рис. 3.1).

Перша група – це стратегія прямого чи безпосереднього шляху. Процес компенсації розділений в часі. Похбка підлягає вимірюванню аба ж до оброблення або ж після завершення процесу обробки. Отримані дані тоді використовують, щоб мати змогу коригувати інші (наступні) операції і власне процес їх здійснення. Таким чином, виявляється, що весь технологічний процес вимагає великого рівня повторюваності.

Друга категорія передбачає активну компенсацію похибок. Інакше її можна трактувати як стратегію зворотньгого звя’зку. При цьому підчас оброблення постіно відбувається зміна самого процесу різання.

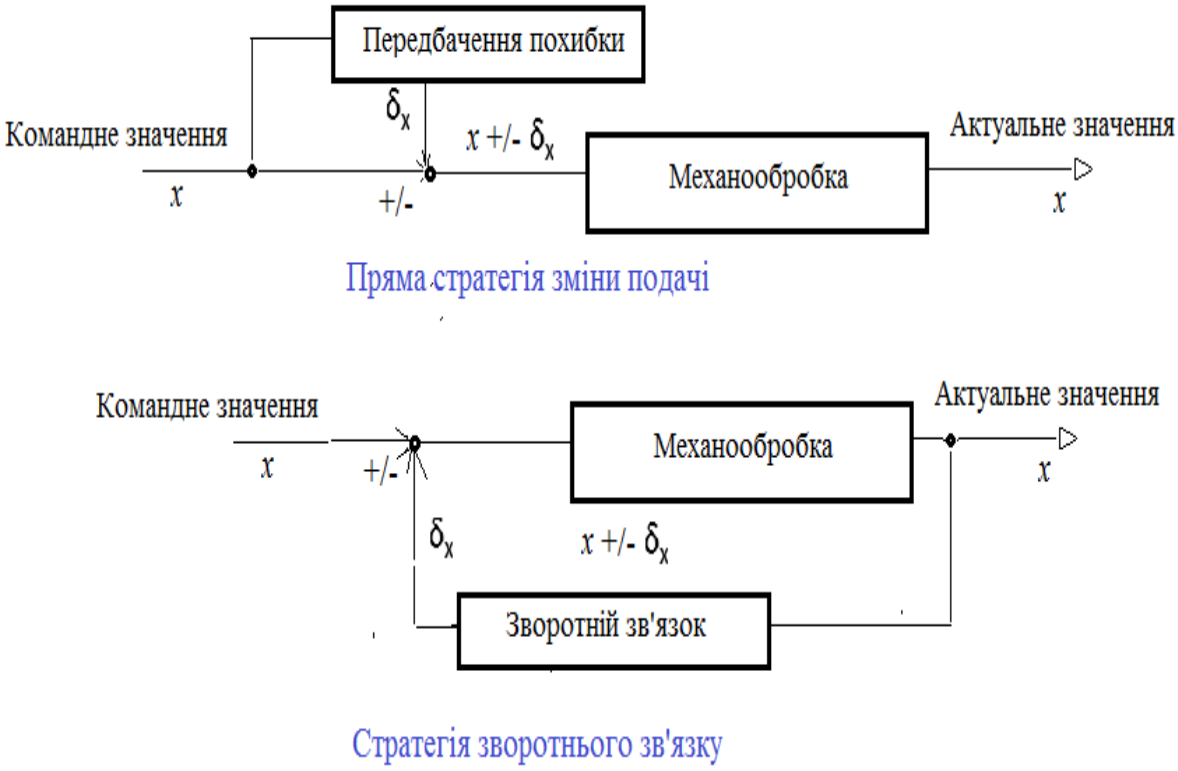


Рис. 3.1. Стратегії компенсації похибок

Такий шлях компенсації похибок дозволяє отримати більш високий рівень точності оброблюваної деталі навіть порівняно із рівнем неточності самого верстату і спорядження. При цьому можна досягнути високої точності і продуктивності за менших витрат.

Така система компенсація автоматично враховує взаємодію між різними джерелами похибок [12], а не враховує лише одну конкретну із них. Це відбувається, бо система працює в реальному часі. Таким чином, ми маємо процес динамічної компенсації похибок на відміну від звичної динамічної компенсації.

Таким чином, точність оброблення заготовок, зокрема щодо точіння, виявляється більш високою, бо при компенсуванні нівелюються похибки, які можливо, не було змоги і передбачити.

В подальшому розглянемо застосування такого підходу до двостороннього точіння.

3.3. Компенсація пружних деформацій технологічної системи при двосторонньому точінні

Для зменшення пружніх деформацій технологічної системи доцільно використовувати двостороннє точіння [1,3,13].

При цьому, існують розробки конструкцій здвоєних супортів. При цьому корпус супорта розміщують на каретці токарного верстату. Конструкція забезпечує синхронне переміщення переднього і заднього супортів для налагодження на необхідний діаметр обробки. На салазках переднього супорта встановлюється супорт поздовжніх подач з поворотним різцетримачем. Відповідно на салазках також встановлюється різцетримач. Таким чином можна забезпечити одночасну роботу двох супортів, тобто двостороннє точіння.

Отже, при роботі двох супортів (двосторонньому точінні) маємо справу з двома взаємопов'язаними різцями. Один із цих різців закріплений у нормальному положенні у передньому супорті. Інший різець кріпиться у перевернутому стані у задньому супорті.

При двосторонній токарній обробці можна працювати за методом поділу власне подачі, а також за методом поділу власне глибини різання. Можливо використовувати і комбінацію цих двох методів.

При обробленні за першим методом – поділу подачі – обидва різці встановлюють на однаковій відстані від лінії центрів токарного верстату., причому в одній площині, що перпендикулярна до цієї лінії.

При обробленні з використанням методу поділу власне глибини різання вказані різці встановлюють з метою поділу припуску на різних відстанях від

лінії центрів верстату. Обов'язковим є те, що при цьому методі різці слід зсувати один відносно одного на величину, що дещо більша від величини обробної подачі.

При описаній роботі за схемою двостороннього точіння налагодження різців на необхідний розмір відбувається лише по ріцю, який провадить чистову обробку. Таке налагодження не відрізняється від звичайного встановлення одного різця.

Дослідимо питання похибок, а отже - точності такого оброблення.

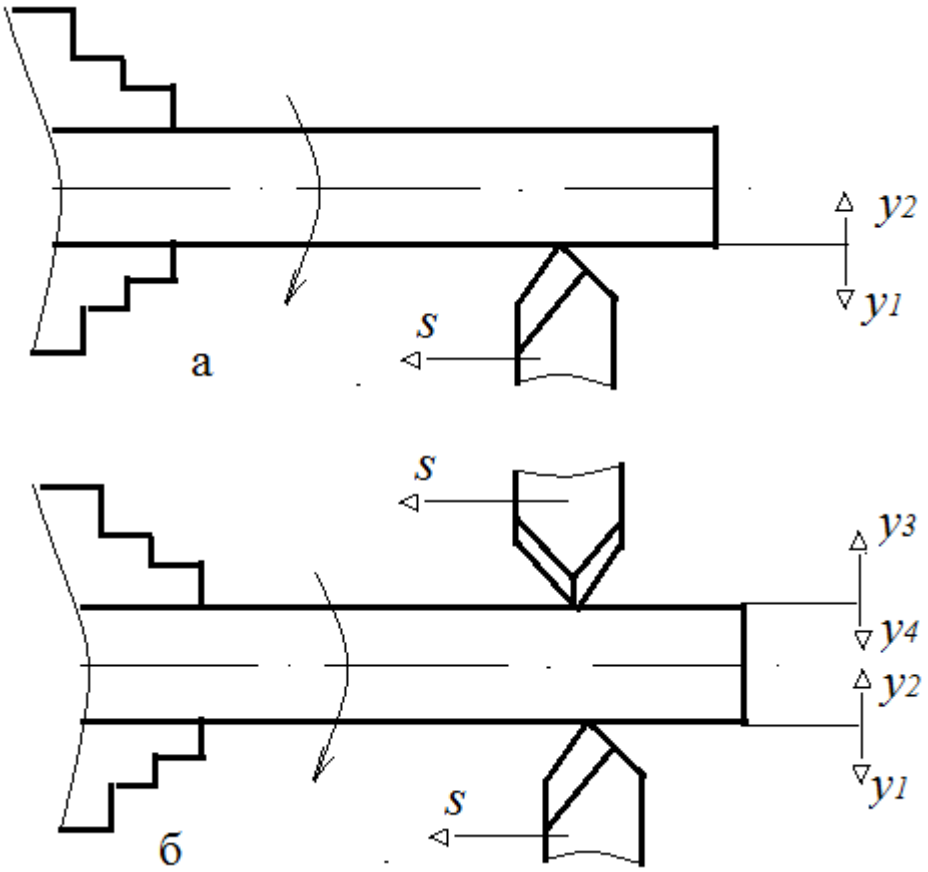


Рис. 3.2. Ескізи для розрахунку похибок одно- (а) і двостороннього (б) точіння

При одно супортній обробці (односторонньому точінні) (рис. 3.2, а) загальна деформація обробної технологічної системи y є сумою деформацій вузла супорта y_1 і шпиндельного вузла y_2:

$$y = y_1 + y_2.$$

При двосторонній обробці двома супортами (рис. 3.2, б) підлягають деформаціям передній супорт y_1 і шпиндельний вузол y_2. Також будуть деформуватись задній супорт y_3 і шпиндельний вузол y_4.

Бачимо,що при означених умовах може бути проведена компенсація зусиль різання і досягнуте підвищення точності налагодженого токарного оброблення.

При забезпеченні постійності величини

$$y_2 = y_4,$$

загальна деформація технологічної системи зводиться до деформації вузла переднього супорта, тобто

$$y = y_1. \qquad (3.1)$$

В загальному величину деформації можна визначати як

$$y = \frac{P_y}{j},$$

де j – жорсткість системи.

Припустимо, що умови обробки є однаковими, тобто однаковими є оброблюваний матеріал, а також глибина різання t чи подача s. Отже, однаковими будуть

$P_y = f(t)$ за однакових s і

$P_y = f(s)$ за однакових t.

Таким чином, для забезпечення рівності (3.1) необхідно

а) при роботі за методом глибини різання:

$$\frac{t_з}{t_п} = \frac{j_з}{j_п},$$

де $t_з$ і $t_п$ - глибина різання заднього і переднього різців; $j_з$ і $j_п$ - жорсткості заднього і переднього супортів;

б) при роботі за методом поділу подачі:

$$\frac{s_з}{s_п} = \frac{j_з}{j_п},$$

де $s_з$ і $s_п$ - подачі заднього і переднього різців.

За виконання умови

$$y_4 - y_2 = y_1 \qquad (3.2)$$

компенсуються також і деформації переднього (чистового) супорта y_1.

При цьому необхідно виконувати такі умови -

а) при роботі за методом глибини різання:

$$\frac{t_з}{t_п} = 2\frac{j_п}{j_з}\frac{j_{шп}}{j_{сп}},$$

де $j_{шп}$ і $j_{сп}$ - відповідно жорсткості шпиндельного вузла і супорта, в якому закріплений чистовий різець;

б) при роботі за методом поділу подачі:

$$\frac{s_з}{s_п} = 2\frac{j_п}{j_з}\frac{j_{шп}}{j_{сп}}.$$

Якщо встановити, що $j_{шп} = j_{сп}$, то отримаємо співвідношення:

а) для роботи за методом глибини різання:

$$\frac{t_з}{t_п} = 2\frac{j_п}{j_з},$$

б) для роботи за методом поділу подачі:

$$\frac{s_з}{s_п} = 2\frac{j_п}{j_з}.$$

Таким чином, можна зробити з цього аналізу висновок, що при двосторонньому точінні величина припуску на чистову обробку (глибина різання) є величиною стабільною і може бути зведена до мінімуму, виходячи із умов, допустимих самим процесом різання, тобто порядку 0,02-0,05мм.

Величина допуску на чорнову обробку і похибки встановленні при цьому повністю компенсуються одночасною чорновою і чистовою обробкою. В цьому випадку коливання величини припуску сприймаються тільки чорновим різцем.

Зупинимось також на деяких міркуваннях щодо технологічних можливостей і продуктивності двостороннього точіння.

Так, максимальна продуктивність методу оброблення з поділом глибини різання досягається при чистовій обробці деталей на прохід. При цьому різці виводяться із зони різання і утворення уступу нема. При чорновому двосторонньому точінні уступ є невеликим і знімається при наступній чистовій обробці.

Двостороннє точіння має вирішальну перевагу перед одно супортним при обробці деталей малої жорсткості і, особливо довгих, що потребують значних витрат часу на виготовлення. Важливо, що при цьому не використовують спеціальних люнет них пристроїв. При цьому бажано, щоб виконувалась умова $j_з = j_п$.

При двосторонньому обробленні за методом подачі уступ взагалі не утворюється. Доведено, що цей метод потрібно використовувати для подач більших від 0,1 мм/об. При менших подачах утрудненим є виставлення різців.

Використання двосторонньої токарної обробки дозволяє зменшити як основний, так і технологічний час.

Комбінація методів поділу глибини різання та подачі дозволяє одночасно із різким скороченням затрат допоміжного часу зменшити у декілька разів машинний час.

Продуктивність двостороннього точіння [3,4] вдвічі перевищує продуктивність оброблення одним різцем при чистовій обробці за на прохід і при чорновій за рахунок зменшення числа проходів, а також збільшення операційних припусків. Особливо слід відмітити можливість суміщення чорнової і чистової обробки.

Точність двостороннього точіння у 1,5-2 і більше разів перевищує точність одно супортної обробки.

Використання такого оброблення у попередньо налагоджених верстатах дає змогу іще покращити технологічні можливості за рахунок двостороннього точіння.

3.4. Визначення принципів регулювання поділом подачі при двосторонньому точінні

Показані в попередньому підрозділі способи використання двостороннього точіння показують його певну ефективність для зменшенні пружних деформацій технологічної обробної системи в процесі точіння.

Проте ряд дослідників, зокрема [30], вказують на певні недоліки схем двостороннього точіння стосовно вібростійкості процесу різання.

Це пов’язано із тим, що сили, які підтримують коливання деталі, діють в радіальному напрямку.

Тому радіальна складова у зв’язку із коливаннями повинна змінюватись приблизно так, щоб кожне миттєве значення її, що виникає у на півперіод відштовхування деталі від різця, при певній величині зрізу було б більшим миттєвого значення цієї складової у півперіод приближення деталі

до різця. Це давало підставу твердити, що якщо застосувати схеми двостороннього точіння, тобто в додаток до працюючого різця ввести в роботу ще один різець, який розміщений з діаметрально протилежного боку, то сили, що підтримують коливання, врівноважуться і коливання зникнуть.

Проте експерименти, [30], довели, що коливання не зникали при роботі як двома, так і трьома симетрично розміщеними різцями. В результаті аналізу таке явище можна пояснити наступним чином.

При роботі двома різцями сили, що підтримують коливання, могли б зрівноважитись у тому випадку, якщо б півперіод відштовхування деталі від переднього різця співпадав із півперіодом відштовхування деталі від заднього різця. Але це (таке спів падіння) є неможливим.

В дійсності півперіод відштовхування деталі від переднього різця співпадає з півперіодом наближення її до заднього різця. Тому сили, що підтримують коливання, не зрівноважуються і встановлення другого різця з протилежного боку за такої жорсткої схеми не дає позитивного результату.

Таким чином, представлений аналіз дає підстави для пошуку додаткових компенсаційних змін щодо роботи різальних елементів. Як вже вказувалось, такими змінами позитивно виступає регулювання подачі між різальними елементами, тобто поділ подачі власне у миттєвому вираженні.

Цього можна досягнути, якщо при двосторонньому точінні дозволити різальним елементам отримати рухомості у поздовжньому напрямку і зв’язати різці між собою певним зв’язком, наприклад кінематичного характеру.

Умовно такий зв'язок можна зобразити у вигляді рівноплечого важеля, хоча його можна реалізувати і іншими засобами, як механічно, так і за допомогою, наприклад, гідравлічної схеми.

Розглянемо реалізацію двостороннього точіння регулюванням подачі за двома раніше описаними методами: поділу подачі, а також поділу глибини різання [33,34].

При точінні за першим методом (рис. 3.3.)

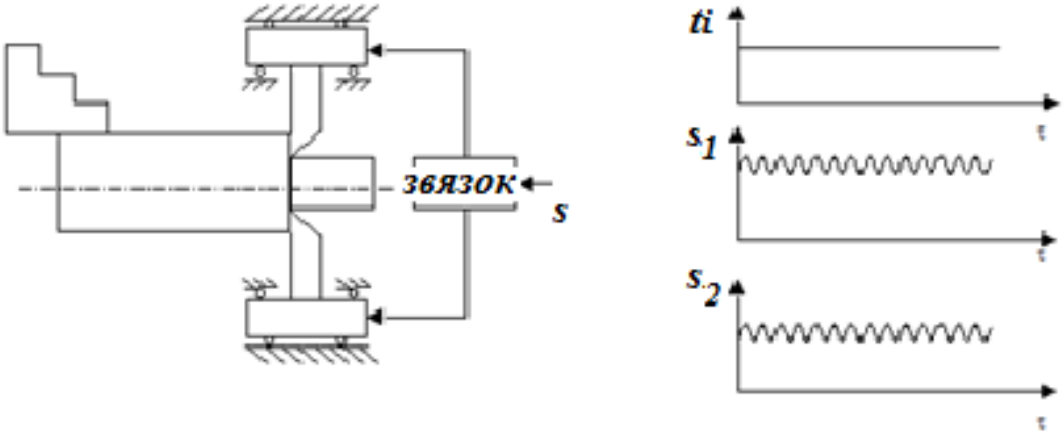


Рис. 3.3. Двостороннє точіння за методом поділу подачі регулюванням подачею

При такій схемі точіння вершини різців виставляються на однакову глибину різання t_i , а загальна подача s (подача супорта) поділяється між обома різцями у випадковому співвідношенні (подачі s_1 і s_2), але при цьому сума цих подач залишається постійною і дорівнюватиме значенню загальної подачі s. Таким чином, маємо

$$s_1 + s_2 = s$$

Завдяки зворотному зв’язку значення подач варіюють.

Отже, регулювання подачею при методі поділу подач забезпечує як компенсацію дії статичних величин радіальних значень зусиль різання (складові спрямовані одна проти іншої), так і їх динамічних складових. Слід відмітити, що в такому випадку регулювання відбувається автоматично, так само як і відповідні компенсації.

Таке регулювання поділом подачі за вказаним методом можна називати методом поділу власне подачі.

Розглянемо як відбувається подібне регулювання при двосторонньому точінні за методом поділу глибини різання (рис. 3.4).

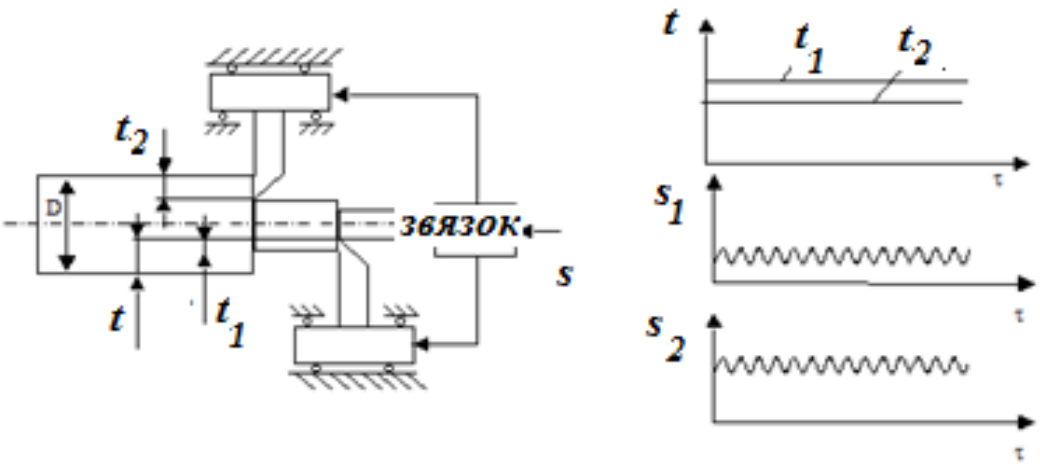


Рис. 3.4. Двостороннє різання за методом поділу глибини регулюванням подачею

Із рисунку добре видно, що в даному випадку при двосторонньому точінні заготовки діаметром D різці виставляють на різні глибини різання t_1 і t_2, відповідно вони виставлені на обробку діаметрів D_1 і D_2. Таким чином, припуск розділяється між двома різцями. Це характерно для точіння великих припусків за двосторонньою схемою. Зрозуміло, що різці слід зсувати в осьовому напрямку один відносно іншого на величину, яка є більшої від значення загальної подачі супорта верстату.

Існують певні особливості щодо налагодження такої системи, [Вестн].

Зокрема, поділ припуску на частини (визначення глибин різанні на різцях) слід проводити із тої умови, що статичні значення осьових складових зусиль різання на різальних елементах мають дорівнювати одна одній, бо в під час точіння відбувається вирівнювання осьових складових зусиль різання, в результаті чого відбуваються компенсаційні процеси.

Відомо, що значення осьової складової зусилля різання для токарної обробки має вигляд формули

$$P_x = C_{Px} t^{x_{PX}} s^{y_{PX}} v^{n_X} k_x,$$

де v – швидкість різання; x_{PX} , y_{PX}, n_x – показники ступеню у формулі для осьового зусилля різання при глибині, подачі і швидкості різання відповідно. Величина k_x - поправочний коефіцієнт у вказаній формулі.

Матимемо на увазі, що умови різання на двох різцях однакові.

При рівності осьових складових статичних зусиль різання, матимемо виконання такого співвідношення:

$$\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^{x_{PX}} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{n_x}.$$

Скористаємось відомими даними, [23,24], щодо показників ступенів для випадку оброблення сталей: x_{PX} =1, n_x = *-1/3*. Відповідні значення для чавунів: x_{PX} =1, n_x = *0*.

Перетворення формул покажуть, що матимемо для сталей формулу налагодження

$$t_1 / t_2 = \sqrt[3]{D_1 / D_2}.$$

Для чавунів отримаємо значення для формули налагодження у вигляді:

$$t_1 / t_2 = 1.$$

Отже, при поділу загального припуску t для регулювання подачею при двосторонньому точінні матимемо залежність:

$$t_1 = t\Lambda / (1 + \Lambda),$$
$$t_2 = t_1 / \Lambda.$$

Легко бачити, що для чавунів Λ=1. Можна показати, що зважаючи на те, що загальний припуск складає від 5% до 20% діаметру заготовки. Тоді, вважаючи що ми працюємо з усередненими значеннями, матимемо для сталей

$$A = \sqrt[3]{D_1 / \left(D_1 - 1{,}052t\right)}.$$

Представлений аналіз показує, що фактично і схема за поділом подачі і схема за поділом глибини фактично є методами миттєвого поділу подачі різання, що сприяє ефективній компенсації пружних деформацій технологічної системи, що виникають при точінні. Це відбувається за рахунок як використання двосторонньої схеми, так і поділу осьової подачі між різальними елементами в кожний момент різання.

3.5. Конструювання установок двостороннього точіння

Проаналізуємо характерні конструкції систем двостороннього точіння.

Розміщення різців з обох сторін деталі, що викликає компенсацію статичних похибок оброблення при жорсткій конструкції системи має певні недоліки. Ці недоліки пов’язані із неможливістю виставлення лез різців в єдиній площині зрізу. При цьому недостатніми є і демпфуючі властивості. Все це не сприяє досягненню високих показників точності обробки.

Для збільшення можливостей гамування коливань радіального напрямку може використовуватись двостороння різцева система із плаваючим блоком (рис. 3.5), [13].

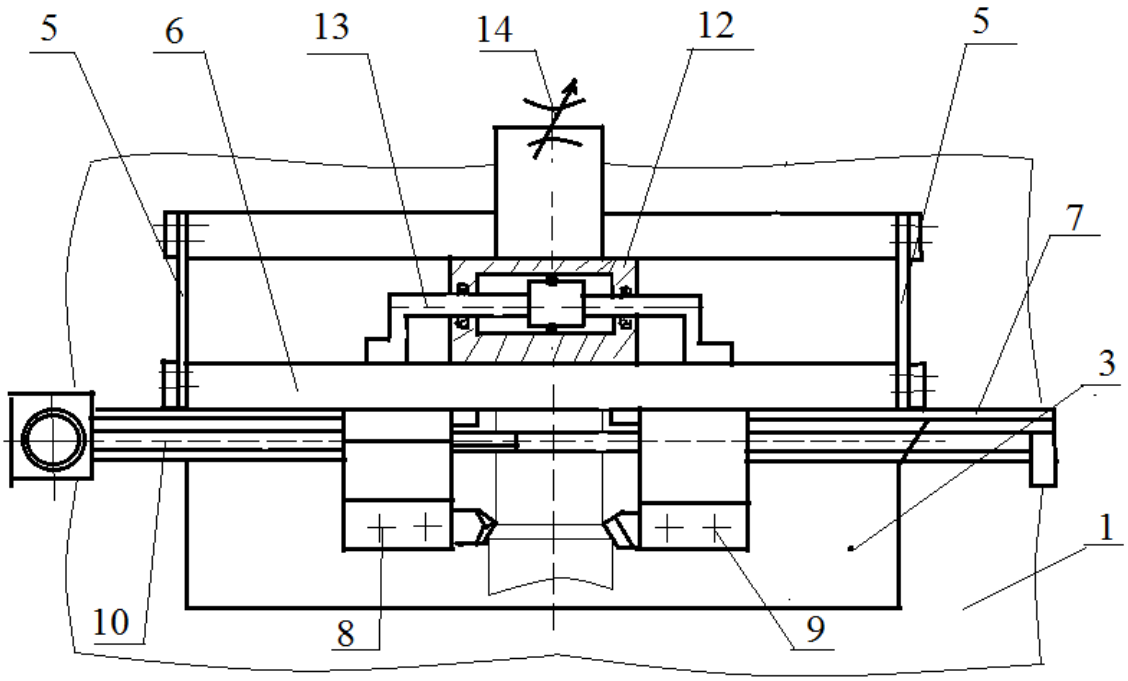


Рис. 3.5. Схема установки двосторонньої обробки із плаваючим блоком

Установку представляє супорт 1, на якому на основі кріпиться корпус 3. Корпус 3 може повертатись навколо вертикальної осі, що проходить через вісь обертання заготовки 15, і має зв'язок із основою через торсіонний вал 4. Плаваючий блок 6 із плоскими пружинами 5 має вигляд пружного паралелограма і таким чином, може самовстановлюватись. На цьому блоці кріпляться різцеві каретки з різцями 8 і 9. За допомогою гвинта 10 з різнонаправленою різьбою різці поворотом двигуна можуть зводитись до деталі. Для гасіння коливань передбачена гідравлічна система із гідроциліндром 12 і дроселем 14. Штоки 13 поршня гідроциліндра жорстко зв’язані із плаваючим блоком 6. Плаваючий блок 6 забезпечує рівність осьових складових сил різання на різцях.

Гідросистема дозволяє здійснювати демпфування коливань, що виникають. Така система двостороннього точіння підвищує точність токарного оброблення за рахунок компенсації пружних похибок верстато-інструментальної системи.

Найкраще таку установку використовувати для чорнового точіння.

Можливою є простіша конструкція установки для двостороннього точіння. У цій системі нема дорого вартісного гідравлічного обладнання чи системи адаптивного керування. Двостороннє точіння забезпечується наявністю супорта із двома різцями, які пов'язані між собою за допомогою рівноплечого важеля і дозволяють забезпечити само налагодження в процесі осциляцій різців у напрямку подачі (рис. 3.6), [3,4].

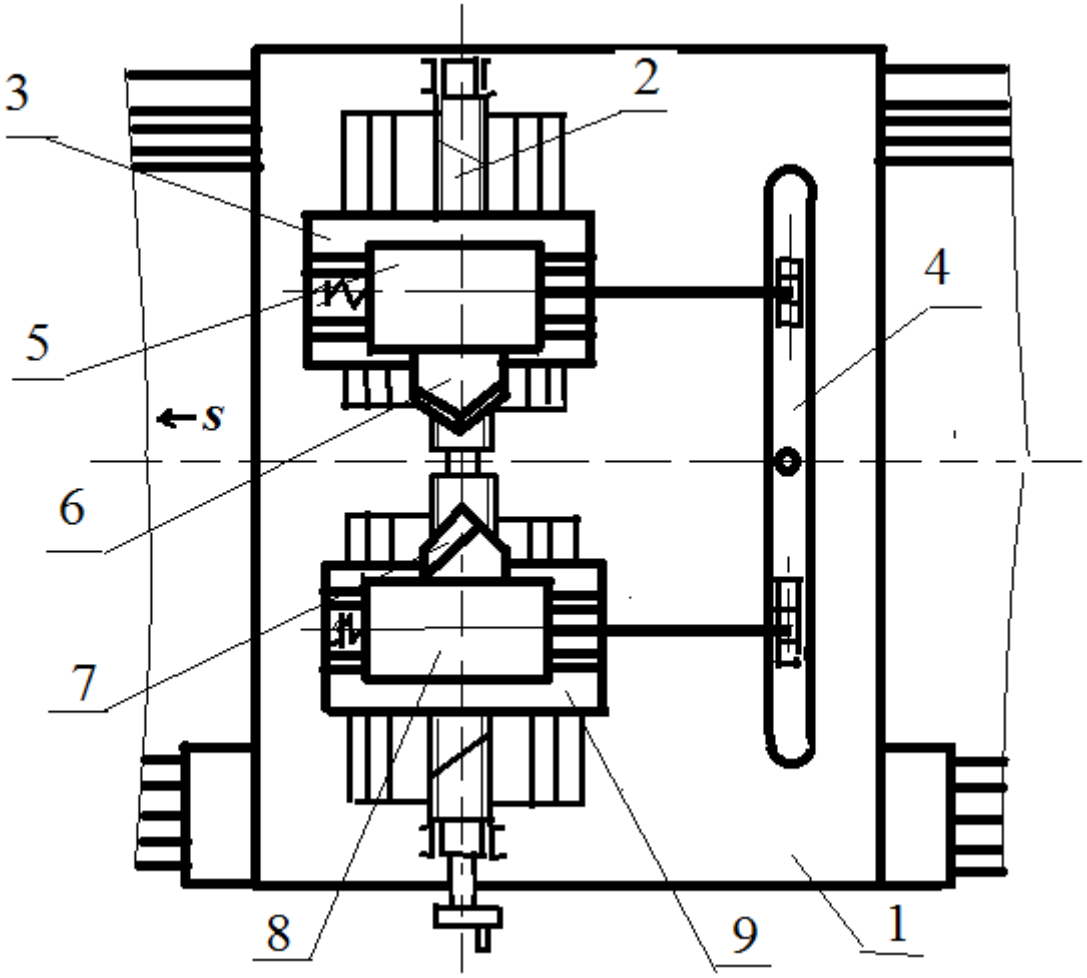


Рис. 3.6. Схема конструкції дворізцевого супорта із рівноплечим важелем

На супорті 1 такого пристрою кріпляться різцеві каретки 3 і 9, позиціювання яких забезпечується гвинтом 2 із різнонаправленою різьбою однакового кроку. На каретках з можливістю осьових осциляцій розміщені різцетримачі 5 і 8. Різальні інструменти 6 і 7, таким чином виявляються рухомими відносно супорта 1 в напрямку подачі. Переміщення різців в

осьовому напрямку взаємокомпенсуються через рівноплечий важіль 4, який встановлений на супорті з можливістю провороту.

При цьому сума моментів від зусиль, які діють на плечі важеля дорівнює нулю, що визначає рівність нулю і різниці осьових складових зусиль різання. Тобто така система двостороннього точіння постійно забезпечує компенсацію миттєвих значень похибок оброблення.

Така схема забезпечує можливість виставлення лез в єдиному зрізі за рахунок постійного тісного контакту лез із заготовкою, тобто сприяє рівномірному розподілу подачі при її регулюванні.

Подібна схема двостороннього точіння ,[13], представлена на рис. 3.7.

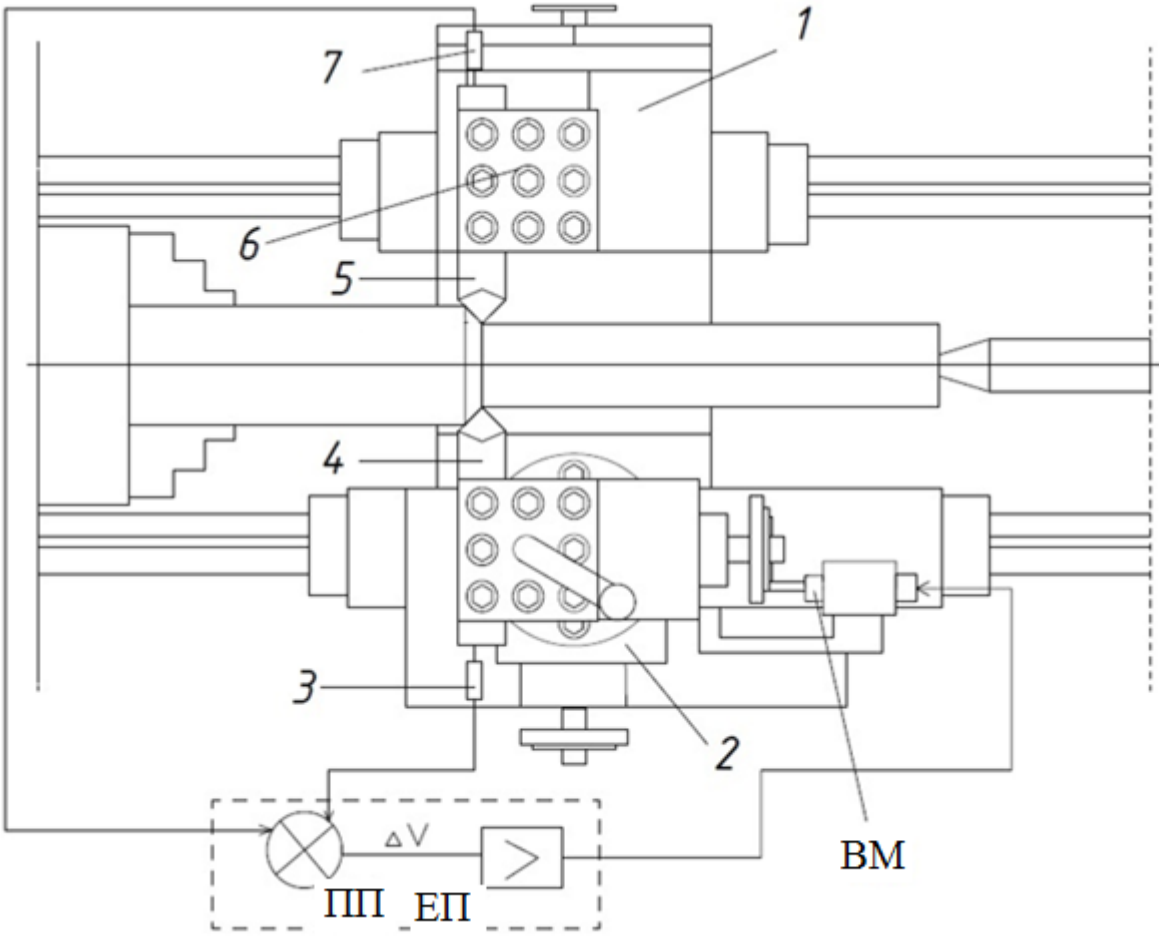


Рис. 3.7. Конструкція здвоєного супорта для двостороннього точіння

Наведена конструкція передбачає встановлення додаткового супорту 1 на поперечних салазках 2 супорта. Двостороннє оброблення здійснюється різцями 4 і 5, які закріплені у різцетримачах 6.

Для вимірювання радіальних зусиль різання призначені індуктивні давачі 3 і 7. У порівняльному пристрої порівнюються два сигнали – заданий і сигнал про результати вимірювання реальних величин зусиль. Сигнал неузгодження підсилюється електронним підсилювачем ЕП і надходить до виконавчого механізму, який здійснює регулювання подачею. У якості ВМ використовується реверсивний двигун постійного струму.

Детально конструкція здвоєного супорта двостороннього точіння показана на рис. 3.8.

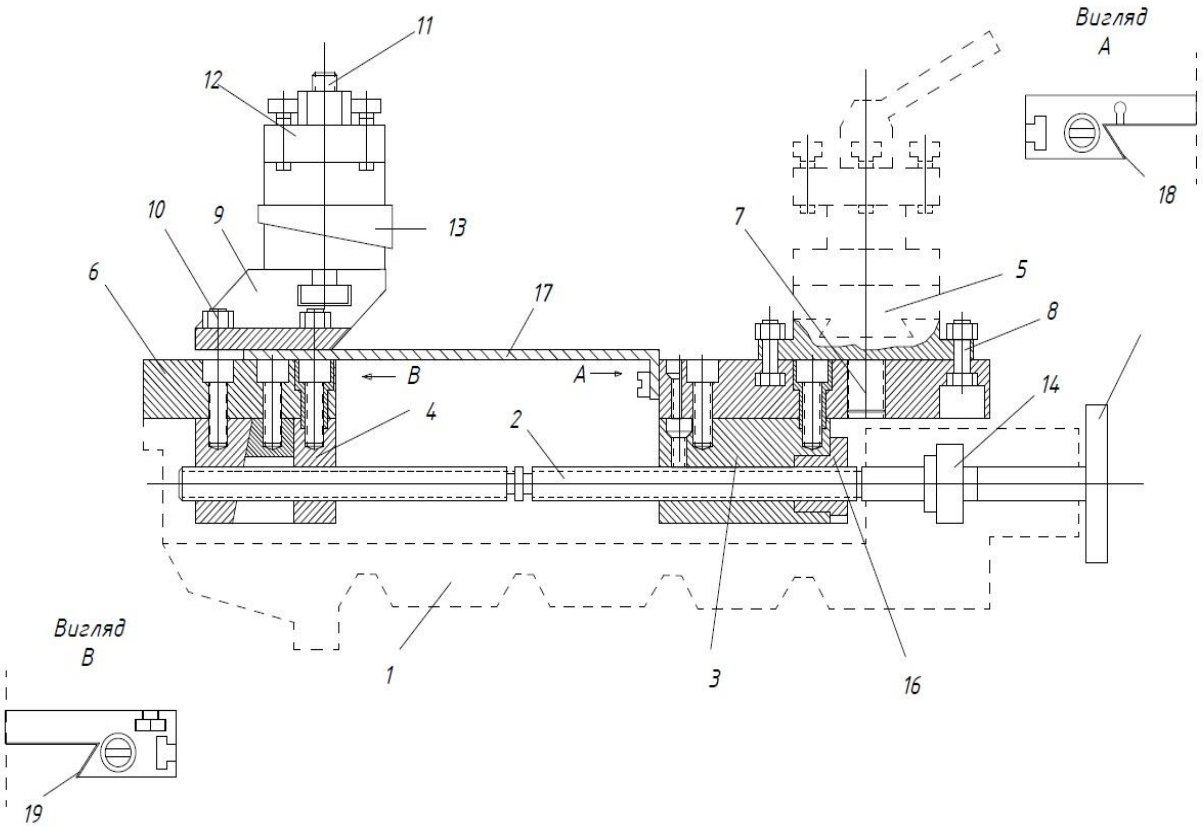


Рис. 3.8. Здвоєний супорт

Конструкція може бути описана таким чином.

На каретці 1 змонтовано поперечний гвинт 2 із різнонаправленими різями, з допомогою якого зсуваються ліва 3 і права 4 гайки. На вказаних гайках кріпляться відповідно передній супорт 5 і задній супорт 6. Для орієнтації супорта передбачена вісь 7. Супорт фіксується болтами 8. Для заднього різцетримача передбачена основа 9, яка кріпиться болтом 10. Для затиску різцетримача 12 використовується болт 11, який фіксує відповідне положення за допомогою регулювального клину 13. З допомогою шестерні 14 повертають вузол лімба 15. Положення супортів регулюють клинами 18 і 19.

Описаний здвоєний супорт забезпечує надійну роботу за схемою двостороннього точіння при поділі подачі різання між лезами різців.

3.6. Розробка математичної моделі визначення похибок токарного оброблення при двосторонньому поділі подачі

Основний технологічний час обробки у технології машинобудування [6] приблизно вважають обернено-пропорційним до кореня квадратного із технологічної жорсткості (жорсткості обробної системи). Збільшення подачі у загальному випадку точіння викликає майже лінійне зростання зусилля різання. Таке зростання в свою чергу призводить до збільшення похибок оброблення (макропохибок та інших). Тому, якщо ми вводимо у структуру технологічної системи двостороннього зв'язок компенсуючого типу між інструментами, то це впливає на картину жорсткості технологічної системи, а, отже, формування макропохибок.

Розглянемо як формуються статичні макропохибки у поздовжньому і поперечному перерізах оброблюваної заготовки для випадків двостороннього точіння із компенсаційними механізмами.

Компенсація зусиль різання при двосторонньому точінні на основі використання адекватного зв’язку між інструментами засобами регулювання миттєвим поділом подачі суттєво впливає на величини пружних деформацій технологічної системи.

При дворізцевому двосторонньому токарному обробленні і за методом поділу подачі і при наявності зв’язку між інструментами (рис. 3.9) леза різцв виявляються у єдиному січенні зрізу. При цьому в ідеальному варіанті зусилля різання на різцях вирівняні, а тому - деформації оброблюваної деталі є усунутими.

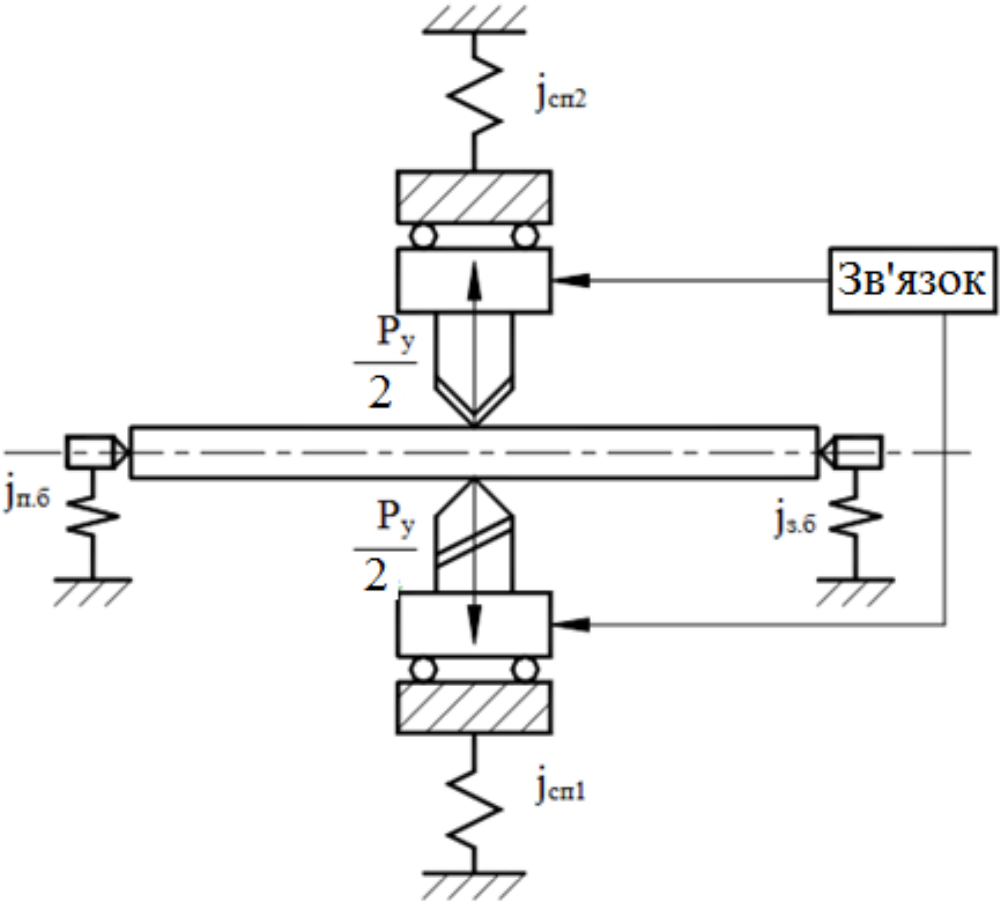


Рис. 3.9. Схема розрахунку похибок при двосторонньому точінні регулюванням подачі зі зв’язком між різцями

У розділі 1 було відмічено, що, [6], загальна деформація в радіальному напрямку технологічної системи при однорізцевому обробленні в центрах, якщо зусилля діє посередині заготовки, має 2 складові: деформацію заготовки і деформацію верстату:

$$y_{\Sigma}=y_{д}+y_{в}=P_{y}/j_{д}+P_{y}/j_{сп}+P_{y}/4(1/j_{п.б.}+1/j_{з.б.}),$$

де $y_{д}$ і $y_{в}$ – відповідно деформації заготовки і верстатної системи в радіальному напрямку, a $j_{д}$, $j_{сп}$, $j_{п.б.}$ і $j_{з.б.}$ - приведені радіальні жорсткості відповідно деталі, супорта, переднього та заднього центрів (бабок).

Легко бачити, що основною особливістю такого двостороннього точіння з використанням постійного компенсую чого зв'язку між інструментами є стаціонарна похибка. Величину її обчислюємо за формулою

$$y_{II}=P_{y}/(2j_{сп2}),$$

де $j_{сп2}$ – приведена радіальна жорсткість кожного із супортів (припускаємо, що ці жорсткості є однаковими). Зрозуміло, що така помилка буде сталою вздовж довжини оброблюваної заготовки. Вона, таким чином, визначатиметься тільки пружними характеристиками супортів.

Відношення загальної деформації обробної системи при одно різцевій обробці і деформації при двосторонньому точінні є відносною оцінкою зменшення величин макропохибок для випадку токарної обробки:

$$\gamma=y_{\Sigma}/y_{II}=2\,j_{сп2}\,[1/j_{д}+1/j_{сп}+1/4(1/j_{п.б.}+1/j_{з.б.})]. \qquad (3.1)$$

Можна припустити із певним наближенням, що жорсткості в радіальному напрямку передньої і задньої бабок рівні $j_{п.б.}\approx j_{з.б.}=j_{б}$ а жорсткості супорта верстату і окремих супортів із різцями складає $j_{сп}/j_{сп2}=1{,}25$. Тоді можемо прийти до залежності:

$$\gamma\approx 1.6+j_{сп2}/j_{д}(2+j_{д}/j_{б}). \qquad (3.2)$$

3.7. Графічне дослідження макропохибок оброблення при роботі за методом двостороннього поділу подачі

Отримана залежність (3.2) може служити основою для порівняльної оцінки.

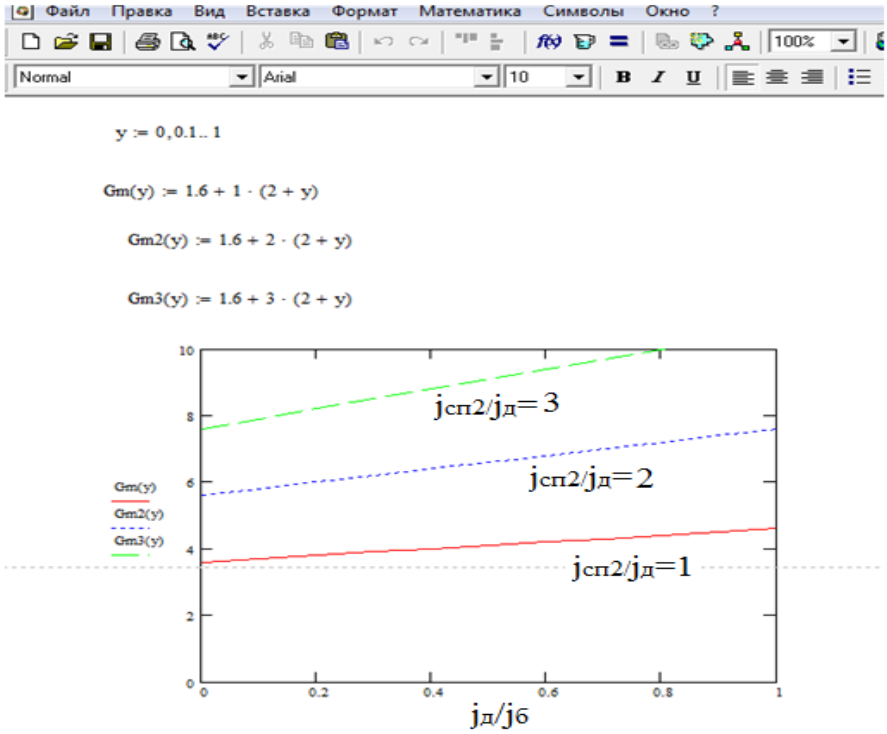


Рис. 3.10. Поведінка коефіцієнту γ в залежності від співвідношення $j_д/j_б$

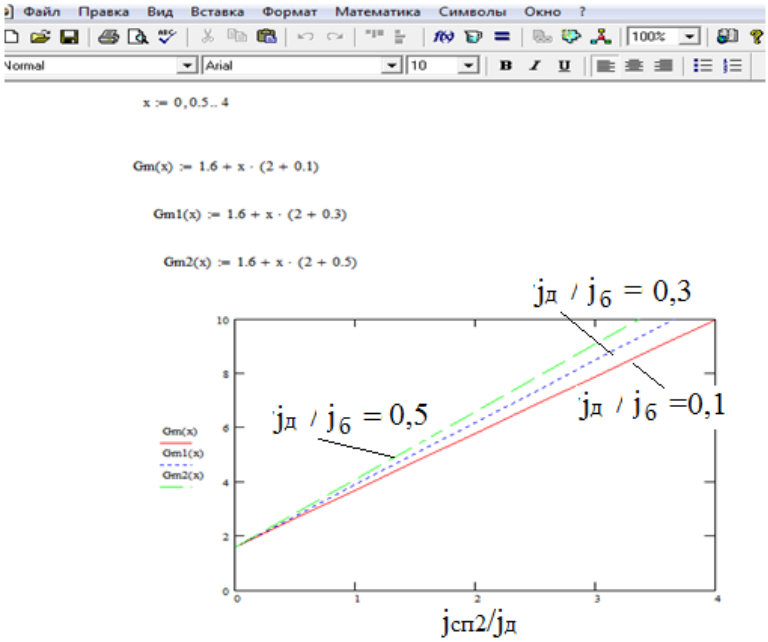


Рис. 3.11. Поведінка коефіцієнту γ в залежності від співвідношення $j_{сп2}/j_д$

Для цього в середовищі MathCad, [31], ми побудували комп'ютерну програму, що показує поведінку коефіцієнта зменшення похибок. Тексти програми наведено нижче (рис. 3.10,3.11).

Компютерні обчислення д озволяли візуалізувати графіків (рис.3.10, 3.11)), які представляють зменшення макропохибок за допомогою коефіцієнту γ . Графіки побудовані в залежності від відношень радіальних жорсткостей j_{cn2} і $j_б$ і радіальної жорсткості $j_д$ оброблюваної заготовки. Така картина показує значнй ефективність застосування двосторонньої обробки із регулюванням подачею з метою зниження похибок точіння. З графіку видно, що доцільнішим є оброблення із застосування зв'язку між різцями для випадків деталей малого діаметру при їх значній довжині. Необхідним є також також підвищення значень жорсткості супортних кареток у поперечному напрямку, що впливатиме суттєво на показники точності точіння.

3.8. Модель похибок двостороннього токарного оброблення при поділі глибини різання регулюванням подачею

Розглянемо також описаний вище метод обробки поділом глибини різання. В такому випадку різці розміщують двосторонньо по обидві боки заготовки. При цьому обробляють, проте, різні ступені деталі. А різці - зміщені один стосовно іншого на певну величину а, яка більша величини подачі (рис. 3.12). Побудуємо відповідну модель формування макропохибок.

Для визначення осьових складових сил різання на окремих різцях 1 і 2 скористаємось відомими формулами. Так сила щодо різця 1 має вигляд

$$P_{x1} = C_{Px}\left(t_1\right)^{x_{PX}}\left(s_1\right)^{y_{PX}}\left(v_1\right)^{n_x} K_x.$$

А осьова складова на різці 2 –

$$P_{x2} = C_{Px}(t_2)^{x_{PX}}(s_2)^{y_{PX}}(v_2)^{n_x}K_x.$$

Наявність вирівнювального важеля сприяє рівності нулю моменту сил:

$$P_{x1}l_1 = P_{x2}l_2.$$

Тоді матимемо (подачі на різцях однакові)

$$(t_1)^{x_{PX}}(\frac{\pi D_1 n}{1000})^{n_x} l_1 = (t_2)^{x_{PX}}\left(\frac{\pi D_2 n}{1000}\right)^{n_x} l_2.$$

Таким чином, зважаючи, що при точінні сталей $x_{Px} = 1$,

$$t_1(D_1)^{n_x} l_1 = t_2(D_2)^{n_x} l_2.$$

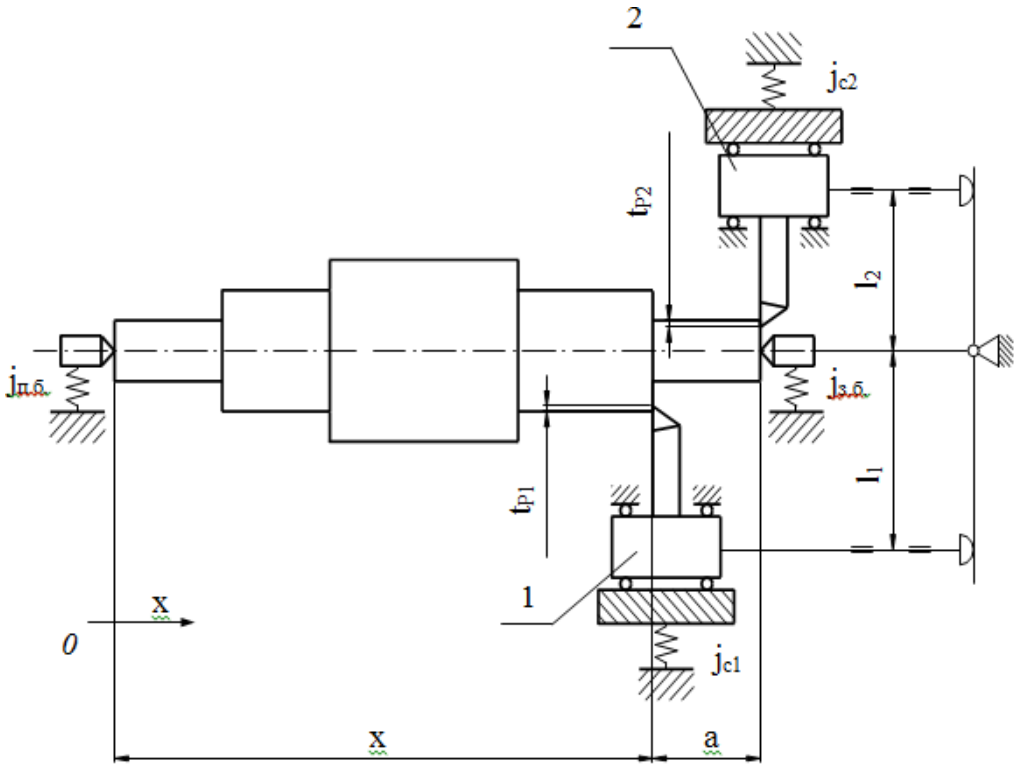


Рис. 3.12. Схема оброблення поділом глибини різання

Введемо позначення для співвідношення плеч важеля

$$\beta = \frac{l_1}{l_2} = \frac{t_1}{t_2}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^{n_x}.$$

Тепер звернемось до опису пружних деформацій.

Враховуючи пружні переміщення бабок і деталі в перерізі *x* від лівого кінця заготовки, матимемо вираз для пружної деформації всієї системи від дії різця 1:

$$y_1 = C_{Py}\left(t_1\right)^{x_{Py}}\left(s_1\right)^{y_{Py}}\left(v_1\right)^{n_y} K_y\left[\left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{п.б.}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{з.б.}} + \frac{x^2(L-x)^2}{3EIL}\right], \quad (3.3)$$

де *L* - довжина заготовки. Тут і далі вважаємо, що момент інерції не змінюється.

Під дією різця 2 відповідно пружна деформація складатиме

$$y_2 = -C_{Py}\cdot t_2^{X_{Py}}\cdot s_2^{Y_{Py}}\cdot v_2^{n_y}\cdot K_Y\left[\frac{L-x}{L}\cdot\frac{L-x-a}{L}\cdot\frac{1}{j_{п.б.}} + \frac{(x+a)x}{L^2}\cdot\frac{1}{j_{з.б.}} + \right.$$
$$\left. + \frac{x(L-x-a)}{3EIl}L\left(Lx - x^2 - \frac{a^2}{2} - ax + al\right)L\right] \quad (3.4)$$

Загальна деформація *y* пружної системи є арифметичною сумою деформацій y_1 і y_2.

Як вже було сказано в статиці $s_1 = s_2$. Врахуємо також, що наближено можна твердити, що $X_{Py} = 1$. Також наближено рівні $n_x = n_y$, $K_x = K_Y$.

Тоді переходячи до сумарної сили P_y, що діє в радіальному напрямку, маємо

$$y = P_y \left\{ \left[\left(\frac{L-x}{L} \right)^2 \frac{1}{j_{п.б.}} + \frac{x^2}{L^2} \frac{1}{j_{з.б.}} + \frac{x^2 (l-x)^2}{3EJL} \right] - \beta \left[\frac{L-x}{L} \cdot \frac{L-x-a}{L} \frac{1}{j_{п.б.}} + \frac{(x+a)x}{L^2} \frac{1}{j_{з.б.}} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \frac{x(L-x-a)}{3EJL} \left(Lx - x^2 - \frac{a^2}{2} - ax + aL \right) \right\} \right] \quad (3.5)$$

При спрацюванні системи ця деформація прагне до нуля.

В цьому випадку макропохибки обробки, що виникають, не будуть залежати від жорсткості заготовки і бабок. Вони натомість визначатимуться деформації від різця 1 – жорсткістю j_{c1}, а для деформації від різця 2 - жорсткістю j_{c2}.

Отже, на основі виразу (3.5), вважаючи, що *y=0*, отримуємо залежність коефіцієнту β, від характеристик, що визначають жорсткість системи з врахуванням місця різання різців:

$$\beta = \frac{\left(\frac{L-x}{L} \right)^2 \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{x^2}{L^2} \frac{1}{j_{з.б}} + \frac{x^2 (L-x)^2}{3EIL}}{\frac{L-x}{L} \cdot \frac{L-x-a}{L} \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{(x+a)x}{L^2} \frac{1}{j_{з.б}} + \frac{(L-x-a)x}{3EIL} \left(Lx - x^2 - \frac{a^2}{2} - ax + La \right)} \quad (3.6)$$

Значення коефіцієнту β при різанні, коли різець 1 здійснює оброблення посередні деталі (x= L/2) відповідно є:

$$\beta = \frac{\frac{1}{4} \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{1}{4} \frac{1}{j_{з.б}} + \frac{L^3}{48EI}}{\frac{1}{4} \frac{L-2a}{L} \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{1}{4} \frac{L+2a}{L} \frac{1}{j_{з.б}} + \frac{(L-2a)L^2}{48EI} \left(1 - \frac{2a^2}{L^2} + \frac{2a}{L}\right)} \quad (3.7)$$

Введемо доцільне припущення $j_{пб} \approx j_{зб} \approx j_б$.

Врахуємо, що формула

$$j_{заг} = 48EI/L^3$$

описує жорсткість заготовки.

Тоді:

$$\beta = \frac{1 + 2(\frac{j_б}{j_{заг}})}{1 + 2(\frac{j_б}{j_{заг}})(1 - \frac{2a}{L})(1 - \frac{2a^2}{L^2} + \frac{2a}{L})} \quad (3.8)$$

Наприклад, будемо вважати, що різці 1 і 2 зміщені один від одного на якомога меншу величину а, наприклад, L/8.

Тоді матимемо значення коефіцієнту для налагодження:

$$\beta = \frac{1 + 2(j_б / j_{заг})}{1 + 1{,}828(j_б / j_{заг})} \quad (3.9)$$

Побудуємо графіки залежностей показані на рис. 3.13. Будемо мати на увазі для співвідношень жорсткостей такі значення $\frac{j_б}{j_{заг}}$ = 0; 0,5; 1; 2; 10.

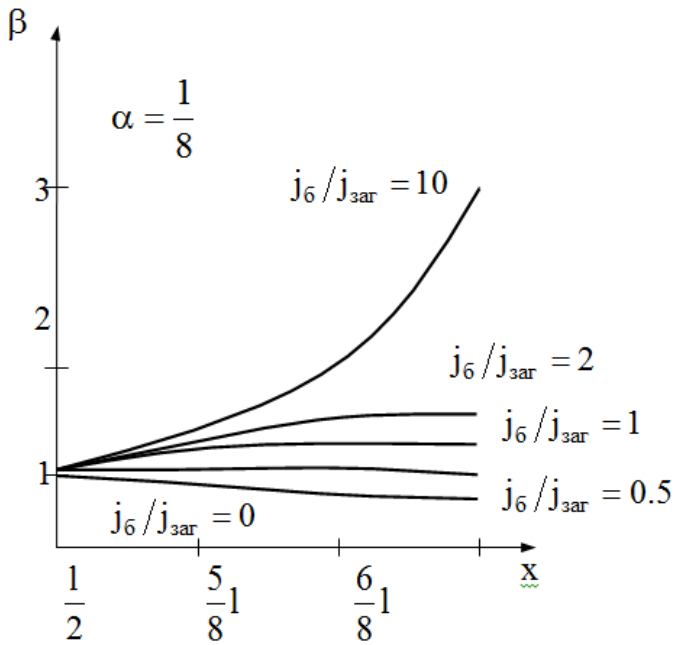


Рис. 3.13. Залежності коефіцієнту налагодження при обробленні за поділом глибини регулюванням подачею

Аналіз графічних залежностей показує, що таке різання найбільш доцільне для більш жорстких деталей.

При обробці нежорстких заготовок обробку слід проводити на сусідніх ступенях, що ближчі до середини деталі. Інакше позитивний ефект від застосування регулюванням подачею зменшується.

Може застосовуватись також комбінована обробка.

Доцільним є метод поділу об’єму зрізу при регулюванні подачею.

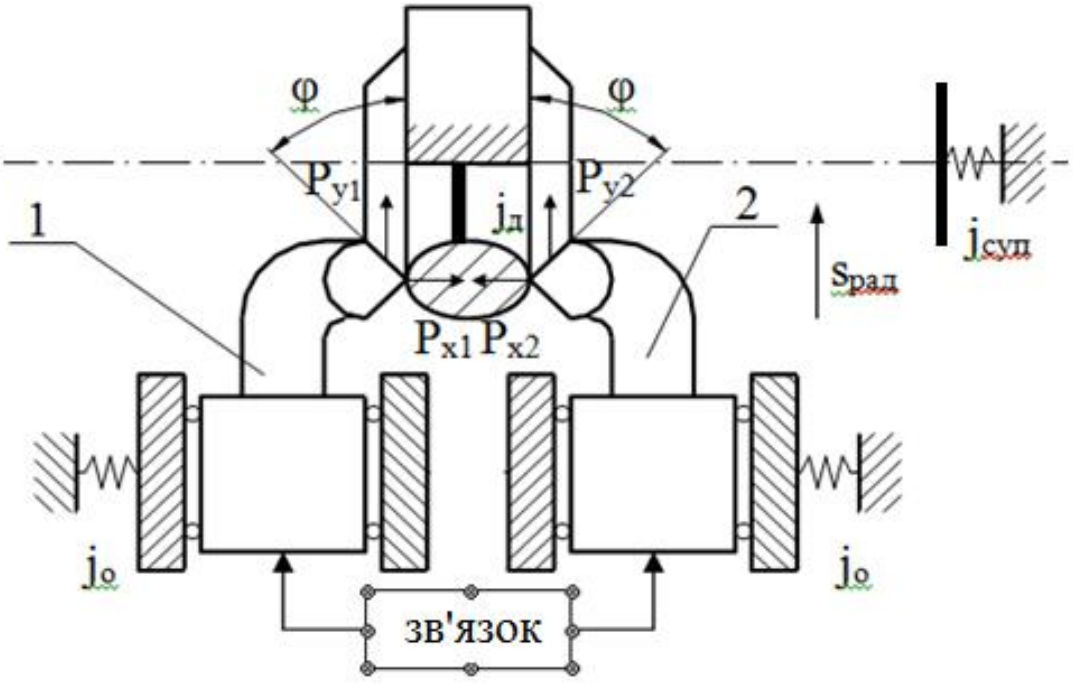


Рис. 3.14. Схема оброблення торців поділом об’єму зрізуваного шару

При такій комбінованій обробці використовують двосупортний пристрій (рис. 3.14). Різці 1 і 2, які забезпечують оброблення торців тонкостінних деталей (наприклад типу дисків), розміщують по обидві сторони диску. Глибина різання різців – однакова.

Формування похибок оброблення бачиться таким чином.

В процесі двостороннього точіння із радіальною подачею $s_{рад}$ складові сил P_{y1} і P_{y2} від різців 1 і 2 є рівниви між собою завдяки зв'язку між інструментами. Тому з врахуванням однакової геометрії різців протилежно спрямовані сили $P_{x1} = P_{x2}$. Отже, суттєво зменшується пружна деформація диску, який обробляється. При цьому можна забезпечити паралельність торцевих площин між собою, а також забезпечити і їх перпендикулярність до осі обертання.

При цьому похибка такого комбінованого двостороннього точіння залежить лише від похибки, що спричинена деформацією супортів з різцями внаслідок дії сил $P_{x1} = P_{x2} = P_x$:

$$y_к = \frac{P_x}{j_{oII}},$$

де j_{oII} - зведена жорсткість різця, різцетримача і каретки при двосторонньому обробленні.

Зважаємо на те, що пружні деформації диска, який ми підрізаємо, при застосуванні одного різця запишемо як

$$y_д = P_x\left(\frac{1}{j_д} + \frac{1}{j_{oI}} + \frac{1}{j_{суп}}\right),$$

де $j_д$ - жорсткість згину диска в місці різання; $j_{суп}$ - зведена осьова жорсткість супорта; j_{oI} - зведена жорсткість різця і його спорядження. (Ці дані стосуються однорізцевої обробки). Інакше можна записати:

$$y_д = P_x\left(\frac{j_д + j_{вп}}{j_д \cdot j_{вп}}\right),$$

де

$j_{вп} = \frac{j_{оI} \cdot j_{суп}}{j_{оI} + j_{суп}}$ - зведена осьова жорсткість системи при односторонній обробці диску.

Таким чином визначимо відносний коефіцієнт збільшення точності оброблення дисків за допомогою двостороннього різання у порівнянні із традиційною обробкою:

$$\gamma = j_{оII}\left(\frac{j_д + j_{вп}}{j_д \cdot j_{вп}}\right). \quad (3.10)$$

Висновки до розділу 3

1. Приділена увага створенню методики проведення наукових досліджень.
2. Показані порівняльні характеристики стратегій компенсацій похибок оброблення та сформульована методика дослідження похибок
3. Показані методи компенсації похибок при двосторонньому точінні
4. Показані принципи регулювання процесів двостороннього точіння з використанням поділу подачі
5. Проведене конструювання установок двостороннього точіння
6. Побудована математична модель
7. На основі комп'ютерної обробки проведений графічний аналіз формування похибок двостороннього точіння із регулюванням подачі
8. Описані моделі формування похибок і визначені принципи налагодження системи при обробленні за поділом глибини регулюванням подачею двостороннього точіння
9. Окремі результати опубліковані як тези студентської науково-технічної конференції (текст наведений в додатку).

4. Охорона праці і безпека життєдіяльності

4.1. Охорона праці при роботі на токарному верстаті

При роботі на металообробних верстатах загалом і на токарних зокрема слід приділити достатньо уваги безпеці, оскільки потужності верстатів і як наслідок зусилля і крутні моменти, які виникають, як на шпинделях, так і на інструментах і на деталях, які обробляються, а також температури при різанні металів дуже великі у порівнянні з тими, які без шкоди здатне витримати людське тіло.

Проаналізуємо основні небезпечні і шкідливі виробничі фактори при роботі на токарних верстатах.

Сюди можна віднести: рухомі деталі верстатів, стружку та її частини, які можуть відколотися від оброблюваної деталі, а в деяких випадках і саму деталь, яку може вирвати з патрону. Також небезпеку можуть представляти і власне інструменти, бо внаслідок зношення або неправильного використання вони можуть руйнуватися або вириватися з тримачів. Також щкідливою для шкіри, очей та дихальних шляхів є дія випарів і також прямого потрапляння на шкіру рідин і матеріалів, які використовуються для охолодження і змащення як механізмів самих верстатів, так і оброблюваних деталей. Практично те саме можна сказати і про підвищений рівень запиленості. Також важливим є фактор підвищеного шуму, який чинять і самі верстати, і процеси обробки деталей.

Особливу небезпеку травмування представляє стружка. Зливна стружка, яка утворюється при точінні в’язких матеріалів, може призвести до порізу рук і ніг токарів і прибиральників стружки. Для того, щоб убезпечити працюючих від травмування зливною стружкою, застосовують різні пристрої для її завивання і дроблення. Зливну стружку можна також відводити в стружкозбірники без зміни форми. При цьому необхідно періодично за допомогою гаків підправляти стружку. Стружкозбірники звільняються вручну або шнековими транспортерами. В якості засобів захисту від стружки застосовують огородження зони різання захисними

екранами, системи видалення стружки і пилу від ріжучих інструментів, використовують захисні окуляри і щитки.

Пил, що утворюється при обробці різанням, може викликати захворювання дихальних шляхів, очей і шкіри, а також забруднює приміщення, сприяє зносу обладнання. Особливо багато пилу утворюється при обробці крихких матеріалів. Токарні верстати повинні мати витяжки забрудненого повітря із зони різання, а також оснащуватися приєднуваними до верстатів індивідуальними пристроями з пилостружкоприймачами.

При обробці магнієвих сплавів стружка і пил можуть спалахнути. Тому у разі застосування пневматичних систем видалення пилу і стружки слід виключити можливість утворення іскор і статичних зарядів. Електрообладнання таких пневматичних систем повинно мати вибухозахисне виконання.

Важливою умовою безпеки при роботі твердосплавним інструментом є дотримання встановлених режимів різання, оскільки твердосплавні пластини можуть руйнуватися і наносити травми. Важливим є вимикання верстата в правильному порядку: спочатку відключають подачу, а потім — обертання шпинделя.

У разі необережного повороту різцевої головки можливі порізи гострими кромками різців. Тому ці рухи вимагають особливої уваги робітника. При нарізанні різьби різцем в упор є небезпека врізання інструменту в шпиндель. Для забезпечення безпеки праці в цьому випадку застосовують пристосування для автоматичного відведення різця. Травмування працівників може бути також викликане виступаючими деталями кулачкових і повідкових патронів, хомутиками та ін.

Найчастіше для закріплення на токарних верстатах застосовують кулачкові патрони. Небезпечно знімати задирки напилком поблизу патрона. Захисне огородження патрона повинно бути зблоковане з обертанням шпинделя: поки огородження відкрите, верстат не вмикається.

При закріпленні заготовок в кулачковому патроні причиною травм може стати забутий в патроні ключ. Для усунення цієї небезпеки використовують ключ, принцип дії якого полягає в тому, що при натисканні на нього вставка ключа входить в гніздо патрона, при знятті зусилля пружина виштовхує ключ.

Для кріплення заготовки у випадку, якщо деталь довга і тонка, служить втулка-люнет, через яку проходить пруток. Втулка-люнет (рухливий) кріпиться у різцетримачі і рухається разом з ним. Різець закріплений перед втулкою-люнетом. Умови різання виключають прогин, деформацію деталі.

Обов'язковою умовою безпечної роботи на токарних верстатах в центрах є добрий стан центрів і центрових отворів, а також відповідність застосовуваних центрів умовам роботи. Центрові отвори повинні бути змащені. При роботі на високих швидкостях необхідно користуватися тільки обертальними центрами. При цьому задня бабка повинна бути надійно закріплена. У разі обробки в центрах тонких важких деталей для того, щоб їх надійно закріпити, а також щоб отримати високу точність при обробці, використовують нерухомі люнети. Задній центр не повинен бути туго затягнутий, слід стежити за тим, щоб не з'являлися сильні вібрації.

При роботі на токарних пруткових верстатах-автоматах довгі прутки захищають трубами. Прутки при швидкому обертанні створюють шум. З метою його усунення труби виконують шумоізольованими.

Обертові ходові гвинти і валики токарних верстатів можуть захопити одяг робітника, що призведе до травми. Їх необхідно огороджувати кожухами. Слід також суворо дотримуватися правил носіння спецодягу.

При роботі на токарно-карусельних верстатах їх планшайби обов'язково повинні мати огородження. У планшайбах також необхідно передбачити обмежувачі, що не допускають можливості вильоту затискних пристроїв. Пристрої, що затискають оброблювану деталь, повинні мати жорсткі упори і утримуватися додатково силою тертя.

У токарних верстатах передбачений нульовий захист, який унеможливлює самовмикання верстата в тому випадку, коли електроенергія після раптового зникнення знову з’являється.

Зазначимо окремі вимоги безпеки до металообробних верстатів.

Захисні пристрої, огороджувальні зону обробки, повинні захищати працюючого від стружки і змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР). Конструкція захисних пристроїв не повинна обмежувати технологічних можливостей верстата і викликати незручності при роботі, прибиранні, налагодженні, а при відкриванні — не забруднювати підлогу змащувально-охолоджувальною рідиною. У всіх випадках кріплення захисних пристроїв повинно бути надійним і не допускати самовідкривання.

Поверхні захисних кожухів, як і самих верстатів, органів управління, верстатних приладдя і пристосувань, не повинні мати гострих країв і задирок, які можуть травмувати працюючого.

На верстатах або автоматичних лініях для установки заготовок масою більше 8 кг, а також інструментів та пристосувань масою більше 20 кг встановлюють підйомні пристрої індивідуального типу. Для установки заготовок масою більше 250 кг належить використовувати внутріцехові підйомні засоби.

До окремих верстатів стандартом обумовлені додаткові вимоги безпеки. Для токарних верстатів товщина матеріалу захисного пристрою збільшується не менш ніж у два рази при обробці заготовки зі швидкістю різання більш 5 м/с. Оглядові вікна в захисних пристроях (екранах) повинні виготовлятися з прозорого спеціального матеріалу в кілька шарів загальною товщиною не менше 10 мм.

Пруткові токарні автомати і пруткові револьверні верстати слід по всій довжині прутків оснащати огородженнями, що мають шумопоглинаючі пристрої.

4.2. Безпека життєдіяльності на виробництві

У вигляді різноманітних факторів небезпека може бути присутньою завжди. Особливо це актуально для різних виробництв, і не завжди небезпеки повязані безпосередньо з роботою на якихось верстатах чи машинах, а часто і саме перебування в зоні виробництва може наносити тої чи іншої шкоди.

На багатьох заводах і фабриках виробництво безпосередньо пов'язане із постійним впливом на працівників несприятливих умов. Шкідливі та небезпечні фактори нерозривно пов'язані між собою. Небезпечні фактори в результаті в результаті свого тривалого або короткочасного впливу на людину призводять до погіршення стану його здоров'я або до травми. На виробництвах з такими умовами праці різні нещасні випадки відбуваються досить часто.

Шкідливі фактори, діючи на працівника, знижують його працездатність або можуть призводити до різних захворювань. Такі захворювання часто ще називають професійними хворобами.

За деяких умов шкідливі виробничі фактори можуть стати небезпечними. Зокрема, підвищена вологість відноситься до несприятливих умов праці. Вона може викликати різні захворювання дихальної системи людини. Якщо в таких умовах доводиться працювати з електричним струмом, то це стає вже занадто небезпечним, а не просто шкідливим.

Проведемо класифікацію шкідливих факторів на виробництві.

Всі фактори на будь-якому підприємстві можуть мати різне походження.

Часто можна стикатись із несприятливими умовами праці, які виникають з вини керівництва. Це питання потребує особливої уваги з боку перевіряючих органів.

Проте велика (більш значна) частина небезпечних факторів має природне походження. Тоді людині просто необхідно вжити всі заходи, щоб їх вплив був мінімальним.

Всі шкідливі виробничі фактори поділяють на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні (до них можна віднести важкі та напружені умови праці). Немає чіткої межі між шкідливими і небезпечними факторами. Ця межа є завжди умовною і будь-якого моменту може бути порушеною.

Проаналізуємо зазначені фактори.

На виробництві завжди є технологічні процеси та обладнання, які є джерелом хімічних небезпек. До цих джерел можна віднести: очищення деталей хімічними засобами; фарбування; зварювальні роботи; нанесення антикорозійних покриттів; обробка металів. При здійсненні всіх цих процесів виділення шкідливих речовин є неминучим. Проте посилене їх утворення пов'язане із недотриманням встановлених технологій або невмілим використанням.

Є багато фізичних факторів, яких неможливо уникнути. Серед них особливе місце займають температура, висока вологість, електромагнітні поля, лазерне та ультразвукове випромінювання, вібрації, сильний шум, неправильне освітлення (занадто сильне чи недостатньо інтенсивне), вплив пилу, аерозолів, працюючі частини обладнання. Кожен фактор окремо ніби і не становить особливої небезпеки для здоров'я людини при короткочасному впливі. Але часто працівник перебуває тривалий час у їх оточенні, та ще й при одночасній дії декількох факторів. Тому їх вплив стає цілком відчутним.

Особливо слід зазначити роль шуму і його впливу на людину. На підприємствах, де в цехах знаходяться верстати та інше обладнання, стоїть сильний шум. Техніка, що працює, видає гучні звуки, які можуть змінювати свою інтенсивність. Якщо людина змушена регулярно зазнавати такого впливу, то це негативно позначається на здоров'ї. Від сильного шуму починає боліти голова, підвищується тиск, знижується гострота слуху. Зрештою, в таких умовах знижується працездатність, з'являється втома, знижується увага, що може призвести до нещасного випадку. Для зменшення дії шуму на організм використовують різні глушники шуму, індивідуальні захисти від шуму, виконують шумо ізоляцію дуже шумних місць з

допомогою захисних кожухів, обладнання кабінок і оброблення приміщень звукопоглинальними матеріалами.

Вібрація теж входить до переліку шкідливих виробничих факторів. Вона може бути: за способом передачі – загальна і локальна; за напрямком – вертикальна і горизонтальна; за часом дії – тимчасова і постійна. В результаті постійного впливу вібрації починає страждати не тільки нервова система, а й опорно-рухова. Робітники, які змушені працювати в таких умовах часто скаржаться на головний біль, запаморочення, заколисування. Інші супутні чинники, такі як вологість, висока температура, шум тільки посилюють шкідливий вплив вібрації. Для захисту від цього фактору можна запропонувати заміну обладнання на більш технологічне, використання м'яких покриттів на вібруючих частинах, встановлення обладнання на відповідні фундаменти.

Слід зазначити ще фактори трудового процесу. Так, до психофізіологічних факторів можна віднести тягар умов праці і його напруженість. Зокрема, що умов мається на увазі: велике навантаження на опорну-рухову, серцево-судинну, дихальну системи; величина статичного навантаження; кількість однакових рухів; поза робітника під час виконання процесу. Під напруженістю роботи мається на увазі навантаження на нервову систему, органи відчуттів. Це може бути тривала розумова праця, монотонність виконуваних процесів, емоційні перевантаження.

З метою створення сприятливих умов праці для працівників підприємство намагається забезпечити комфортну обстановку. Це стосується, насамперед чистоти повітря у виробничих приміщеннях, сприяння відсутності пилу, а також забезпечення інших санітарно-гігієнічних норм.

Незважаючи на всі заходи, які спрямовані на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, неможливо досягти ідеальних умов праці. Це не дозволяють

зробити особливості технологічних процесів, продукція та сама сировина для виготовлення. Тому для керівників захист від шкідливих виробничих факторів – першочергове завдання. При цьому необхідно керуватись такими пріоритетами:

- усунути небезпечний фактор або знизити ризик його впливу;
- використовувати безпечні методи роботи;
- здійснювати боротьбу з небезпечним фактором і його джерелом;
- ефективно використовувати засоби індивідуального захисту.

Часто буває так, що всі вжиті заходи не можуть забезпечити повністю безпечні умови праці. В цих випадках різко зростає роль використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Серед ЗІЗ можна виділити категорії, які найбільш поширені у використанні:

- від вібрації: рукавиці, надолонники, рукавички, використання додаткових перерв;
- від шуму: навушники (проте вони можуть знижувати здатність людини орієнтуватись в просторі, провокувати головні болі через здавлювання);
- від газів: респіратори і протигази (але тривалий час роботи у них пов'язаний із складнощами і незручностями, тому слід застосовувати альтернативні засоби).

Отже, попри те, що ЗІЗ з одного боку зменшують вплив шкідливих факторів, вони можуть чинити іншу небезпеку для здоров’я працівника.

На підприємствах створюють також загальні умови для безпеки життєдіяльності.

До них відносять інструктажі з безпеки, які проводяться в обов’язковому порядку. Дата їх проведення і зміст фіксуються у

спеціальному журналі за підписом всіх осіб, що інструктуються, і тих осіб, які проводили цей інструктаж.

Всього можуть бути кілька різновидів такої роботи:

- Вступний інструктаж. Його проводять в обов'язковому порядку з прийнятими на роботу особами. При цьому не мають значення ні вік, ні стаж, ні посада.
- Первинний інструктаж. Здійснюється вже на робочому місці. Проводить його зазвичай майстер або керівник даного відділу або цеху.
- Повторний інструктаж. Проводиться для всіх без винятку працівників через кожні півроку.
- Позаплановий інструктаж. Проводять якщо: змінились правила; змінився технологічний процес; придбали нове обладнання; після тривалих перерв у роботі.

Ці заходи спрямовані на те, щоб шкідливі виробничі фактори не чинили свого небезпечного впливу на людину.

Загальні висновки

1. В роботі проведені нові дослідження в області двостороннього точіння різцями з можливістю компенсації похибок оброблення шляхом регулювання подач різальних елементів.
2. Аналітичний огляд доступних літературних джерел дозволив розробити стосовно токарного оброблення кваліфікаційну структура похибок, що виникають. В цьому аспекті проаналізовані саме ті похибки, які створюються дією зусиль різання під час токарного оброблення. Визначено, що двостороннє точіння можна розглядати як важливий засіб забезпечення компенсації похибок.
3. Проведена кваліфікація схем двостороннього точіння і показані переваги цього методу токарного оброблення. Розроблені принципові способи регулювання ходу двостороннього точіння при застосуванні методу поділу подачі. Подані порівняльні характеристики стосовно визначених стратегій компенсацій похибок оброблення. Це дало підстави сформулювати методику дослідження.
4. З допомогою розробленої технології оброблення деталі-представника «стакан» в першу чергу стосовно токарної частини процесу запропоновані схеми формоутворення і побудовано структурно-кінематичну схему верстату.
5. Представлено можливу компоновку токарного верстату і його загальний вигляд і для нього проведений кінематичний розрахунок і сформована загальна кінематична схема.
6. На основі силових розрахунків і використання програми розрахунку оптимальної між опорної відстані шпиндельного вузла розроблений кінцевий варіант шпиндельної бабки.

7. Розроблена методика проведення досліджень наукового плану. Показані конструктивні виконання токарних пристроїв двостороннього точіння, які допускають регулювання функціонування методом поділу подачі.
8. Досліджено на основі створеної математичної моделі формування похибок точіння при роботі двосторонньої системи із застосуванням регульованого поділу подачі. Таке ж дослідження проведене для випадку двостороннього різання за поділом глибини різання при умові регулювання подачею і визначені умови налагодження такої системи на оброблення. Проведений аналіз отриманих графічних залежностей.
9. Подані можливі рекомендації щодо охорони праці та окремих засобів щодо безпеки життєдіяльності.

Перелік посилань

1. Кузнецов, Ю.М. Теорія технічних систем /Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310с.
2. Егоров, М.Е. Технология машиностроения /М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 535с.
3. Кузнєцов Ю.М. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах/ Ю.М. Кузнєцов, І.В. Луців, О.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] - К.:- Тернопіль: Терногpаф, 2011. -692с.
4. Нагорняк, С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего обобрудования: Справочник / С.Г.Нагорняк, И.В. Луцив–Тэхника, 1992. -72с.
5. Балакшин, Б.С. Основы технологи машиностроения /Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 561с.
6. Маталин, А.А. Технология машиностроения /А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496с.
7. Пуш, В.Э. Конструирование металлорежущих станков /В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 561с.
8. Металлорежущие станки: Учебник /В.Э.Пуш и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 575с.
9. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. Д.Н.Решетова. В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1970.
10. Соколовский А.П. Жесткость в технологи машиностроения. – М.: Машгизб 1952. – 288с.
11. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 408с.
12. Луців І.В. Оцінка впливу похибок комплексного самоналагоджувального оснащення на точність оброблюваних циліндричних

поверхонь / Луців І.В., Волошин В.Н., Буховець В.М. // ВісникНУ «Львівськаполітехніка». Зб. наук. праць. – 2016. – № 839. С. 80–85.

13. Кузнецов Ю.М. Зажимные механизмы и технологическая оснастка для высокоэффективной токарной обработки/ Ю.Н. Кузнєцов, О.И. Драчев, И.В. Луцив, А.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] – Старый Оскол: ТНТ, 2014. - 480с.

14. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення підвищення якості згортних втулок/ П.Д. Кривий, А.А. Сеник [Текст] - Тернопіль: ТНТУ, 2019.

15. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.

16. Основы технологии машиностроения / Под ред. В.С. Корсакова. - М.: Машиностроение, 1977. – 416с.

17. Попов В.И. Динамика станков /В.И. Попов, В.И. Локтев. – К.: Техніка, 1975. – 136с.

18. Кузнецов Ю.М. Динамика станочно-инструментальной оснастки для высокоэффективной токарной обработки/ Ю.Н. Кузнєцов, О.И. Драчев, И.В. Луцив, А.В. Шевченко, В.Н. Волошин [Текст] – Старый Оскол: ТНТ, 2015. - 432с.

19. Орликов, М.Л. Динамика станков /М.Л. Кудинов. – Киев: Вища школа, 1980. – 256с.

20. Кедров, С.С. Колебания металлорежущих станков /С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. – 199с.

21. Гуляев, А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1986. – 272с.

22. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения /А.Ф. Горбацевич. – Минск: Вышейшая школа, 1975. – 288с.

23. Паливода, Ю.Є. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник / Ю.Є.

Паливода, А.Є. Дячун, Р.Я. Лещук. - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. - 240 с.

24. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.

25. Маеров, А.Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлооброабатывающих станков и автоматических линий: Учебное пособие / А.Г.Маеров. М.: Машиностроение, 1986.

26. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. В 3-х частях. – М.: Машиностроение, 1974.

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

28. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 345с.

29. Дубиняк, С.А. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ: Учеб. пособие /С.А. Дубиняк, С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив, И.Д. Дубецкий. – К.: УМК ВО, 1989. -152с.

30. Ильницкий И.И. Колебания в металлорежущих станках и пути их устранения. – М.: Машгиз, 1958. -144с.

31. Шанайда, В.В. Пакет MathCADв інженерних розрахунках /В.В. Шанайда. –Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2001. – 163с.

32. Кузнєцов Ю.М., Скляров Р.А., Прогнозування розвитку технічних систем: навч. посібник / Ю.М. Кузнецов, Р.А. Скляров; під ред. Ю.М. Кузнєцова. – К.: ТОВ «ЗМОК» – ПП «ГНОЗІС», 2004. – 323 с.

33. Луців, І. Кінематичні особливості багатолезової адаптивної обробки / І.В. Луців //Вісник Тернопільського державного університету, 1997, т.3, №4 с.107-111.

34. Луців І.В. Багатолезове адаптивне оснащення: техніко-економічні показники/ І.В. Луців // Вісник ЖДТУ. - Житомир: ЖДТУ, 2001, 316, с. 52-59.

35. Ларочкін А. Керування пружними деформаціями технологічної системи / А. Ларочкін // Матеріали V міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 28-29 квітня 2022 року), 2022. - С.95-96.

36. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок / Б.Ю. Липкин - М.: Высшая школа, 1990. - 366 с.

37. Охорона праці : Навч. посіб. / Я.І. Бедрій, Є.О. Геврик, І.Я. Кіт та інші; ред. Є.О. Геврик; Укр. Держ. Лісотехн. Ун-т. – Львів, 2000. – 280с.