

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра технології машинобудування


ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

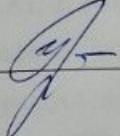
до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

на тему: Підвищення точності оброблення довгомірних деталей на токарному верстаті з ЧПК врахуванням жорсткості його вузлів

Виконав студент 2 курсу, гр. ПМТм-21-1  (Р.М. Миклуш)

Керівник магістерської роботи:  (С.А. Урбанок)

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри  (В.П. Ткачук)

22 березня 2022 р.

Хмельницький – 2022 р.

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування  
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ  
ДИПЛОМНУ РОБОТУ

магістру Миклушу Роману Миколайовичу

Тема затверджена наказом ректора

№ 83 від "1 липня" 2022 р.

Тема роботи: Підвищення точності оброблення довгомірних деталей на токарному верстаті з ЧПК врахуванням жорсткості його вузлів

Терміни подання окремих розділів пояснювальної записки:

Розділ 1 \_\_\_\_\_ 30.09.2022. Розділ 2 \_\_\_\_\_ 10.10.2022.

Розділ 3 \_\_\_\_\_ 10.11.2022. Розділ 4 \_\_\_\_\_ 10.12.2022.

Перелік графічних матеріалів: 1. Схеми способів корегування профілів деталі на токарних верстатах з ЧПК 1 аркуш ф.А1; 2. Розрахункові схеми - 1 аркуш ф.А1; 3. Алгоритм розрахунку корекції профілю деталі - 1 аркуш ф.А1; 4. Результати аналітичного дослідження зміни радіуса профілю деталі - 2 аркуші ф.А1; 5. Кінематична схема токарного верстата з ЧПК - 1 аркуш ф.А1; 6. Вузол корегування профілю деталі - 1 аркуш ф.А1; 7. Блок схема системи корекції - 1 аркуш ф.А1; 8. Кресленик деталі - 1 аркуш ф.А2; 9. Графотехнологія - 1 аркуш ф.А1; 10. Карта налагодження - 1 аркуш ф.А2.

Термін подання закінченої роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 15.12.2022.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ В.П. Ткачук

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Є.А. Урбанюк

Магістр \_\_\_\_\_ Р.М. Миклуш

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну дипломну роботу Миклуша Р.М.

Тема: Підвищення точності оброблення довгомірних деталей на токарному верстаті з ЧПК врахуванням жорсткості його вузлів

Тема дипломної роботи магістра та її зміст відповідають спеціальності 131 Прикладна механіка.

В загальному розділі роботи проаналізовано вплив характеристик елементів технологічної системи на точність розмірів і форми деталей, що обробляються на токарних верстатах, наведені характеристики жорсткості основних вузлів токарних верстатів і методики їх розрахунків. Описані також відомі способи підвищення точності оброблення на токарних верстатах.

В розділі моделювання формоутворення профілю деталі з урахуванням податливості елементів технологічної системи розроблена розрахункова схема та алгоритм визначення поточного радіуса деталі при токарному обробленні в центрах. Наведені результати аналітичних досліджень впливу геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи на величину відхилень від номінального профілю деталі та їх характер.

В конструкторському розділі запропонований варіант приводу поперечної подачі із можливістю врахування похибок, що виникають через податливість елементів системи ВПД, який вносить корекцію у керуючу програму верстата при різних параметрах оброблення та контролює профіль оброблюваної деталі.

В технологічному розділі розроблений технологічний процес виготовлення довгомірної деталі, у якому пропонується застосувати верстат з ЧПК для чистового зовнішнього обточування, у якому могла би бути використана розроблена в конструкторському розділі система врахування похибок, які виникають із за податливості вузлів токарного верстата і невисокої жорсткості самої деталі.

Наведені обґрунтування та розрахунки свідчать про достатній рівень підготовки магістранта із загальноосвітніх та спеціальних дисциплін. Графічна частина проекту виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розрахунково-пояснювальна записка оформлена з дотриманням основних вимог до текстових документів технічних проектів.


Зауваження:

1) В роботах з вирішення інженерних задач конструкторського характеру бажано використовувати сучасні пакети прикладних програм для розрахунків елементів запропонованої конструкції на міцність;

2) Доцільно було би комплект технологічної документації як додаток до технологічного розділу навести у більш повному обсязі.

Дипломна робота магістра виконана згідно завдання і загалом заслуговує оцінки «добре».

Рецензент д.т.н., проф. кафедри МАЕЕС ХНУ



Поліщук О.С.



Завідувачу кафедри  
технології машинобудування  
Віталію Павловичу Ткачуку  
здобувача вищої освіти студента  
Миклуша Романа Миколайовича,  
ФІТА, 2-й курс, гр. ПМТм-21-1

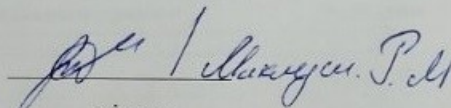
### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25.01.2023р.

  
підпис

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботимістить 87 сторінок з додатками, графічна частина складається із 10 аркушів формату А1.

Ключові слова: технологічна система, точність оброблення, жорсткість, податливість, токарний верстат з ЧПК, технологія оброблення, нежорсткі довгомірні деталі.

Для забезпечення необхідної точності виготовлення деталей на токарних верстатах за умови змінної жорсткості їх вузлів проведений аналіз чинників, що впливають на неї. З цією метою розроблена програма, яка моделює формоутворення профілю деталі підчас оброблення і на її основі розроблений механізм корекції, який забезпечує підвищення точності оброблення нежорстких заготовок на токарних верстатах з числовим програмним керуванням із врахуванням податливості вузлів верстата, заготовки та інструменту.

Для моделювання формоутворення профілю деталі при токарному обробленні в центрах з урахуванням податливості елементів технологічної системи розроблено розрахункову схему та алгоритм розрахунку визначення поточного радіуса деталі. З використанням математичної моделі досліджено вплив геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи на величину відхилень від номінального профілю деталі, визначено їх характер.

В конструкторському розділі дипломної роботи запропонована система корекції переміщень супорта токарного верстата з ЧПК з урахуванням різної податливості вузлів шпиндельної та задньої бабок, а також нежорсткості заготовки і податливості супорта з інструментом.

В технологічному розділі розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Стрижень», яка відноситься до класу валів з невисокою жорсткістю. В технологічному процесі умовно передбачено використання токарного верстата з ЧПК із запропонованою системою корекції профілю

деталі, що може привести до усунення необхідності застосування чорнового обточування заготовки.

Дана робота була представлена на Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту», яка проходила 18-19 жовтня 2022р. у м.Хмельницькому, ХНУ. Стаття за матеріалами досліджень «Підвищення точності оброблення довгомірних деталей на токарному верстаті з ЧПК врахуванням жорсткості його вузлів» опублікована в збірнику матеріалів конференції.

Автор рботи: Р.М. Миклуш

2022

р.

/Підпис/      Дата

## ЗМІСТ

с.	
Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Вплив характеристик технологічної системи на точність і продуктивність оброблення на токарних верстатах .....	8
1.2 Жорсткість основних вузлів верстатів та їх розрахунки .....	14
1.3 Огляд патентної інформації.....	28
1.3.1 Пристрій мікронної поперечної подачі для токарних верстатів.....	28
1.3.2 Спосіб підвищення точності оброблення на токарних верстатах.....	32
1.4 Мета та основні завдання дослідження.....	35
2 МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЮ ДЕТАЛІ З УРАХУВАННЯМ ПОДАТЛИВОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	37
2.1 Розроблення розрахункової схеми та алгоритму розрахунку значення поточного радіуса обточування при обробленні в центрах.....	39
2.2 Дослідження впливу геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи на величину відхилень від номінального профілю деталі та їх характер.....	44
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	49
3.1 Розроблення системи корекції переміщень супорта токарного верстата з ЧПК мод. 16K20Ф3С32 із врахуванням різної податливості шпиндельного вузла та задньої бабки .....	49
4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ .....	54

4.1 Вибір типу заготовки .....	55
4.2 Визначення припусків на оброблення по переходах і допусків на розміри заготовки .....	56
4.3 Вибір технологічних баз .....	57
4.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі .....	58
4.5 Детальне розроблення технологічних операцій механічного оброблення деталі "Стрижень" .....	59
4.6 Розрахунок і призначення припусків на механічне оброблення	63
4.6.1 Аналітичний розрахунок припусків на оброблення поверхні $\varnothing 30h7$ .....	63
4.6.2 Призначення міжопераційних розмірів припусків і допусків на всі інші розміри оброблюваних поверхонь .....	69
4.7 Призначення режимів різання .....	70
4.7.1 Вихідні дані для розрахунку режимів різання при підрізанні торців в розмір $l=595_{-1,6}$ .....	70
4.7.2 Аналітичний розрахунок режимів різання при чорновому підрізанні торців в розмір $l=595_{-1,6}$ .....	72
4.7.3 Призначення режимів різання на інші операції .....	74
4.8 Розрахунок норм часу при виконанні операцій .....	75
4.9 Розроблення керуючої програми для верстата 1В340Ф30 на операції 010 .....	81
Висновки.....	84
Список використаних джерел.....	86
Додатки	

## ВСТУП

Головним напрямом підйому технічного розвитку країни є перехід економіки на шлях інтенсивного зростання продуктивності праці, поліпшення точності і якості продукції. Основна передумова цього - широке впровадження нової високопродуктивної техніки і технології.

Основним напрямом розвитку машинобудування є автоматизація технологічних процесів. Одним з найбільш ефективних засобів автоматизації являється устаткування з програмним керуванням, що забезпечує автоматичний процес оброблення, скорочення часу налагодження обладнання, можливість багатOVERSTATного обслуговування, підвищення якості продукції, продуктивності праці і поліпшення культури виробництва.

Верстати з програмним управлінням широко застосовуються в одиничному, дрібносерійному і серійному виробництві практично у всіх галузях машинобудування. Збільшується кількість устаткування, оснащеного мікропроцесорами, верстатів з ЧПК, багатоцільових верстатів тощо.

Особлива увага в роботі приділена точності оброблення на токарних верстатах з ЧПК при змінній жорсткості вузлів що є основним напрямком автоматизації машинобудівного виробництва.

## 1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Вплив характеристик технологічної системи на точність і продуктивність оброблення на токарних верстатах

Технологічна система верстат-пристрій-інструмент-деталь (ВПД) являє собою пружну систему, деформації якої в процесі оброблення обумовлюють виникнення систематичних і випадкових похибок розмірів і геометричної форми оброблюваних заготовок. Разом з тим система ВПД є замкненою динамічною системою, здатною до виникнення та підтримки вібрацій, що викликають похибки форми оброблюваних поверхонь (некруглість, хвилястість) і підвищують їх шорсткість [1].

При обробленні на токарному верстаті гладкого вала в центрах (рисунок 1.1) у початковий момент, коли різець перебуває в правому кінці вала, вся нормальна складова  $P_y$  зусилля різання передається через заготовку на задній центр, піноль і задню бабку верстата, викликаючи зміщення названих елементів (заднього центра і пінолі, зміщення  $y_{з.б}$  корпусу задньої бабки) у напрямку «від робітника». Це призводить до збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки на величину  $u_{з.б}$  до відповідного зростання радіуса обробленої заготовки.

Одночасно із цим під дією  $P_y$  відбувається зміщення  $u_{інстр}$  різця та супорта в напрямку «на робітника», що, у свою чергу, спричиняє збільшення відстані від вершини різця до осі обертання заготовки, а отже, і радіуса оброблюваного виробу. Таким чином, у початковий момент діаметр обробленої поверхні фактично виявляється більше діаметра, встановленого при настроюванні, на величину  $\Delta = 2 \cdot (y_{з.б} + u_{інстр.})$ . При подальшому обточуванні і переміщенні різця від задньої бабки до переднього краю деталі

зміщення задньої бабки зменшується, але виникають зміщення передньої бабки  $y_{п.б.}$  оброблюваної заготовки  $y_{заг.}$ , які також збільшують фактичний діаметр деталі (рисунок 1.1). У перерізі  $A-A$  фактичний діаметр оброблюваної заготовки виявляється рівним

$$D_{фак}^{A-A} = D_{настр}^{A-A} + 2(y_{з.б.}^{A-A} + y_{п.б.}^{A-A} + y_{інстр}^{A-A} + y_{заг}^{A-A}). \quad (1.1)$$

В зв'язку з тим, що зміщення елементів верстата (окрім зміщення  $y_{інстр}$  супорта та інструмента) змінюються при переміщенні різця по довжині заготовки, її діаметр, а отже, і форма виявляється змінними. Похибки розмірів і форми заготовки в цьому випадку дорівнюють подвоєній сумі величини зміщень в технологічній системі. Зміщення  $y$  визначаються діючими в напрямку цих деформацій зусиллями і жорсткістю елементів технологічної системи.

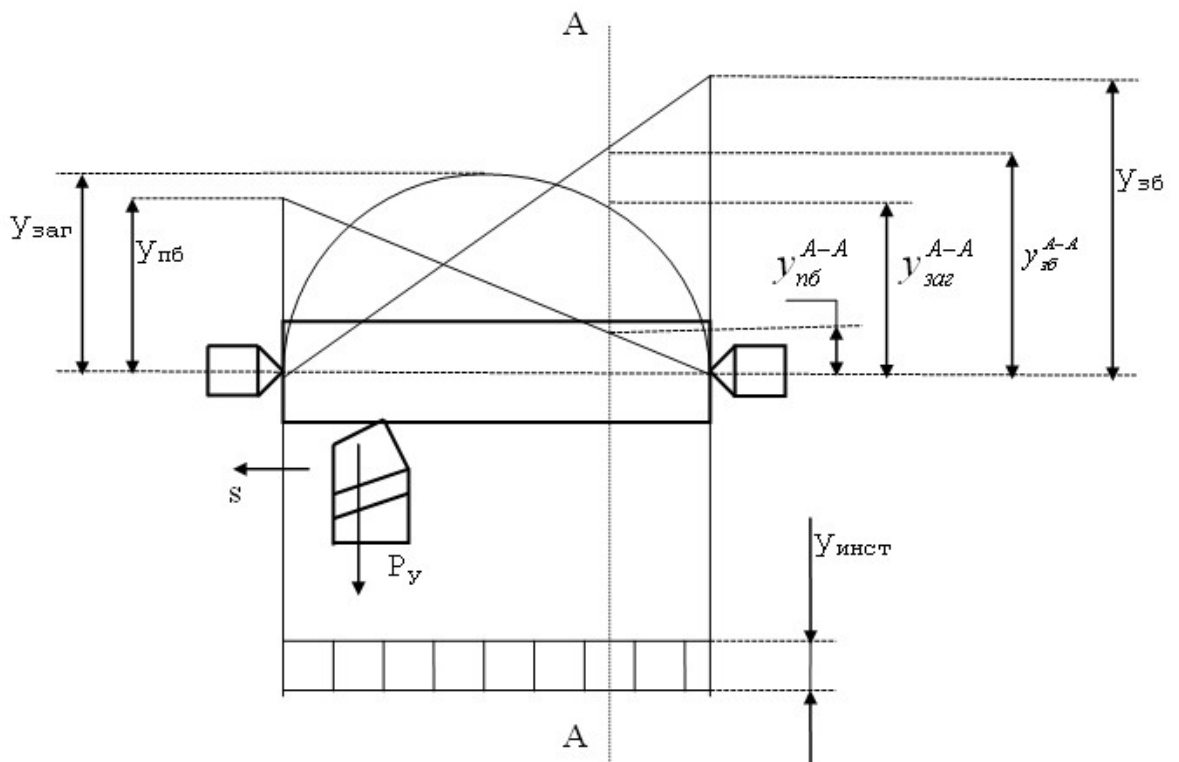


Рисунок 1.1 – Пружні деформації технологічної системи при токарному обробленні в центрах

Жорсткістю технологічної системи називають здатність цієї системи чинити опір дії деформуючим її силам. Якщо жорсткість елементів верстата дуже велика, а жорсткість оброблюваної заготовки мала (обточування довгого й тонкого вала на масивному верстаті), то деформації  $y_{н.б.}$  і  $y_{з.б.}$  малі, а  $y_{заг}$  значно мала (рисунок 1.2, а). У результаті цього форма заготовки стає бочкоподібною. Навпаки, при обробленні масивної заготовки, що дає мінімальний прогин, на верстаті малої жорсткості ( $y_{н.б.}$  і  $y_{з.б.}$  значні) форма заготовки виходить корсетоподібною з найменшим діаметром у середині заготовки (рисунок 1.2, б).

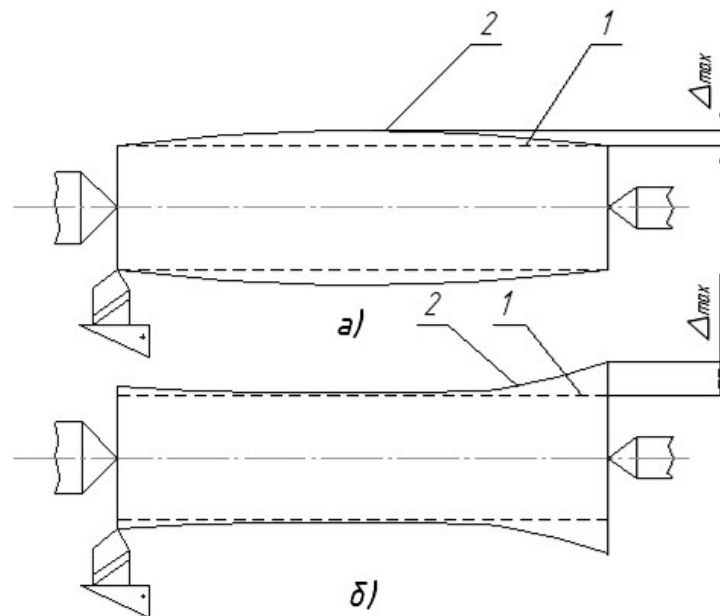


Рисунок 1.2 - Можливі варіанти відхилення від теоретичного профілю деталі: 1 – теоретичний профіль; 2 – дійсний профіль.

Для обчислення похибок оброблення, пов'язаних із зміщеннями елементів технологічної системи, жорсткість цієї системи має бути виражена кількісно. А. П. Соколовським запропоновано виражати коефіцієнт жорсткості  $j$  технологічної системи відношенням нормальної складової  $P_y$  сили різання до сумарного зсуву  $u$  улеза різального інструменту відносно

оброблюваної поверхні заготовки, вимірюваному по нормалі до цієї поверхні, тобто:

$$j = P_y / y. \quad (1.2)$$

Як видно із наведеного вище:

$$y = y_{cm} + y_{np} + y_{zag} + y_{instr}. \quad (1.3)$$

При визначенні жорсткості величина переміщення завжди вимірюється в напрямку перпендикулярному до оброблюваної поверхні і в розрахунок вводиться нормальна складова зусилля різання  $P_y$ , однак при цьому одночасно враховується вплив на  $y$  й інших складових сили різання ( $P_y$  і  $P_x$ ). Дослідження показали, що пружний зсув  $y$ , щорозраховується тільки в умовах дії  $P_y$ , завжди більший (а отже, чисельне значення жорсткості системи менше), ніж при визначенні його з врахуванням одночасної дії складових сили різання  $P_y$  і  $P_x$ . У зв'язку з цим при експериментальному дослідженні жорсткості технологічної системи її варто навантажувати системою сил, що близька до експлуатаційної.

Жорсткість системи можна також визначити як:

$$j = \Delta P_y / \Delta y, \quad (1.4)$$

де збільшення нормальної сили  $\Delta P_y$  і сумарного зсуву  $\Delta y$  виражаються в тих же одиницях, що й у формулі (1.3).

При знаходженні жорсткості технологічної системи за значеннями жорсткості окремих її ланок, а також при розрахунку похибок оброблення, пов'язаних із пружними деформаціями окремих елементів системи, зручно

користуватися поняттям податливості, що чисельно дорівнює величині, зворотній твердості.

Податливістю технологічної системи називають здатність цієї системи пружно деформуватися під дією зовнішніх сил. Податливість можна чисельно виразити відношенням зсуву у леза інструмента до заготовки, виміряного по нормалі до оброблюваної поверхні, до складової сили різання, що діє в тому ж напрямку, тобто:

$$w = y/Py. \quad (1.5)$$

Як показує визначення величин:

$$w = 1/j. \quad (1.6)$$

Так як сума деформацій окремих ланок пружної системи рівна сумарній деформації системи  $w = y_1 + y_1 + \dots + y_n$ , то сумарну податливість системи можна обчислити за формулою:

$$w = w_1 + w_1 + \dots + w_n. \quad (1.7)$$

Сумарну жорсткість системи можна представити як:

$$1/j = 1/j_1 + 1/j_2 + \dots + 1/j_n. \quad (1.8)$$

У випадку токаного оброблення заготовки в центрах при положенні різця посередині оброблюваної заготовки жорсткість верстата можна знайти зі співвідношення:

$$1/j_{cm} = 1/j_{cyn} + (1/j_{n.б.} + 1/j_{з.б.})/4. \quad (1.9)$$

При положенні різця на відстані  $x$  від передньої бабки жорсткість верстата визначиться за формулою:

$$1/j_{cm} = 1/j_{cyn} + (1 - x/l)^2 (1/j_{н.б.}) + (x/l)^2 (1/j_{з.б.}). \quad (1.10)$$

Деформація різця, що пов'язана з його прогином  $h$  під дією сили різання, мало відбивається на зміні фактичного радіуса  $r_{факт}$  деталі при обробленні. При прогині різця у кілька десятих долей міліметра і при діаметрі заготовок у кілька десятків міліметрів радіальна деформація  $y_{інстр}$  різця вимірюється десятитисячними долями міліметра і може не братися до уваги.

Величина деформації  $y_{заг}$  залежить від методу установки заготовок на верстаті. Її можна підрахувати, використовуючи методику опору матеріалів. Так при обточуванні гладкого вала в центрах величину його прогину можна визначати як прогин балки, що вільно лежить на двох опорах. Найбільший прогин вала буде по його середині, тобто,:

$$y_{заг} = P_y l^3 / (48Ej). \quad (1.11)$$

Прогин вала в перетині, що відповідає точці прикладання різця, розташованого на відстані  $x$  від передньої бабки, буде:

$$y_{заг} = \frac{P_y x^2 (l - x)^2}{3Ejl}, \quad (1.12)$$

тут  $l$  - довжина заготовки;

$E$  - модуль пружності матеріалу вала;

$j$  - момент інерції перетину заготовки. Для круглого вала  $j = 0,05D^4$ .

При положенні різця посередині вала його жорсткість визначиться як:

$$j_{заг} = 48E / l^3, \quad (1.13)$$

чи

$$j_{заг} = 3Ejl / [x^2(l - x)]. \quad (1.14)$$

Для гладкого вала, що консольно закріплений в патроні матимемо

$$y_{заг} = P_y l^3 / (3Ej), \quad (1.15)$$

$$i \quad j_{заг} = 3Ej / l^3, \quad (1.16)$$

Для гладкого вала, закріпленого в патроні й підтримуваного центром, з урахуванням податливості заднього центра та патрона матимемо:

$$y_{заг} = P_y l^3 / (100Ej), \quad (1.17)$$

$$j_{заг} = 100Ej / l^3. \quad (1.18)$$

В результаті численних досліджень жорсткості верстатів, проведених в останній час[2], встановлені фактичні значення жорсткості та податливості різних типорозмірів верстатів і їхніх окремих вузлів, які дозволяють виконувати усі необхідні розрахунки з високою точністю.

## 1.2 Жорсткість основних вузлів верстатів та способи їх визначення[3]

Жорсткість верстата - це його властивість чинити опір виникненню зсувів під дією постійних або таких, що повільно змінюються в часі, сил,

Величина загального зсуву враховує: деформації тіл деталей верстата (станіни, шпинделя, супорта тощо); контактні деформації, характерні для механізмів, у яких початкове торкання деталей відбувається в точці або по лінії (підшипники кочення, кулачкові механізми); деформації стиків між деталями. З жорсткістю верстата безпосередньо або через технологічну послідовність зв'язана точність оброблення деталей. Крім того, деформації окремих деталей верстата і стиків між ними призводять до підвищення концентрації напружень, перекосів, порушення умов рідинного тертя в парах ковзання, Тому розміри і параметри багатьох вузлів і деталей верстатів визначають із врахуванням критерію жорсткості.

Жорсткість верстата пов'язана із його компонованням. Для підвищення жорсткості вузлів верстатів застосовують: жорсткі замкнуті рамні конструкції; двостійкові вертикальні верстати, жорсткіші, ніж одностійкові; симетричні конструкції, в яких пружні зсуви в напрямі, що впливає на точність оброблення, менше величини зміщень, що з'являються в несиметричних конструкціях. Асиметричними роблять, наприклад, шпиндельні бабки (рисунок 1.3, а), столи вертикально-протягувальних верстатів (рисунок 1.3, б).

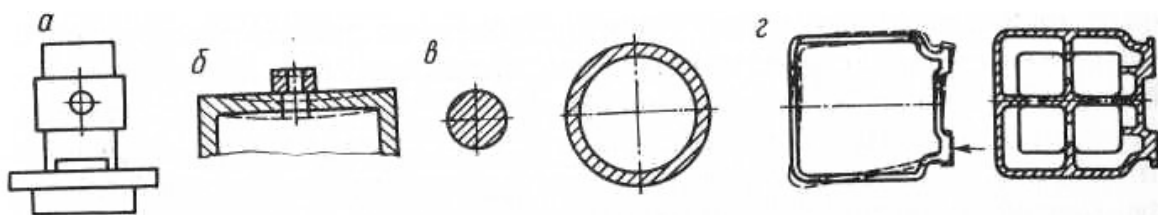


Рисунок 1.3 – Способи підвищення жорсткості вузлів верстатів

Високої точності форми оброблених деталей можна досягти, якщо при відносному переміщенні інструменту чи деталі жорсткість технологічної системи залишається практично постійною. Тому для того, щоби забезпечити сталість жорсткості шпинделя за кутом його повороту, раціонально розташовують опори верстата, наприклад, одностійкові

верстата встановлюють на трьох опорах: дві - в середній площині стола, третя - під стійкою.

Деталі, що істотно впливають на жорсткість вузла верстата, доцільно розміщувати так, щоб вони працювали на розтягування-стискання. У цьому випадку в порівнянні з конструкцією, в якій деталі працюють на вигин і кручення, жорсткість вузла є вищою.

Для зменшення деформації тіл деталей їх виготовляють з матеріалів із високим модулем пружності, а їх поперечному перетину надають раціональною форму, наприклад, кільце замість круга (рисунок 1.3, в), у корпусних деталях типу стійок встановлюють перегородки (рисунок 1.3, г), завдяки яким стінки навантаженої деталі працюють спільно і спотворення їх контурів значно зменшується. Для зниження місцевих деформацій плоскі стінки зміцнюють ребрами.

Для підвищення контактної жорсткості вузлів і верстата загалом зменшують число стиків, покращують якість оброблення контактуючих поверхонь, а у підшипниках кочення, передачах гвинт-гайка кочення та інших вузлах створюють попередній натяг.

Сукупність властивостей підшипників кочення визначила їхнє широке застосування в шпindelьних вузлах верстатів. Постійне підвищення вимог до характеристик шпindelьних вузлів призводить до вдосконалювання конструкції підшипників кочення [4]. Їх застосування в сучасних шпindelьних вузлах верстатів представлено на рисунку 1.4.

Застосування прецизійних конічних роликів підшипників (рис. 1.4, а-в), циліндричних роликів підшипників (рис. 1.4, г-е), упорно-радіальних кулькових підшипників з кутом контакту  $60^\circ$  (рис. 1.4, д) радіально-упорних кулькових підшипників (рис. 1.4, ж-м), у тому числі типу «триплексе» (рис. 1.4, л) і «кварто» (рис. 1.4, ж), а також так званих шпindelьних кулькових підшипників дозволило здійснити уніфікацію конструкцій шпindelьних вузлів. Переважна більшість шпindelьних вузлів

верстатів створюється на базі типових конструктивних схем, наведених у таблиці 1.1. Типові схеми надшвидкісних шпиндельних вузлів з опорами кочення наведені в нижній частині таблиці.

Аналіз сучасних конструкцій шпиндельних вузлів показує, що застосування радіально-упорних кулькових підшипників у шпиндельних вузлах верстатів зростає. Окрім того все частіше застосовують радіально-упорний кульковий підшипник типу «триплекс».

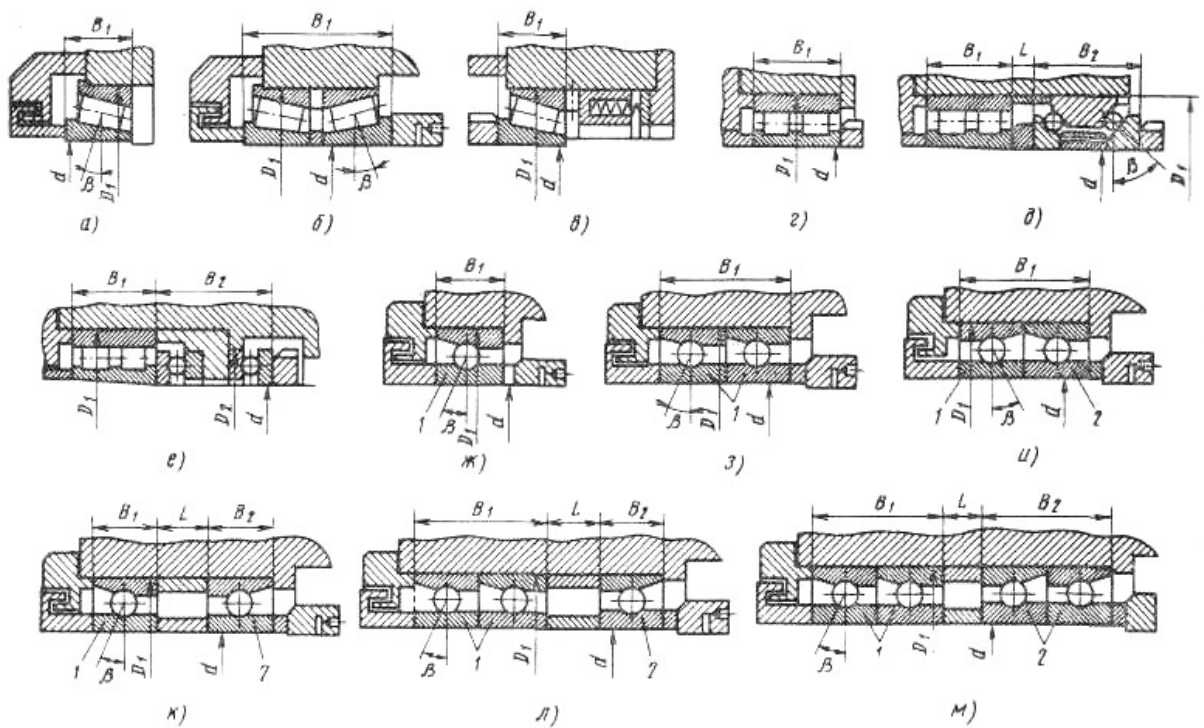
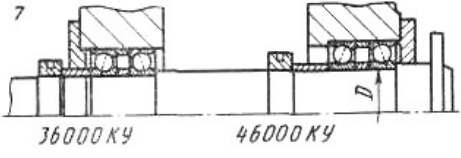
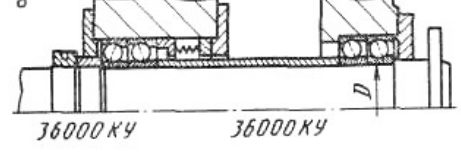
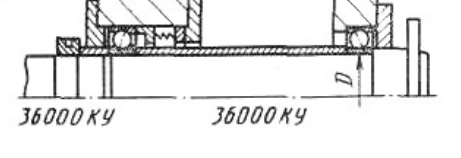


Рисунок 1.4- Конструкції шпиндельних підшипників кочення:  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $d$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  - розміри підшипників; 1 і 2 - умовні опори

Таблиця 1.1 - Типові схеми конструкцій шпиндельних вузлів з опорами кочення

Схема	$D$ , мм	$Dn \cdot 10^{-5}$ , мм	Область застосування

	60-200	2,0-2,5	Середні й важкі токарні і фрезерні верстати
	40-160	2,5-3,0	Легкі і середні токарні, фрезерні та шліфувальні верстати у крупносерійному виробництві
	60-200	2,5-4,0	Середні та важкі токарні, фрезерні фрезерно-розточувальні, шліфувальні верстати
	30-120	4,0-6,0	Високошвидкісні легкі і середні токарні, фрезерні, фрезерно-розточувальні, оброблювальні центри
	60-140	4,0-6,0	Важкі шліфувальні верстати

	20-100	6,0-11	Шліфувальні та оброблювальні центри для роботи на надвисоких швидкостях різання
	20-80	8,0-12	
	20-80	10-18	

Конструкції шпиндельних вузлів з новими підшипниками кочення показані на рисунку 1.5. У передній опорі високошвидкісного шпиндельного вузла (рисунок 1.5, а) встановлені радіально-упорні підшипники серії АСН із кульками з високоміцної кераміки. Конструкція підшипників розроблена спільно фірмами Kooyo Seico Co. Ltd (Японія). Задня опора - дворядний циліндричний роликовий підшипник. Завдяки використанню кульок з високоміцної кераміки допускається збільшення температури нагрівання підшипників при використанні пластичного мастильного матеріалу (рис. 1.5, б, крива 1) на 50% вище, ніж у звичайних підшипниках в аналогічних умовах, а при змащуванні масляним туманом (крива 2) - на 70%. Окрім того при використанні пластичного мастильного матеріалу  $D_n \leq 1,6 \cdot 10^6 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$ , при змащуванні масляним туманом -  $D_n \leq 1,5 \cdot 10^6 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$ .

Шпиндельний вузолз конічними роликковими підшипниками серії НА, розроблений фірмою Kooyo Seico Co. Ltd (Японія), представлений на  
 рисунку

1.5, в.

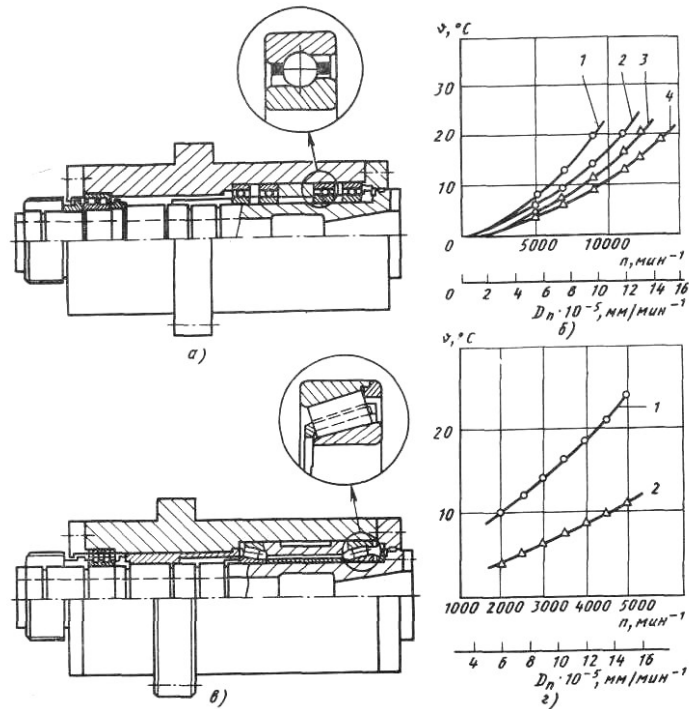


Рисунок 1.5 - Застосування нових конструкцій підшипників кочення у високошвидкісних шпиндельних вузлах

На рисунку 1.5 зображено:

*a* -шпиндельний вузоліз кульковими підшипниками серії АСН із кульками з високоміцної кераміки;

*б* - залежність нагрівання зовнішніх кілець підшипників від частоти обертання шпинделя:

для стандартних підшипників:

де крива 1 - пластичний мастильний матеріал;

крива 2 - змащування масляним туманом;

для підшипника АСНО16С з керамічними кульками:

де крива 3 - пластичний мастильний матеріал;

крива 4 - змащування масляним туманом;

в - шпindelний вузол з конічними роликовими підшипниками серії АН із зовнішнім кільцевим буртиком;

г - залежність нагрівання підшипника АН32018 від частоти обертання шпинделя при застосуванні пластичного мастильного матеріалу:

де крива 1 — природне охолодження;

крива 2 — примусове охолодження.

Конічні роликові підшипники із зовнішнім кільцевим буртиком забезпечують вищу частоту обертання шпинделя в порівнянні із звичайними конічними роликовими підшипниками. У порівнянні з радіально-упорними кульковими підшипниками підшипники серії НА мають більш високу жорсткість, зарахунок чого в 1,3...1,5 рази підвищується допустима сила різання. Застосування таких підшипників при використанні пластичного мастильного матеріалу дозволяє досягти показника  $D_n \leq 5,5 \cdot 10^6 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$  (рис. 1.5, г).

*Кулькові радіально-упорні підшипники.* У шпindelних вузлах верстатів переважно застосовують комплексні опори із декількох підшипників (див. рис. 1.4), що умовно складаються із двох умовних опор 1 і 2. При цьому здвоєні підшипники, встановлені послідовно за схемою «тандем» (див. рис. 1.4, з, л, м), розглядають як один дворядний підшипник. Якщо число підшипників, встановлених в умовних опорах 1 і 2, позначити відповідно як  $i_1$  і  $i_2$ , то для схеми на рис. 1.2  $i_1=2$ , для схем на рисунку 1.3,  $i_1=i_2=1$ , для схеми на рисунку 1.3, л  $i_1=2$ ,  $i_2=1$ , для схеми на рисунку 1.3, м  $i_1=i_2=2$ . При створенні попереднього натягу силою  $F_n$ , у такій комплексній опорі виникають деформації. Загальна осьова деформація (натяг) комплексної опори складається з осьових деформацій  $\delta_1$  і  $\delta_2$  умовних опор 1 і 2:

$$\Delta = \delta_1 + \delta_2 = (F_n / C)^{2/3} (1/i_1^{2/3} + 1/i_2^{2/3}). \quad (1.19)$$

Залежно від способу створення натягу можна вважати заданою величиною силу  $F_n$ , або  $\Delta$ .

Осьова жорсткість комплексної опоривизначиться як

$$j_a = F_a / \delta_a \approx 1,5 C^{2/3} F^{1/3} (i_1^{2/3} + i_2^{2/3}), \quad (1.20)$$

де  $F_a$ - зовнішня осьова сила;

$\delta_a$ - осьовий зсув у підшипнику;

$C$  – коефіцієнт яки визначається як:

$$C = 10^5 \sqrt{1,25 d_m z \sin^{5/2} \alpha}, \quad (1.21)$$

тут  $d_m$ - діаметр кульки, мм;

$z$  - число тіл кочення в підшипнику,

$\alpha$  - фактичний кут контакту.

Максимальна осьова сила, при якій натяг однієї з умовних опор повністю знімається, визначиться за залежністю:

$$F_{a \max} = 1,5 [1 + (i_2 / i_1)^{2/3}] F_n, \quad (1.22)$$

Для симетричних опор  $i_1 = i_2$   $F_{a \max} = 3 F_n$ . Для комплексних опор рівняння у загальному виді можна представити так:

$$j_a = k_1 C^{2/3} F_n^{1/3} = k_2 C \Delta^{1/2}; \quad (1.23)$$

$$F_{a \max} = k_3 F_n, \quad (1.24)$$

де сумарний осьовий натяг комплексної опори визначають за виразом (1.19), а значення коефіцієнтів  $k_1, k_2, k_3$ - згідно даних, отриманих проф. З.М. Левіною (див. табл. 1.1). У тій же таблиці наведена порівняльна осьова жорсткість комплексних опор при різних схемах розташування підшипників.

Радіальна жорсткість кулькового радіально-упорного підшипника залежить від величини  $\zeta = 0,5[1 + (\delta_a / \delta_r)tg\alpha]$ , що характеризує перерозподіл навантаження між тілами кочення (тут  $\delta_a$  і  $\delta_r$ - відповідно осьовий і радіальний зсув у підшипнику). При  $\zeta \geq 1$  працюють всі тіла кочення, при  $\zeta < 1$  - тільки їх частина. Тоді радіальна жорсткість визначиться як:

$$j_r = \frac{F_r}{\delta_r} = \frac{k_n F_n}{\delta_a tg^2 \alpha}, \quad (1.25)$$

де  $F_r$ - радіальна сила.

Таблиця 1.2 - Дані для розрахунку опор кочення

Розташування підшипників	Значення коефіцієнта			Відносна осьова жорсткість	
	$k_1$	$k_2$	$k_3$	при $F_n = \text{const}$	при $\Delta = \text{const}$
$i_1=1, i_2=1$	3	2,1	3	1	1
$i_1=2, i_2=1$	3,9	3,2	2,1/3,6	1,3	1,5
$i_1=1, i_2=3$	4,6	3,8	2,2/4,6	1,55	1,8
$i_1=2, i_2=2$	4,8	4,2	3	1,6	2

$i_1=3, i_2=3$	6,2	6,4	3	2,1	3
----------------	-----	-----	---	-----	---

Примітка: Для несиметричних опор ( $i_1 \neq i_2$ ) зазначене значення  $k_3$  у чисельнику, коли зовнішня сила розвантажує умовну опору 1, а в знаменнику - коли зовнішня сила розвантажує умовну опору 2.

Значення параметрів для визначення  $j_r$  за виразом (1.25) відповідно до результатів роботи наведено в таблиці 1.2:

Таблиця 1.2 - Значення параметрів для визначення  $j_r$

$F_H/(F_r \operatorname{tg} \alpha)$	1,28	1,35	1,43	1,53	1,67	2,25	3,2	5,4	12
$\zeta$	0,60	0,74	0,80	0,90	1,00	1,25	1,67	2,5	5,0
$K_4$	0,16	0,30	0,40	0,52	0,60	0,65	0,71	0,74	0,75

Для визначення радіальної жорсткості  $j_{r1}$  і  $j_{r2}$  умовних опор 1 і 2 у вираз (1.25) замість  $\delta_a$  підставляємо відповідно  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . Тоді:

$$j_{r,2} = \frac{k_4}{1,5 \operatorname{tg}^2 \alpha} \cdot \frac{l_{1,2}^{2/3}}{i_1^{2/3} + i_2^{2/3}} j_a. \quad (1.26)$$

Для одиничного підшипника ( $i_1 = 1, i_2 = 0$ ) маємо:

$$j_r = j_a k_4 / (1,5 \operatorname{tg}^2 \alpha). \quad (1.27)$$

При великому значенні натягу:

$$(\xi \geq 2iF_H / F_r \gg 5 \operatorname{tg} \alpha) j_r = 0,5 j_a / \operatorname{tg}^2 \alpha. \quad (1.28)$$

Таким чином, при незначних радіальних навантаженнях має місце майже постійне співвідношення між радіальною та осовою жорсткістю.

Фактичний кут контакту  $\alpha$  істотно залежить від попереднього натягу. На рисунку 1.5 наведені значення  $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$ , де  $\alpha_0$  - початковий кут контакту. Під дією попереднього натягу кут контакту збільшується. З врахуванням цього отримані наступні співвідношення між радіальною і осовою жорсткостями: при  $\alpha_0 = 15^\circ, j_r = (5,3 \dots 6) j_a$ ; при  $\alpha_0 = 26^\circ j_r = (1,95 \dots 2,1) j_a$ .

Дворядний упорно-радіальний кульковий підшипник з кутом контакту  $60^\circ$  зображений на рисунку 1.6. Його осова жорсткість при  $i_1 = i_2 = 1$ :

$$j_a = 3C^{2/6} F_n^{1/3}. \quad (1.29)$$

Після визначення коефіцієнта  $C$  і введення коефіцієнта  $k_m = 0,8 \dots 0,9$ , що враховує похибки виготовлення, вираз (1.29) остаточно прийме вигляд:

$$j_a = 7000 k_t z^{2/3} d_m^{1/3} F_n^{1/3} \sin^{5/3} \alpha. \quad (1.30)$$

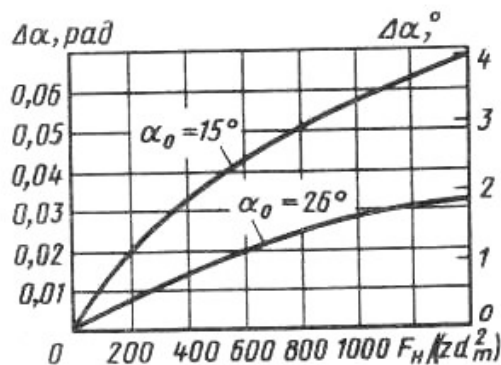


Рисунок 1.6 - Залежність збільшень кута контакту  $\Delta\alpha$  від попереднього осового натягу для кулькових радіально-упорних підшипників

Упорно-радіальний підшипник створює істотний крутний момент, діючий на шпиндель. Кутова жорсткість підшипника:

$$j' = M / \varphi = \frac{3}{32} C^{2/3} (d + D)^2 F_n^{1/3}, \quad (1.31)$$

де  $M$  - сумарний момент, що діє на шпиндель;

$\varphi$  - кут нахилу пружної осі шпинделя в опорі;

$d$  і  $D$  - внутрішній і зовнішній діаметри підшипника.

Спільний розв'язок рівнянь (1.30) і (1.31) приводить до виразу:

$$j' = j_a (d + D)^2 / 32. \quad (1.32)$$

Однорядні та дворядні конусні роликові підшипники працюють в шпиндельних вузлах в умовах наявності невеликого зазору або натягу. Для розрахунку їхньої жорсткості необхідно визначити величину зсуву в радіальному  $\delta_r$  і осьовому  $\delta_a$  напрямку при спільній дії на підшипник осьового  $F_a$  і радіального  $F_r$  навантаження:

$$\delta_a = \beta_a \delta_a^* + \beta_r \delta_r^*, \quad (1.33)$$

де  $\delta_a^*$  і  $\delta_r^*$  - величина зсуву в підшипниках під дією тільки сили  $F_a$  або тільки сили  $F_r$ ;

$$\delta_a^* = (F_a / C)^{0,9}, \quad (1.34)$$

$$\delta_r^* = (5F_r / C)^{0,9} \operatorname{tg}^{1,9} \alpha, \quad (1.35)$$

де  $\beta_a$  і  $\beta_r$  - коефіцієнти, значення яких наведені на рисунку 1.6;

$$C^{0,9} = 133002^{0,9} l^{0,8} \sin^{1,9} \alpha;$$

$\alpha$  - кут нахилу осі роликів;

$l$ -ефективна довжина ролика.

При роботі з натягом ( $F_a / F_r \geq 2; \zeta \triangleright 1$ )  $\delta_a \approx \delta_{a^*}$  і

$$j_r = \frac{0,55 F_a}{\text{tg}^2 \alpha \delta_a} = \frac{7300 z^{0,9} l^{0,8} F_a^{0,1} \sin^{1,9} \alpha}{\text{tg}^2 \alpha}. \quad (1.36)$$

При  $F_r \text{tg} \alpha / F_a > 0,5$  пружні переміщення  $\delta_r$  зростають в 1,5 рази (див. криву  $\beta_r$  на рис. 1.6) у зв'язку з тим, що частина тіл кочення перестає сприймати навантаження. У розрахунках варто враховувати осьову складову 5 від радіальних навантажень  $R_n$  парного підшипника ( $S = 1,25 R_n \text{tg} \alpha$ ).

Для дворядних конічних підшипників жорсткість розраховують за залежностями, аналогічними для однорядних. При цьому коефіцієнти  $\beta_a$  і  $\beta_r$ , приймають інші значення (див. штрихові лінії на рис. 1.7). При більших радіальних навантаженнях ( $F_r \text{tg} \alpha / F_a \triangleright 1$ )  $\beta_a \approx 2\beta_r$ , відповідно  $j_r / j_a \approx 2\delta_{a^*} / \delta_r^*$ , тобто, у цьому випадку радіальна жорсткість  $j_r$  дворядного конічного підшипника зростає приблизно у 2 рази в порівнянні з радіальною жорсткістю однорядного, а осьова жорсткість  $j_a$  близька до осової жорсткості однорядного підшипника.

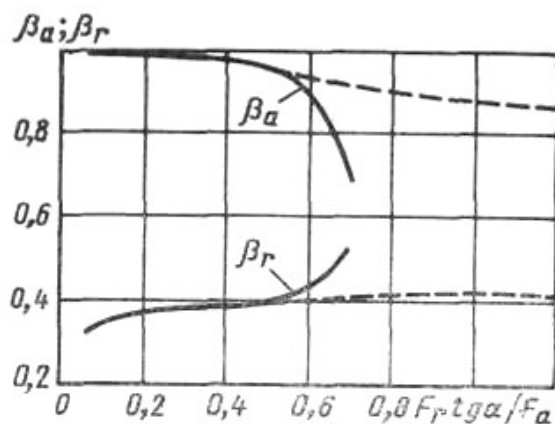


Рисунок 1.7 - Значення коефіцієнтів  $\beta_z$  і  $\beta_a$  для однорядних (суцільні лінії) і дворядних (штрихові лінії) кінцевих підшипників залежно від співвідношення радіальної  $F_r$  і осьової  $F_a$  сил

Для опор кочення, як правило,  $\zeta \cdot \omega \ll j_0$  динамічна жорсткість не залежить від частоти обертання і дорівнює статичній. При власній частоті коливань системи  $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{j_0 / m}$  мінімальна жорсткість  $j_{\min} = \zeta \omega_0$  ( $\omega_0 = 2\pi f_0$ )

### 1.3 Патентний огляд

#### 1.3.1 Пристрій мікронної поперечної подачі для токарних верстатів [5]

За аналог взято поперечний супорт універсального токарно-гвинторізного верстата мод. 1М65. Конструкція супорта складається з основи, рухомої платформи, різцетримача, ходового гвинта з лімбом і приводною рукояткою, гайки регулювальної.

Поперечна подача здійснюється поворотом ходового гвинта. Величина переміщення платформи з різцетримачем відносно основи зчитується за показниками лімба, ціна поділки якого 0,05 мм. Зазначена конструкція має такі недоліки:

- відсутність механізму точної подачі, обмежує область застосування цих верстатів (тільки як обдирні, що працюють із забезпечення 9-12 квалітетів точності);
- немає можливості періодично регулювати зазор у гвинтовій парі поперечної подачі, тому що доступ до регулювальної гайки можливий тільки під час середніх і капітальних ремонтів;
- наявність у гвинтовій парі поперечної подачі зазору 0,2...2,5 мм і

люфту від зношування погіршують технічні можливості і характеристики верстатів;

- ціна поділок лімба 0,05мм і люфт-зазор ставлять під сумнів виконання умов придатності  $d_{\min} \leq d_{\text{дійсн}} \leq d_{\max}$  і  $D_{\min} \leq D_{\text{дійсн}} \leq D_{\max}$ , де поле допуску менше чи дорівнює ціні поділки лімба і не відповідає 0,015...0,10 мм за 4...8 квалітетами точності;
- одержання на верстаті з'єднань за 4...8 квалітетами точності не продуктивно ризиковано і на грані виникнення браку.

Пристрій призначений для забезпечення досягнення токарного оброблення деталі за 4...8 квалітетами точності і цим самим можливості використовувати існуючі верстати із грубою поперечною подачею (ціна поділки лімба 0,05...0,1мм) як високоточні токарні верстати з мікронною поперечною подачею.

Поставлена задача вирішується в той спосіб, що пристрій мікронної поперечної подачі містить рухому платформу з різцетримачем, додатково містить стопорний пристрій, який кріпиться до станини верстата, мінісупорт із мікронною подачею, що кріпиться у різцетримачі, і важільно-механічну систему контролю, що виконана разом з мінісупортом.

Мінісупорт із мікронною подачею містить корпус із затиском, у корпусі розміщені гвинт-перетворювач і повзун-різцетримач, між якими розташована пружина. Гвинт-перетворювач має дві різі з різними кроками, якими він знаходиться в з'єднанні із корпусом повзуна-різцетримача, і через шпонку з'єднаний із лімбом. Гвинтові пари виконані підпружиненими з метою усунення люфту. Запропонована конструкція пристрою дозволяє отримати лімб зі шкалою поділки 0,001мм.

Стопорний пристрій складається з планки накладної, штифтів, затискної і кріпильних гайок. Важільно-механічна система контролю складається із штанги з пружиною, куліси та індикатора мікронного.

Застосування пристрою мікронної поперечної подачі значно поліпшує точність токарного оброблення деталей, а саме:

- стала можливою точне оброблення за 4...8 квалітетами точності, продуктивно і без браку;
- регулювання зазору гвинт-гайка в мінісупорті не потрібно, зазор відсутній за рахунок підпружиення;
- ціна поділки шкали лімба 0,001мм і беззазорність передачі гвинт-гайка сприяють виконанню умов придатності:

$$d_{\min} \leq d_{\text{дійсн}} \leq d_{\max} \text{ і } D_{\min} \leq D_{\text{дійсн}} \leq D_{\max};$$

- застосування важільно-механічної системи контролю дозволяє контролювати дійсне переміщення різця і за необхідності, підстроювати положення індикатора по лімбу.

Розташування вузлів пристрою поперечної подачі для токарних верстатів зображене на рисунку 1.8. На станині 1 верстата, знаходиться стопорний пристрій і рухома платформа 2 з мінісупортом 3. Стопорний пристрій складається з планки накладної 4, штифтів 5, затискної 6 і кріпильних 7 гайок.

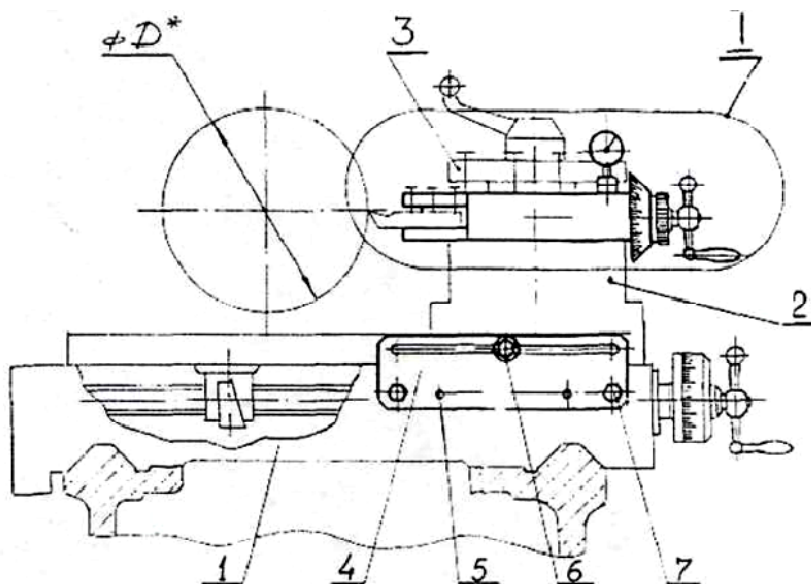


Рисунок 1.8 - Розташування вузлів пристрою поперечної подачі для токарних верстатів.

На рисунку 1.9 показана конструкція мінісупорта із мікронною подачею, що містить корпус 8 із затиском 9. У корпусі 8 розміщені гвинт-перетворювач 10 і повзун-різцетримач 11, між якими знаходиться пружина 12. Гвинт-перетворювач 10 має дві різі з різними кроками, якими він заходить в зачеплення з корпусом 8 і повзуном-різцетримачем 11 і через шпонку 13 з'єднаний з лімбом 14, що притискається контргайкою 15.

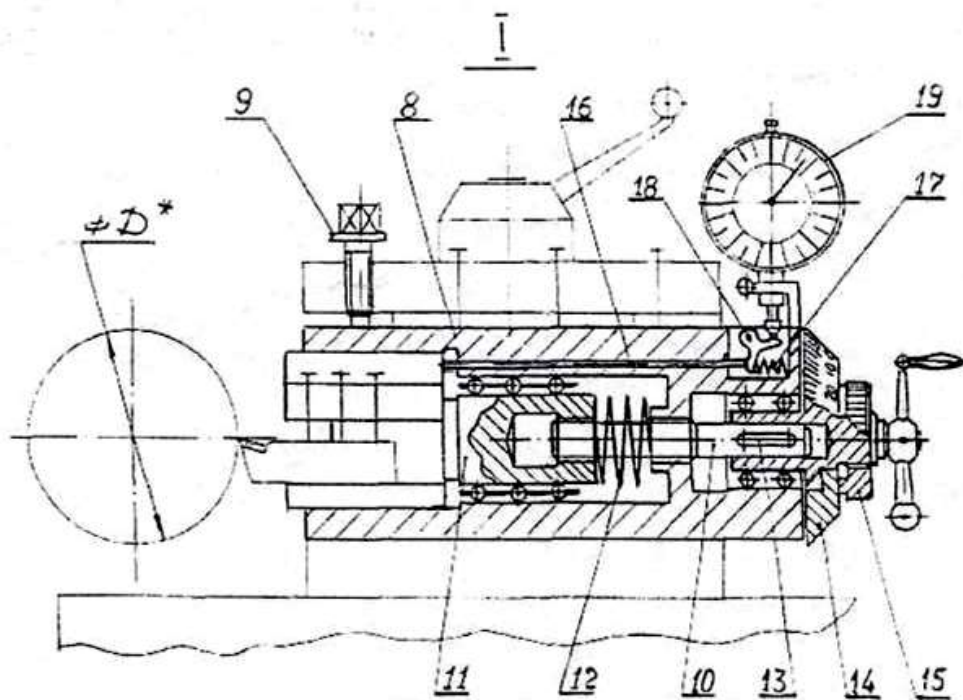


Рисунок 1.9 - Мінісупорт з мікронною подачею і важільно-механічною системою контролю

Важільно-механічна система контролю складається із штанги 16 із пружиною 17, куліси 18 і мікронного індикатора 19.

Підготовка до роботи мікронного пристрою і його робота відбувається таким чином:

- накладна планка 4, установлена на станину 1 верстата, фіксується штифтами 5 і закріплюється гайками 7;
- якщо для чистового оброблення передбачений, наприклад, припуск 0,1...0,3 мм, у різцетримачі встановлюється і закріплюється

мінісупорт 3 із мікронною подачею, а рухома платформа 2 фіксується затискною гайкою 6;

- при обертанні лімба 14, через шпонку 13 зусилля передається на гвинт-перетворювач 10 і далі за рахунок нарізного з'єднання на повзун-різцетримач 11, що підводиться до оброблюваної деталі і відбувається контакт з різцем. Далі встановлюється нульове збігання поділок на лімбі 14 і корпусі 8, лімб 14 закріплюється контргайкою 15 і проводиться обробка деталі. Щоб задана по лімбу величина подачі не змінилася в процесі оброблення через вплив зусилля різання повзун-різцетримач 11 після кожного проходу блокується затиском 9, а після нових проходів різцем є можливість щораз підстроїти відлік лімба з нульовою оцінкою і закріплювати його контргайкою 15.

За один оборот лімба 14 повзун-різцетримач 11 з різцем переміщується на величину різниці кроків різьблень ( $1,337 - 1,25 = 0,087$  мм). Розділивши отриману різницю кроків різьблень на 174 частини (число поділок на лімбі) одержимо ціну поділки лімба 0,001мм (1мкм) на діаметр оброблюваної деталі. При розподілі довжини кола лімба ( $L = 3,14 \times 100$ мм) на 174 частини, визначиться значення відстані між поділками шкали лімба. Вона дорівнює 1,8055мм, що набагато краще візуально сприймається.

Разом з повзуном-різцетримачем 11 переміщається і підпружинена штанга 16 і через кулісу 18 впливає на індикатор мікронний 19.

### 1.3.2 Спосіб підвищення точності оброблення на токарних верстатах[6]

Відомий спосіб підвищення точності оброблення на металорізальних верстатах з ЧПК, при якому періодично виконуються вимірювання точності траєкторій переміщення виконавчих органів верстата і на підставі цих вимірювань розраховується таблиця корекції, що заноситься в систему ЧПК і використовується у подальшому для корекції положення виконавчих органів

під час оброблення. До недоліків цього способу слід віднести залежність точності компенсації від часу у періоді між двома операціями вимірювання точності, а також неможливість компенсації пружних і теплових деформацій.

Відомий також спосіб підвищення точності роботи напружених, при якому здійснюється корекція положення рухомого вузла за допомогою приводів малих переміщень, де в якості вимірювальної бази використовують еталонну поверхню, яка має форму траєкторії руху рухомого вузла. Контролюють положення рухомого вузла за допомогою взаємодії датчиків з еталонною поверхнею, які вимірюють величину відхилення положення рухомого вузла відносно еталонної поверхні, при цьому датчики з'єднані з приводами малих переміщень, які здатні переміщувати рухомий вузол у напрямку, протилежному напрямку відхилення, що виміряне датчиками і на величину, яка визначена датчиками.

Відомий також пристрій для реалізації цього способу, що містить напрямні, рухомий вузол, розміщений на гідростатичних опорах, регулятори подачі мастила у кишені гідростатичних опор, помпову станцію, підсилювачі постійного струму, еталонну поверхню, виконану у вигляді двох паралельних променів світла, фотоелектричні датчики, які реагують на промені світла, причому, датчики з'єднані з регуляторами подачі мастила через підсилювачі таким чином, що зміна товщини шару мастила, яка викликана сигналом від датчика, викликає переміщення рухомого вузла у напрямку, протилежному відхиленню, що виміряне датчиками.

До недоліків цього способу слід віднести неможливість компенсації теплових і пружних деформацій тих елементів системи, що не охоплені колом зворотного зв'язку, зокрема, оброблюваного виробу, а також складність реалізації еталонної поверхні для траєкторії, що відрізняється від прямої лінії.

Поставлена задача підвищення точності оброблення різанням шляхом компенсації пружних деформацій всіх елементів технологічної системи, включаючи пружні деформації оброблюваного виробу, вирішується

використанням системи автоматичного керування із датчиком відстані, що вимірює відстань від необробленої поверхні виробу до бази інструмента, тобто, поточну глибину різання, пристроєм пам'яті, порівняльним пристроєм, датчиками положення рухомих вузлів верстата і приводом подачі, завдяки чому глибина різання підтримується рівною розрахунковому значенню для поточної точки поверхні виробу, яке міститься у пристрої пам'яті.

Датчик відстані може бути будь якого типу (контактний механічний перетворювач, оптичний, пневматичний, індуктивний тощо). Як блок пам'яті і порівняльній пристрій може бути використана мікропроцесорна система, що зв'язана з приводом подачі через систему ЧПК верстата, або за допомогою інших пристроїв (цифрово-аналоговий перетворювач, підсилювач тощо), і обладнана аналогово-цифровими перетворювачами для зв'язку із датчиками. У якості датчиків положення рухомих вузлів верстата можна використати штатні датчики зворотного зв'язку верстата із ЧПК, такі як сельсини, індуктосини, оптичні інкрементальні датчики тощо.

Суть способу полягає у тому, що на поверхню заготовки накладається умовна координатна сітка, крок якої залежить від потрібної точності компенсації та особливостей конкретного верстата. На верстаті безпосередньо біля інструмента встановлюють датчик, що вимірює відстань від бази інструмента до необробленої поверхні виробу, тобто, глибину різання. За допомогою цього датчика при відсутності інструменту, або при виведеному інструменті проводять вимірювання розмірів поверхні заготовки у вузлових точках обраної координатної сітки відносно установочної бази виробу у напрямку розміру виробу, який буде виконано на даній операції. Одночасно результати цих вимірювань автоматично заносяться у пристрій пам'яті у вигляді тримірної дискретної моделі поверхні заготовки, причому від датчика відстані надходить інформація про розмірну координату поточної точки координатної сітки, а від датчиків положення рухомих вузлів верстата - інформація про місце знаходження цієї

точки у координатній сітці. При суміщенні отриманої моделі із завчасно підготовленою моделлю поверхні готового виробу відповідної структури отримують модель глибини різання як масив значень відстані між відповідними точками моделей поверхні заготовки і готового виробу. Після цієї операції інструмент повертають у робочий стан і починають оброблення. Під час оброблення результати вимірювань поточної глибини різання від датчика надходять до порівняльного пристрою, де порівнюються з розрахунковим значенням для поточної точки, що взяте з моделі глибини різання, яка міститься у пристрої пам'яті. В результаті порівняння виробляється сигнал корекції, який надходить до привода подачі і забезпечує компенсацію розходження реальної поточної глибини різання з розрахунковим значенням для поточної точки координатної сітки.

Таким чином можна зменшити вплив пружних деформацій елементів технологічної системи на точність виробу до значення чутливості датчика, або елементарного переміщення привода подачі.

#### 1.4 Мета та основні завдання дослідження

На сучасному етапі технічного розвитку особливого значення набуває забезпечення високої точності і якості оброблення циліндричних деталей на токарних верстатах. Проте точність оброблення на токарних верстатах за умови змінної жорсткості вузлів залишається маловивченою. Найгостріше ця проблема постає при вирішенні завдань щодо забезпечення точності оброблення на токарних верстатах довгомірних циліндричних деталей.

Інформація про існуючі методи забезпечення точності оброблення довгомірних циліндричних деталей носить описовий характер та не надає необхідної об'єктивної інформації щодо технологічної суті.

Для забезпечення точності виготовлення довгомірнихциліндричних деталей на токарних верстатах за умови змінної жорсткості вузлів необхідно обрати відповідні параметри процесу. У процесах виготовлення таких деталей із заданою точністюпереважно не враховуються змінна жорсткість вузлів верстата. Тобто, відсутня систематизована інформація щодо способів забезпечення точності, а це впливає на якість готових деталей. Тому дослідження оброблення заготовок на токарних верстатах за умови змінної жорсткості вузлів створює такі передумови, адослідження точності оброблення на токарних верстатах за умови змінної жорсткості вузлів є актуальним завданням.

Отже, метою роботи є розроблення методу і системи, яка би забезпечила підвищення точності оброблення та форми деталі на токарних верстатах за умови змінної жорсткості вузлів за високої якостіобробленої поверхні.

Мета роботи може бути досягнута в результаті вирішення наступних завдань:

- проведення інформаційного дослідження;
- розроблення математичної моделі процесу оброблення заготовок на токарних верстатах в центрах;
- аналіз впливу зміни жорсткості вузлів верстата на точність оброблення циліндричних деталей;
- підбір оптимальних параметрів процесу оброблення на токарних верстатах довгомірних циліндричних деталей;
- розроблення рекомендацій щодо впровадження системи корегування профілю нежорстких деталей при обробленні на токарних верстатах з ЧПК.

Об'єктом дослідження є моделювання точності оброблення на токарних верстатах за умовивпливу змінної жорсткості вузлів.

Предмет дослідження – процес оброблення довгомірних циліндричних деталей на токарних верстатах.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПРОФІЛЮ ДЕТАЛІ ПРИ ТОКАРНОМУ ОБРОБЛЕННІ В ЦЕНТРАХ З УРАХУВАННЯМ ПОДАТЛИВОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

Вплив податливості елементів системи ВПД на точність розмірів і форми оброблюваних на токарних верстатах заготовок можна з'ясувати на основі аналізу схеми оброблення[7] (див. рис.2.1). При настроюванні верстата різець устанавлюють у положення, при якому проводиться обточування заготовки радіуса  $r_{теор}$  (рис. 2.1, а). Однак у результаті пружної деформації вузлів верстата і деформації заготовки  $y_{заг}$  вісь обертання заготовки зміщується з положення  $O_1$  у положення  $O_3$ , що призводить до збільшення фактичної відстані вершини різця від осі обертання заготовки. Одночасно у зв'язку із прогином і деформацією різця (рис. 2.1, б) відстань його вершини від центра обертання заготовки збільшується додатково на величину  $y_{інстр}$ .

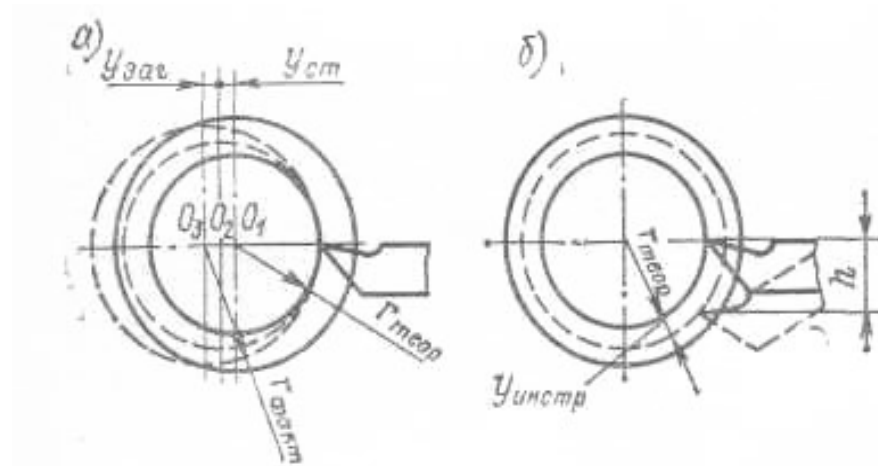


Рисунок 2.1 – Вплив пружних деформацій на розмір оброблюваної заготовки:  
 а) зміщення осі заготовки через деформації вузлів верстата і заготовки;  
 б) зміщення вершини різця від центра заготовки у зв'язку із деформаціями і прогином різця.

Пружні деформації елементів технологічної системи призводять до збільшення фактичного радіуса обточування заготовки при відповідному зменшенні фактичної глибини різання  $t_{факт}$  в порівнянні із теоретичною до величини  $t_{факт} = t_{теор} - (y_{верст} + y_{заг} + y_{інстр})$ .

Загальне збільшення діаметра  $\Delta D$  розміру поверхні оброблюваного виробу в порівнянні з його теоретичним значенням, встановленим при настроюванні верстата, дорівнює подвоєному зростанню фактичного радіуса або подвоєній сумарній деформації елементів технологічної системи, тобто:

$$\Delta D = 2(r_{факт} - r_{теор}) = 2(y_{ст} + y_{заг} + y_{інстр}) = 2y = 2P_y / j. \quad (2.1)$$

Відомо, що  $P_y = C_y S^y p t^x p HB^n$ , тоді:

$$\Delta D = 2C_y S^y p t^x p HB^n / (1/j_{ст} + 1/j_{заг} + 1/j_{інстр}). \quad (2.2)$$

При постійній жорсткості технологічної системи, незмінному режимі оброблення та постійній жорсткості заготовки збільшення діаметра в порівнянні з теоретичним його значенням зберігається однаковим на усій довжині заготовки і не викликає появи похибок її форми. Збільшення діаметра залишається постійним для всіх заготовок партії деталей (систематична похибка) і може бути враховано при налаштуванні верстата відповідним зменшенням налаштовуваного розміру.

Приобробденні заготовок малої жорсткості (довгі і тонкі вали) їх жорсткість, а отже, і деформації змінюються по довжині заготовки, що обумовлює появу систематичної похибки форми виробів. При збільшенні ширини площадки зношування задньої поверхні різця до 0,7...0,8 мм складова  $P_y$  зростає майже вдвічі (рис. 2.2).

Затуплення різального інструменту в процесі оброблення заготовки призводять до збільшення розміру оброблюваного виробу не тільки внаслідок розмірного зношування інструмента, на що вказувалося раніше, а і у зв'язку зі значним зростанням нормальної складової  $P_y$  сили різання.

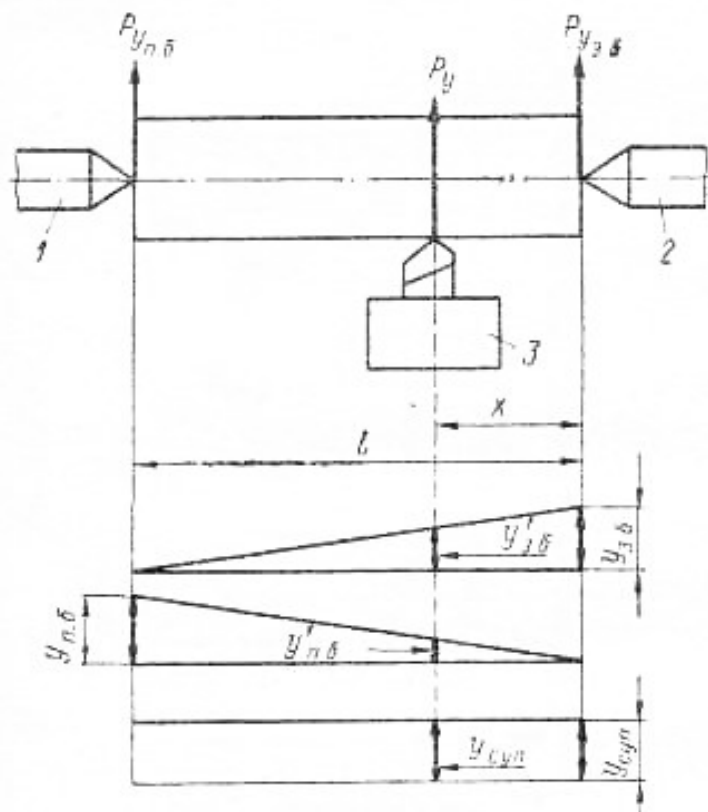


Рисунок 2.2 – Схема навантаження і пружних деформацій вузлів токарного верстата при обробленні вала в центрах: 1 – передня бабка; 2 – задня бабка; 3 – супорт

Як показали дослідження, процес виникнення на задній поверхні інструмента площадки зношування  $U_3$  супроводжується збільшенням складової  $P_y$  на величину пропорційну ширині  $U_3$  площадки зношування (рис. 2.3).

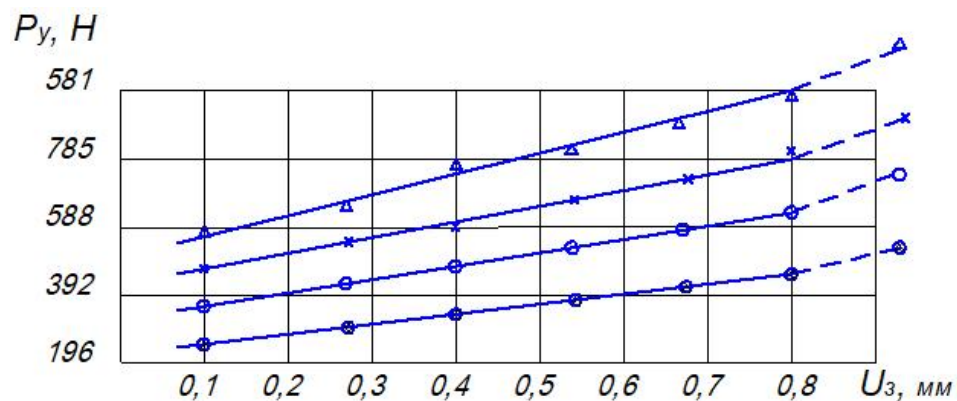


Рисунок 2.3 – Залежність  $P_y$  від ширини  $U_3$  площадки зношування задньої поверхні різця при точінні сталі 2Х13

При обробленні заготовок із сталі 2Х13 та алюмінієвих сплавів збільшення нормальної складової сили різання у зв'язку зі зношуванням різця буде пропорційним:

$$\Delta P_y = K_3 U_3, \quad (2.3)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт пропорційності.

При збільшенні ширини площадки зношування задньої поверхні різця до 0,7...0,8 мм складова  $P_y$  зростає майже вдвічі.

2.1 Розроблення розрахункової схеми та алгоритму розрахунку значення поточного радіуса обточування при обробленні в центрах[1]

Умови: тіло деталі вважаємо абсолютно жорстким, податливість супорта з інструментом  $C_{cyn} = 0$ , а значення параметрів, що визначають сили різання - постійними.

Розрахункова схема для визначення поточного радіуса при обробленні в центрах на токарному верстаті представлена на рисунку 2.4.

Таблиця 2.1 - Умовні позначення вхідних величин та їх розмірності

Параметр	Позначення	Розмірність
Коефіцієнти для розрахунку сили $P_z$	$C_{Pz}$	-
	$X_{Pz}$	-
	$Y_{Pz}$	-
	$n_{Pz}$	-
	$R_{Pz}$	-
Коефіцієнти для розрахунку сили $P_y$	$C_{Py}$	-
	$X_{Py}$	-
	$Y_{Py}$	-
	$n_{Py}$	-
	$R_{Py}$	-
Подача	$S$	мм/об.шп.
Глибина різання	$T$	мм
Швидкість різання	$V$	м/хв.
Діаметр деталі	$d_0$	м
Довжина деталі	$L_0$	м
Кут зачеплення зубчатої передачі	$X$	°
Модуль приводної шестірні	$M$	мм
Число зубів приводної шестірні	$z_1$	-

Кут між векторами сил	$\Phi$	$0$
Коефіцієнти жорсткості опор	$j_A$	Н/м
	$j_B$	Н/м
	$j_C$	Н/м
Модуль пружності для сталей	$E$	Па(Н/м <sup>2</sup> )
Розміри шпинделя вузла	$A$	м
	$B$	м
	$L$	м
Внутрішній діаметр шпинделя	$D_0$	м
Зовнішній діаметр консолі шпинделя	$D_1$	м
Зовнішній діаметр шпинделя на міжопорній ділянці	$D_2$	м

При розробленні алгоритму розрахунку враховуємо зміщення центра передньої бабки (опора А) під дією сил різання і зусилля в приводній передачі, а також зміщення центра задньої бабки (опора С) від дії сил різання.

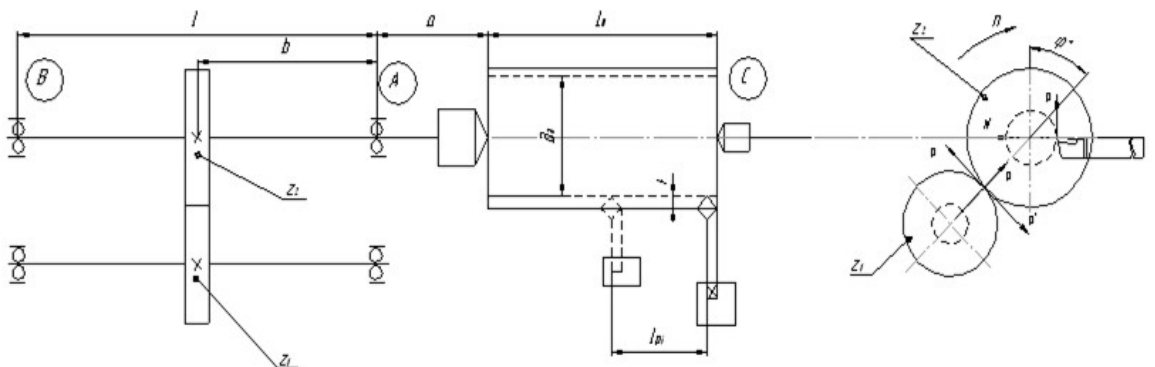


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема оброблення деталі на токарному верстаті з ЧПК

Діючі сили різання визначаємо за наступними залежностями[9]:

$$P_z = 10 \cdot C_{P_z} \cdot t^{x_z} \cdot S^{y_z} \cdot V^{n_z} \cdot K_{P_z}, \text{ Н}; \quad (2.4)$$

$$P_y = 10 \cdot C_{P_y} \cdot t^{x_y} \cdot S^{y_y} \cdot V^{n_y} \cdot K_{P_y}, \text{ Н}. \quad (2.5)$$

Моменти сили різання визначимо за формулою:

$$M_p = \frac{P_z \cdot d_d}{2}. \quad (2.6)$$

Радіальне зусилля в приводній передачі буде:

$$P_r = \frac{2000 \cdot M_p}{z_1 \cdot m}. \quad (2.7)$$

Величини сил, що діють на передню  $F_{ni}$  та задню  $N_{zi}$  бабки, враховуючи перерозподіл сили  $P_y$  на відріжку  $0 \leq l_{pi} \leq L_{D3}$  кроком, рівним величині подачі  $S$ , маємо із виразів:

$$F_{ni} = P_y \cdot \frac{l_{pi}}{L_d}, \quad (2.8)$$

$$N_{zi} = P_y \cdot \left(1 - \frac{l_{pi}}{L_d}\right), \text{ Н}. \quad (2.9)$$

Величина зміщення центра задньої бабки визначиться як:

$$\delta_{Ci} = \frac{10^3 \cdot N_{zi}}{J_c}, \text{ мм}. \quad (2.10)$$

Величина зміщення переднього кінця шпинделя від дії сил різання:

$$\delta_{Ai}^I = 10^3 \cdot F_{ni} \cdot \left[ \frac{a^3}{3E \cdot I_1} + \frac{a^2 l}{3E \cdot I_2} + \frac{j_A \cdot a^2 + j_B \cdot (l+a)^2}{j_A \cdot j_B \cdot l^2} \right]. \quad (2.11)$$

Осьові моменти інерції перерізу шпинделя[10]:  $I_1, I_2$  визначаємо з допомогою розмірів профілю поперечного перерізу, а саме для круглого перерізу з отвором:

$$I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (d^4 - d_0^4); \quad (2.12)$$

$$I_1 = \frac{\pi}{64} (D_1^4 - D_0^4); \quad (2.13)$$

$$I_2 = \frac{\pi}{64} (D_2^4 - D_0^4). \quad (2.14)$$

Зміщення переднього кінця шпинделя від дії сил в зачепленні приводної передачі визначиться як[4]:

$$\delta_{Ai}^{II} = 10^3 \cdot P_r \cdot \left[ \frac{(j_B \cdot (l+a)) - j_A \cdot (l-b)}{j_A \cdot j_B \cdot l^2} - \frac{a \cdot (b^3 + 2bl^2 - 3b^2l)}{3E \cdot I_2 \cdot l} \right]. \quad (2.15)$$

Сумарне зміщення переднього кінця шпинделя:

$$\delta_{Ai}^{\Sigma} = \sqrt{(\delta_{Ai}^I)^2 + (\delta_{Ai}^{II})^2 - 2\delta_{Ai}^I \cdot \delta_{Ai}^{II} \cdot \sin \varphi}. \quad (2.16)$$

Прогин тіла деталі:

$$\delta_{3i} = \frac{P_y}{3 \cdot E \cdot I} \cdot \frac{l_{pi}^2 \cdot (L_{\partial} - l_{pi})^2}{L_{\partial}}, \quad (2.17)$$

$$\text{де } I = 0,05 \cdot d^4. \quad (2.18)$$

Отже, сумарне відхилення від заданого профілю деталі [1]:

$$\Delta = \sqrt{(\delta_{Ai}^\Sigma)^2 + (\delta_{Ci})^2 + (\delta_{zi})^2}, \text{ мм.} \quad (2.19)$$

2.2 Дослідження впливу геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи на величину відхилень від номінального профілю деталі та їх характер

Вплив технологічних, геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи токарного верстата на величину відхилень від номінального профілю деталі та їх характер досліджено за допомогою комп'ютерної програмив MathCAD, складеної за алгоритмом розрахунку величини текучого радіуса при обробленні в центрах. За результатами розрахунків побудовані графіки, що представлені на рисунках 2.5-2.9. На графіках, що наведені нижче, переміщення різця показано при його русі справа наліво, тобто, мо мірі зростання параметра  $L$ .

Параметри оброблюваної деталі:  $D_d=80$  мм,  $L_d = 600$ мм;  $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м.

Жорсткість шпиндельних опор та задньої бабки верстата:

$$J_A=2,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}, \quad J_B=2 \cdot 10^8 \text{ Н/м}, \quad J_C=5 \cdot 10^7 \text{ Н/м}.$$

Графік залежності поточного радіуса деталі від положення різця при різних значення швидкості різання представлений на рисунку 2.5.

З графіка видно, що максимальне відхилення від заданого профілю деталі відбувається при мінімальній швидкості різання. Це пов'язано з тим, що за таких умов сила різання буде максимальною. При збільшені швидкості різання відхилення від заданого профілю буде зменшуватись. Також слід зауважити, що жорсткість задньої бабки менша ніж шпиндельного вузла.

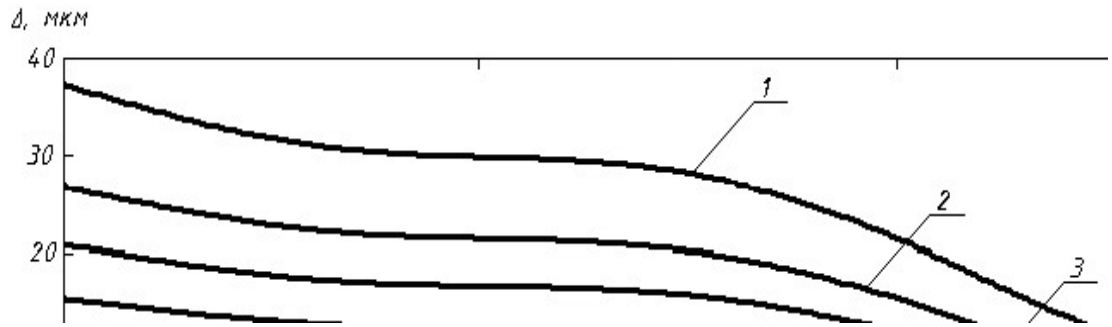


Рисунок 2.5 – Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при  $s=2,8$  мм/об.,  $t=1,4$  мм і різних значення швидкості різання:

1 -  $V=83$  м/хв.; 2 -  $V=250$  м/хв.; 3 -  $V=380$  м/хв.; 4 -  $V=600$  м/хв.

Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при  $V=380$  м/хв.,  $s=1,5$  мм/об. і різних значення глибини різання  $t$  представлено на рисунку 2.6

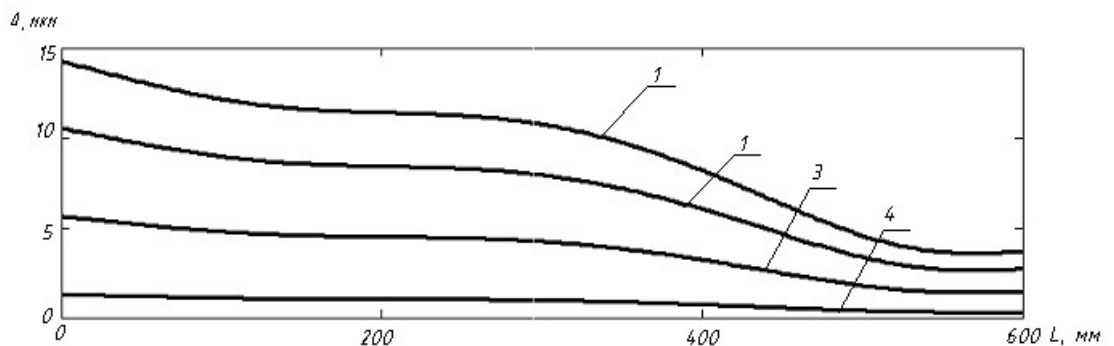


Рисунок 2.6 – Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при різних значення глибини різання:

1 -  $t=1,4$  мм; 2 -  $t=1$  мм; 3 -  $t=0,5$  мм; 4 -  $t=0,1$  мм.

З графіка видно, як глибина різання впливає на жорсткість технологічної системи. Навіть при малій глибині різання відбувається деяке відхилення від заданого профілю деталі.

Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при різних значеннях подачі представлено на рисунку 2.7

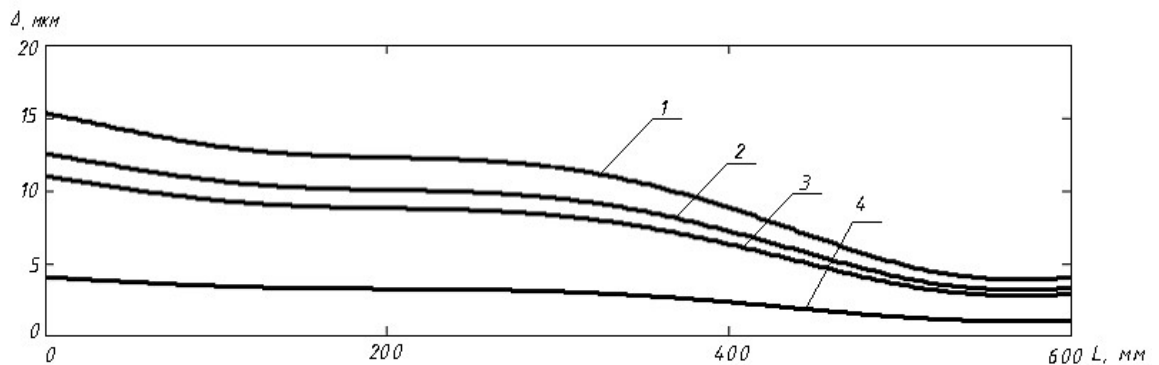


Рисунок 2.7 – Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при  $V=380$  м/хв.,  $t=1$  ммі різних значеннях подачі:

1 -  $s=2,8$  мм/об.; 2 -  $s=2$  мм/об.; 3 -  $s=1,6$  мм/об.; 4 -  $s=0,5$  мм/об.;

Проаналізувавши рис. 2.7, можна зробити висновок, що величина подачі впливає на відхилення від теоретичного профілю деталі, але у меншій мірі, ніж швидкості глибина різання.

Графік залежності текучого радіуса деталі від положення різця при  $V=380$  м/хв.,  $t=1,4$  мм,  $s=2,8$  мм/об.,  $D_d=80$  мм,  $E=2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup> і різних значеннях жорсткості вузлів верстата представлений на рис. 2.8.

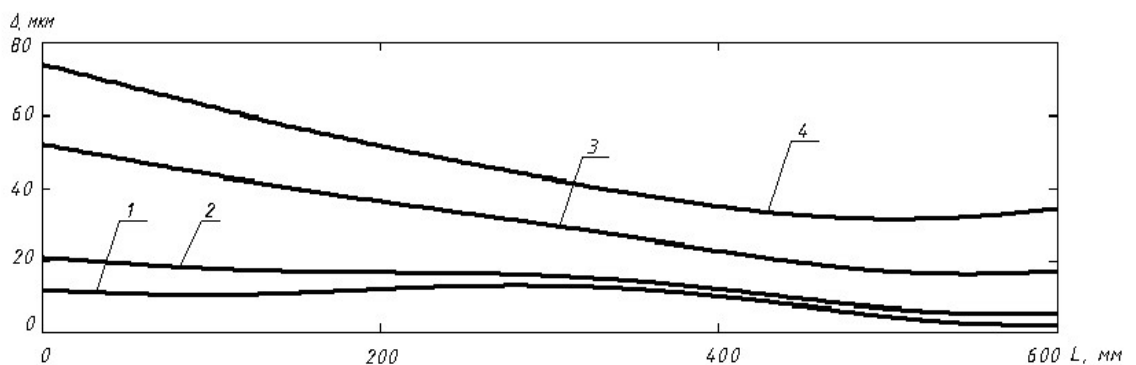


Рисунок 2.8 – Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при різних значеннях жорсткості вузлів верстата:

1 -  $J_A=6 \cdot 10^8$  Н/м,  $J_B=4 \cdot 10^8$  Н/м,  $J_C=9 \cdot 10^7$  Н/м;

$$2 - J_A=2,5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}, J_B=2 \cdot 10^8 \text{ Н/м}, J_C=5 \cdot 10^7 \text{ Н/м};$$

$$3 - J_A=8 \cdot 10^7 \text{ Н/м}, J_B=6 \cdot 10^7 \text{ Н/м}, J_C=2 \cdot 10^7 \text{ Н/м};$$

$$4 - J_A=4 \cdot 10^7 \text{ Н/м}, J_B=2 \cdot 10^7 \text{ Н/м}, J_C=4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}.$$

З рисунка 2.8 видно, який значний вплив має жорсткість основних вузлів верстата. З часом експлуатації верстата жорсткість його вузлів зменшується, що призводить до появи неточних деталей, тобто, браку.

Графік залежності текучого радіуса деталі від положення різця при  $V=380$  м/хв.,  $t=1,4$  мм,  $s=2,8$  мм/об. і різних значення жорсткості деталі, яка в тому числі залежить від її діаметра, представлено на рис. 2.9

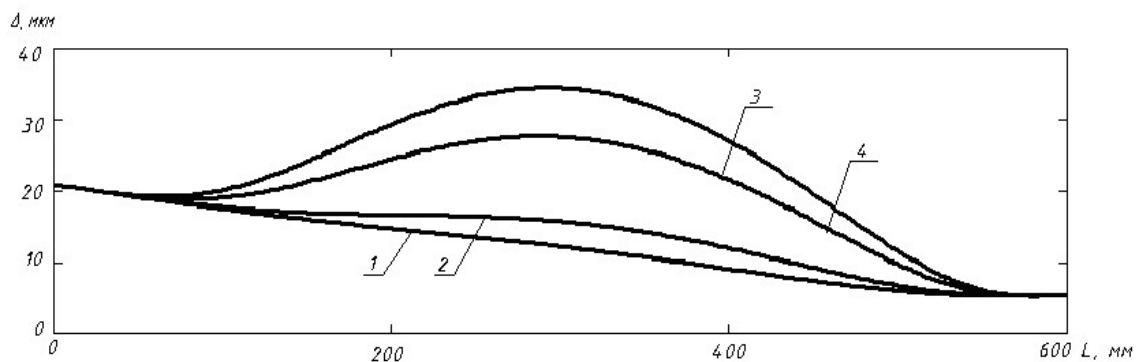


Рисунок 2.9 – Графік залежності зміни поточного радіуса деталі від положення різця при обробленні деталей із різних конструкційних матеріалів (у яких різні значення жорсткості):

$$1 - E=4 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 ; 2 - E=2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 ; 3 - E=9 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 ; 4 - E=6 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2 .$$

Із графіка видно, що із зменшенням жорсткості деталі буде збільшуватись деформація самої деталі. Отже, при обробленні заготовок менших діаметрів або матеріалів із меншими значеннями параметра  $E$  буде збільшуватись деформація і, отже, відсоток браку.

Після аналізу наведених вище графіків можна зробити висновок, що конструктивні параметри вузлів верстата впливають на жорсткість технологічної системи менш інтенсивно, ніж геометричні. Тому для покращення

жорсткості технологічної системи, а отже і точності оброблення нежорстких довгомірних деталей, необхідно:

- а) задавати оптимальні умови різання (швидкість і глибину різання, а також величину подачі);
- б) підтримувати в належному виді технічний стан верстата;
- в) вчасно виконувати підналагодження вузлів верстата.

При експлуатації верстата важко врахувати усі конструкторські і геометричні параметри системи ВПД, тому необхідно створити таку систему корекції, яка б давала змогу контролювати процес оброблення, враховуючи при цьому змінну жорсткість елементів технологічної системи автоматично.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розроблення системи корекції переміщень супорта токарного верстата з ЧПК мод. 16К20Ф3С32 із врахуванням різної податливості шпиндельного вузла та задньої бабки

Токарний верстат з ЧПК мод. 16К20Ф3С32 використовують для патронних і центрових робіт, що виконуються для оброблення деталей типу тіл обертання зі східчатим та криволінійним профілем (валів, втулок і дисків та їх різновидів: осей, маточин, фланців, кришок, шківів, зубчастих коліс тощо). Верстат набув широкого поширення в механічних та інструментальних цехах і застосовується в одиничному, дрібносерійному та середньосерійному типі виробництва.

Більшість робіт на верстаті виконують різцями. Це - зовнішнє і внутрішнє точіння, прорізання канавок та нарізання різьблень, хоча можливе також використання інших видів інструменту. Економічна точність отримання розмірів: а) діаметральних не вище 9-го квалітету; б) лінійних - не вище 10-го квалітету. Додаткові технологічні прийоми такі як робота

гострозаточеними твердосплавними різцями, коригування програми в процесі оброблення деталі тощо дозволяють обробляти окремі деталі з точністю до 7-го квалітету.

За необхідності та оснащенні верстата спеціальними інструментальними державками на ньому можна виконувати свердлування, зенкерування і розвірчування центрального отвору, а також нарізання різьї різцями, мітчиками та плашками.

Верстат має пристрій оперативного програмного керування типу 2P22 класу HNC з введенням програми оброблення заготовки з клавіатури чи магнітної касети. За принципом керування рухом робочих органів система ЧПК верстата відноситься до систем контурного керування, при якому робочі органи верстата можуть переміщуватися по заданій траєкторії із заданою швидкістю подачі. Це забезпечує оброблення прямолінійних і криволінійних контурів деталі із заданою точністю та шорсткістю.

Наявність у пристрої типу 2P22 міні-ЕОМ "Електроніка-60М" та відповідного програмного забезпечення дозволяє складати керуючі програми у зручному форматі, що спрощує програмування оброблення деталі. Програма оброблення при цьому відображається на буквено-цифровому екрані блока відображення символної інформації, який надалі називатимемо дисплеєм.

Механізм приводу поперечної подачі токарного верстата з ЧПК даної моделі забезпечує перетворення електричних імпульсів, що генеруються згідно інформації керуючої програми і поступають в систему керування верстатом, в лінійні поперечні переміщення супорта з різальним інструментом (координата Y). Він включає високомоментний двигун постійного струму і передачу гвинт-гайка кочення, що зв'язані між собою зубчастою передачею. Обертання ротора високомоментного двигуна постійного струму через зубчасту беззасорну передачу передається ходовому гвинту поперечної подачі з кроком  $P_{\text{х.гв.}} = 5$  мм, по якому переміщується гайка, що жорстко з'єднана із поперечним супортом. Із ходовим

гвинтом зв'язаний датчик зворотного зв'язку - індуктивний датчик типу обертовий трансформатор ВТМ-1В, який служить для опосередкованого контролю розмірів оброблюваної деталі і здійснює зворотній зв'язок по шляху. Датчик вимірює переміщення робочого органу верстата і перетворює результат в електричні імпульси зворотнього зв'язку.

Для даного верстата рівняння ланцюга приводу поперечної подачі:

$$S_{non} = 1 \text{ ел.імп} \cdot (1,5./360) \cdot (24/100) = 0,005 \text{ мм / імп} . \quad (3.1)$$

Так як відомий механізм корегувальної лінійки[4] не дозволяє швидко переналаштовуватись при зміні профілю деталі і властивостей технологічної системи ВПД, тому розроблення механізму корекції, який би дозволяв швидко і якісно враховувати податливість вузлів верстата і заготовки, геометричні і конструктивні параметри оброблення деталі є актуальною задачею. Також бажано, щоби дана конструкція була нескладною і недорогою у виготовленні.

Для реалізації можливості врахувати похибки, викликані змінною жорсткістю вузлів верстата, запропоновано механізм, який додатково вносить корекцію у керуючу програму верстата при різних параметрах оброблення та контролює профіль оброблюваної деталі.

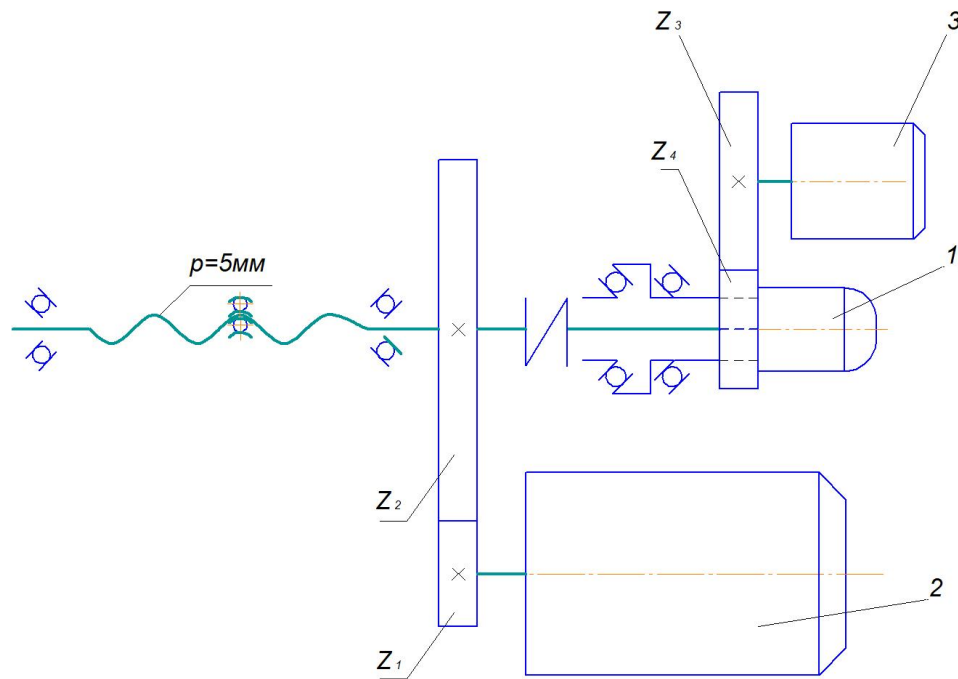


Рисунок 3.1 - Схема приводу поперечної подачі токарногверстата з ЧПК мод. 16К20ФЗС32: 1 – датчик зворотного зв’язку; 2 – високомоментний двигун постійного струму; 3 – кроковий двигун;  $Z_1$ - $Z_2$  – силова безззорна зубчаста передача;  $Z_3$ - $Z_4$  - безззорна зубчаста передача коректуючого пристрою

Запропонований механізм (див. рис. 3.1) складається з крокового двигуна 3, безззорної циліндричної передачі  $Z_3$ - $Z_4$ , датчика зворотного зв’язку 1, який прикріплений до шестерні, що знаходиться на рухомому стакані. Корпус датчика зворотного зв’язку може здійснювати зворотньо-обертвий рух навколо своєї осі. Характеристики крокового двигуна і передавальне відношення зубчастої передачі вибрано таким чином, щоб мінімальний кут повороту корпуса датчика відповідав генерації одного імпульсу, який реалізується приводом поперечної передачі. Таким чином відбувається додаткове переміщення різця на мінімальну величину, що становить 0,005мм або переміщенню різця в поперечному напрямку за 1 імпульс від системи керування.

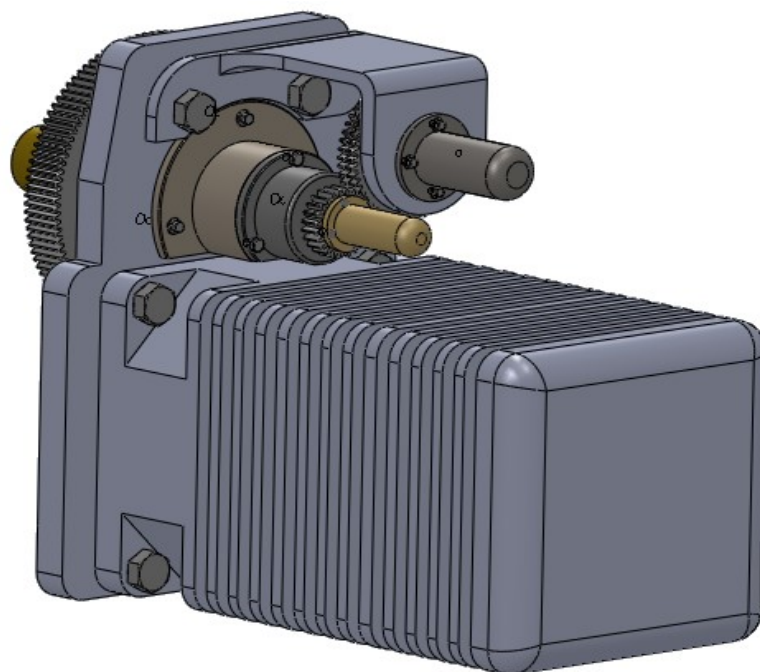


Рисунок 3.2 – 3D-модель корегувального пристрою

Застосовуючи корегувальну систему даної конструкції точність оброблення на токарних верстатах можна підвищити у 2 рази. Запропонований механізм доцільно використовувати у важкому машинобудуванні, крупносерійному виробництві. Даний механізм є простим і надійним в експлуатації, нескладний у застосуванні і недорогий.

Блок-схема роботи корегувального пристрою показана на рисунку 3.3. Механізм корекції дозволяє коректувати профіль деталі під час оброблення. Перехід на інші параметри оброблення або на інший типорозмір деталі не потребує додаткових опрацювань, вимірювань чи перерахунків. Система працює наступним чином (див. рис. 3.3): надсилаються дані з кодом контролю профілю деталі від керуючої програми або блоку кодування (БК) в мікро ЕОМ. Мікро ЕОМ видає інформацію корекції в блок компенсації, який одночасно отримує інформацію від керуючої програми. Після їх сумування на пристрій керування кроковим двигуном (ПККД) надходить та інформація, що потрібна для врахування похибок форми деталі, які можуть виникнути.

Далі пристрій керування кроковим двигуном генерує таку кількість імпульсів, яка необхідна для забезпечення правильної форми поверхні деталі.

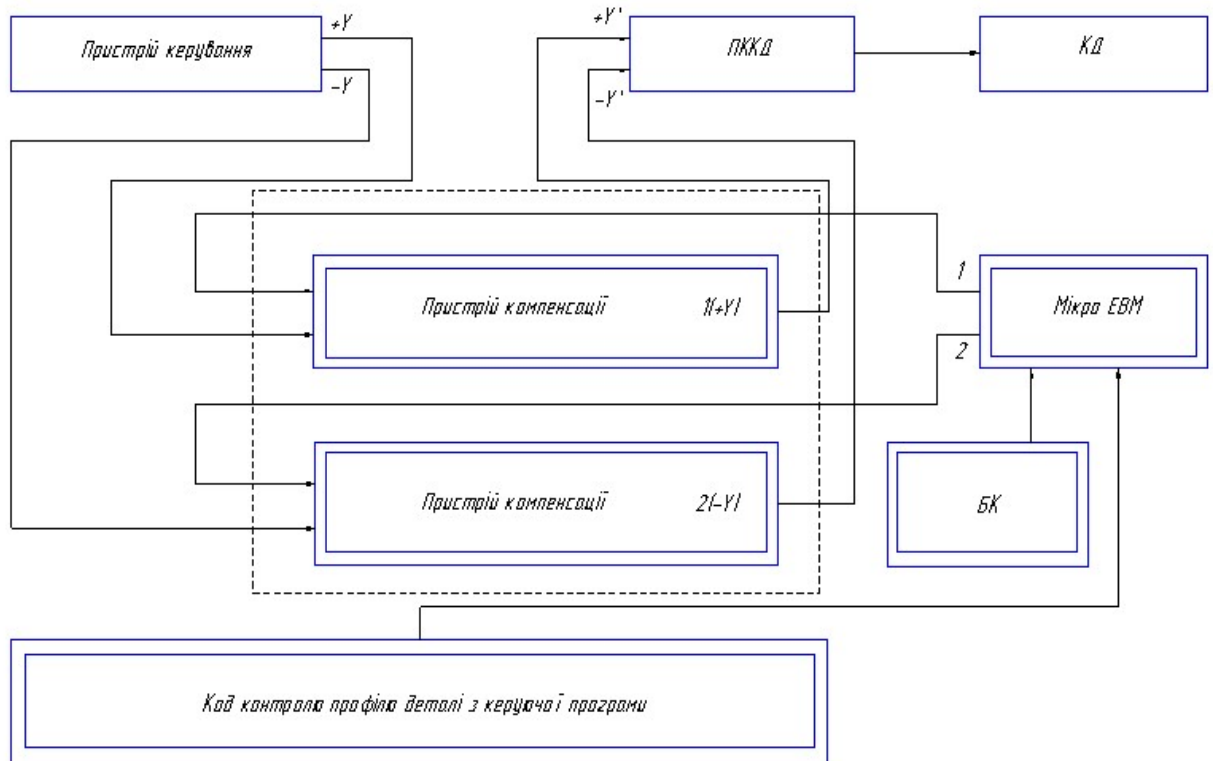


Рисунок 3.3 – Блок-схема корегувального пристрою

Корегувальну систему даної конструкції також можна використати в більш точних конструкціях приводів верстатів з ЧПК, де застосовуються датчики зворотного зв'язку. Але для цього необхідно розрахувати мінімальний (кроковий) кут повороту корпусу датчика, щоб той коректував похибку, викликану податливістю системи ВПД даного верстата.

#### 4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

У наш час найбільший відсоток реалізації продукції приходить на долю вітчизняних машинобудівних підприємств, які виготовляють продукцію для сільського господарства. Це пояснюється розпадом великих сільськогосподарських структур і започаткуванням на їх місці великої

кількості дрібних господарств і організацій.

Така ж тенденція і у машинобудуванні, де паралельно з потужними машинобудівними комплексами починають розвиватися дрібні приватні організації з невеликим обсягом продукції, що випускається, з невеликим парком верстатів і робочої сили. Це вимагає наявності мобільних технологічних процесів оброблення, які можуть із невеликими змінами перейти на оброблення близьких за конструкцією деталей, використовуючи існуюче обладнання. Для забезпечення продуктивної роботи, високої точності оброблення деталей повинні бути підготовлені виробничі кадри і, в першу чергу, технологи, конструктори і організатори виробництва. Тому в дипломній роботі на прикладі заданої деталі необхідно показати вміння розробляти найбільш ефективний технологічний процес, який при найменших витратах забезпечував би необхідну продуктивність, точність та якість продукції.

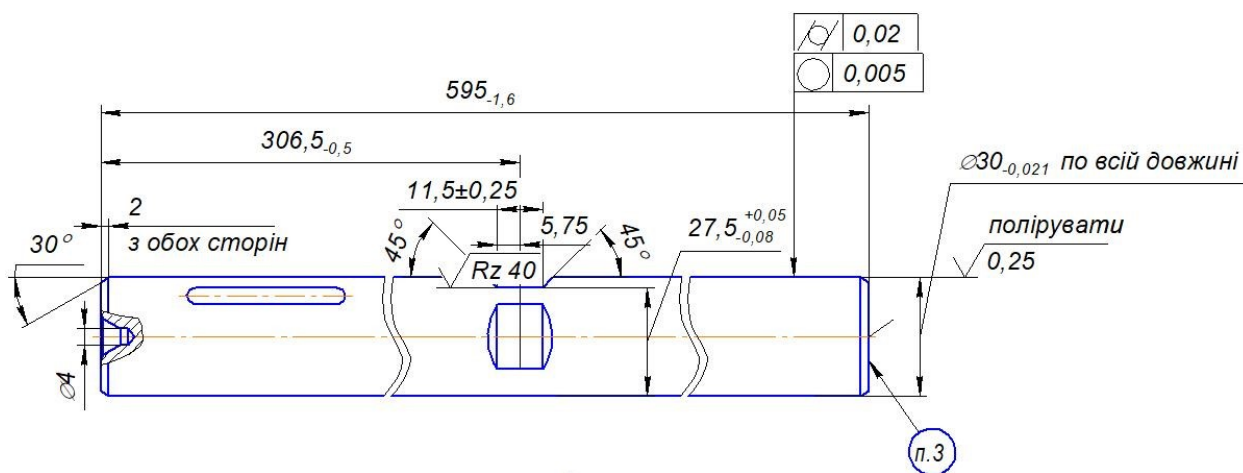


Рисунок 4.1 – Ескіз деталі «Стрижень»

#### 4.1 Вибір типу заготовки

Вибір методу отримання заготовки – це важливий момент розроблення технологічного процесу механічного оброблення деталі. Від нього залежить собівартість, продуктивність, точність та якість готової продукції.

Як заготовка для деталі «Стрижень» може бути використана круглий прокат гарячекатаної сталі за ГОСТ 2590-88.

Вихідною груповою заготовкою попередньо приймаємо пруток номінального діаметру 32мм згідно сортаменту гарячекатаної сталі круглого перетину згідно ГОСТ 2590-88. Приймаємо довжину прутка до розрізання на заготовки  $L=3000$ мм.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{q}{Q_2} n, \quad (4.1)$$

де  $q$  – маса деталі,  $q=3,2$ кг;

$Q_2$  – маса заготовки із прутка довжиною  $L=3000$ мм;

$n$  – кількість заготовок, отриманих з одного прутка.

$$Q_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} L \cdot \rho, \quad (4.2)$$

тут  $\rho$  – густина матеріалу,  $\rho=7,8$  кг/дм<sup>3</sup>.

$$Q_2 = \frac{3,14 \cdot 0,32^2}{4} \cdot 30 \cdot 7,8 = 18,86 \text{ кг.}$$

$$n = L/l, \quad (4.3)$$

де  $l$  – довжина відрізаної заготовки на одну деталь, мм

$$n = 3000/600 = 5, \text{ тоді } K_{\text{в.м.}} = (3,2/18,86) \cdot 5 = 0,846.$$

Визначаємо вартість одиничної заготовки довжиною  $l=600$ мм із групової заготовки із прокату  $L=3000$ мм, без урахування вартості відходів,

отриманих після механічного оброблення заготовки.

$$S_3 = \frac{S_i}{1000} Q_2 \frac{1}{n}, \quad (4.4)$$

де  $S_i$ - вартість 1т прокату,  $S_i=50000$  грн.;

$Q_2$  - маса заготовки з прутка,  $Q_2=3,78$  кг;

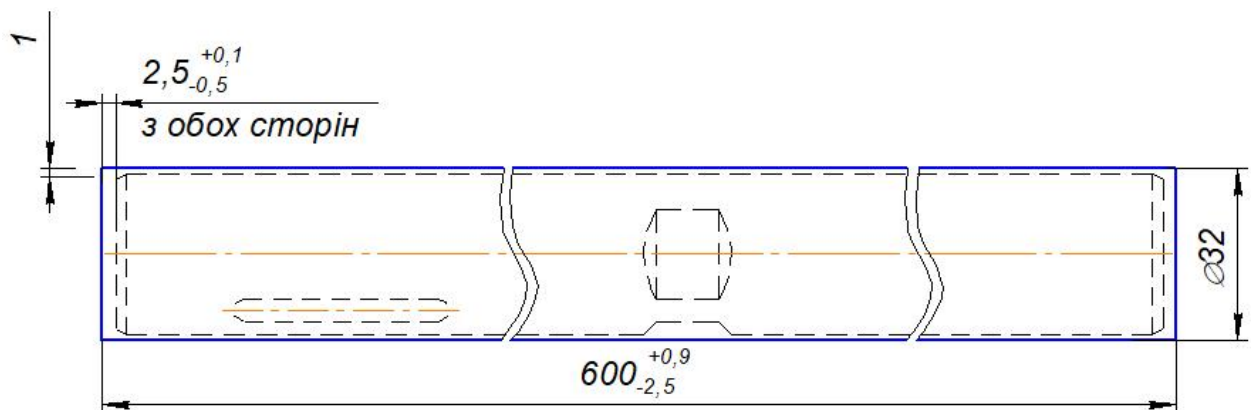
$$S_3 = (50000/1000) \cdot 3,78/5 = 37,8 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 –Зведена таблицядля визначення вартості заготовки

Вид заготовки	$K_{в.м.}$	Вартість заготовки, грн.	Річна партія випуску, шт.	Річні витрати, грн./рік
Прокат	0,846	37,8	1000	37800

#### 4.2 Визначення припусків на оброблення по переходах і допусків на розміри заготовки

Приймаємо точність прокату нормального класу з відхиленням діаметра  $\varnothing 32_{-0,5}^{+0,1}$ . Відхилення довжини заготовки  $L = 600_{-2,5}^{+0,9}$ .



## Рисунок 4.2 - Ескіз заготовки

Порізка виконується на гідравлічному пресі, який забезпечує точність відрізання в межах  $\pm 2 \dots 4$  мм [7]. Припуски на діаметр заготовки приймаємо по 2,5 мм на сторону.

### 4.3 Вибір технологічних баз

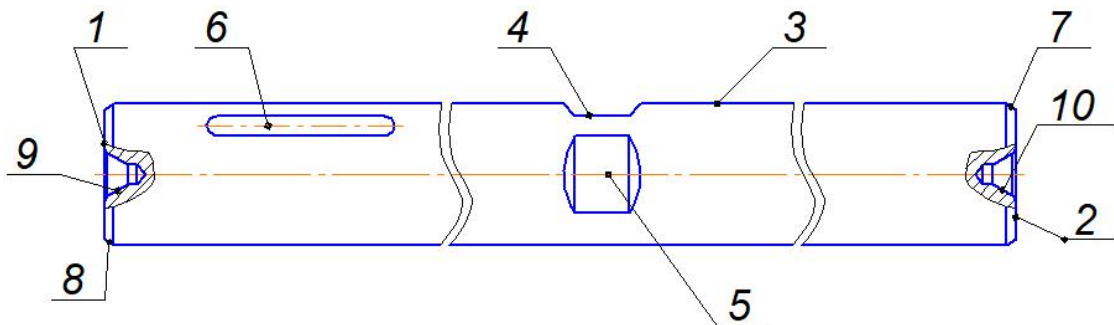


Рисунок 4.3-Поверхні деталі, що обробляються

Зовнішня циліндрична поверхня 3 ( $\text{Ø}30_{-0,021}$ ) (див. рис.4.3) є основною базовою поверхнею деталі, тому що у вузлі деталей встановлюється по цій поверхні в процесі роботи вузла і при механічному обробленні поверхня використовується як установочна база. Вона ж виступає як подвійна напрямна поверхня, а торці 1 і 2 при різних установах як упорна база. Деталь при цьому варіанті базування втрачає п'ять ступенів вільності. Шоста ступінь вільності лишається за рахунок сил тертя між поверхнею 3 і кулачками патрона.

На першій операції при обробленні торців і фасок поверхня 3 використовується як чорнова. При подальшому обробленні ж поверхня використовується як установочна база, а торці деталі - як упорна база.

### 4.4 Вибір технологічного маршруту оброблення деталі

Після призначення технологічних баз складаємо технологічний маршрут оброблення деталі "Стрижень", який зводимо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Маршрут оброблення деталі "Стрижень"

Номер операції	Найменування і зміст операції	Технологічні бази	Найменування і модель верстата
005	Заготовча: відрізка заготовок від прутка		Прес КБ 8336
010	Токарна: точити торці 1 і 2 начисто, зняти фаски 7 і 8, обробити центрові отвори 9 і 10 за два установи	Поверхня 3 (чорнова)	Токарно-револьверний з ЧПК 1В340Ф30
015	Токарна: обточити поверхню 3 начисто	Поверхні 9; 10	Токарний з ЧПК 16К20Ф3С32
020	Фрезерувальна: фрезерувати поверхню 4; повернути деталь на 90° і фрезерувати поверхню 5	Поверхні 1;3	Горизонтально-фрезерувальний 6М82
025	Штампувальна: штампувати поверхню 6	Поверхні 1;3;4; 5	Прес КБ 8336
030	Термічне оброблення		Установка СВЧ
035	Безцентрово-шліфувальна: шліфувати поверхню 3 за 4 проходи начисто, витримуючи розмір $\varnothing 30_{0,021}$	Поверхня 3	Безцентрово-шліфувальний 3185
040	Плоскошліфувальна: шліфувати поверхні 4, 5	Поверхні 1;3	Плоскошліфувальний 3Б722

045	Безцентрово-шліфувальна: полірувати поверхню 3, витримуючи шорсткість Ra0,25	Поверхня 3	Безцентрово- шліфувальний 3185
-----	---	------------	-----------------------------------

#### 4.5 Детальне розроблення технологічних операцій механічного оброблення деталі "Стрижень"

Розглянувши попередньо розроблений маршрут оброблення деталі, проаналізувавши необхідний обсяг роботи, яку необхідно виконати при роботі на кожній операції, вибравши бази та моделі верстатів, які можуть забезпечити необхідну точність оброблення, переходимо до детального розроблення технологічних операцій механічного оброблення деталі "Стрижень".

Після розрахунків припусків та режимів різання при недостатньому завантаженні верстатів по потужності можна намітити операції з більшою концентрацією переходів, а при високих потужностях, що витрачаються на різання, можна застосувати метод диференціювання операцій.

Технологічний процес(зміст операцій і переходів, обладнання, пристрої та інструмент) зводимо в таблицю 4.3

Таблиця 4.3 - Технологічні операції оброблення деталі "Стрижень"

Номер	Зміст операції	Модель верстата	Пристрій	Інструмент
1	2	3	4	5
005	Заготовчо-відрізна	Прес КБ	Входить в	Штамп

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Подати пруток до упора</li> <li>2. рубати заготовку, витримуючи розмір 600мм</li> <li>3. Контроль виконавцем – 5%</li> </ol>	8336	комплект верстата	
010	<p>Токарна з ЧПК</p> <p><u>Установ А</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установити заготовку в патрон, закріпити</li> <li>2. Підрізати торець в розмір 597,5<sub>-1,6</sub> мм</li> <li>3. Зняти фаску 2×30°</li> <li>4. Обробити центровий отвір Ø4мм</li> <li>5. Зняти заготовку</li> </ol>	1В340Ф3О	Патрон цанговий гідравлічний	Різець підрізний Т15К6, свердло центрувальне Р6М5
	<p><u>Установ Б</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Переустановити заготовку в патроні, закріпити</li> <li>2. Підрізати торець в розмір 195<sub>-1,6</sub> мм</li> <li>3. Зняти фаску 2×30°</li> <li>4. Обробити центровий отвір Ø4мм</li> <li>5. Звільнити і зняти деталь</li> <li>6. Контроль виконавцем – 5%</li> </ol>			

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

015	Токарна з ЧПК 1. Обточити деталь на всю довжину, витримуючи розмір $\varnothing 30,6_{-0,05}$ і вимоги щодо циліндричності форми у 2 проходи: чорновий і чистовий	16K20Ф3С32	Центри рифлені	Різець прохідний Т15К6
020	Фрезерувальна 1. Установити заготовку 2. Фрезерувати лиску в розмір 11,5, витримуючи розміри 28, $106,5_{-0,5}$ 3. Звільнити деталь, повернути на $90^\circ$ , повторити перехід 2 з іншого боку 4. Звільнити і зняти деталь 5. Контроль виконавцем – 5%	6М82	Спеціальний затискний пристрій	Фреза дискова тристороння фасонна
025	Штампувальна 1. Установити заготовку в штамп 2. Штампувати канавку 6, витримуючи розміри 2, $90^\circ$ , 36, 25 3. Зняти заготовку 4. Контроль виконавцем – 5%	Прес КБ 8336	Спеціальний пристрій	Штамп
030	Термічна обробка 1. Установити деталь в установку СВЧ 2. Гартувати на глибину $h=4^{+3,0}$ мм.	Установка СВЧ		

035	Безцентрово-шліфувальна: 1. Установити деталь в завантажувальний пристрій 2. Шліфувати деталь за 4 проходи до $\varnothing 30,01$ 3. Контроль виконавцем – 20%	3185	Опорний ніж	Шліфувальний круг $600 \times 100 \times 305$ 24A40ПСТ16К5 35м/с Ведучий круг $400 \times 100 \times 225$ 16A16ТВ 25м/с
040	Плоскошліфувальна 1. Установити заготовку 2. Шліфувати лиску, витримуючи розміри $11,5$ ; $45^\circ$ , $106,5_{-0,5}$ ; $27,5_{-0,08}^{+0,05}$ ; $90^\circ \pm 1,5^\circ$ 3. Звільнити деталь, повернути на $90^\circ$ , повторити перехід 2 4. Звільнити і зняти деталь 5. Контроль виконавцем – 5%	3Б722	Спеціальний затискний пристрій	Шліфувальний круг $450 \times 25 \times 203$ 24A40ПСМ15К 5 35м/с
045	Безцентрово-шліфувальна 1. Установити заготовку 2. Полірувати заготовку до $\varnothing 30_{-0,021}$ , витримуючи технічні вимоги: шорсткість $Ra0,25$ , конусність і еліптичність $0,01\text{ммтах}$ ; непрямолінійність $\text{тах}0,02\text{мм}$ ; ограненість $0,005\text{ммтах}$ . 3. Контроль ВТК – 100%	3185	Опорний ніж	Полірувальний круг $600 \times 150 \times 305$ 14A25ПСТВ 35м/с Ведучий круг $300 \times 150 \times 305$ 14A16ПСТВ 25м/с

#### 4.6 Розрахунок і призначення припусків на механічне оброблення

##### 4.6.1 Аналітичний розрахунок припусків на оброблення поверхні

Ø30h7

На основі прийнятого виду заготовки і технологічного маршруту виготовлення деталі виконуємо розрахунок припусків, операційних розмірів і допустимих відхилень на оброблення поверхні 3 в розмір Ø30h7 розрахунково-аналітичним методом[7,8].

Маршрут оброблення поверхні складається з чорнового і напівчистового точіння на токарному верстаті з ЧПК із системою корекції і чистового шліфування на безцентрово-шліфувальному верстаті. На операцію полірування до шорсткості Ra0,25 припуск не враховуємо.

При безцентровому шліфуванні циліндричної поверхні заготовки, формула для розрахунку мінімального припуску  $2Z_{\min}$  має вигляд [8]:

$$2Z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1}), \quad (4.5)$$

де  $R_{z_{i-1}}$ ,  $T_{i-1}$  і  $\rho_{i-1}$  - висота мікронерівностей, глибина дефектного шару та сумарне значення просторових відхилень, що одержані на попередньому переході, відповідно.

Значення  $R_z$  і  $T$  вибираємо із [8], с.182, табл.4. На першому переході значення  $R_z$  і  $T$  відповідають способу отримання заготовки: згідно [8], с.180, табл.3,  $R_z=150$  мкм,  $T=250$  мкм. Так як оброблення виконується на безцентрово-шліфувальному верстаті, то похибка установки у радіальному напрямку дорівнює нулю.

Сумарне значення просторових відхилень  $\rho$  для заготовки із сортового прокату при обробленні в центрах визначається за формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_0^2} \quad (4.6)$$

$\rho_k$  - кривизна заготовки, яка визначається на підставі питомої

кривизни за формулою [8],с.178:

$$\rho_k = [\Delta] \cdot l, \text{ мкм} \quad (4.7)$$

тут  $[\Delta]$ - величина питомої кривизни заготовки, для гарячекатаного прокату після термооброблення,  $[\Delta]=1,5\text{мкм/мм}$ . [8], с.180, табл. 4:

$$\rho_k = 1,5 \cdot 595 = 892,5 \text{ мкм} \quad (4.8)$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{892,5^2 + 0^2} = 892,5 \text{ мкм.}$$

Величина залишкових просторових відхилень після чорнового, чистового точіння та шліфування визначається за формулою [8], с.173:

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \cdot \rho_{\text{заг}}, \quad (4.9)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення форми після чорнового шліфування заготовки із гарячекатаного прокату,  $K_y=0,06$ , [8], с.173;

$$\rho_{\text{зал}} = 0,06 \cdot 892,5 = 53,5 \text{ мкм}$$

Після напівчистового шліфування заготовки величина залишкових просторових відхилень визначається через коефіцієнт уточнення  $K_y=0,04$ , тоді  $\rho_{\text{зал. нч}} = 0,04 \cdot 892,5 = 35,7\text{мкм}$ .

Після чистового шліфування величина залишкових просторових відхилень визначається через коефіцієнт уточнення  $K_y=0,04$  тоді  $\rho_{\text{зал. чш}} = 0,02 \cdot 892,5 = 17,8\text{мкм}$

Допуск на зовнішній діаметр заготовки з гарячекатаної сталі, круглого

прокату за ГОСТ 2590-88 загальної точності  $IT_D=60\text{мкм}$ .

Значення допусків операційних розмірів визначаємо за таблицями допусків з урахуванням квалітетів точності, що досягаються на технологічних операціях [9], с.28, табл.4.

Після чорнового точіння:

$$R_z = 10\text{мкм}; T = 20\text{мкм}; IT_D = 60\text{мкм}; \rho = 18\text{мкм}.$$

Після напівчистового точіння:

$$R_z = 5\text{мкм}; T = 10\text{мкм}; IT_D = 20\text{мкм}; \rho = 12\text{мкм}$$

Після чистового шліфування:

$$R_z = 3\text{мкм}; T = 5\text{мкм}; IT_D = 10\text{мкм}; \rho = 6\text{мкм}.$$

Визначаємо мінімальні припуски на кожен перехід:

$$\text{на чорнове точіння: } 2Z_{1\min} = 2(150 + 250 + 293) = 2 \cdot 693\text{мкм};$$

$$\text{на напівчистове точіння: } 2Z_{2\min} = 2(10 + 20 + 18) = 2 \cdot 48\text{мкм};$$

$$\text{на чистове шліфування: } 2Z_{3\min} = 2(5 + 10 + 12) = 2 \cdot 27\text{мкм}.$$

Розрахунковий розмір на попередній поверхні визначається додаванням до найменшого граничного розміру припуску на цей перехід для зовнішніх поверхонь.

Так розрахунковий розмір після напівчистового точіння:

$$a_{2\min} = a_{3\min} + 2 \cdot Z_{3\min}, \quad (4.10)$$

$a_{3\min}$  - мінімальне значення заданого на кресленні розміру.

$$a_{2\min} = 30_{-0.021} + 2 \cdot 0,027 = 29,979 + 0,054 = 30,033\text{мм}.$$

Розрахунковий розмір після чорнового точіння:

$$a_{1\min} = a_{2\min} + 2 \cdot Z_{2\min}, \quad (4.11)$$

$$a_{1\min} = 30,033 + 2 \cdot 0,048 = 30,129\text{мм.}$$

Розрахунковий розмір заготовки:

$$a_{\text{çãã.min}} = a_{1\min} + 2 \cdot Z_{1\min}, \quad (4.12)$$

$$a_{\text{çãã.min}} = 30,129 + 2 \cdot 0,693 = 31,515\text{мм.}$$

Визначаємо граничні розміри по переходах. Для цього одержані розрахункові мінімальні значення розмірів округляємо до сотих долей і визначаємо мінімальний граничний розмір:

$$a_{\text{çãã.min}} = 31,515 - d_{\text{çãã.min}} = 31,52\text{мм. } a_{1\min} = 30,129 - d_{1\min} = 30,13\text{мм.}$$

$$a_{2\min} = 30,033 - d_{2\min} = 30,03\text{мм. } a_{3\min} = 29,979 - d_{3\min} = 29,98\text{мм.}$$

Максимальні граничні значення розмірів визначаємо за формулою:

$$d_{\max} = d_{\min} + IT_D; \quad (4.13)$$

$$d_{\text{çãã.max}} = 31,52 + 0,6 = 32,12\text{мм; } d_{1\max} = 30,13 + 0,06 = 30,19\text{мм;}$$

$$d_{2\max} = 30,03 + 0,02 = 30,05\text{мм; } d_{3\max} = 29,98 + 0,01 = 29,99\text{мм;}$$

Максимальні граничні значення припусків. Мінімальні граничні припуски визначаються як різниця між граничними розмірами на попередньому і даному переходах:

$$2Z_{i,\min} = a_{i-1} - a_i. \quad (4.14)$$

Тоді граничний припуск на чорнове точіння:

$$2Z_{1,\min} = 31,52 - 30,13 = 1,39\text{мм} = 1390\text{мкм}.$$

Граничний мінімальний припуск на напівчистове точіннябуде:

$$2Z_{2,\min} = 30,13 - 30,03 = 0,1\text{мм} = 100\text{мкм}.$$

Граничний мінімальний припуск на чистове шліфування визначається:

$$2Z_{3,\min} = 30,03 - 29,98 = 0,05\text{мм} = 50\text{мкм}.$$

Максимальні граничні припуски визначаються:

$$2Z_{i,\max} = 2Z_{i,\min} + IT_{D_{i-1}} - IT_{D_i}, \quad (4.15)$$

де  $IT_{D_{i-1}}$  - допуск на розмір на попередньому переході;

$IT_{D_i}$  - допуск на розмір на даному переході.

Тоді максимальний граничний припуск на чорнове точіннябуде:

$$2Z_{1\max} = 2Z_{1\min} + IT_{D_{i-1}} - IT_{D_i} = 1390 + 600 - 60 = 1930\text{мкм}.$$

Максимальний граничний припуск на напівчистове точіннябуде:

$$2Z_{2\max} = 2Z_{2\min} + IT_{D_{i-1}} - IT_{D_i} = 100 + 60 - 20 = 140\text{мкм}.$$

Максимальний граничний припуск на чистове шліфування визначиться

як:

$$2Z_{3\max} = 2Z_{3\min} + IT_{D_{i-1}} - IT_{D_i} = 50 + 20 - 10 = 60\text{мкм.}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунку припусків на поверхню  $\varnothing 30h7(0,021)$

Технологічні переходи оброблення поверхні $\varnothing 30_{-0,021}$	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розрахунковий розмір $d_p$ , мм	Допуск на розмір $IT_D$ , мм	Граничний розмір, Мм		Граничний припуск, мкм	
	$R_z$	T	$\rho$				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	150	250	293	-	31,52	600	31,52	32,12	-	-
Точіння чорнове	10	20	18	2·693	30,13	60	30,13	30,19	1390	1930
Точіння напівчистове	5	10	12	2·48	30,03	20	30,03	30,05	100	140
Шліфування чистове	3	5	6	2·27	29,98	10	29,98	29,99	50	60

Визначаємо загальні припуски  $2Z_{0\max}$  і  $2Z_{0\min}$ , які дорівнюють сумі проміжних припусків:

$$2Z_{0\max} = 2Z_{1\max} + 2Z_{2\max} + 2Z_{3\max} = 1930 + 140 + 60 = 2130\text{мкм};$$

$$2Z_{0\min} = 2Z_{1\min} + 2Z_{2\min} + 2Z_{3\min} = 1390 + 100 + 50 = 1540\text{мкм};$$

Виконуємо перевірку правильності виконання розрахунків:

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = IT_{D_{\text{çãã}}} - IT_{D_{\text{Ä}}} \text{ або } 2130 - 1540 = 600 - 10; \quad 590 = 590.$$

За сортаментом на гарячекатану сталь звичайної точності згідно ГОСТ 2590-88 приймаємо як заготовку Круг  $\frac{B-32 \text{ ГОСТ } 2590-88}{50- \text{ГОСТ } 1050-88}$ , [7], с.105.

Номинальний діаметр круга 32мм, граничні відхилення згідно ГОСТ 1050 – 88:верхнє –  $es=+0,1$ ;нижнє –  $ei=-0,5$ .

Граничні діаметральні розміри заготовки:

$$d_{\min} = d_{\text{ном}} - ei = 32 - 0,5 = 31,5\text{мм}; d_{\max} = d_{\text{ном}} + es = 32 + 0,1 = 32,1\text{мм}.$$

Розрахунковий припуск  $2Z_{\min}$  на операції чорнового шліфуваннярівний

$$2Z_{\min} = 31,5 - 30,13 = 2 \cdot 685\text{мкм}.$$

Граничні значення припусків на операції чорнового точіння рівні

$$2Z_{\min} = 31,5 - 30,13 = 1370\text{мкм}; 2Z_{\max} = 32,1 - 30,19 = 910\text{мкм}.$$

Номинальний розмір заготовки  $\text{Ø}32_{-0,5}^{+0,1}$  мм.

#### 4.6.2 Призначення міжопераційних розмірів припусків і допусків на всі інші розміри оброблюваних поверхонь

Призначені за таблицями припуски при обробленні поверхоньдеталі зводимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Загальні і операційні припуски на оброблення поверхонь

Найменування поверхонь	Загальний припуск, мм	Операційні припуски, мм		
		Чорнова обробка	Напівчистова обробка	Чистова обробка
Поверхні 1 і 2 в розмір $195_{-1,6}$ , $R_a 12,5$	2,5	-	2,5	-
Поверхні 4 і 5 в розмір $28$ , $R_a 12,5$	2	-	2	-
Поверхня 6 в розмір $2$ , $R_a 12,5$	2	-	2	-
Поверхня 4, 5 в розмір $27,5_{-0,08}^{+0,05}$ , $R_a 6,5$	0,5	-	-	0,5

Значення мінімальних припусків на оброблення плоских елементів деталей для заготовок із прокату призначаємо згідно [9], с.180,табл.3.

Операційні розміри і допустимі відхилення на них зведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 - Операційні припуски, розміри і допустимі відхилення на поверхні, що обробляються

Найменування поверхонь, операцій, переходів	Операційні припуски, мм	Операційні розміри, мм	Допуски на операційні розміри, мм
Поверхні 1 і 2; $595_{-1,6}$ , $R_a 12,5$ 1. Розмір заготовки 2. Напівчистове точіння	- 2,5	600 595	$\begin{matrix} +0,1 \\ -0,5 \end{matrix}$ $-1,6$ (IT15)
Поверхня 4 і 5; $27,5_{-0,08}^{+0,05}$ , $R_a 6,5$ 1. Розмір заготовки 2. Напівчистове фрезерування 3. Шліфування	 2 0,5	$\varnothing 30,15$ $\varnothing 28$ $\varnothing 27,5$	$-0,5$ (IT13) $\pm 0,1$ (IT12) $\begin{matrix} +0,05 \\ -0,08 \end{matrix}$ (IT11)
Поверхня 6; $36^{+0,5}$ ; $24 \pm 0,3$ ; 2 1. Розмір заготовки 2. Штампування	 2,0	$\varnothing 30,15$ 28	$-0,5$ (IT13) $-0,9$ (IT11)

#### 4.7 Призначення режимів різання[9]

4.7.1 Вихідні дані для розрахунку режимів різання при підрізанні торців в розмір  $l=595_{-1,6}$

Зміст операції: операція напівчистового підрізання торців 1 і 2 в розмір  $l=595_{-1,6}$  виконується за два установи з однаковими режимами оброблення. На установі А, як і на установі Б, виконуємо напівчистове підрізання торців, витримуючи розмір  $l=595_{-1,6}$ . Вихідний розмір заготовки складає 600мм, шорсткість оброблюваної поверхні  $R_z 80\mu\text{м}$ .

Заготовка – гарячекатаний прокат, матеріал – сталь 50 ГОСТ 1050-88.

Технологічні бази: на установка А і Б поверхня 3 виступає як чорнова установочна база.

Як верстатний пристрій використовується штатний токарний цанговий пневматичний патрон.

Вибір різального інструменту: враховуючи рекомендації [9], с.121, вибираємо токарний підрізний різець із твёрдосплавною квадратною пластиною Т15К6, матеріал державки різця – сталь 45. Відстань від опорної поверхні різця державки до лінії центрів складає 25мм, тому вибираємо державку різця з поперечним перетином  $h \times b = 25 \times 16$ мм, довжина різця 140мм.

Геометричні параметри різця: передній кут  $\gamma = 16^\circ$ , головний задній кут  $\alpha = 10^\circ$ , кут нахилу головної різальної крайки  $\lambda = 105^\circ$ , головний кут у плані  $\varphi = 90^\circ$ , радіус при вершині  $r = 1$ мм.

#### 4.7.2 Аналітичний розрахунок режимів різання при підрізанні торців в розмір $l = 595_{-1,6}$

Глибина різання: припуск на обробку для заданого переходу знімаємо за один прохід, тобто  $i=1$ , тоді глибина різання:

$$t = \frac{L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}}}{2}, \quad (4.16)$$
$$t = \frac{600 - 595}{2} = 2,5 \text{мм.}$$

Подачу вибираємо із [8], с.266. Для конструкційної вуглецевої сталі при розмірі поперечного перерізу державки різця  $16 \times 25$  і діаметрі заготовки до 40мм при глибині різання  $t \leq 3$ мм пропонується подача  $s_0 = 0,4 \dots 0,5$  мм/об.

для верстата 1В340Ф30 з безступінчастим регулюванням величин подач приймаємо  $s_0=0,45$  мм/об. Стійкість різця -  $T=60$ хв.

Швидкість різання, що допускається різальними властивостями різця, розраховується згідно виразу [9]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} K_v, \quad (4.17)$$

де  $C_v$  - коефіцієнт, що залежить від матеріалу оброблюваної заготовки і матеріалу різального інструменту,  $C_v = 350$ ;

$K_v$  - загальний поправковий коефіцієнт, що є добутком коефіцієнтів, які враховують вплив матеріалу заготовки  $k_{M_v}$ , стан поверхні  $k_{I_v}$ , матеріал інструменту  $k_{z_v}$ , кути у плані різця  $k_{\phi_v}$  і вид оброблення  $k_{O_v}$ :

$$K_{M_v} = K_{\Gamma} \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (4.18)$$

$K_{\Gamma} = 1$  - для сталі із  $\sigma_B = 450 \dots 550$  МПа, [2], с.262.

$n_v = 1$  - для сталі  $\sigma_B = 450 \dots 550$  МПа, [2], с.262.

$$K_{M_v} = 1 \left( \frac{750}{510} \right)^1 = 1,47.$$

$k_{\Pi_v} = 0,9$  - для прокату;  $k_{z_v} = 1,0$  - для Т15К6;  $K_{\phi} = 0,7$  - для  $\phi=90^\circ$

$K_r = 0,94$  - для  $r=1$ мм

$$K_v = 1,47 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,94 = 0,87;$$

де  $x, y, m$  - показники степені, відповідно  $x=0,15$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$ ;

$$V = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,45^{0,35}} 0,87 = 154,75 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}; \quad (4.19)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 154,75}{3,14 \cdot 32} = 1539 \text{ хв}^{-1}.$$

Приймаємо  $n_d = 1540 \text{ хв}^{-1}$ . Тоді дійсна швидкість різання буде:

$$V_{\check{A}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\check{A}}}{1000}, \quad (4.20)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 32 \cdot 1540}{1000} = 154,82 \text{ м/хв.}$$

Головна тангенційна складова сили різання згідно [9], с.271:

$$P_z = 10 C_{Pz} \cdot t^{X_{Pz}} \cdot S_0^{Y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} K_{Pz}, \quad (4.21)$$

де  $C_{Pz} = 300$ ;  $X_{Pz} = 1$ ;  $Y_{Pz} = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ;

$K_{Pz}$  - загальний поправковий коефіцієнт;

$$K_{Pz} = K_{MPz} \cdot K_{\varphi Pz} \cdot K_{\gamma Pz} \cdot K_{\lambda Pz}, \quad (4.22)$$

тут  $K_{Pz}$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність механічних

властивостей оброблювального матеріалу, [9], с.271;

$$K_{MPz} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{n_p}, \quad (4.23)$$

де  $n_p = 0,75$ ;  $\sigma_B = 510 \text{ МПа}$ .

$$K_{MPz} = \left( \frac{510}{750} \right)^{0,75} = 0,75.$$

тут  $K_{\varphi Pz}$  – коефіцієнт, що враховує зміну головного кута в плані  $\varphi$ ; для  $\varphi=90^\circ$  і різця з твердосплавною пластиною Т15К6  $K_{\varphi Pz}=0,89$ , [9], с.275;

$K_{\gamma Pz}$  – коефіцієнт, що залежить від переднього кута  $\gamma$ ; для  $\gamma=15^\circ$   $K_{\gamma Pz}=1$ ;

$K_{\lambda Pz}=1$ ;  $K_r=0,93$  – для  $r = 1 \text{ мм}$ .

$$K_{Pz} = 0,75 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,93 = 0,62.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^1 \cdot 0,45^{0,75} \cdot 154,82^{-0,15} \cdot 0,62 = 1200 \text{ кг}.$$

Потужність, що витрачається на різання, визначиться як [9], с.271:

$$N_{\delta^3\varphi} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (4.24)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{1200 \cdot 154,82}{1020 \cdot 60} = 3,03 \text{ кВт}.$$

Для забезпечення нормальної роботи верстата необхідне дотримання умови  $N_{\text{різ}} < N_{\text{дв}} \eta$ , де  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії приводу верстата.

Згідно паспорту верстата  $N_{\text{дв}}=6,3 \text{ кВт}$ , коефіцієнт корисної дії приводу  $\eta=0,8$ , а значить  $3,03 < 6,3 \cdot 0,8 = 5,04 \text{ кВт}$  – умова виконується і оброблення можливе.

#### 4.7.3 Призначення режимів різання на інші операції

Режими різання на всі інші операції технологічного процесу приймаємо

за таблицями загальних машинобудівних нормативів режимів різання для технічного нормування робіт на металорізальних верстатах з використанням поправкових коефіцієнтів, які враховують дійсні умови різання [10].

Прийняті режими різання, що скореговані згідно паспорту верстата, наведені у загальній таблиці режимів різання 4.7.

Таблиця 4.7 Зведена інформація про режими різання на операціях механічного оброблення деталі «Стрижень»

№ операції	Зміст операцій і переходів	Модель верстата	Глибина різання, мм	Розрахункові значення			Прийняті значення		
				Подача мм/хв.(1) мм/об(2) м/хв. (3) мм/зуб (4)	Швидкість різання, м/хв.	Частота обертання об/хв.	Подача мм/хв. (1) мм/об (2) м/хв. (3) мм/зуб (4)	Швидкість різання, м/хв.	Частота обертання об/хв.
					Швидкість обертання деталі (1), інструм.(2) м/хв.	Частота обертання деталі(1) інструм.(2) об/хв.		Швидкість обертання деталі(1) інструм.(2) м/хв.	Частота обертання деталі(1) інструм.(2) об/хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна з ЧПК 1. Установ А підрізати торець 1	1В340ФЗО	2,5	0,45(2)	154,75(1)	1539(1)	0,45(2)	154,82(1)	1600(1)
	точити фаску 7		2	0,6(2)	100(1)	995(1)	0,6(2)	100,53(1)	1000(1)
	свердлувати центровий отвір		2	0,2(2)	18,0(1)	238(1)	0,2(2)	18,2(1)	250(1)
	2. Установ Б підрізати торець 2		2,5	0,45(2)	154,75(1)	1539(1)	0,45(2)	154,82(1)	1600(1)
	точити фаску 8		2	0,6(2)	100(1)	995(1)	0,6(2)	100,53(1)	1000(1)
	свердлувати центровий отвір		2	0,2(2)	18,0(1)	238(1)	0,2(2)	18,2(1)	250(1)
015	Токарна з ЧПК 1. обточити поверхню 3 попередньо і начисто	16К20ФЗС 32	1,3/ 0,1	0,5(2)/ 0,1 (2)	154,75(1)/ 187,3(1)	1539(1)/ 1975,2	0,5(2)/ 0,1 (2)	159,3(1)/ 192,4(1)	1600(1)/ 2000(1)
020	Фрезерна 1. Установ А Фрезерувати лиску 4	6М82	2	0,08(4)	350(2)	1392(2)	0,08(4)	451,86(2)	1400(2)
	2. Установ Б Фрезерувати лиску 5		2	0,08(4)	350(2)	1392(2)	0,08(4)	451,86(2)	1400(2)

Закінчення табл. 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
035	Безцентрово-шліфувальна 1. шліфувати поверхню Значисто	3185	0,15	1500(1)	22(2)	1200(2)	1500(1)	20,15(2)	1100
040	Плоскошліфувальна 1. Установ А шліфувати лиску 4	3Б722	0,5	0,028(3)	35(2)	1470(2)	0,028(3)	34,63(2)	1470(2)
	2. Установ Б шліфувати лиску 5		0,5	0,028(3)	35(2)	1470(2)	0,028(3)	34,63(2)	1470(2)
045	Безцентрово-шліфувальна 1. полірувати поверхню Зостаточно	3185	0,08	1500(1)	26(2)	827(2)	1500(1)	34,55(2)	1100

#### 4.8 Розрахунок норм часу при виконанні операцій

Основний технологічний час при точінні визначається за формулою:

$$T_0 = \frac{L \cdot i \cdot K}{n \cdot S_0}, \quad (4.25)$$

де  $L$  – довжина ходу різця,

$$L = l + l_{вр} + l_{пер}, \quad (4.26)$$

тут  $l$  – довжина оброблюваної поверхні на одному установі,  $l=16$ мм;

$l_{вр}$  – величина врізання різця,  $l_{вр}=3$ мм;

$l_{пер}$  – величина перебігу,  $l_{пер}=1,5$ мм;

$$L=16+3+1,5=20,5\text{мм.}$$

$i$  – число проходів на операції,  $i=1$ ;

$K$  – число установів на операції,  $K=2$ ;

$n$  – частота обертання шпинделя,  $n=1540$  об/хв;

$s_0$  – величина подачі,  $s_0=0,45$ мм/об.

$$T_0 = \frac{20,5 \cdot 1 \cdot 2}{1540 \cdot 0,45} = 0,06 \text{ хв.}$$

Допоміжний час на операцію:

$$T_{доп} = t_{уст} + t_{пер} + t_{вим}, \quad (4.27)$$

де  $t_{уст}$  – час на установку і зняття деталі з урахуванням перевстановлення деталі [11], с. 32;

$$t_{уст} = 0,8 \cdot 0,38 \cdot i \quad (4.28)$$

тут  $i$  – число установів,  $i=2$ .  $t_{уст} = 0,8 \cdot 0,38 \cdot 2 = 0,61$  хв.

$t_{пер}$  – час, пов'язаний з переходом при обробленні декількома інструментами в операції, а також час на прийоми управління верстатом, що пов'язані з переходом;  $t_{пер} = 0$ , тому що обробка поверхні 3 виконується без зміни інструмента та режимів різання.

$t_{вим}$  – час на контрольні вимірювання оброблюваної поверхні; вимірювання оброблюваної поверхні при  $l=595_{-1,6}$  виконується лінійкою, тому  $t_{вим} = 0,33$  хв.

$$T_{доп} = 0,61 + 0 + 0,33 = 0,94 \text{ хв.}$$

Оперативний час на операцію:

$$T_{оп} = T_o + T_{доп}, \quad (4.29)$$

$$T_{оп} = 0,06 + 0,94 = 1 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця приймаємо як 3,5% від оперативного:

$$T_{обс} = 0,035 \cdot T_{оп}, \quad (4.30)$$

$$T_{обс} = 0,035 \cdot 1 = 0,035 \text{ хв.}$$

Час на перерву та відпочинок складає при роботі на верстатах з механічною подачею 4% від оперативного:

$$T_{відп} = 0,04 \cdot T_{оп}, \quad (4.31)$$

$$T_{відп} = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ хв.}$$

Норма штучного часу:

$$T_{шт} = T_o + T_v + T_{обс} + T_{відп}, \quad (4.32)$$

$$T_{шт} = 0,06 + 0,94 + 0,035 + 0,04 = 1,075 \text{ хв.}$$

Норма штучно-калькуляційного часу:

$$T_{шт.к} = T_o + T_B + T_{обс} + T_{відп} + \frac{T_{п.з.}}{n_{п}}, \quad (4.33)$$

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

$n_{п}$  - розмір партії деталей.

Підготовчо-заключний час на обробку партії деталей:

$$T_{п.з.} = 14 + 5 + 10 = 29 \text{ хв.}$$

Величина  $T_{п.з.}$  враховує час на додаткові прийоми, пов'язані з розточуванням сирих кулачків самоцентрувального патрона та час на отримання інструмента і пристроїв.

Розмір партії деталей визначиться як

$$n_{п} = \frac{N}{P_{д}} \cdot q, \quad (4.34)$$

де  $N$  – річна програма випуску,  $N = 1000$  шт/рік;

$P_{д}$  – число робочих днів на рік,  $P_{д} = 254$  днів;

$q$  – кількість днів, на які необхідний запас деталей на складі,  $q = 8$  днів.

$$n_{п} = \frac{1000}{254} \cdot 8 \approx 32 \text{ деталі.}$$

Норма штучно-калькуляційного часу для операції 010 буде:

$$T_{шт.к} = 0,06 + 0,94 + 0,035 + 0,06 + 29/32 = 2,001 \text{ хв.}$$

Для всіх інших операцій виконуємо аналогічні розрахунки, а результати розрахунків зводимо в таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 - Норми часу на виготовлення деталі «Стрижень»

Номер операції	Основний час $T_o$ , хв	Додатковий час, хв			Операційний час $T_{оп}$ , хв	Час на обслуговування, $T_{обс}$ , хв	Час на перерви та відпочинок, $T_{відп}$ , хв	Штучний час, $T_{шт}$ , хв	Підготовчо-заключний час, $T_{пз}$ , хв	Штучно-калькуляційний час, $T_{шт.к}$ , хв
		Час на установку і зняття деталі, $t_{уст}$	Час на переходи, $t_{пер}$	Час на вимірювання деталі, $t_{вим}$						
005	0,116	0,15	0,2	0,25	1,61	0,06	0,05	0,826	12	0,876
010	0,06	0,61	0	0,33	1,0	0,035	0,04	1,075	29	2,001
015	0,23	0,76	-	0,2	0,37	0,035	0,04	1,24	32	1,28
020	0,13	0,12	0,1	0,4	1,34	0,07	0,06	0,88	25	0,92
025	0,083	0,15	0,16	0,32	1,61	0,06	0,05	0,823	28	0,873
035	0,31	0,76	-	0,2	0,37	0,35	0,015	1,77	25	1,81
040	1,07	0,15	0,14	0,4	1,43	0,17	0,06	1,99	28	2,04
045	0,07	0,76	-	0,2	0,37	0,35	0,015	1,53	25	1,57

4.9 Розроблення керуючої програми для верстата 1В340Ф30 на операції 010

Операція виконується за два установи з використанням спільної керуючої програми.

Нуль „0” - точка початку руху різального інструменту знаходиться на торці заготовки по центру циліндричної поверхні Ø32мм заготовки.

Карта наладки на операцію 010 „Токарна з ЧПК” представлена на кресленні ДРМФІТА22.04.03.00 КН.

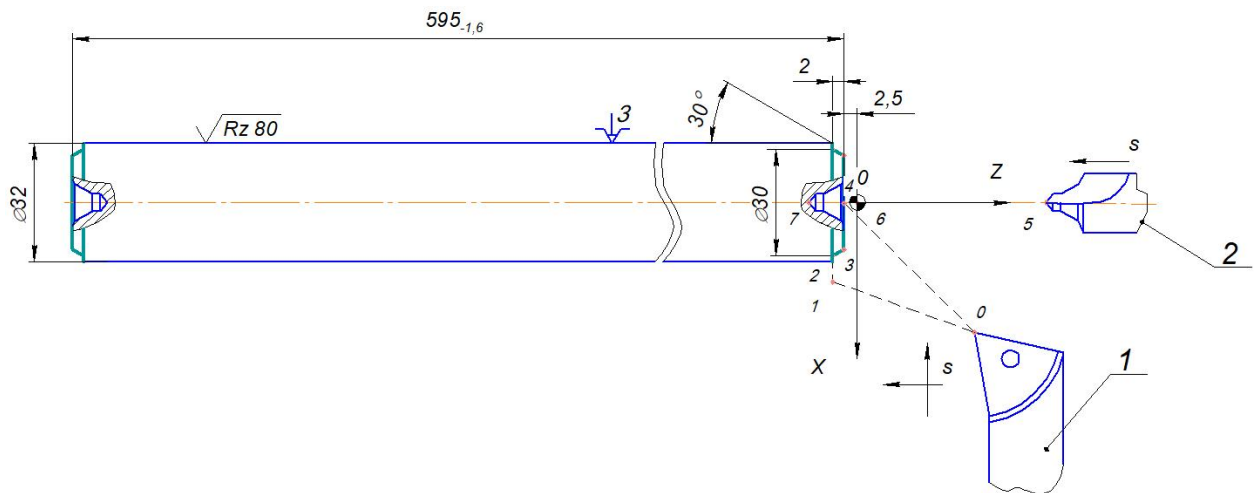


Рисунок 4.4 – Операційних ескіз оброблення торців в розмір 595<sup>-1,6</sup> та центрових отворів Ø4мм на токарному верстаті з ЧПК моделі 1В340Ф3О

Керуюча програма (система ЧПК Електроніка НЦ 31-3)

N1 M44

2 S8

3 F20

4 T2

5  $\wedge\wedge\wedge$ X3400

6  $\wedge\wedge\wedge$ Z-450

7 X3200

8 \*X-115  $\leftarrow$

9 Z200  $\leftarrow$

10X0

11  $\wedge\wedge\wedge$ Z22500

12 M5

13 T3

14 M44

15S10

16 F10

17 ^^^ Z0

18 X0

19 Z-1250

20 ^^^ Z 23500

21M05

22 M30

## ВИСНОВКИ

В загальному розділі дипломної роботи описано характер впливу характеристик технологічної системи на точність і продуктивність оброблення на токарних верстатах, визначена методика розрахунку жорсткості основних вузлів верстатів.

За результатами огляду патентної інформації описано наявність проблеми досягнення заданого профілю оброблюваної деталі на токарних верстатах, як один із варіантів її вирішення наведений опис пристрою мікронної поперечної подачі для токарних верстатів та спосіб підвищення точності оброблення на токарних верстатах за умов змінної жорсткості вузлів із заданою точністю, обґрунтовано доцільність застосування моделювання процесу отримання заданого профілю оброблюваної деталі з метою підвищення точності оброблення нежорстких довгомірних деталей на токарних верстатах з ЧПК.

В розділі «Моделювання формоутворення профілю деталі при токарному обробленні в центрах з урахуванням податливості елементів технологічної системи» розроблено розрахункову схему та алгоритм розрахунку значення поточного радіуса деталі при обробленні та досліджено вплив геометричних та конструктивних параметрів технологічної системи на величину відхилень від номінального профілю деталі, визначено їх характер.

В конструкторському розділі розроблена конструкція системи корекції переміщень супорта верстата в поперечному напрямку з врахуванням різної податливості шпиндельного вузла, супорта з різцем та задньої бабки. Наведено блок-схему електронної системи корегування.

В технологічному розділі розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Стрижень», яку можна віднести до класу валів із співвідношенням їх довжини до діаметра більше 10, тобто, нежорстких. Вибрано тип загатовки, розраховані та вибрані за таблицями припуски на

оброблення по переходах операцій механічного оброблення, вибране обладнання, інструмент та пристрої, призначені режими різання та виконане технічне нормування. У складі обладнання, щовикористовується в технологічному процесі використані токарні верстати з ЧПК, на один із яких складена керуюча програма. Застосування токарного верстата моделі 16K20Ф3С32 на оперції 015 Токарна з ЧПК за умови успішної реалізації запропонованої розробки системи компенсації забезпечив би зменшення числа операцій технологічного процесу виготовлення деталі.

Дана робота була представлена на Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Сучасні тенденції розвитку інженерії, технологій та транспорту», яка проходила 18-19 жовтня 2022р. у м. Хмельницькому, ХНУ. Стаття за матеріалами досліджень «Підвищення точності оброблення довгомірних деталей на токарному верстаті з ЧПК врахуванням жорсткості його вузлів» опублікована в збірнику матеріалів конференції.

Розроблений алгоритм і конструкція системи реалізації корекції профілю деталі може розглядатись як рекомендації для можливого використання на підприємства важкого машинобудування для забезпечення виготовлення деталей заданого профілю і розмірів, особливо, якщо це стосується довгомірних деталей.

## Список використаної літератури

1. Капучак Ю. О., Ковальчук С. С., Прошин О. А. До питання про синтез системи управління точністю форми деталей при обробці на металорізальних верстатах з ЧПК. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технічних процесах. – 2006. - №1. – С.122-127.
2. Решетов Д. Н., Портман В. Т. Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроения, 1986. – 336 с.
3. Кузнецов Ю. Н. Станки с ЧПУ: Учеб. пособие. – К.: Выща школа, 1991. – 278 с.
4. Кочергин А. И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов. Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Вышш. шк., 1991. – 382 с.
5. Пат. 80983 Україна, МПК В23Q 33/00. Пристрій мікронної поперечної подачі для токарних верстатів / Чернов С. К., Федоров О. М. - № 200501626; Заявл. 22.02.2005; Опубл. 26.11.2007, Бюл. №72 – 3 с.
6. Пат. 61344 Україна, МПК В23В 21/00. Спосіб підвищення точності оброблення на металорізальних верстатах / Ковальов В. Д., Бабін О. Ф., Мельник М. С., - № 2003010086; Заявл. 03.01.2003; Опубл. 17.11.2003, Бюл. №11 – 2 с.
7. Кирилович В. А. Технологія автоматизованого виробництва. Випуск 2. Лабораторний практикум / Кирилович В. А., Сніцар В. Г., Юмашев В. Є. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 276 с.
8. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении/ Под ред. В.В. Бабука. – Мн.: Вышш.шк., 1987.
9. Справочник технолога-машиностроителя. Т.2. / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
10. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. Н.А. Нефедов, К.А. Осипов. – М.: Машиностроение, 1990.

11.Гордєєв А.І., Урбанюк Є.А., Безносєв А.Є., Мігаль В.Г. Курсове та дипломне проектування з технології машинобудування та металорізальних верстатів: Навчальний посібник. – Хмельницький: ХНУ, 2005. –294с.



Специфікації

Технологічна документація