

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки

(шифр і назва)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри к.т.н., доцент

Крупа В.В.

«__» 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

СЕСИКУ ЯРОСЛАВУ ЯРОСЛАВОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) *Розробка методів діагностики для дослідження точності патронів токарних верстатів*

керівник проекту (роботи) Шанайда Володимир Васильович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 08 листопада 2024 року № 4/7-1066

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 18 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *кінематична схема токарного патронного напівавтомата мод. ІП732РФЗ з 12-ти позиційною револьверною головкою та системою ЧПК; складальні креслення окремих вузлів верстата; робочі креслення токарних патронів; результати аналізу з матеріалів практики за тематикою кваліфікаційної роботи*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Аналітичний розділ: провести огляд та виконати аналіз проблематики дипломної роботи; здійснити інформаційно-патентний пошук. Виконати комплекс кінематичних та силових розрахунків. Визначити напрям подальших досліджень. Описати методiku та методи проведення дослідження; сформуувати модель вивчення об'єкта дослідження. Відобразити результати оприлюднення отриманих результатів. Розробити заходи з ОП та БНС.*

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

Титульний аркуш – 1 арк. ф.А1; Кінематична схема верстата – 1 арк. ф.А1;

Результати патентного аналізу – 2 арк. ф.А1; Аналіз схем формоутворення – 1 арк. ф.А1;

Конструкція об'єкта дослідження – 1 арк. ф.А1;

Результати проведених досліджень – 2 арк. ф.А1.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвич.			
ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		
Охор. праці	к.т.н., доц. Сенік А.А.		
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Кобельник В.Р.		

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	<i>Службове призначення та характеристика типового</i>		
	<i>представника об'єкту виробництва</i>	15.11.2024 р.	
	<i>Аналіз конструктивних особливостей деталі-представника</i>	15.11. 2024 р.	
	<i>Аналіз схем формоутворення</i>	18.11. 2024 р.	
	<i>Кінематичний розрахунок</i>	21.11. 2024 р.	
	<i>Інформаційно-патентний огляд</i>	23.11. 2024 р.	
	<i>Аналіз методик та методів для виконання дослідження</i>	25.11. 2024 р.	
	<i>Розробка математичної моделі проведення дослідження</i>	25.11. 2024 р.	
	<i>Аналіз отриманих результатів</i>	02.12. 2024 р.	
	<i>Розробити заходи з охорони праці</i>	04.12.2024 р.	
	<i>Розробити заходи з безпеки у надзвичайних ситуаціях</i>	06.12. 2024 р.	
	<i>Оформлення графічної частини</i>	18.12. 2024 р.	
	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	18.12. 2024 р.	
	<i>Оформлення презентації доповіді</i>	23.12. 2024 р.	

Студент

(підпис)

Сесик Я.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Шанайда В.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Сесик Я.Я.; "Розробка методів діагностики для дослідження точності патронів токарних верстатів". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2024 р.

Мета дослідження: розробка системи діагностики точності позиціонування заготовки в пристроях затиску для токарних верстатів.

Цілі дослідження:

1. Ознайомитися з результатами аналітичного вивчення випадкових процесів механічної обробки.
2. Визначити залежності між конструктивними та функціональними параметрами для токарних патронів різних конструкцій.
3. Виконати кінематичні та силові розрахунки для об'єкта дослідження з групи токарних верстатів.
4. Сформувати алгоритм та методику проведення досліджень.
5. Виконати моделювання позиціонування в аналітичній формі стосовно точності механічної обробки.
6. Запропонувати заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження: самозатискний кулачковий патрон.

Предмет дослідження: точність позиціонування осі заготовки стосовно осі обертання патрона.

Методи дослідження: інформаційне та патентне дослідження, морфологічний аналіз, графоаналітичні методи, тензометрію та математичне моделювання, матричний аналіз.

Загальні висновки:

1. Обґрунтовано вибір засобів діагностики окремих вузлів верстата. Реалізовано схему діагностики на основі функціональної схеми з тензодатчиків.
2. Проведений аналіз конструкцій затискних патронів дозволив виокремити патрон для подальшого дослідження (патрон з підтискним центром).

3. Здійснено функціональний та математичний аналіз комплексу формотвірних рухів для реалізації процесу механічної обробки на токарному верстаті.
4. Виконано необхідні кінематичні розрахунки. Математично обґрунтовано доцільність впровадження двигуна приводу головного руху з регулюванням швидкості обертання вала.
5. Математична модель для опису формотвірних рухів дозволила формалізувати та вирішити задачу з позиціювання елемента металорізального інструменту в зоні різання.
6. Емітаційне моделювання довело свою ефективність при вивченні задач просторового позиціювання.
7. Доведено, що кратність у цілих числах з відношення числа ребер поверхневої форми деталі до кількості кулачків затискного патрона впливає на точність позиціювання оброблюваних деталей.
8. Направляючий підтискний центр у конструкції токарного патрона зменшує вплив спадкових похибок на точність позиціювання і механічної обробки.

Sesyk Y.; " Development of diagnostic methods for studying the accuracy of lathe chucks". 133 - Industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2024.

The objective of our investigation is to develop a diagnostic system of positioning accuracy of parts in clamping devices of lathes.

Research objectives:

1. To review analytical data on the study of random processes in machining.
2. To establish structural and functional dependencies for lathe chucks of various designs.
3. To carry out the necessary kinematic and force calculations for the selected object of study.
4. To choose methods and algorithm for the research performing.

5. To carry out analytical modeling of positioning accuracy and machining for the selected type of equipment.
6. To develop measures for occupational health and safety in emergency situations.

The object of investigation is a self-clamping jaw chuck with a spring-loaded center. The subject of research is the accuracy of positioning the axis of the workpiece relative to the axis of rotation of the chuck.

Research methods - information and patent research; method of morphological analysis; graph-analytical method; strain measurement; method of mathematical modeling based on matrix analysis.

General conclusions:

1. The choice of diagnostic tools for individual machine units was justified. A diagnostic scheme based on a functional scheme of strain gauges was implemented.
2. The analysis of the designs of clamping chucks allowed us to single out a chuck for further research (a chuck with a compression center).
3. A functional and mathematical analysis of the complex of forming movements for the implementation of the machining process on a lathe was carried out.
4. The necessary kinematic calculations were performed. The feasibility of introducing a main motion drive motor with shaft rotation speed regulation was mathematically substantiated.
5. A mathematical model for describing forming movements allowed us to formalize and solve the problem of positioning an element of a metal-cutting tool in the cutting zone.
6. Emission modeling has proven its effectiveness in studying spatial positioning problems.
7. It has been proven that the multiplicity in integers of the ratio of the number of ribs of the surface shape of the part to the number of jaws of the clamping chuck affects the positioning accuracy of the processed parts.
8. The guiding clamping center in the design of the lathe chuck reduces the influence of hereditary errors on the accuracy of positioning and machining.

З М І С Т

	стор.
ВСТУП	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	11
1.1.1. Вибір раціонального параметра технічної діагностики	13
1.1.2. Вибір раціонального засобу технічної діагностика	16
1.1.3. Опис конструкції і принцип роботи об'єкта дослідження	17
1.1.4. Вибір схеми діагностики	18
1.2. Інформаційно-патентний пошук	19
1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження	33
2. ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ	35
2.1. Вибір комплексу рухів, які забезпечують виробничий цикл верстату	35
2.2. Вибір структурно-кінематичної схеми верстату	38
2.3. Кінематичні та силові розрахунки	39
2.3.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстату	39
2.3.2. Структурна сітка та графік чисел обертів	40
2.3.3. Проєктування коробки швидкостей	42
2.3.3.1. Опис конструкції та принципу роботи коробки швидкостей	42
2.3.3.2. Привід головного руху (силовий розрахунок)	43
2.3.4. Розрахунок приводу головного руху	44
2.3.4.1. Розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс	44
2.4. Розрахунки шпиндельного вузла	47
2.5. Розрахунок приводу револьверної головки	49
2.6. Висновки до розділу	51

3.	ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	52
3.1.	Методика та план проведення наукових досліджень	52
3.2.	Морфологічний аналіз токарних патронів	52
3.3.	Порівняльний аналіз токарних патронів по шести показниках	55
3.4.	Математичне моделювання точності позиціювання деталі і точності обробки	60
3.4.1.	Схема формоутворення при точінні поверхні	60
3.4.2.	Формула компоновки верстата	60
3.4.3.	Аналітичний опис функції формоутворення	61
3.4.4.	Вектор похибки положення точки обробки	63
3.4.5.	Рівняння базових поверхонь	64
3.4.6.	Вплив відхилення від форми на точність позиціювання	69
3.5.	Обговорення та аналіз отриманих результатів	70
3.6.	Висновки за результатами наукового дослідження	70
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	72
4.1.	Охорона праці	72
4.1.1.	Планування робочого місця	72
4.2.	Безпека у надзвичайних ситуаціях	77
4.2.1.	Дії населення в надзвичайних ситуаціях (пожежі)	77
	Загальні висновки	79
	Перелік посилань	80
	Додатки	83

Вступ

Питання, пов'язані з точністю обробки, завжди були важливими та розвивалися разом із досягненнями у виробництві верстатів. Спочатку підвищення точності оброблених деталей було в основному зосереджено на підвищенні точності формувальних рухів, що виконуються верстатним обладнанням. Згодом зусилля були спрямовані на підвищення жорсткості системи ВПД і забезпечення стабільності розмірів металорізального інструменту.

Процес обробки деталей типу "тіла обертання" тісно пов'язаний із проблемами, пов'язаними з центруванням або переміщенням, зокрема щодо ексцентриситету осей деталі, статичної осі патрона та кінематичної осі обертання. частини, закріпленої в кріпленні. Кожен із цих викликів має свою окрему область дослідження. Важливо розуміти, що взаємодія окремих компонентів у системі верстат-пристосування-деталь часто є випадковою, а фактична фіксація деталі відповідає певним встановленим законам. Для виявлення цих закономірностей використовуються спеціальні математичні алгоритми, які враховують існуючі статистичні відхилення в розмірах, відхилення у формі попередньо оброблених поверхонь і загальні відхилення в шорстких поверхнях.

Аналіз токарних патронів показує їх величезну різноманітність. Однак застосовність цих конструкцій обмежена конструктивними особливостями верстата та призначенням. У деяких випадках використовуються патрони адаптивного типу, які можуть самостійно підлаштовуватися під певні геометричні форми деталей або компенсувати відхилення від номінальних геометричних параметрів. Крім того, модернізовані конструкції токарних патронів включають опорні компоненти, які відповідають поточним стандартам, тоді як затискні елементи включають особливі конструктивні особливості, спрямовані на підвищення точності обробки деталей із заданою геометричною формою та попередньо визначеним діапазоном розмірів.

Для вивчення цих процесів використовуються різні методи, включаючи імовірнісний аналіз, статистичний аналіз і повномасштабні тести. Також часто використовуються активні та пасивні методи керування для розміщення деталей у патроні. Найпоширеніші конструкції затискних патронів призначені для фіксації та передачі крутного моменту через циліндричні поверхні. Проблема забезпечення контакту між поверхнею деталі та затискним елементом залишається невирішеною протягом кількох десятиліть. Дослідження також вивчали використання компенсаційних розрізних рукавів, перехідних конусів і гвинтових розширювачів як окремих шляхів. Крім того, модифікації губок затискних патронів і включення додаткових елементів, спрямованих на покращення центрування осі заготовки з віссю обертання патрона, є областями активних досліджень.

Сьогодні розгортання високоточного, високопродуктивного та багатокоординатного машинного обладнання лише посилює вимоги до підвищеної точності позиціонування під час закріплення деталей у патронах, особливо в автоматизованих виробничих налаштуваннях. Аналіз цього питання залишається актуальним. Запропоновані підходи продовжують систематично вдосконалюватися, розширюватися та адаптуватися у відповідь на швидку еволюцію пропозицій продуктів.

У цій роботі проводяться паралелі, щоб зв'язати формалізовані математичні описи формоутворюючих рухів, компоновальну схему верстата та математичну модель для геометричного розташування точки на лезі металорізального інструменту в зоні різання.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

На різних етапах роботи діагностична система вирішує конкретні технічні завдання. Під час фази навчання основною функцією системи є ідентифікація набору діагностичних параметрів (позначених як j), пов'язаних з i -м фізичним станом об'єкта діагностики, які є найбільш ефективними для оцінки його експлуатаційних можливостей в аналізованих умовах. На цьому етапі встановлюються межі станів об'єкта діагностики та досліджуються їх зв'язки з потенційними дефектами. Для більшості функціональних компонентів верстатного обладнання визначено чотири характерні граничні рівні:

1. Операбельний
2. Гранично допустимі працездатні
3. Передаварійні
4. Катастрофічний

Етап навчання завершується створенням словника інформативних ознак несправностей.

Другий етап передбачає роботу верстатного обладнання в реальних умовах. На цьому етапі система діагностики оперативно виявляє несправності шляхом постійного порівняння поточного технічного стану об'єкта дослідження з переліком найбільш імовірних непрацездатних станів, встановленим апріорі [1]. Результатом цього етапу є формування команд управління для аварійної зупинки або розробка технологічних заходів, спрямованих на підтримку працездатного стану обладнання протягом його безперервного робочого циклу.

Для вирішення цих завдань діагностична система містить кілька функціональних блоків, включаючи блок генерації діагностичних повідомлень, блок трансформації, бібліотеку налаштувань, ідентифікатор стану, блок сигналізації та блок генерації команд керування [2]. На рисунку 1 наведено

загальну структурну схему системи діагностування, типову для всіх типів верстатного обладнання ГВС.

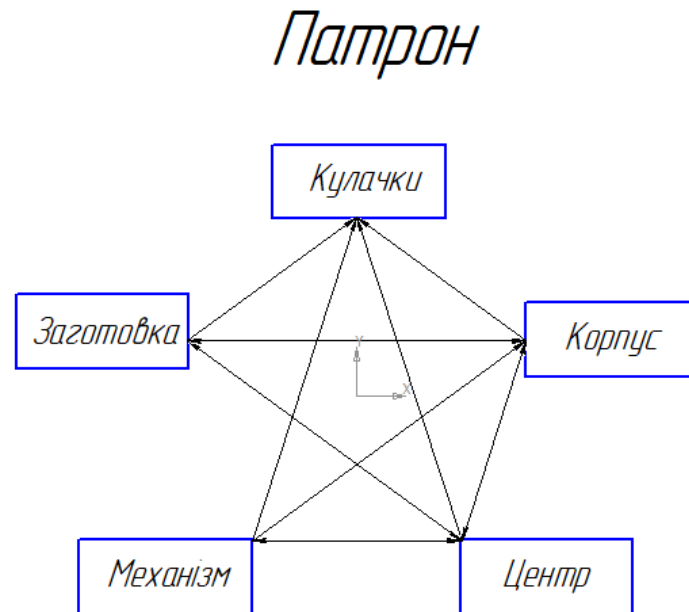


Рисунок 1. Загальна структурна блок-схема системи діагностики

Компонент верстата, який є об'єктом діагностики, визначається набором j фізичних станів, кожен з яких має відповідні діагностичні параметри. Засіб технічної діагностики визначає інформативний сигнал, який найкраще характеризує стан об'єкта діагностики. Згодом блок генерації діагностичних повідомлень перетворює цю діагностичну інформацію відповідно до встановлених алгоритмів як під час фази навчання, так і під час роботи машини. Блок трансформації перетворює виділений сигнал у форму, зручну для подальшого використання. Бібліотека налаштувань базується на еталонних діагностичних сигналах, отриманих на етапі навчання, які характеризують потенційні дефекти агрегату машини.

Ідентифікатор стану або блок розпізнавання поточного стану порівнює поточне та еталонне діагностичні повідомлення, визначаючи, чи відповідають діагностичні параметри допустимим межах стану. Вихід цього блоку - висновок про стан об'єкта діагностики. Таким чином, процес діагностування агрегату машини включає виявлення того, як величина і характер змін у часі

перетвореного сигналу (STD) співвідносяться з допустимими граничними рівнями та еталонними моделями змін (осцилограмами) вибраного діагностичного параметра.

За результатами вимірювань та аналізу стану верстатного обладнання блок формування команд управління формує команди, спрямовані на управління об'єктом дослідження, наприклад, видачу команд на аварійне відключення при аварійному стані блоку діагностики. Також здійснює заходи щодо підтримання працездатності агрегату в передаварійному стані до закінчення розрахункового терміну експлуатації верстата. За запропонованою структурою розроблені практично всі системи технічного діагностування верстатного обладнання, що входять до складу ГВС, а декілька системних блоків реалізовано за допомогою мікро-ЕОМ.

1.1.1. Вибір раціонального параметра технічної діагностики

Основними параметрами діагностики стану технологічної системи верстата є пружні та теплові деформації, рівні генерованих електричних сигналів, вібраційні характеристики [3]. Ці параметри разом з показниками точності верстата є основою для оцінки стану системи. Діагностичний знак вважається цінним, якщо його значення залишаються відносно постійними для подібних машин у тому самому стані під час сертифікації, але значно змінюються, коли машина переходить з одного стану в інший.

Щоб ефективно відрізнити діагностичні параметри від корисних ознак, ми використаємо метод, який порівнює ймовірності, пов'язані з характеристиками цих ознак.

Для заданого набору станів Ω_i , ($i=1, \dots, m$) ми створимо попередні словники функцій-ознак x_i ($j=1, \dots, N_a$). У той час як умовні щільності розподілу f_j , (x_j) залишаються невідомими, перший і другий моменти розподілу, позначені як m_i і D_{ji} відповідно, відомі разом з попередніми ймовірностями $P(\Omega_i)$.

Далі ми оцінимо якість функцій x_i ($j=1, \dots, N_a$). Припускаючи, що діагностований агрегат машини має значення для j -ї функції з ймовірностями,

що відповідають попереднім ймовірностям $P(\Omega_i)$ ($i=1, \dots, m$), ми можемо обчислити математичне сподівання гіпотетичної випадкової величини, яка набуває значення попередньої ймовірності $P(Q_i)$,

$$M[m_{ij}] = \sum_{i=1}^m m_{ij} P(\Omega_i)$$

а також математичне сподівання дисперсії (j) -ї функції за станом.

$$M[D_{ij}] = \sum_{i=1}^m D_{ij} P(\Omega_i)$$

Якщо виконується нерівність $M[D_{ij}] < M[D_{sj}]$ (припускаючи, що інші фактори постійні), це вказує на те, що якість ознаки x_i краща, ніж якість ознаки x_s . Це призводить до більш компактного графічного представлення залежності $f(x_t)$ вздовж осі x , покращуючи характеристики.

Дисперсія математичних очікувань під час переходів між станами також має вирішальне значення:

$$D_{ij} = \{[m_{ij} - M(m_{ij})]^2\}$$

Якщо $D_{ij} > D_{sj}$ (знову ж таки, припускаючи, що інші фактори постійні), якість ознаки x_i перевершує якість ознаки x_s , що призводить до більшої відстані Ax_L на графіку для найкращої функції порівняно з відстанню Ax_s для невідомої ознаки.

Щоб вибрати найкращу діагностичну ознаку, ми пропонуємо наступний критерій:

$$K_1 = M[D_{ij}] / D_{ij}^-$$

Якщо $K_t < K_s$, то якість ознаки X_j вища, ніж якість функції (ознаки) x_s , що робить її вибір кращим.

$$\min J[K_i] = \min J\{M[D_{ij}] / D_{ij}^-\}$$

Порівняння параметрів агрегатного стану через імовірнісні характеристики дозволило виділити пружні деформації елементів технологічної системи як інформативні параметри.

До завдання точного визначення найбільш ефективної діагностичної ознаки також можна підійти за допомогою різних методологій, включаючи теорію інформації.

Робота верстатів охоплює широкий діапазон агрегатних станів. Кожен стан має допустимі значення для своїх контрольованих параметрів з варіаціями, оціненими за допомогою різних законів розподілу. Наприклад, зміни початкового параметра, що вимірює точність виготовлених деталей (наприклад, діаметра деталі D , характеризуються нормальним розподілом, тоді як зміни кількості тепла різання Q часто моделюється рівномірним розподілом. Відповідні щільності ймовірності для цих параметрів можна виразити як:

$$f(D) = \sigma_{Di}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp[-(D-m)^2/(2\sigma^2)]$$

$$f(D) = (Q_1 - Q_2)^{-1}$$

Обсяг інформації, отриманої від вимірювання будь-якого параметра станів верстатів, визначається як різниця між ентропією до вимірювання та ентропією після вимірювання. Загальна ентропія станів машини представлена $H(\psi)$ як:

$$H(\psi) = \sum_{i=1}^R H(Y)$$

де: - $H(Y)$ - позначає ентропію для Y -го обраного параметра,

- R - кількість вибраних параметрів,

- ψ - $\{D, Q, \dots\}$ - містить вибрані параметри стану.

Для двох обраних параметрів ентропія стану машини в натуральних одиницях може бути визначена діапазоном:

$$H(\psi) = - \sum_{i=1}^R \int_{D_2}^{D_1} A \ln A dD - \int_{D_2}^{D_1} B \ln B dD$$

де $A=f(D)$; $B = f(Q)$ представляють щільності ймовірності для вибраних параметрів.

При вимірюванні будь-якого параметра стану невизначеність системи зменшується. Результати вимірювань у межах прийнятних допусків апроксимуються нормальним розподілом. Отже, умова, що описує залишкову невизначеність у стані машини після вимірювання, наприклад, діаметра D , є:

$$H\left(\frac{\psi}{D}\right) = -\sum_{i=1}^R \int_{\delta D_i} A_i \ln A_i dD - \int_{Q_2}^{Q_1} B_i \ln B_i dQ$$

де: $A_i = \sigma_{Di}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp[-(D - m_{Di})^2 / (2\sigma^2)]$

Для порівняння, умовна ентропія, що залишилася після вимірювання кількості тепла різання, виражається як:

$$H\left(\frac{\psi}{D}\right) = -\sum_{i=1}^R \int_{\delta D_i} B_i \ln B_i dQ - \int_{Q_2}^{Q_1} A_i \ln A_i dD$$

де: $B_i = \sigma_{Di}^{-1} (2\pi)^{-1/2} \exp[-(Q - m_{Qi})^2 / (2\sigma^2)]$

Кількість інформації, яка отримана при дослідженні Y-го параметру з переліку станів верстатного обладнання:

$$J_Y = H(\psi) - H(\psi/Y).$$

Ознака фізичного стану устаткування, що реалізує умову $(J_Y) \Rightarrow \max$ і буде характеризувати шуканий інформаційний параметр.

1.1.2. Вибір раціонального засобу технічної діагностика

Засіб технічної діагностики (ЗТД) є провідним елементом у системі технічної діагностики. На нього покладено виконання самого важливого функціонального навантаження - виокремлення первинної інформації для діагностичного процесу. Від якості проведення цієї процедури залежить працездатний стан верстата як машини в цілому.

Інформацію про i-ту ознаку j-го фізичного стану верстата можна отримати від кількох ЗТД. Серед найважливіших показників, які дають змогу оцінити відповідність прийняття рішення щодо вибору раціонального ЗТД, є його інформативність (здатність максимально повно відображати діагностичну ознаку), безвідмовність у функціонуванні, швидкодія як критерій оперативності виокремлення діагностичних даних та собівартість. Можна також застосовувати і комплексну оцінку, котра може враховувати сукупну дію кількох показників.

Для формування співвідношень щодо критерію переваги на невизначеній кількості допустимих рішень варто використати систему пріоритетних

показників $\{\mu_n, \mu_h, \mu_\sigma, \mu_c\}$.

Для вибору раціонального ЗТД застосовують відносні критерії оцінки:

$$0, \mu_Q(\text{ЗТД}_{K2}) / \mu_Q(\text{ЗТД}_{K1});$$

$$\mu_Q(\text{ЗТД}_{K2}) / \mu_Q(\text{ЗТД}_{K1}), \mu_Q(\text{ЗТД}_{K2}) > \mu_Q(\text{ЗТД}_{K1}).$$

Впорядкування ЗТД стосовно q-го пріоритету реалізують на базі сумарної оцінки щодо вимоги доцільності:

$$VS_{xki} = \sum_{ky=1}^k S_{xk1k2}$$

Кінцеве рішення стосовно вибору раціонального ЗТД приймають при використанні матриці погодження $C[C_{\text{ЗТД}_{K1}}, C_{\text{ЗТД}_{K2}}]$. При аналізі відносної вагомості пріоритету $l_g \sum_{g=1}^G l = G$, коефіцієнти матриці визначають наступним чином:

$$C_{\text{ЗТД}_{K1}, \text{ЗТД}_{K2}} = L\mu \epsilon C(\mu_{\text{ЗТД}_{K1}, \text{ЗТД}_{K2}})$$

де G - число пріоритетів;

l_g - відносна вагомість пріоритету.

До класу $C(\mu_{\text{ЗТД}_{K1}, \text{ЗТД}_{K2}})$ віднесено пріоритети μ_g , для яких справедлива нерівність:

$$\mu(\text{ЗТД}_{K1}) < \mu(\text{ЗТД}_{K2})$$

1.1.3 Опис конструкції і принцип роботи об'єкта дослідження

Предметом дослідження є кулачковий патрон самозатискної дії з підпружиненим центром, котрий був розроблений для використання на верстаті моделі 1П732РФЗ.

Ключовою конструктивною особливістю цього патрона є підпружинений центр (деталь 17), який підвищує надійність закріплення заготовки на верстаті та забезпечує точне позиціонування на початку процесу. Центр виштовхується з корпусу (деталь 1), щоб закріпити деталь на місці за допомогою пружини (деталь

2). Важільно-клиновий механізм, котрий містить рядувзаємопов'язаних частин, активує диск (деталь 6), на котрий натискає пружина (деталь 7), вивільняючи при цьому клин (деталь 19). Ця дія створює силову дію на втулці (деталь 4), переміщуючи центр в осьовому напрямку.

Затискачі кулачка працюють за рахунок відцентрової сили. Ексцентрик кулачка складається з обертової осі (деталь 22), на якій кріпиться кулачок (деталь 14), що забезпечує певний зазор між ним і корпусом патрона (деталь 12). Кулачки патрона вивільняються пружиною (деталь 24), яка з'єднує їх з корпусом (деталь 12).

1.1.4. Вибір схеми діагностики

На основі аналізу існуючих методів визначення зусиль затиску було вирішено виміряти деформації, які мають місце на рифленій частині кулачка під час затиску заготовки. Рекомендується використовувати фольгові тензодатчики типу 2ФКПА, які слід приклеїти до нижньої сторони рифленого кулачка на протилежних ділянках для створення мостового з'єднання.

Вихідні показання необхідно реєструвати двоканальним тензометричним підсилювачем, а саме «Топаз - 2», оскільки затискний патрон має два кулачки.

Проаналізовано та описано характеристики як тензодатчиків, так і проміжних перетворювачів, які використовують для вимірювання динамічних деформацій. Додатково викладено порядок підготовки ексцентрикової поверхні для встановлення тензодатчиків, способи підготовки самих тензодатчиків та методику їх встановлення. Для цього процесу підібрано необхідне обладнання.

Усі відповідні схеми та конструктивні рішення включені до графічного розділу.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

Для проведення порівняльного аналізу конструктивних рішень [4, 5] затискних патронів, що використовуються в токарних верстатах, ми провели патентний пошук із застосуванням мережевих технологій. Цей пошук призвів до виявлення понад 800 патентів із детальним описом різних конструктивних особливостей і принципів роботи. У результаті цього дослідження ми розділили запатентовані патрони на окремі групи.

Примітно, що кулачкові патрони [6] та спеціальні самоцентрувальні патрони [7-10] були широко запатентовані та розроблені. Ці патрони не містять механізму, який вирівнює геометричну вісь заготовки з віссю обертання шпинделя. Як правило, заготовка розташовується на призмах, пальцях або подібних опорах, які часто мають полиці, затискачі або зварні елементи, прикріплені до торцевої площини передньої панелі або безпосередньо до самої передньої панелі.

До цієї категорії відносяться також поворотні і рухливі пристрої, призначені для послідовного суміщення осей оброблюваних поверхонь з віссю шпинделя [11]. Однак ці пристрої рідко використовуються в масовому та великомасштабному виробництві через складнощі, пов'язані з механізацією та автоматизацією трудомісткого переміщення деталей у таких умовах. Покладання на ручне керування призводить до непродуктивних простоїв.

Приклад токарного патрона, призначеного для обробки отвору в поршні на револьверному верстаті, зображено на рис. 1.1. Поршень позиціонують нижнім кінцем, а юбку виточують на палець. Бобишки, що містять оброблений отвір, закріплені пружинним важелем. Встановлюючи поршень на палець, вісь обробленого отвору вирівнюється з вертикальною площиною симетрії поршня. При розміщенні поршня на бурті пальця розташування отвору встановлюється на заданій відстані від нижнього кінця поршня. Тримач обертає поршень під час встановлення, щоб переконатися, що виступи суміщені з віссю шпинделя.

Затискач прикладає зусилля до поршня через п'яту, яка зазнає коливальних рухів, діаметр якого вибрано таким чином, щоб забезпечити ефективну передачу затискної сили на вертикально розташовані стінки поршня. Втулка призначена для спрямування інструменту та запобігання бічного зміщення під час обробки. Втулку доцільно монтувати на підшипниках кочення.

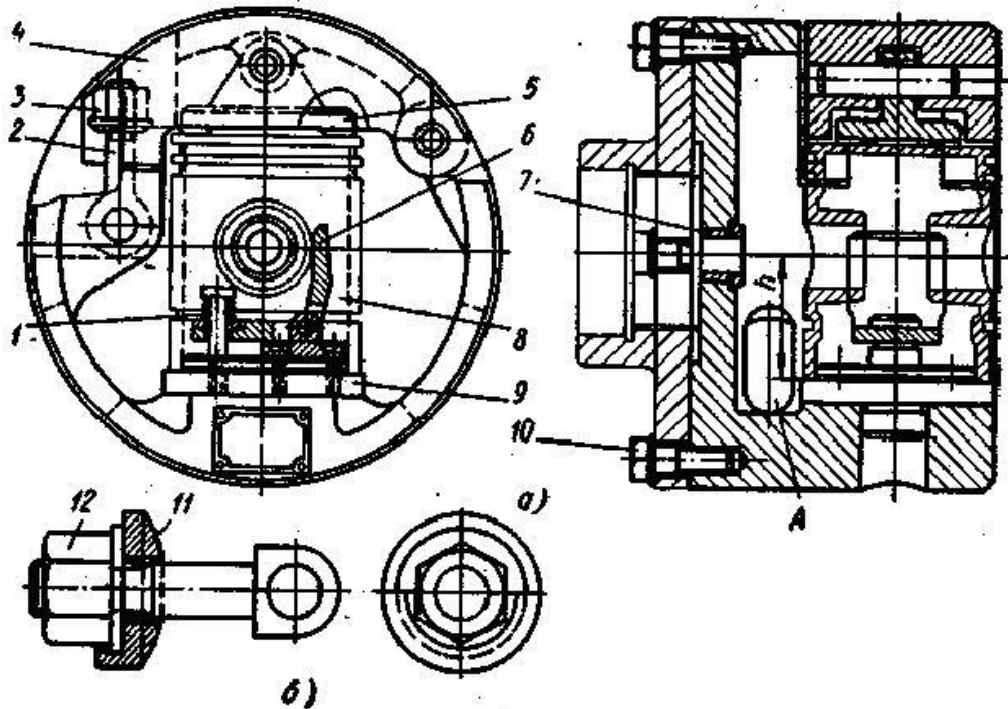


Рисунок 1.1. Пристрій для обробки отвору в поршні.

Описана конструкція має певні недоліки, серед яких виступаючі болти за перехідною пластиною. Для вирішення цієї проблеми рекомендується використовувати гвинти з потайною головкою циліндра. Щоб запобігти неприпустимим биттям, прилади цього типу необхідно балансувати за допомогою спеціальних противаг. Для досягнення циліндричної форми без будь-яких радіально виступаючих компонентів рукоятка також повинна мати циліндричну конструкцію, тоді як гайка та гвинти петлі повинні бути приховані в заглибленні ручки.

У всіх обертових пристроях доцільно використовувати гайку зі сферичним буртиком. Коли цей тип гайки вставляється в конічний отвір канавки для ручки,

він залишатиметься надійним навіть під час обертання пристрою, сприяючи більш безпечній роботі, навіть якщо сама гайка не зовсім надійна.

Однак така конструкція гайки має суттєвий недолік — вона безпосередньо контактує з відкритим пазом стрижня без проміжної шайби. Це ускладнює затягування гайки вручну і призводить до зносу як буртика гайки, так і країв канавки ручки.

Щоб вирішити цю проблему, рекомендується використовувати конструкцію шайби, зображену на рис. 1.1, в. У цьому підході шайба 11 постійно прикріплена до гайки 12 і розташована над виїмкою в буртику гайки.

Якщо замкнута циліндрична форма корпусу додає значну вагу пристрою, йому можна надавати різні форми. Для безпечного обслуговування циліндричний щиток із тонкої листової сталі можна помістити на передню панель, щоб закрити будь-які виступаючі частини пристрою.

Важливою подією стало створення та патентування патронів, призначених для центрування деталей складного профілю, наприклад, зубчастих коліс. Ці патрони особливо корисні для шліфування центральних отворів термічно оброблених зубчастих коліс. У цих додатках вигнуті поверхні зубів часто використовують як площину встановлення, при цьому вісь отвору вирівнюється до початкового кола зубів, враховуючи будь-яку кривизну, яка може виникнути під час термічної обробки.

Для оптимального центрування ідеально підходить патрон з такою ж кількістю кулачків, скільки є порожнин між зубами. Однак через складність таких конструкцій прийнято використовувати лише три теоретичні кулачки, які забезпечують точне центрування при рівномірному розміщенні по колу. Іноді використовується п'ять або шість кулачків, щоб запобігти надмірному радіальному переміщенню колеса, особливо коли один із трьох основних кулачків не зачіпляється належним чином.

Найефективнішим рішенням для цієї мети вважаються патрони з пружною оболонкою, оснащені кількістю роликподібних кулачків, рівним числу порожнин у колесі.

Для шліфування отворів у циліндричних зубчастих колесах зазвичай використовують патрон, який кріпиться на шпинделі верстата через перехідну пластину без циліндричного виступу. Точно оброблена кільцева поверхня на корпусі полегшує центрування та перевірку биття за допомогою індикатора. Цей спосіб дозволяє точно вирівняти патрон з віссю шпинделя верстата. Якщо виявлено будь-який ексцентриситет, патрон можна легко відрегулювати, доки кріпильні гвинти залишаються ослабленими. Оскільки обробка передбачає низькі швидкості обертання та невеликі зусилля, положення відрегульованого та фіксованого патрона не зрушуватимуться.

У механізмі центрування патрона використовуються клиноподібні кулачки, з'єднані з хрестовиною через плоскі пружини або шарнірні важелі. Точне розташування хрестовини з втулками забезпечує одночасну роботу всіх кулачків під час її руху вздовж патрона. Скошені поверхні кулачків забезпечують як центрування, так і притискання обробленого зубчастого колеса до упорів. Оскільки кулачки мають обмежений поздовжній хід, різні діаметри шестерні потребуватимуть різних губок патрона.

Хрестовина може затягуватися вручну за допомогою системи важелів і пружин або за допомогою пневматичного приводу. Обидва механізми управління, як правило, розташовані за шпинделем верстата і впливають на патрон через порожнину валу шпинделя. Кулачки виготовлені з високовуглецевої сталі та загартовані до максимальної твердості.

Для встановлення циліндричних шестерень на вигнутих поверхнях зубів ролики розташовують у виїмках зубчастого колеса, забезпечених кулачками патрона. Важливо розрахувати діаметр роликів, щоб запобігти надмірному зануренню в виїмки та забезпечити центрування зубчастого колеса на зовнішній циліндричній поверхні.

Електромагнітні патрони бувають двох видів. У типі, зображеному на рис. 1.2, а, деталь утримується на сталевій або чавунній пластині за допомогою сердечників електромагнітів, які одним кінцем закріплені в пластині і відокремлені від неї втулками з міді, бронзи, алюмінію, або бабітове лиття.

Вільні кінці сердечників електромагнітів допомагають замкнути магнітний потік у повітрі (позначено пунктирними лініями), що може призвести до розсіювання енергії та ослаблення магнітного поля через високий опір у магнітному колі.

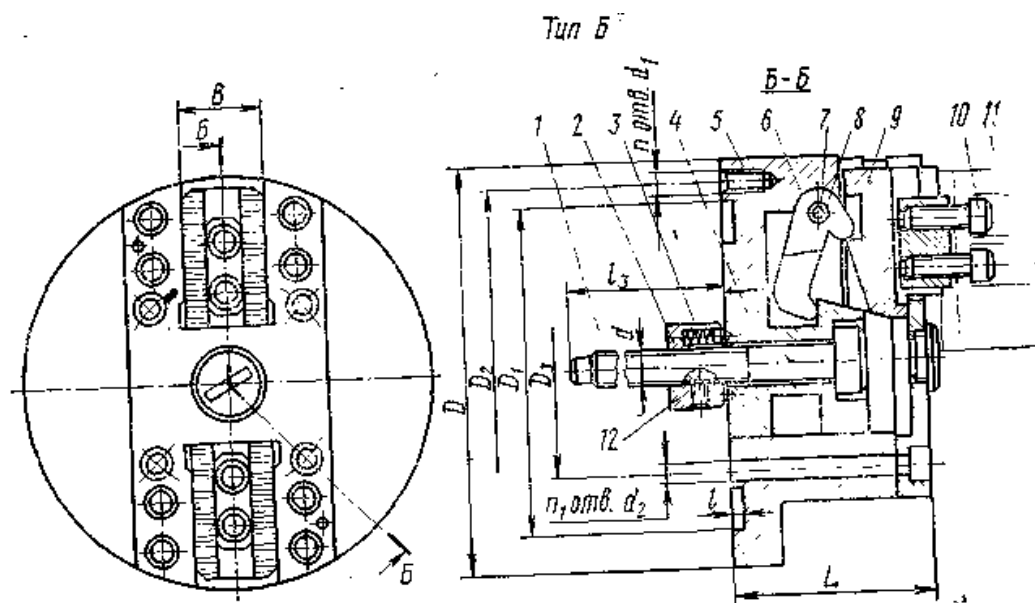


Рисунок 1.1. Електромагнітний патрон

У другому типі електромагнітного патрона, зображеному на рис. 1.2, б, електромагніти так само закріплені одним кінцем, але інший кінець прикріплений до кільця з м'якої сталі або до пластин, що з'єднують два сусідніх електромагніти. У цій конфігурації магнітний потік замкнутий через метал, а не через повітря, таким чином усуваючи недоліки, виявлені в першій конструкції.

Сила притягання електромагнітів прямо пропорційна використовуваному магнітному потоку. Таким чином, мінімізація втрат через дисипацію посилює їх силу тяжіння. З цієї точки зору схема, зображена на рис. 1.2, є більш ефективною.

Електромагнітні пристрої мають явні переваги, включаючи швидкий час відгуку та можливість одночасного кріплення невеликих деталей. Однак вони також мають кілька недоліків: нижча сила затиску порівняно з механічними системами затиску, потенційні ризики нещасних випадків при відключенні живлення, неможливість закріпити частини, виготовлені з немагнітних матеріалів, залишковий магнетизм у феромагнітних матеріалах і вимога до живлення обмоток електромагніту. виключно постійним струмом.

Сила тяги цих патронів вимірюється питомою силою зтягування, яка вказує на фактичну силу, необхідну для відокремлення сталевий пластини (розміри якої дорівнюють подвоєній ширині стовпа та товщиною 10 мм) відносно площі стовпа, що пластина покриває. У сучасних конструкціях питоме тягове зусилля коливається від 2 до 13 кН, а споживана потужність - від 100 до 300 Вт.

Щоб полегшити видалення оброблених деталей із верстата, до обмоток електромагніту подається малий струм зворотнього напрямку, а для повного розмагнічування оброблених деталей використовують спеціальні розмагнічувачі, щоб усунути будь-який залишковий магнетизм.

Існує значна кількість видів електромагнітних патронів, у яких використовуються електромагніти різної форми та розміщення в корпусі. Зазвичай використовується конструкція включає один циліндричний електромагніт, розташований у центрі патрона. Шліфування струмопровідних поверхонь проводять з використанням опорно-шліфувальної головки, котра оснащена чашковим, рідше циліндричним, шліфувальним кругом. Процес шліфування виконують із застосуванням поперечної подачі.

Іноді, патрони з постійними магнітами, за своїми експлуатаційними показниками, перевершують електромагнітні, оскільки вони не потребують електрики та легко переносяться на різні машини.

Кулачкові патрони застосовують для установки і затискання деталей, як правило круглої форми, що обробляють на токарних або шліфувальних верстатах. За кількістю кулачків їх можна класифікувати як дво-, три- або чотирикулачкові патрони. Вони можуть мати ручний або механізований привід і бути самоцентруючими або з незалежним ходом кулачка, а також універсального або спеціалізованого виконання.

Патрони поділяють на класи точності: Н (нормальний), Р (підвищений), У (високий) і А (особливо високий). Технічні умови на патрони токарні загального призначення викладені в ГОСТ 1654-71.

Патрони двокулачкові.

Такі патрони призначені для встановлення та фіксації деталей на некруглих або фасонних поверхнях. Можуть виготовлятися з ручними приводами, з використанням спіральних-рейкових, гвинтових механізмів за ГОСТами або механізмів клинового центрування. Зазвичай вони працюють від механізованого приводу, встановленого на задній частині токарного або револьверного верстата, і можуть бути встановлені на передньому торці шпинделя за через проміжного фланця або безпосередньо на фланці шпинделя.

Двокулачковий патрон (універсальний).

Двокулачковий самоцентруючий клиново-важільний механізований патрон кріплять на шпинделі верстата через перехідний фланець. Під час обертання патрон захищений від відгвинчування пружинним стопором. Ходовий гвинт з'єднується зі штоком пневматичного приводу, що дозволяє регулювати рух радіального кулачка. Кулачки сходяться до осі патрона, коли важелі обертаються на штифтах і впираються в циліндричні поверхні всередині корпусу патрона. Коли поршень рухається разом зі штоком, кулачки розходяться, звільняючи деталь. Змінні губки кріпляться до кулачків гвинтами.

Універсальні трикулачкові патрони.

Трикулачкові самоцентрувальні патрони з ручним затисканням торцевим ключем застосовуються для кріплення і затиску деталей з циліндричною поверхнею як в серійному, так і в одинарному виробництві. Моделі СТ-80 і СТ-630 виготовляються по ГОСТ 2675-71 (рис. 1.3)..

На різьбовому кінці шпинделя токарного верстата встановлений трикулачковий спіральний-рейковий самоцентруючий патрон з ручним затискним механізмом. Всередині корпусу патрона є диск, який має конічну шестерню на одному кінці та спіральні рейкові канавки на іншому. Ці пази входять у зачеплення з нерухомими рейками. У хрестоподібні пази рейок встановлюють і закріплюють гвинтами кулачки прямого або зворотного ходу.

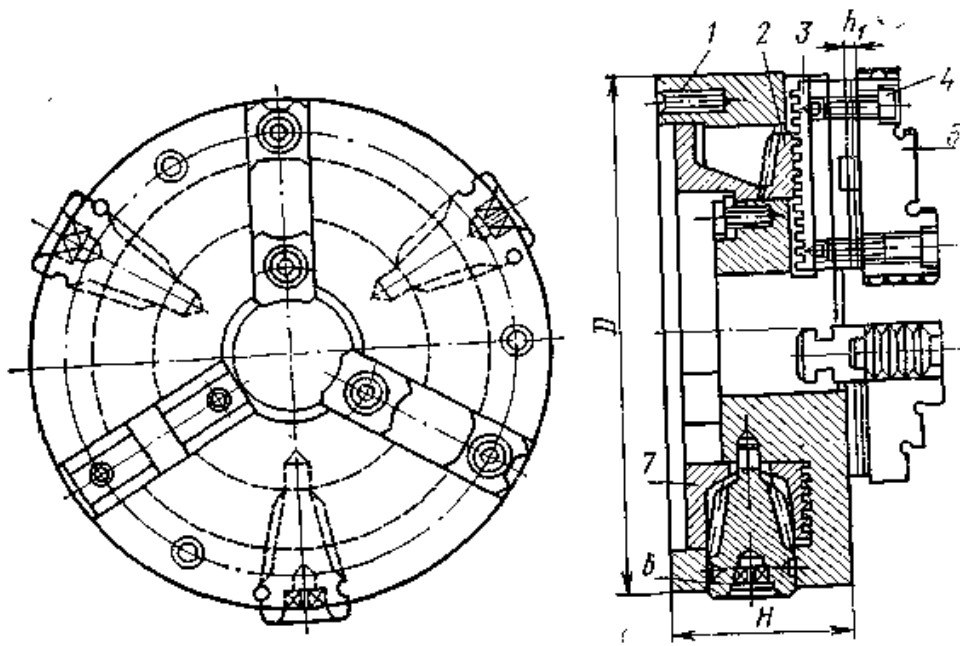


Рисунок 1.2. Універсальний трикулачковий патрон

Коли одну з трьох конічних шестерень, які входять у зачеплення з конічним колесом диска, повертають за допомогою торцевого ключа, диск обертається. Це обертання переміщує рейки з кулачками до осі патрона для затискання заготовки та від осі під час розтискання. Кришка утримує диск на місці в корпусі патрона, запобігаючи його поздовжньому переміщенню та захищаючи від стружки та сміття.

Деякі патрони мають вбудовані кулачки прямого та зворотного ходу з рейками, які призначені для прямого з'єднання зі спіральними канавками диска. Але недоліком цих патронів є те, що радіуси кривизни спіральних канавок на різних ділянках спіралі диска є змінними, а радіус кулачкових рейок залишається постійним. Ця невідповідність призводить до того, що контакт між рейками та спіраллю диска відбувається лише на невеликих ділянках, а не по всій поверхні.

При неповному зчепленні витків дискової спіралі з кулачковими рейками в місці з'єднання виникає високий питомий тиск, що призводить до значного зносу центруючого механізму і втрати точності розміщення. Для покращення зносостійкості впроваджують гартування та шліфування витків дискової спіралі та кулачкових рейок.

Зазвичай використовуються спеціальні трикулачкові самоцентрувальні патрони з розподіленим і центральним пневматичним приводом (рис. 1.4.). Трикулачкові клинові патрони та клинові патрони, обидва з механізованими системами приводу для переміщення кулачків, особливо популярні в середовищах великого та серійного виробництва для закріплення деталей під час обробки на різних токарних і револьверних верстатах.

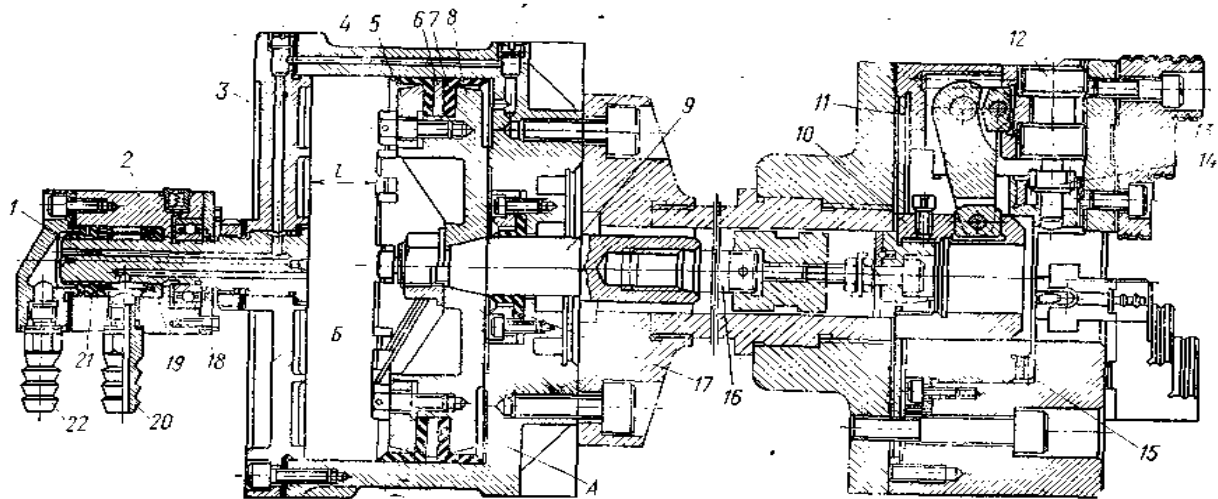


Рисунок 1.4. Універсальний самоцентруючий трикулачковий патрон

Залежно від конструкції центруючого механізму патрони з механізованим приводом поділяють на важільні, важільно-гвинтові, важільно-клинові, клинові та спіральні-рейкові. Під час заміни патронів важливо встановити та закріпити накладні кулачки відповідно до розміру заготовки.

На рисунку 1.4 зображено трикулачковий патрон важільного типу, обладнаний механізованим приводом для переміщення кулачків під час затискання та розтискання деталей. Пневмопривід, встановлений на фланці в задній частині шпинделя токарного верстата, складається з пневмоциліндра, що містить поршень зі штоком, кришку з запресованим хвостовиком і нерухому повітророзподільну муфту з патрубками для подачі стисненого повітря.

Для герметизації порожнин у пневмоциліндрі на поршні встановлені манжети з проміжним кільцем і закріплені кільцем. Шток також ущільнений

манжетою та нерухомою муфтою з обертовими хвостовиками. Нерухома розподільна муфта встановлена на зовнішньому кільці кулькового підшипника, внутрішнє кільце якого обертається разом із хвостовиком.

Стиснене повітря подається від розподільного клапана через трубопровід до одного штуцера, і воно проходить через канали в хвостовику, кришці та пневмоциліндрі для переміщення поршня вліво. Одночасно шток переміщує гільзу в корпусі вліво. Всередині корпусу патрона на осях закріплено три важеля із співвідношенням плеча 3:1. Рухомо встановлені сухарі на кінцях важелів входять в зачеплення з пазами втулки і основи кулачків. Під час обертання втулки важелі штовхають кулачки до центру, що призводить до затиску заготовки.

Після обробки розподільний клапан перемикається, направляючи стиснене повітря до іншого штуцера, який переміщує поршень вправо. Потім шток зсуває втулку і, у свою чергу, розсуває кулачки, розтискаючи деталь.

Кулачки патрона регулюються відповідно до розміру заготовки шляхом обертання гвинта, оснащеного зубчастим колесом, яке входить у зачеплення з плоским центральним колесом. Цей механізм забезпечує переміщення всіх губок у правильне положення відповідно до розмірів заготовки. Для затиску деталей по внутрішньому діаметру необхідно змінити положення губок, повернувши їх на 180 градусів. У патрон можна завантажувати заготовки діаметром від 10 до 240 мм і прутки діаметром від 10 до 40 мм. Максимальна сила, що діє на стержень, становить 44 000 Н.

Універсальні чотирикулачкові патрони призначені для установки і затиску некруглих деталей, що обробляються на токарних, револьверних і свердлильних верстатах як в одиничному, так і в масовому виробництві.

Конструкція чотирьохкулачкових патронів, що забезпечують самостійне переміщення губок за допомогою ключа, регламентується ГОСТ 3890-72. Вони доступні в чотирьох класах точності: Н, Р, В і А. Є також два типи: тип А, призначений для монтажу на фланцевих кінцях шпинделів, і тип В, призначений для монтажу на різьбових кінцях шпинделів через проміжні фланці.

Чотирьохкулачкові токарні патрони представлені моделями від ТН-160 до ТН-1000.

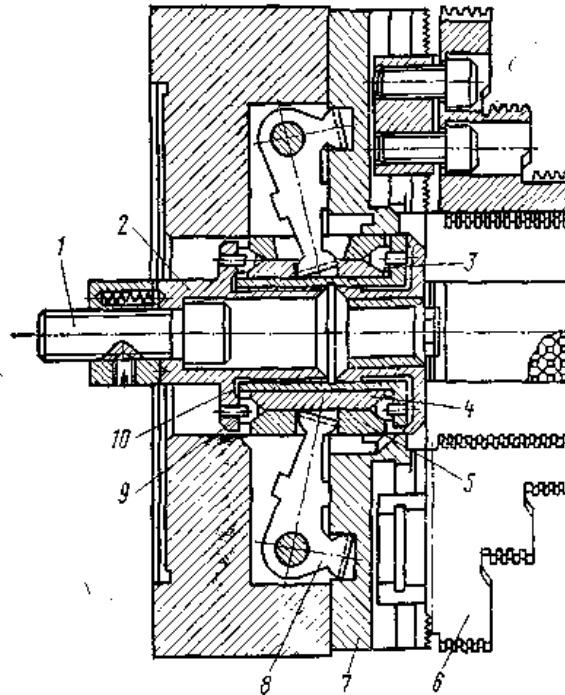


Рисунок 1.5. Універсальний чотирикулачковий патрон з механізованим приводом для преміщення кулачків

Малюнок 1.5 демонструє універсальний механізований чотирикулачковий патрон з приводом регулювання кулачків у радіальному напрямі. Протилежно встановлені кулачки по чергово затискають заготовку і забезпечують рівномірний затиск усіма кулачками.

Пневмопривід закріплений на задній частині шпинделя. Рух поршня через шток та гвинтове з'єднання зміщує втулку 2 по осі. У цьому випадку втулка 2 разом із втулкою 10 діє на сектори 3 і 9. Ці сектори переміщують втулки 4 і 5, на котрих виконані діаметрально розташовані пази для плечей важелів 8. Кожна втулка, провертає тільки одну пару важелів. По мірі зсуву плаваючих секторів 3 і 9 втулки 4 і 5 примушують важелі 8 провертатись навколо власних осей. Короткі плечі цих важелів переміщують основні кулачки 7 і кулачки 6 в радіальному напрямі.

І навпаки, при зворотному русі поршня зі штоком в пневмоциліндрі шток зміщує втулки 2 і 10 через гвинтове з'єднання. Плаваючі сектори 3 і 9 змушують втулки 4 і 5 також зміщуватися у протилежному напрямі. Цей рух обертає плечі кожної пари важелів 8, що приводить до розведення кулачків 6 і 7 звільняючи заготовку.

Зазвичай на виробництві застосовують клинові трикулачкові і важільно-клинові патрони (ГОСТ 16862-71) з механізованим приводом. Клинові патрони кріплять на передньому кінці шпинделя за допомогою фланця або безпосередньо на фланці шпинделя. Крім того, використовуються також трикулачкові швидкозмінні патрони (наприклад, ПБК-400). У таких патронах кулачки виставляють на діаметр заготовки через обертання трьох роликів шестерень, які контактують із затискними кулачками. Під час обертання роликів шестерень три кулачки переміщуються радіально.

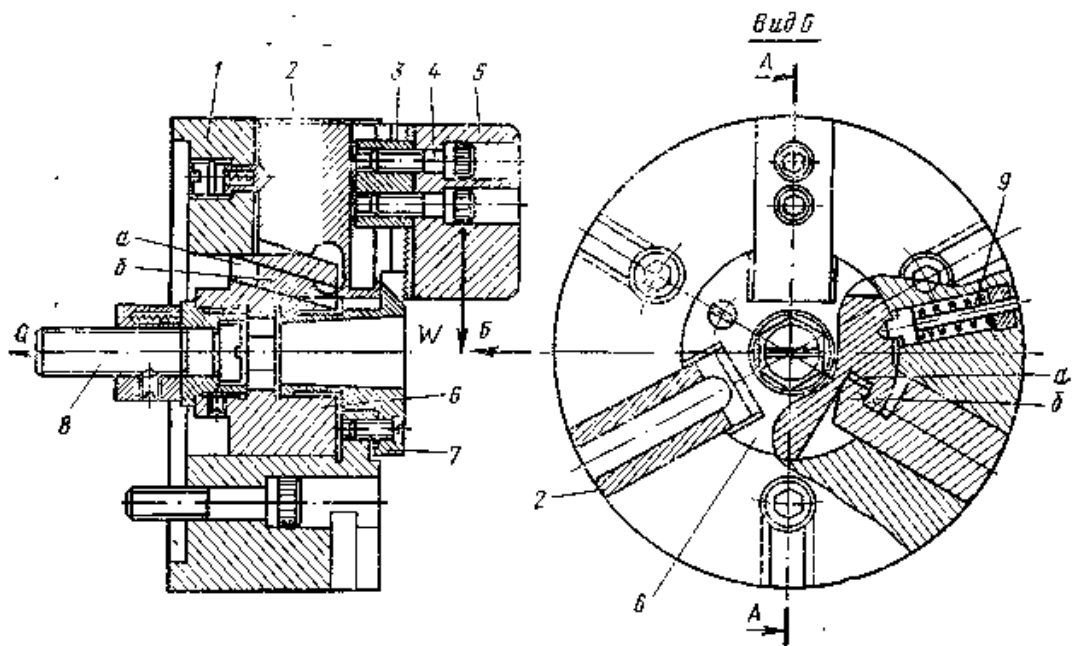


Рисунок 1.6. Клиноважільний трикулачковий патрон (Патрон 3)

Рисунок 1.6 ілюструє трикулачковий самоцентруючий клиновий патрон, оснащений механізованим приводом, призначений для швидкого затискання та розтискання деталей, що обробляються на токарних верстатах, револьверних напівавтоматах та інших верстатах, особливо у великих розмірах. і середовища серійного виробництва. Три кулачки, позначені цифрою 2, закріплені в пазах

корпусу патрона зі змінними кулачками 5, прикріпленими гвинтами 4. Втулка 6 вбудована в корпус патрона 1 і з'єднана зі штоком поршня пневматичного циліндра через гвинт і шток. Ця втулка містить три нахилені під кутом 15° канавки, в які входять похилі виступи в кулачків 2, створюючи клиноподібні з'єднані пари.

При подачі стисненого повітря в порожнину штока пневмоциліндра поршень і шток переміщуються вліво. Цей рух переміщує виступи кулачків 2 уздовж похилих пазів втулки 6. Внаслідок цього, змінні кулачки 5 переміщуються радіально для затиску заготовки. Після завершення обробки стиснене повітря направляється в безштокову порожнину пневматичного циліндра, змушуючи поршень і шток зміщуватися вправо. Ця дія переміщує втулку 6 вправо, змушуючи виступи кулачка 2 зміщуватися вгору вздовж похилих канавок втулки 6, в результаті чого змінні кулачки 5 відходять і звільняють заготовку.

За результатами аналізу конструктивних рішень доцільно виокремити три зразки самозатискних патронів. Для вибору однієї з конструкцій для подальшого вивчення доцільно виконати аналіз параметричних даних для обраних конструкцій, оцінити їх конструктивні та технологічні особливості. Порівняння слід провести за трибальною системою, де вищий бал вказує на найбільшу відповідність обраним характеристикам з порівнюваних.

Таблиця 1. Параметричний аналіз

Параметри для порівняння характеристик патронів	Патрон 1	Патрон 2	Патрон 3
Технологічність виготовлення	3	1	2
Уніфікація складових компонентів	2	1	3
Простота кріплення до верстата	1	2	3
Доступність діагностики	1	1	1
Універсальність технічного обслуговування	2	2	1
Доступність для мащення	1	3	2
Надійність затиску	1	1	1
Наявність системи автоматичного підналагодження	1	2	1
Номенклатура деталей, для закріплення в патроні	2	2	1
Діапазон типорозмірів, для закріплення в патроні	1	3	2
Швидкозмінність патрону	1	1	2
Наявність додаткового пристрою для затиску	1	1	2
Всього	17	20	21

1.3. Висновки по розділу, постановка мети та задач дослідження

Огляд джерел науково-технічної літератури та бази патентів різних країн демонструє, що вивчення випадкових процесів, пов'язаних із точністю позиціонування оброблюваних деталей в токарних патронах, а також точність механічної обробки є актуальною задачею. Ми встановили, що активні науково-дослідні роботи для вдосконалення конструкцій кулачкових патронів верстатів почалися на початку 20 ст. Основні напрями з модифікації конструкцій та підходів до функціональності їх роботи, а також механізмів приводу для забезпечення руху кулачків варто класифікувати наступним чином:

- Тип приводу руху кулачка (механічний, пневматичний, гідравлічний)
- Принцип кріплення (механічний, електричний, магнітний)
- Принцип затиску (самозажим, регульований затиск)
- Спосіб передачі навантаження (гвинтовий, рейковий, клиновий, важільно-клиновий) та ін.

На основі цього аналізу доцільно сформулювати висновки:

1. Діагностика функціонального стану верстатного устаткування є структурою з багатоканальним інформаційним потоком.
2. Алгоритм діагностики функціонального блоку спрямований на визначення відповідності між величиною і характером змін у часі між вектором вхідних параметрів та перетвореного сигналу порівняно з апіорно встановленими допустимими межами вибраного діагностичного параметра.
3. Вибір конструктивного рішення для затискного пристрою залежить від геометричних параметрів заготовки, які були отримані при її попередній обробці.

Мета дослідження: розробка системи діагностики точності позиціонування заготовки в пристроях затиску для токарних верстатів.

Цілі дослідження:

1. Ознайомитися з результатами аналітичного вивчення випадкових процесів механічної обробки.
2. Визначити залежності між конструктивними та функціональними параметрами для токарних патронів різних конструкцій.
3. Виконати кінематичні та силові розрахунки для об'єкта дослідження з групи токарних верстатів.
4. Сформуванати алгоритм та методику проведення досліджень.
5. Виконати моделювання позиціонування в аналітичній формі стосовно точності механічної обробки.
6. Запропонувати заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Об'єкт дослідження: самозатискний кулачковий патрон.

Предмет дослідження: точність позиціонування осі заготовки стосовно осі обертання патрона.

Методи дослідження: інформаційне та патентне дослідження, морфологічний аналіз, графоаналітичні методи, тензометрія та математичне моделювання, матричний аналіз.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір комплексу рухів, які забезпечують виробничий цикл верстату

У процесі зняття припуску з поверхонь на металорізальних верстатах власне поверхні оброблюваних деталей доцільно розглядати як сукупність послідовних повторюваних положень ліній відтворення. Такі лінії мають назви: твірна і напрямна. В геометричному трактування лінії відтворення утворені сукупністю матеріальних точок, а також відрізками, які складають частини різальних кромek. Їх розміщення в координатному просторі обумовлене сукупністю відносних рухів у системі інструмент – оброблювана деталь.

В процесі зняття припуску з поверхонь таке теоретичне поняття як "твірна лінія" відтворюють узгодженим поєднанням обертових та прямолінійних рухів у системі інструмент – оброблювана деталь. Рухи, які необхідно забезпечити для таких узгоджених переміщень називають формоутворюючими рухами [12]. Ці рухи можуть бути достатньо простими, але і можуть бути представленими лише одним рухом $\Phi v(O_1)$, а можуть бути складними. В цьому випадку узгодженню підлягають два, або більше рухів, які забезпечують утворення поверхні: $\Phi v(O_1 P_2)$; $\Phi s(\Pi_3, \Pi_4)$.

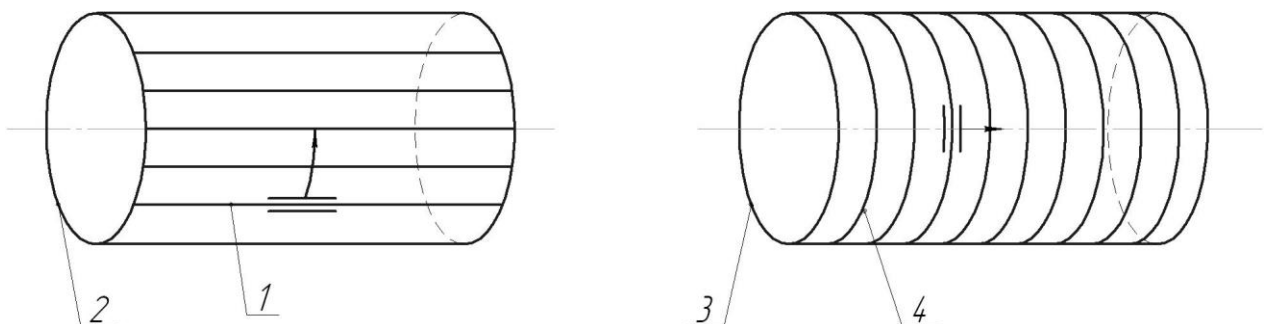


Рисунок 2.1 Схема формоутворення циліндричної поверхні

Основну частину поверхонь оброблюваних деталей утворюють шляхом використання лише твірної лінії у вигляді: прямої лінії, гвинтової лінії, кола, тощо. Для прикладу, циліндрична поверхня може бути отримана шляхом переміщення твірної 1 (пряма) по напрямній - коло 2, або при переміщенні твірного кола 3 вздовж напрямної - пряма лінія 4.

Враховуючи багатоваріантну структуру металорізальних інструментів та різноманітність форм їх різальної частини, виділяють лише чотири (базові) методи стосовно формоутворення поверхонь. Серед них: метод сліду, метод копіювання, метод обкату і метод дотику.

Враховуючи специфічний набір рухів, який може забезпечити токарний верстат із спеціальним патроном, то було б доцільно розглянути методи формоутворення, які можна реалізувати власне не такому верстаті у процесі механічної обробки.

В основу методу сліду покладено твердження, що твірна лінія може бути отримана як слід від руху точки, котра є вершиною різця. Наприклад, у процесі токарної обробки з використанням прохідного різця твірна 1 утворена слідом точки А. Інструмент і оброблювана деталь мають взаємне переміщення один стосовно іншого в такий спосіб, що вершина А на різці належить відтворюючій лінії 1. Напряму лінію отримано як результат обертового руху деталі. У даному випадку для забезпечення процесу формоутворення необхідно забезпечити два формотворних рухів: обертання деталі $\Phi_1(O_1)$ та подачу інструмента $\Phi_2(P_2)$.

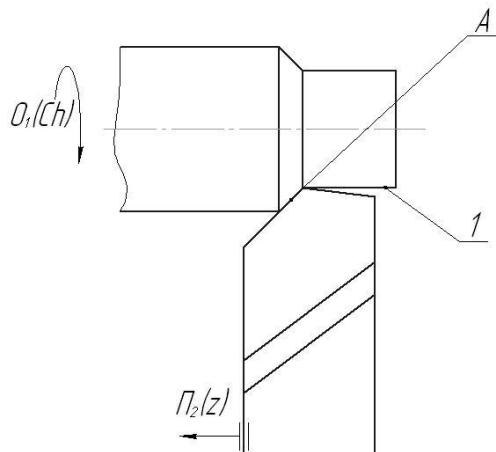


Рисунок 2.2. Ілюстрація методу сліду

Суть методу копіювання полягає в тому, що ріжуче лезо інструмента за формою ідентичне до твірної лінії. Наприклад, при виготовленні канавки твірна 1 утворена шляхом копіювання прямолінійної ділянки ріжучого леза на інструменті, а обертання заготовки утворено напрямну лінію 2.

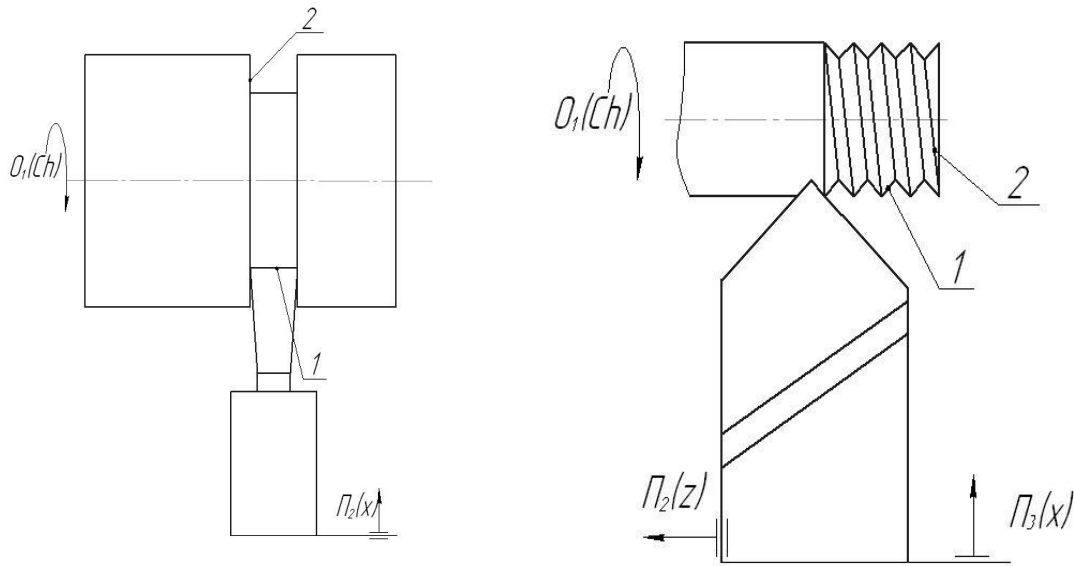


Рисунок 2.3. Утворення твірної лінії методом копіювання

Для зняття шару матеріалу з оброблюваної деталі і отримання необхідних розмірів деталі потрібно забезпечити переміщення різця. Цей рух може бути визначений як рух врізання $V_r(\Pi_2)$. У процесі нарізання зовнішньої різи різцем також реалізують метод копіювання. Рух Π_3 є установчим $U_{ст}(\Pi_3)$, а $\Phi_v(O_1 \Pi_2)$ - це узгоджений рух обертання оброблюваної деталі з подачею металорізального інструменту.

Конструктивні елементи верстата, в яких кріплять оброблювану деталь та інструмент називають виконавчими елементами, або робочими. У процесі обробки вони виконують узгодженні рухи. Ці рухи називають: формоутворюючими, установчими, ділильними, допоміжними, керуючими і рухами врізання.

Взаємний рух деталі і інструмента прийнято поділяти на головний рух різання та рухи подачі.

Головним рухом називають рух, котрий забезпечує процес зняття стружки із оброблюваної деталі $\Phi_v(O_1)$.

Рухом подачі називають рух, котрий забезпечує підвід до ріжучої кромки інструмента чергові ділянки оброблюваної деталі в межах оброблюваної площини та забезпечує видалення припуску на обробку - $\Phi_s(\Pi_2)$.

У верстаті прототипі оброблювана деталі надають обертовий рух, який є головним рухом $\Phi_v(O_1)$, а металорізальний інструмент забезпечує рух подачі $\Phi_s(\Pi_2, \Pi_3)$. Цей рух може бути прямолінійним, або складним.

Зазвичай інструмент здійснює переміщення за прямою лінією і, як правило, паралельно до центральної осі оброблюваної деталі шляхом реалізації поздовжнього переміщення інструменту – $\Phi_{s1}(\Pi_2)$, або перпендикулярно до осі оброблюваної деталі шляхом реалізації поперечного переміщення інструмента $\Phi_{s2}(\Pi_3)$. В окремих випадках процес формоутворення складних поверхонь, забезпечують комбінацію кількох рухів подач.

2.2. Вибір структурно-кінематичної схеми верстату

Кінематичну структуру токарно патронно - центрового верстата представлено на збірних кресленнях у розділі з графічним матеріалом. Формоутворення поверхонь забезпечене обертовим рухом деталі $\Phi_v(O_1)$ за послідовністю: електродвигун приводу головного руху; коробка швидкостей з механізмами налагодження; шпиндель верстата. Механізм налагодження для забезпечення головного руху різання включає два елементи: $I_{AKШ}$ _автоматичної коробки швидкостей, та $I_{Vшп.баб}$ – регулювання в елементі шпиндельна бабка. Поступальні рухи металорізальних інструментів $\Phi_s(\Pi_2)$ та $\Phi_{s2}(\Pi_3)$ забезпечено по ланцюгу: від крокового електродвигуна через зубчасту передачу на ходовий гвинт.

Кожен рух, виконання котрого забезпечено на верстаті, супроводжуено чіткими якісними параметрами та силовими показниками, які забезпечують виконання механічної роботи.

Якісні характеристики забезпечені кінематикою верстату [12], а силові характеристики - потужністю двигуна головного руху. Значення потужності

такого двигуна має враховувати енергетичні затрати на подолання сили різання, сукупні втрати [13] на тертя та дисипативне розсіювання енергії по кінематичному ланцюгу.

2.3. Кінематичні та силові розрахунки

2.3.1. Розрахунок діапазону регулювання

При побудові частотного ряду щодо встановлення кількості обертів на виконавчому органі приводу використовують закон геометричної прогресії. Використання закону геометричної прогресії для формування геометричного ряду чисел обертів дозволяє генерувати як багатоланкові приводи, так і елементарні механізми.

Визначення діапазону регулювання частоти обертання R_n і знаменника ϕ проводимо за формулами (2.5) і (2.6):

$$R_n = \frac{n_{max}}{n_{min}} \quad (2.1)$$

$$R_n = \frac{1250}{25} = 50$$

$$\phi = \sqrt[z-1]{R_n} \quad (2.2)$$

$$\phi = \sqrt[18-1]{50} = 1.259$$

Враховуючи загальноприйняті технічні рекомендації приймаємо для розрахунку ряду швидкостей головного руху стандартне значення $\phi = 1.26$.

Розраховуємо кількість ступеней регулювання:

$$Z_n = 1 + \frac{\lg(R_n)}{\lg(\phi)}$$

$$Z_n = 1 + \frac{\lg(50)}{\lg(1,26)} = 17,93 \quad (2.3)$$

Приймаємо найближче значення $Z_n=18$.

2.3.2. Структурна сітка та графік чисел обертів

Автоматична коробка швидкостей забезпечує автоматичне перемикання передач. Конструкція автоматичної коробки швидкостей сформована на базі триступеневої системи приводу. У цій структурі передбачено між валами рівну кількість передач – 3.

$$P_1=P_2=3.$$

де P_1 і P_2 - число передач.

Автоматична коробка швидкостей забезпечує на вихідному валу 9 швидкостей. Призначаємо характеристики груп. Структурна формула має наступний вигляд:

$$Z = 3_{(1)} 3_{(3)}=9 \quad (2.4)$$

Кожну групу передач можна характеризувати характеристикою X . У першій групі вона називається одиничною і, як правило, рівна 1.

Визначимо кількість передач, котрі забезпечить коробка швидкостей з ручним перемиканням:

$$Z = P_3 P_4 = 2 \cdot 2 = 4 \quad (2.5)$$

Стає очевидним, що структурна сітка буде містити значення для чисел обертів, які можна буде отримати різною комінацією активних зачеплень зубчастих коліс. Дев'ять швидкостей забезпечує автоматична коробка передач і дві варіації може бути забезпечено механічною коробкою передач. В такий спосіб буде маємо регулювання на 18 швидкостей .

Структурну сітку сформовано на базі попередньо розглянутої структурної формули (рис. 2.4.).

$$Z=18=3_{(1)}3_{(3)}2_{(3)}2_{(6)} \quad (2.10)$$

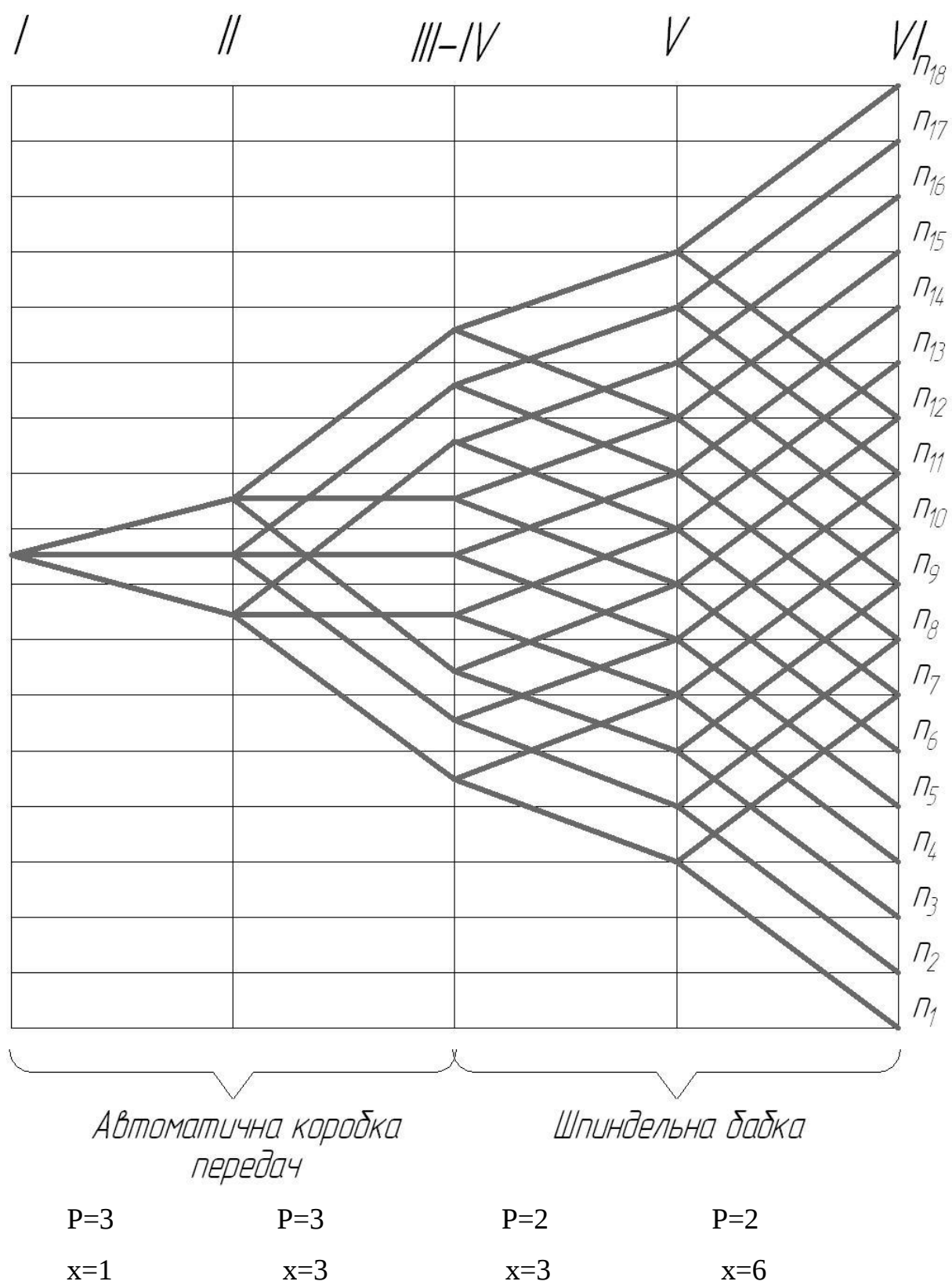


Рисунок 2.4. Структурна сітка

Графік чисел обертів сформовано з використанням розрахункових даних щодо структурної формули та структурної сітки. Спуск чи підйом відрізка між умовними валами еквівалентний величині передаточного відношення, яке визначене з використанням знаменника " ϕ " геометричного ряду (рис. 2.5.).

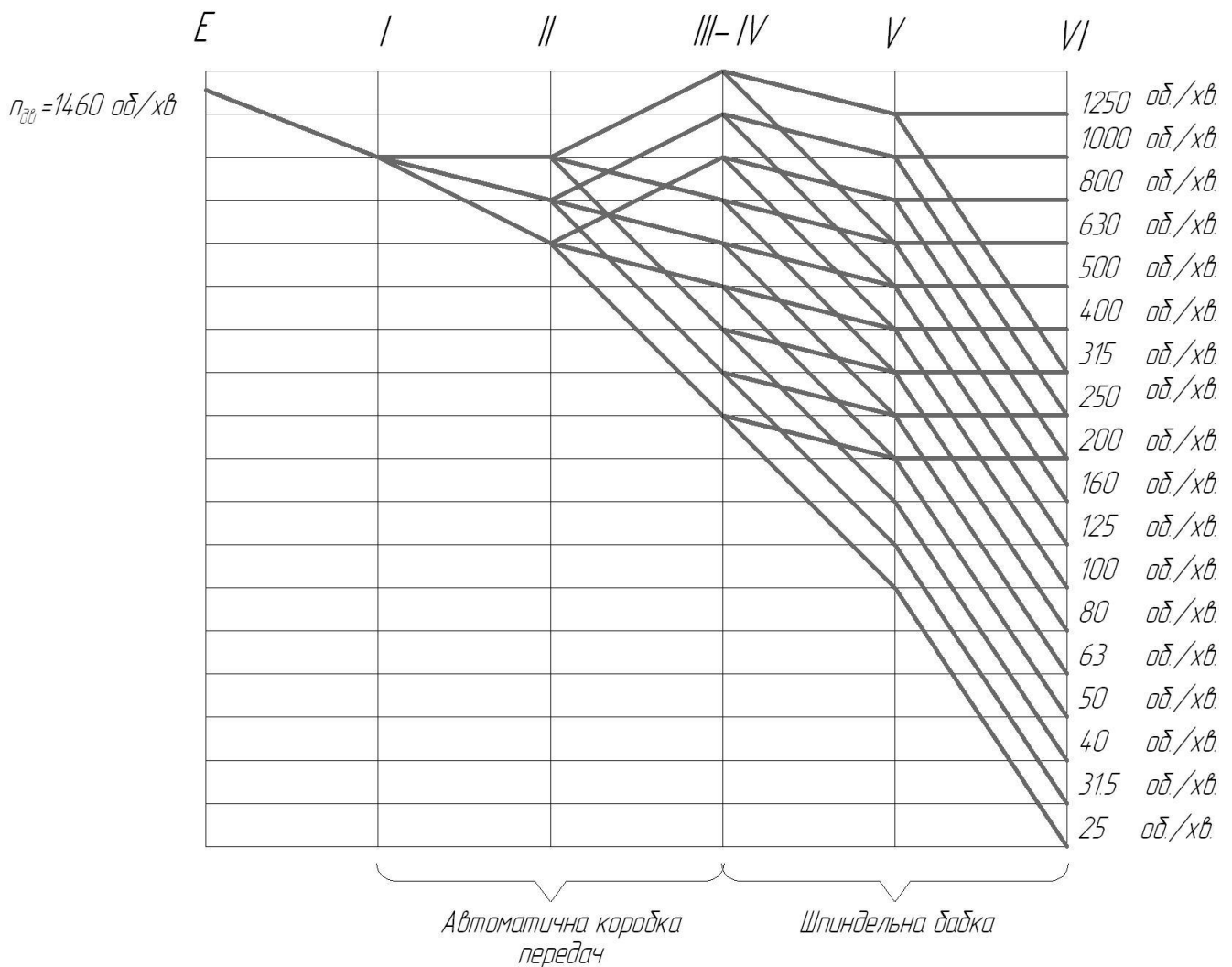


Рисунок 2.5. Графік частот обертів шпинделя верстата.

2.3.3. Проектування коробки швидкостей

2.3.3.1. Аналіз конструкції та роботи коробки швидкостей

Суміщені в межах одного верстата коробки швидкостей (автоматична коробка перемикання швидкостей та коробка з ручним перемиканням швидкостей) оснащені приводом від електродвигуна постійного струму з потужністю на 37 кВт. Аналізуючи привід головного руху як динамічну систему

визначаємо послідовність енергозатрат: на здолаття механічного опору в автоматичній коробці швидкостей; здолаття опору механічної коробки швидкостей; виконання корисної роботи в зоні різання.

Автоматична коробка швидкостей встановлює число обертів шляхом перемикання швидкостей на дев'ять позицій. Вихідний вал цієї коробки з'єднаний з шпіндельним валом. Автоматична коробка містить три вали, на яких розташовано шість електромагнітних муфт. Коробка швидкостей з ручним включенням також містить у своїй структурі три вали. На вхідному валі розміщені шестерні для підвищуючої та понижуючої передач. На проміжному валі розташовано шестерні для підвищуючої та понижуючої передач.

2.3.3.2. Привід головного руху (силовий розрахунок)

Силовий розрахунок механізму приводу варто виконувати для найбільш навантажених режимів роботи верстата ($P_z = 17000 \text{ Н}$). В цьому випадку для ланцюга передачі крутного моменту створено найбільший крутний момент на шпіндельному валу.

Найбільше значення сили різання визначили при найменшій швидкості різання і максимальних значеннях подачі та глибини різання:

$$1460 \cdot \frac{236}{330} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{23}{57} \cdot \frac{37}{48} \cdot \frac{21}{84} = 800 \text{ об}^{-1}$$

Виконано перерахунок параметрів для швидкості різання та крутного моменту по валах з кінематичного ланцюга.

Частота обертання:

- на ведучому шківі пасової передачі:

$$n = 1460 \text{ об/хв};$$

- на веденому шківі пасової передачі:

$$n_1 = n_{\text{ДВ}} D_1/D_2 = 1460 \cdot 236/330 = 1000 \text{ об/хв.} \quad (2.11)$$

- II -й вал: $n_2 = n_1 Z_4/Z_3 = 1000 \cdot 40/40 = 1000 \text{ об/хв}$

- III - IV -ті вали: $n_3 = n_2 Z_9/Z_{10} = 1000 \cdot 23/57 = 400 \text{ об/хв}$

- V -й вал: $n_4 = n_3 Z_{16}/Z_{17} = 400 \cdot 37/48 = 315 \text{ об/хв}$

- VI -й вал: $n_{un} = n_5 = n_4 Z_{20}/Z_{21} = 315 \cdot 21/48 = 80 \text{ об/хв}$

Згідно методики, слід розраховувати значення крутного моменту на кожному з валів:

- вал шпинделя (VI-й вал):

$$M_{un} = M_6 = \frac{N_{piz} \cdot 30 \cdot 10^3}{\pi \cdot n_6} = \frac{27.9 \cdot 30 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 80} = 3400 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

- V-й вал: $M_5 = \frac{M_6 \cdot i_6}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{3400 \cdot 21/84}{0.99 \cdot 0.995^2} = 867 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.13)$

де: η_{zn} – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі, $\eta_{zn} = 0.98$;

η_n – коефіцієнт корисної дії підшипників, $\eta_n = 0.995$;

- IV - III-ті вали: $M_3 = M_4 = \frac{M_5 \cdot i_5}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{867 \cdot 37/48}{0.99 \cdot 0.995^2} = 682 \text{ Н} \cdot \text{м}$

- II-й вал: $M_2 = \frac{M_3 \cdot i_3}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{682 \cdot 23/57}{0.99 \cdot 0.995^2} = 281 \text{ Н} \cdot \text{м}$

- I-й вал: $M_1 = \frac{M_2 \cdot i_2}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{281 \cdot 40/40}{0.99 \cdot 0.995^2} = 287 \text{ Н} \cdot \text{м}$

- на валі двигуна: $M = \frac{M_1 \cdot i_1}{\eta_{zn} \cdot \eta_n} = \frac{287 \cdot 237/330}{0.99 \cdot 0.995^2} = 215 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Перевіряємо правильність вибору електродвигуна за найбільшою затрачуваною потужністю у процесі механічної обробки:

$$N_{ДВнеобхідне} = \frac{M_{\text{дв}} \cdot \pi \cdot n_{\text{дв}}}{30 \cdot 10^3} = \frac{215 \cdot 3.14 \cdot 1460}{30 \cdot 10^3} = 32.9 \text{ кВт}$$

Умова забезпечення необхідної потужності виконана:

$$N_{ДВнеобхідне} \approx 33 \text{ кВт} < N_{\text{дв}} = 37 \text{ кВт}.$$

2.3.4. Розрахунок приводу головного руху

2.3.4.1. Розрахунок конструктивних параметрів зубчастих коліс

Для виготовлення зубчастих коліс для коробки швидкостей доцільно використовувати Сталь 45 ГОСТ 1050-88.

1. Допустимі напруження виносливості визначаємо за формулою:

$$\sigma_H = \sigma_{Hr}^0 \cdot K_{Hr} \quad (2.14)$$

$$\sigma_H = 800 \cdot 1 = 800 \text{ Н/мм}^2$$

Призначаємо коефіцієнти $K_a=49,5$; $K_m=1,4$; $\psi_{ba}=0.2$

$$\psi_{bd}=0.5 \cdot \psi_{ba} \cdot (U_6+1) \quad (2.15)$$

де $U_6 = z_{21}/z_{210} = 84/21 = 4$

$$\psi_{bd}=0.5 \cdot 0.2 \cdot (4+1)=0.5$$

Коефіцієнти $K_{H\beta}=1,04$, $K_{F\beta}=1,07$, $K=1$, $Y_F=3.9$.

2. Розрахункова міжцентрова відстань:

$$a_{wpoz} = K_a \cdot (U_6 + 1) \sqrt[3]{\frac{K_{H\beta} \cdot M_5}{U_6 \cdot \psi_{ba} \cdot \sigma_{Hp}^2}} \quad (2.13)$$

де M_5 - крутний момент для шестерні:

$$a_{wpoz} = 49.5 \cdot (4 + 1) \sqrt[3]{\frac{1.04 \cdot 867000}{4 \cdot 0.2 \cdot 800^2}} \approx 252 \text{ мм.}$$

3. Розраховуємо модуль передачі:

$$m \geq K_m \sqrt[3]{\frac{K_s \cdot Y_F \cdot K_{F\beta} \cdot M_5}{\sigma_{2p} \cdot \psi_{bd} \cdot z_{20}^2}} \quad (2.14)$$

$$m \geq 1.4 \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 3.9 \cdot 1.07 \cdot 867000}{800 \cdot 0.5 \cdot 21}} = 3.8$$

Обираємо найближче значення з нормального ряду $m=4$ мм.

4. Розраховуємо геометричні параметри для зубчастих коліс коробок швидкостей:

$$d_{20} = m \cdot z_{20} \quad (2.15)$$

$$d_{20} = 4 \cdot 21 = 84 \text{ мм}$$

$$d_{a20} = d_{20} + 2 \cdot m \quad (2.16)$$

$$d_{a20} = 84 + 2 \cdot 4 = 92 \text{ мм}$$

$$d_{f20} = d_{20} - 2.5 \cdot m \quad (2.17)$$

$$d_{f20} = 84 - 2.5 \cdot 4 = 74 \text{ мм}$$

$$d_{21} = m \cdot z_{21}$$

$$d_{21} = 4 \cdot 84 = 336 \text{ мм}$$

$$d_{a21} = d_{21} + 2 \cdot m$$

$$d_{a21} = 336 + 2 \cdot 4 = 404 \text{ мм}$$

$$d_{f21} = d_{21} - 2.5 \cdot m$$

$$d_{f2l} = 336 - 2.5 \cdot 4 = 326 \text{ мм.}$$

5. Уточнюємо міжцентрову відстань:

$$a_w = 0.5(d_{21} - d_{20}) \quad (2.18)$$

$$a_w = 0.5(84 + 336) = 253,5$$

$a_w = 253,5 > a_{w\text{пор}} = 252$ - умова міцності виконана.

6. Розраховуємо ширину вінця шестерень:

$$b = \psi_{ba} \cdot a_w \quad (2.19)$$

$$b = 0.2 \cdot 315 = 63 \text{ мм}$$

7. Колова швидкість:

$$V = \frac{\pi \cdot d_{20} \cdot n_4}{60} = \frac{3.14 \cdot 126 \cdot 10^{-3} \cdot 315}{60} = 2.28 \text{ м/с}$$

8. Обчислюємо силові фактори у зачепленні:

- тангенціальна складова сили зачеплення:

$$F_t = 2 \cdot M_5 / d_{20} \quad (2.20)$$

$$F_t = 2 \cdot 867 \cdot 103 / 126 = 13762 \text{ Н}$$

- радіальна складова сили:

$$F_r = F_t \cdot \tan 20^\circ \quad (2.21)$$

$$F_r = 13762 \cdot 0.364 = 5009 \text{ Н}$$

9. Виконуємо перевірку контактної міцності зубів найбільш навантаженої шестерні:

$$\sigma_H = z_M \cdot z_U \cdot z_\varepsilon \cdot \sqrt{\left(\frac{K_H \cdot F_t}{d_{20} \cdot b}\right) \cdot \left(\frac{U_6 + 1}{U_6}\right)} \quad (2.22)$$

$$\sigma_H = 275 \cdot 1.77 \cdot 0.87 \cdot \sqrt{\left(\frac{1.1 \cdot 13762 \cdot (4 + 1)}{126 \cdot 52 \cdot 4}\right)} = 725 \text{ МПа}$$

10. Виконуємо перевірку зубів за напруженнями згину:

$$\sigma_F = \frac{Y_F \cdot K_F \cdot F_t}{m \cdot b} \quad (2.23)$$

$$\sigma_F = \frac{3.9 \cdot 1.12 \cdot 13762}{6 \cdot 52} = 193 \text{ МПа}$$

Таблиця 2. Параметри зубчастих коліс

Вал	Число зубів в зачепленні		Сумарне число зубів	відстань між осями валів a_w , мм	Модуль зачеплення m , мм
1-2	$Z_3=40$	$Z_4=40$	80	160	4
2-3-4	$Z_9=23$	$Z_{10}=57$	80	160	4
4-5	$Z_{16}=37$	$Z_{17}=48$	85	170	4
5-6	$Z_{20}=21$	$Z_{21}=84$	105	253.5	4

2.4. Розрахунки шпиндельного вузла

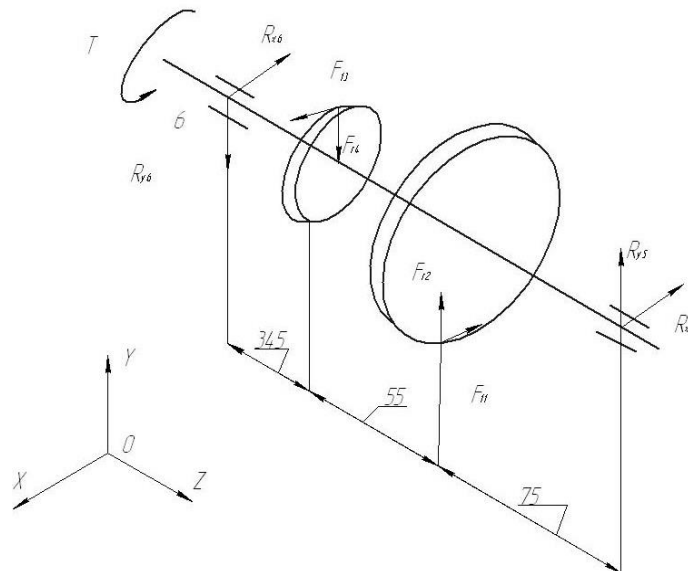


Рисунок.2.6. Розрахункова схема аналізу навантаження вала.

Розглядаємо шпиндельний вал як балку на двох опорах і розраховуємо реакції в цих опорах:

- в площині XOZ:

$$\sum M_6 = F_{t1} \cdot 400 - F_{t3} \cdot 345 + R_{x5} (345 + 130) = 0$$

$$R_{x5} = (-F_{t1} \cdot 400 + F_{t3} \cdot 345) / 475$$

$$R_{x5} = (-7373 \cdot 400 + 13762 \cdot 345) / 475 = 3787$$

$$\sum X = -R_{x6} - F_{t1} + F_{t3} - R_{x5} = 0$$

$$R_{x6} = -F_{t1} + F_{t3} - R_{x5}$$

$$R_{x6} = 2602 \text{ Н}$$

- в площині YOZ:

$$\sum M_5 = F_{r2} \cdot 400 - F_{r4} \cdot 345 + R_{y5} (345 + 130) = 0$$

$$R_{y5} = (-F_{r2} \cdot 400 + F_{r4} \cdot 345) / 475$$

$$R_{x5} = (-2684 \cdot 400 + 5009 \cdot 345) / 475 = 1378$$

$$\sum Y = -R_{y6} - F_{r2} + F_{r4} - R_{y5} = 0$$

$$R_{y6} = -F_{r2} + F_{r4} - R_{y5}$$

$$R_{y6} = 3703 \text{ Н}$$

Сумарні реакції в опорах

$$R_6 = \sqrt{R_{x6}^2 + R_{y6}^2}$$

$$R_6 = \sqrt{2602^2 + 3703^2} = 4516 \text{ Н}$$

$$R_5 = \sqrt{R_{x5}^2 + R_{y5}^2}$$

$$R_5 = \sqrt{3787^2 + 1378^2} = 4028 \text{ Н}$$

Оскільки опора 6 сприймає найбільше навантаження то в цьому місці доцільно встановити спарені підшипники 50213 (ГОСТ 2893-54), котрі мають наступні характеристики по статичній та динамічній вантажопідйомності $C_r = 44 \text{ кН}$, $C_{0r} = 34 \text{ кН}$.

Проводимо перевірку підшипника по радіальних навантаженнях.

$$C_{r\text{необх.}} = \frac{V \cdot x \cdot R_6 \cdot K_\sigma \cdot K_T \cdot (6 \cdot 10^{-5} \cdot n_5 \cdot L_{10h})^{1/3}}{2} \quad (2.29)$$

$$C_{r\text{необх.}} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 4526 \cdot 2 \cdot 1 \cdot (6 \cdot 10^{-5} \cdot 315 \cdot 15000)^{1/3}}{2} = 16363 \text{ Н}$$

де K_σ - коефіцієнт динамічності навантаження

n_5 – кількість обертів на і-му валі.

L_{10h} – часовий ресурс прогнозованої роботи підшипника.

$$C_r = 44 \text{ кН} > C_{r\text{необх.}} = 16,4 \text{ кН.}$$

2.5. Розрахунок приводу револьверної головки

Револьверна головка має складну будову та принципову схему [13-15] здійснює проворот на одну позицію за час, котрий можна розрахувати за формулою:

$$T = \sqrt{S / a_m} \cdot \frac{1 + \gamma \left(V / \sqrt{a_m \cdot S} \right)^2}{V / \sqrt{a_m \cdot S}} \quad (2.30)$$

де: S – шлях провороту при переключенні в наступну позицію, м; $S=0,28$ м.

V – швидкість усталеного руху; приймаємо $V=1,2$ м/с.

a_m – прискорення гальмування (за модулем значення);

приймаємо $a_m=4$ м/с².

γ - коефіцієнт нерівномірності прискорень при розгоні і гальмуванні; $\gamma=1$.

$$T = \sqrt{0,28/4} \cdot \frac{1 + 1 \left(1,2 / \sqrt{4 \cdot 0,28} \right)^2}{1,2 / \sqrt{4 \cdot 0,28}} = 0,53 \text{ с.}$$

Внутрішній діаметр гідроциліндра для механізму приводу револьверної головки розраховують за формулою :

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot b \cdot F_{\max}}{\pi \cdot p}}$$

де: $F_{\max}$ – максимальне розрахункове навантаження; $F_{\max}=8500$ Н

b – коефіцієнт типу обраних ущільнень штоку.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 8500}{3,14 \cdot 6,27}} = 50,9 \text{ мм}$$

Приймаємо нормальне значення для внутрішнього діаметру гідроциліндру

$$D = 60 \text{ мм}$$

Розраховуємо розхід робочої рідини для гідроприводу:

$$Q = V_{\max} \cdot S \quad (2.31)$$

де: S – площа поршня

$$S = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 30^2 = 2826 \text{ мм}^2 = 0,003 \text{ м}^2$$

$V_{\max}$ – найбільша допустима швидкість для переміщення штоку гідроциліндра; $V_{\max} = 6$ м/хв.

$$Q = 6 \cdot 0,003 = 18 \text{ л./хв.}$$

Спираючись на попередньо отримані результати проводимо розрахунок параметрів гідроциліндра для гідроприводу револьверної головки з використанням типових конструктивних розмірів від виробників гідропневмоапаратури:

1. Робоча площа гідроциліндра:

$$S = 0,25 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \quad (2.32)$$

де: D - зовнішній діаметр; $D=160$ мм.

d - внутрішній діаметр; $d=70$ мм.

$$S = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (160^2 - 70^2) = 0,016 \text{ м}^2$$

2. Розрахунок розривної сили, котра може призвести до руйнування гідроциліндра :

$$F = S \cdot (p_1 - p_2) - F_{\text{тр}} \quad (2.33)$$

де: $(p_1 - p_2)$ – різниця тисків в порожнинах гідроциліндра

$$p_1 - p_2 = 6,27 - 0,7 = 5,57 \text{ Па}$$

$F_{\text{тр}}$ - сила тертя між поршнем і корпусом гідроциліндра;

$$F_{\text{тр}} = 1500 \text{ Н}$$

$$F = 0,016 \cdot 5,57 - 0,0015 = 87,6 \text{ кН}$$

Сила стискання двох півмуфт з умови забезпечення їх не розкриття під навантаженням складає 54 кН. Отже, розрахункове значення розривної сили в повній мірі може призвести до розвитку гідроциліндра ($87,6 \text{ кН} > 54 \text{ кН}$).

3. Визначаємо швидкість процесу розтиску (затиску) гідроциліндром:

$$t_z = \frac{60 \cdot l}{v} \quad (2.34)$$

де: l – параметр, який є відповідальним за процес розчеплення зубчастих пів муфт;

$$l = 0,006 \text{ м.}$$

$$t_z = \frac{60 \cdot 0,006}{1,2} = 0,3 \text{ с}$$

Вище подані розрахунки дозволяють встановити часовий проміжок для провороту револьверної головки на одну позицію:

$$T_c = t_p + t_n + t_z + t_{r.a.}$$

де: t_p, t_z – час на розтиск і затиск револьверної головки;

t_n – час на поворот револьверної головки;

$t_{r.a.}$ – час спрацювання реверсного золотника; $t_{r.a.} = 0,05 \text{ с.}$

$$T_c = 0,3 + 0,53 + 0,3 + 0,05 = 1,18 \text{ с.}$$

2.6. Висновки до розділу

У матеріалах цього розділу проаналізовано схеми формотворення, кінематичні та силові розрахунки. Узагальнюючи отримані результати можна зробити наступні висновки:

1. Технологічні операції, які слід планувати до виконання на цьому верстаті, повинні виключати процеси зовнішнього і внутрішнього різенарізання через відсутність кінематичного ланцюга, який узгоджує рухи подачі з обертанням шпинделя.

2. За допомогою засобів геометричного аналізу проаналізовано схеми формотворення.

3. Кінематичні розрахунки показують, що комбінована конструкція, що включає двигун змінного струму та механічну коробку передач, забезпечує зону перекриття в діапазоні від 200 до 315 об/хв. Це досягається завдяки одноступінчастому регулюванню обертів двигуна від 100 до 315 об/хв і розширено двоступеневим регулюванням обертів двигуна.

4. Використання двоступінчастого регулювання обертів двигуна розширює діапазон регулювання швидкості з 25 до 1250 об/хв.

5. Розрахунки показують, що передня опора шпинделя зазнає більшого навантаження у порівнянні із задньою опорою. Активні силові фактори 4516 Н і 4028 Н відповідно.

6. На передню опору рекомендовано встановити спарений або дворядний підшипник радіального типу з паспортним динамічним радіальним навантаженням не менше 30 кН.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

Щоб досягти нашої мети, потрібно створити багатоваріантну структуру, яка окреслює потенційні комбінації окремих елементів токарного патрона. Ми визначимо найбільш перспективні комбінації за допомогою експертних оцінок, ретельно розглянувши всі доступні варіанти.

Далі ми виділимо ключові критерії конструкції патрона та виконаємо порівняльний аналіз вибраних конструкцій на основі цих критеріїв. Цей аналіз допоможе нам визначити найбільш ефективний дизайн.

Коли ми визначимо і оберемо для подальшого вивчення раціональну конструкцію патрона, то пізніше розробимо оціночну математичну модель для оцінки точності розміщення деталі в обраній конструкції токарного патрона. Наші розрахунки будуть враховувати особливості конструкції об'єкта дослідження.

3.2. Морфологічний аналіз токарних патронів

Широко вживаний метод морфологічного аналізу передбачає послідовний перебір та аналіз усіх можливих варіантів для технічних рішень і є прикладом системного підходу до вирішення задач технічної творчості.

Для реалізації цього методу в технічній системі, яку вдосконалюють, виділяють декілька специфічних і характерних для неї, морфологічних ознак. За кожною з таких ознак намагаються сформулювати якнайбільш повний перелік різних варіантів (альтернатив) технічного вираження використання цих ознак.

Розглянемо побудову морфологічної матриці для схем токарних патронів.
Основні ознаки токарних патронів:

1. конструкція корпусу патрона

2. спосіб фіксації заготовки
3. характер приводу для затиску заготовки
4. спосіб кріплення корпусу патрона на верстаті
5. корпус патрона виготовлено з матеріалу
6. механізм передачі навантаження
7. заготовка в патроні розміщена
8. здатність розмістити корпус патрона на шпинделі

Таблиця 3.1 Матриця морфологічного аналізу

1	2	3	4	5
1.1Суцільний 1.2Роз'ємний 1.3Збірний із механічним кріпленням 1.4Збірний із замковим кріпленням 1.5Цанговий 1.6Трикулачковий	2.1 Суцільне 2.2 Механічне 2.3 Пневматичний затиск 2.4 Гідравлічний затиск 2.5 Магнітний затиск	3.1 Електричний 3.2 Пневматичний 3.3 Гідравлічний 3.4 Механічний 3.5 Пневмогідравлічний	4.1 Механічне 4.2 Суцільний з верстатом 4.3 Пневматичний затиск 4.4 Гідравлічний затиск 4.5 Магнітний 4.6 Клейовий	5.1 Сталь 5.2 Чавун 5.3 Термопласти 5.4 Реактопласти 5.5 Гума 5.6Камінь 5.7 Органічне скло 5.8Дерево
6	7		8	
6.1 Зубчаста циліндрична 6.2 Зубчаста конічна 6.3 Ланцюгова 6.4 Пасова 6.5 Фрикційна 6.6 Безступенева 6.7 Від окремого приводу (двигуна)	7.1 Під кутом до корпусу 7.2 На одній осі з корпусом 7.3 Паралельно до корпусу 7.4 Перпендикулярно до корпусу		8.1 Ступеневий 8.2 Безступеневий на будь-який кут 8.3 Ступеневий в заданому діапазоні 8.4 Безступеневий в заданому діапазоні 8.5 Два змінні кутові положення 8.6 Декілька змінних кутових положень 8.7 Незмінне кутове положення	

Далі морфологічну структуру доцільно подати у скороченому вигляді, представити як морфологічну матрицю з цифровим позначенням альтернатив:

$$M_{cm} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1.1 & 2.1 & 3.1 & 4.1 & 5.1 & 6.1 & 7.1 & 8.1 \\ 1.2 & 2.2 & 3.2 & 4.2 & 5.2 & 6.2 & 7.2 & 8.2 \\ 1.3 & 2.3 & 3.3 & 4.3 & 5.3 & 6.3 & 7.3 & 8.3 \\ 1.4 & 2.4 & 3.4 & 4.4 & 5.4 & 6.4 & 7.4 & 8.4 \\ 1.5 & 2.5 & 3.5 & 4.5 & 5.5 & 6.5 & & 8.5 \\ 1.6 & & & 4.6 & 5.6 & 6.6 & & 8.6 \\ & & & & 5.7 & 6.7 & & 8.7 \\ & & & & & & & 5.8 \end{matrix} \end{matrix}$$

Такі підходи широко впроваджені при вивченні багатоваріантних структур технічних об'єктів [16] та аналізі можливостей створення прототипів із застосуванням сучасних CAD систем [17-19].

Для визначення можливої кількості технічних рішень використовують залежність:

$$N = \prod_{i=1}^n K_i ,$$

де $i = 1 \div n$ - порядковий номер характеристики;

K_i - число альтернатив.

Звідси можна розрахувати:

$$N = 6 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 8 \cdot 7 \cdot 4 \cdot 7 = 1411200$$

Проведемо аналіз прикладів можливих варіантів із комбінаційних варіантів морфологічної матриці:

Перший: 1.1-2.2-3.1-4.3-5.2-6.2-7.2-8.2

Патрон суцільний з чавунним корпусом; механічне закріплення заготовки на одній осі з корпусом; привід електричний, корпус патрона до верстата кріплять з використання пневматичних приводів; передачу головного руху до фрези здійснюють через зубчасту конічну передачу; заготовка може бути встановленою під довільним кутом.

Другий: 1.2-2.5-3.1-4.3-5.1-6.5-7.3-8.6

Патрон містить роз'ємний сталевий корпус; магнітне закріплення заготовки, яку

розміщують співвісно по відношенню до осі патрона; привід для закріплення заготовки – електричний; патрон до верстата кріплять за допомогою пневматичного приводу; передача головного руху на заготовку забезпечено через фрикційну постійну передачу; заготовку можна кріпити диференційовано на кілька змінних значень кутів.

Третій: 1.5-2.4-3.4-4.6-5.4-6.4-7.4-8.4

Патрон цангового типу з керамічним корпусом; заготовка закріплена перпендикулярно до корпусу за допомогою гідравлічної системи кріплення; привід механічний; корпус патрона до верстата прикріплено за допомогою клейової суміші; передачу головного руху до заготовки проводять через пасову передачу; заготовку можна виставити на будь-який кут в заданому діапазоні значень.

Четвертий: 1.4-2.3-3.5-4.1-5.5-6.1-7.1-8.3

Патрон оснащений збірним корпусом із замковим кріпленням; заготовка розміщена співвісно до осі корпуса і закріплена системою пневматичного затиску; привід пневмо-гідравлічний; корпус патрона до верстата закріплено механічно; передача головного руху до заготовки забезпечена зубчаюю передачею; заготовку можна фіксувати під кутом з діапазону значень.

П'ятий: 1.6-2.1-3.3-4.2-5.3-6.7-7.1-8.7

Патрон трикулачковий у пластмасовому корпусі; заготовку встановлюють під кутом стосовно осі патрона і фіксують; привід затиску гідравлічний, корпус до верстата кріплять пневматичним затискним механізмом; головний рух на заготовку здійснюють від окремого двигуна.

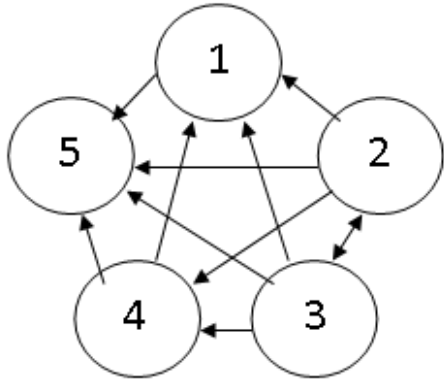
3.3. Порівняльний аналіз токарних патронів по шести показниках

Порівняння різних варіантів із попередньо запропонованих здійснюють за шістьма показниками:

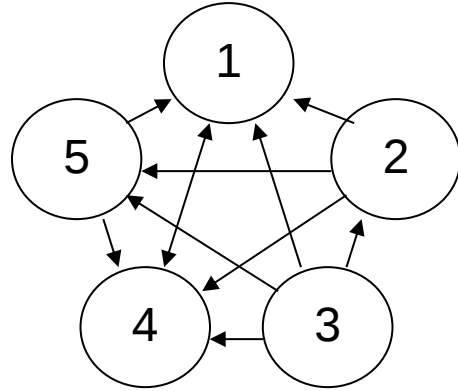
- точність;
- надійність;

- довговічність;
- вартість;
- швидкість переналагодження;
- універсальність.

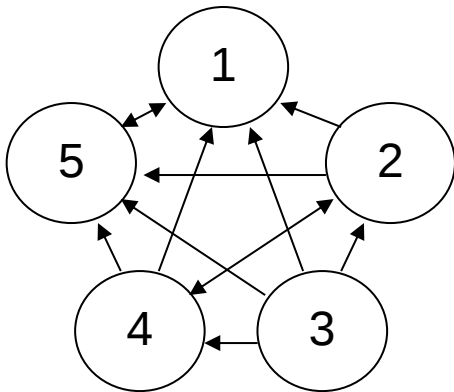
Схему порівняння можна подати у вигляді графів:



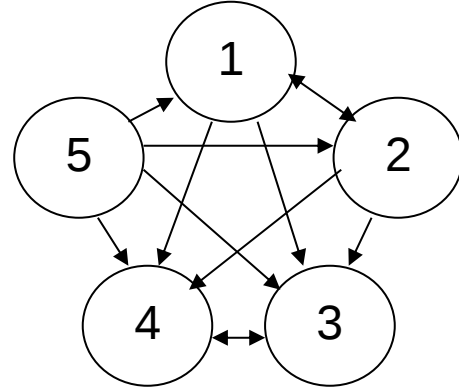
по точності



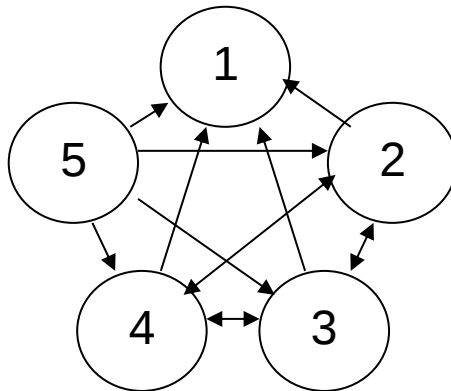
по надійності



по довговічності та по вартості



по швидкості переналагодження



по універсальності

Рисунок 3.1. Оцінювання варіантів конструктивних схем

Для виконання оцінки використано п'ятибальну шкалу (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2. Порівняння патронів за п'ятибальною шкалою

Номер варіанта	Точність	Надійність	Довговіч- ність	Вартість	Перенала- годжува- ння	Універ- сальність
1	4	4	5	4	3	4
2	2	2	3	2	3	3
3	2	1	2	1	4	3
4	3	4	3	3	4	3
5	5	3	5	4	1	1

Для кожного показника необхідно призначити ваговий коефіцієнт в такий спосіб, щоб сума всіх коефіцієнтів була рівна 1:

- точність 0.3; надійність 0.1; довговічність 0.2
- вартість 0.2; швидкість переналагоджування 0.1
- універсальність 0.1

Перераховуємо оціночні показники з таблиці 3.2 з врахуванням вагових коефіцієнтів (таблиця 3).

Таблиця 3.3 Порівняльна таблиця значимості патронів

Номер варіанта	Точність	Надійність	Довговіч- ність	Вартість	Перенала- годжува- ння	Універ- сальність
1	1,2	0,4	1	0,8	0,3	0,4
2	0,6	0,2	0,6	0,4	0,3	0,3
3	0,6	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3
4	0,9	0,4	0,6	0,6	0,4	0,3
5	1,5	0,3	1	0,8	0,1	0,1

Тепер можна провести попарне порівняння окремих конструктивних рішень патронів (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4. Порівняння варіантів за показниками

Порівнювані варіанти	Точність	Надійність	Довговічність	Вартість	Переналогодження	Універсальність
1 – 2	>	>	>	>	=	>
2 – 3	=	>	>	>	<	=
3 – 4	<	<	<	<	=	=
4 – 5	<	>	<	<	>	>
5 – 1	>	<	=	=	<	<

Обчислюємо суму показників C_i для п'яти варіантів конструктивних схем:

1.1-2.2-3.1-4.3-5.2-6.2-7.2-8.2

$$\tilde{N}_s = 1,2 + 0,4 + 1 + 0,8 + 0,3 + 0,4 = 4,1$$

1.2-2.5-3.1-4.3-5.1-6.5-7.3-8.6

$$\tilde{N}_s = 0,6 + 0,2 + 0,6 + 0,4 + 0,3 + 0,3 = 2,4$$

1.5-2.4-3.4-4.6-5.4-6.4-7.4-8.4

$$\tilde{N}_s = 0,6 + 0,1 + 0,4 + 0,2 + 0,4 + 0,3 = 2,0$$

1.4-2.3-3.5-4.1-5.5-6.1-7.1-8.3

$$\tilde{N}_s = 0,9 + 0,4 + 0,6 + 0,6 + 0,4 + 0,3 = 3,2$$

1.6-2.1-3.3-4.2-5.3-6.7-7.1-8.7

$$\tilde{N}_s = 1,5 + 0,3 + 1 + 0,8 + 0,1 + 0,1 = 3,8$$

Будуємо граф взаємного впливу показників

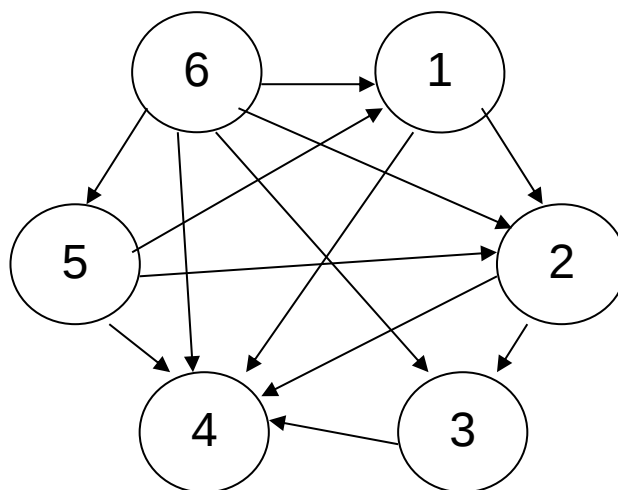


Рисунок 3.2 Граф взаємного впливу показників

Дані взаємного впливу виокремлених показників записуємо у таблицю 3.5

Таблиця 3.5. Взаємний вплив показників

№ показника	1	2	3	4	5	6
1	-	+	-	+	-	-
2	-	-	+	+	-	-
3	-	-	-	+	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	+	+	-	+	-	-
6	+	+	+	+	+	-

За результатами проведеного аналізу, слід обирати патрон за типологією варіанту № 4.

Детальний аналіз конструктивних особливостей патронів показав, що патрон вибраний за результатом морфологічного аналізу подібний до патрона, який описаний за схемою №3. Звідси робимо висновок про доцільність вибору патрона № 3 для подальшого вивчення і як такий, що був прийнятий за прототип під час проведення патентного пошуку.

3.4. Математичне моделювання точності обробки і позиціонування деталі

3.4.1. Схеми формотворення при токарних операціях

Токарні верстати здатні відтворити процес формотворення з реалізацією великої кількості схем формотворення. Застосування конкретної схеми залежить від типу оброблюваної поверхні, типу операції чи виду технологічного переходу. Для наочного відображення та аналітичного опису слід розглянути одну із схем формотворення, яку в подальшому можна використовувати в якості базового варіанту процесу обробки деталей типу "тіло обертання", до котрих належать вали, фланці, ступиця, тощо. Будь яку з цих типів деталей можна закріпити в патроні, який використаний у якості прототипу для дослідження [12, 14].

Типові технологічні переходи, які реалізовано на токарних чи токарно-гвинторізних верстатах:

для поперечного точіння (формотвірні рухи ФУР):

лінія 1 (твірна) – реалізує метод сліду

$\Phi_{УР}=1; \Phi_V(O_1)$.

лінія 2 (напрямна) – реалізує метод сліду

$\Phi_{УР}=1; \Phi_S(\Pi_4)$.

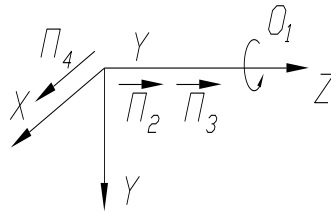
Інші необхідні виконавчі додаткові рухи

- рух врізання $V_P(\Pi_2)$
- установчий рух $Y_{ст}(\Pi_3)$

3.4.2. Формула компоновки верстата

Попередньо отримані результати демонструють необхідну кількість формотвірних рухів, які необхідно реалізувати у структурі металообробного обладнання для реалізації вище означеного технологічного переходу. Для реалізації цих рухів в системі координат верстата доцідбно виклнати формальний

опис цієї системи рухів. Цей опис можна охарактеризувати як структурно-математичний для багатоваріантної структури компоновальної схеми верстата [12].



$\hat{C}_h - O_1$ – обертний рух патрона;

$X - П_4$ – зворотно-поступальний рух відрізного різця;

$Z - П_3$ – установчий рух;

$z - П_2$ – рух врізання.

Для забезпечення необхідної, вище переліченої кількості рухів формула компоновки верстату повинна мати вигляд:

$$zCh0(X + Z).$$

Врахувавши, що частина рухів мають безпосередній вплив на точність механічної обробки, можна припустити, що формула компоновки, у найбільш раціональному відображенні, повинна мати вигляд: $0(X + Z)$.

3.4.3. Аналітичний опис функції формотворення

Для реалізації технологічного переходу слід розглянути векторний опис розміщення вершини формотвірної кромки в системі координат верстата:

$$\bar{r}_0 = A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot r_2$$

в системі координат металообробного інструмента:

$$\bar{r}_2 = \bar{e}^4$$

Узагальнена матриця формотворення:

$$\bar{r}_0 = A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \cdot \cos(\varphi) \\ x \cdot \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Вектори переміщення елементів слід описати як нормальні вектори до площин переміщення (подачі і обробки)

$$\bar{n} = \frac{\bar{r}_u \times \bar{r}_v}{|\bar{r}_u \times \bar{r}_v|}$$

Провівши диференціювання по незалежних координатах: φ, x, z, ψ .

$$2) \bar{r}_u = \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial \varphi} = \begin{vmatrix} -x \cdot \sin(\varphi) \\ x \cdot \cos(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}; \quad \bar{r}_v = \frac{\partial \bar{r}_0}{\partial x} = \begin{vmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

та ввівши у математичну конструкцію комплекс змінних параметрів, можна записати добуток векторів:

$$\begin{aligned} \bar{r}_u \times \bar{r}_v &= \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ -x \sin(\varphi) & x \cos(\varphi) & 0 \\ \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \end{vmatrix} = \bar{k}(-x \sin(\varphi)) \sin(\varphi) - \bar{k} \cos(\varphi) x \cos(\varphi) = \\ &= \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -x(\sin^2(\varphi) + \cos^2(\varphi)) & 0 & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -x \\ 0 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Звідси випливає, що значення скалярного добутку буде:

$$|\bar{r}_u \times \bar{r}_v| = \sqrt{(-x)^2} = x.$$

Результат дослідження вектора нормалі:

$$\bar{n} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{vmatrix}.$$

3.4.4. Вектор похибки положення точки обробки

$$\Delta \bar{r}_0 = \varepsilon_0 \cdot A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 + A^6(\varphi) \cdot \varepsilon_1 \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 + A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \varepsilon_2 \cdot \bar{e}^4,$$

$$\text{де } \varepsilon_i = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_i & \beta_i & \delta x_i \\ \gamma_i & 0 & -\alpha_i & \delta y_i \\ -\beta_i & \alpha_i & 0 & \delta z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} - \text{узагальнена } i\text{-та матриця дослідження}$$

похибки розміщення точки на вершині формотвірної кромки.

Записуємо окремо всі складові компоненти:

$$\varepsilon_0 \cdot A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} -\gamma_0 \sin(\varphi)x + \delta x_0 \\ \gamma_0 \cos(\varphi)x + \delta y_0 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$A^6(\varphi) \cdot \varepsilon_1 \cdot A^1(x) \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} -\gamma_1 \sin(\varphi)x + \cos(\varphi)\delta x_1 - \sin(\varphi)\delta y_1 \\ \gamma_1 \cos(\varphi)x + \sin(\varphi)\delta x_1 + \cos(\varphi)\delta y_1 \\ -\beta_1 x + \delta z_1 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$A^6(\varphi) \cdot A^1(x) \cdot \varepsilon_2 \cdot \bar{e}^4 = \begin{vmatrix} \cos(\varphi)\delta x_2 - \sin(\varphi)\delta y_2 \\ \sin(\varphi)\delta x_2 + \cos(\varphi)\delta y_2 \\ \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Матриця похибки буде:

$$\Delta \bar{r}_0 = \begin{vmatrix} -\gamma_0 \sin(\varphi)x + \delta x_0 - \gamma_1 \sin(\varphi)x + \cos(\varphi)\delta x_1 - \sin(\varphi)\delta y_1 + \cos(\varphi)\delta x_2 - \sin(\varphi)\delta y_2 \\ \gamma_0 \cos(\varphi)x + \delta y_0 + \gamma_1 \cos(\varphi)x + \sin(\varphi)\delta x_1 + \cos(\varphi)\delta y_1 + \sin(\varphi)\delta x_2 + \cos(\varphi)\delta y_2 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 - \beta_1 x + \delta z_1 + \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} \sin(\varphi)(-\gamma_0 x - \gamma_1 x - \delta y_1 - \delta y_2) + \cos(\varphi)(\delta x_1 + \delta x_2) + \delta x_0 \\ \cos(\varphi)(\gamma_0 x + \gamma_1 x + \delta y_1 + \delta y_2) + \sin(\varphi)(\delta x_1 + \delta x_2) + \delta y_0 \\ -\beta_0 \cos(\varphi) + \alpha_0 \sin(\varphi)x + \delta z_0 - \beta_1 x + \delta z_1 + \delta z_2 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sin(\varphi)\Delta_1 + \cos(\varphi)\Delta_2 + \Delta_3 \\ \cos(\varphi)\Delta_4 + \sin(\varphi)\Delta_5 + \Delta_6 \\ \Delta_7 \cos(\varphi) + \Delta_8 \sin(\varphi)x + \Delta_9 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Перемноживши матриці похибки і нормалі отримаємо:

$$\Delta \bar{r}_n = \Delta \bar{r}_0 \times \bar{n} = -(\Delta_7 \cos(\varphi) + \Delta_8 \sin(\varphi)x + \Delta_9)$$

Звідки:

$$\Delta \bar{r}_n = \Delta \bar{r}_0 \times \bar{n} = \beta_0 \cos(\varphi) - \alpha_0 \sin(\varphi)x - \delta z_0 + \beta_1 x - \delta z_1 - \delta z_2.$$

3.4.5. Рівняння базових поверхонь

Рівняння плоскої поверхні у векторному вираженні має вигляд (номінальна поверхня):

$$\bar{r}_0 = \bar{r}_0(u, v) = \bar{r}_0(\varphi, x),$$

тобто замінено кожен незалежну координату u та v на φ та x відповідно.

Число похибок для досліджуваного розміру визначають із залежності

$$m = l - 2 = 2 - 2 = 0,$$

де l – число рухомих вузлів;

для циліндричної поверхні, як базової.

Тоді рівняння для базової поверхні заданого типу буде:

$$\bar{r}_b = \bar{r}_0 + \Delta \bar{r}_b,$$

де $\Delta \bar{r}_b = \varepsilon_b \times \bar{r}_0 + d\bar{r}_0$.

$$d\bar{r}_0 = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial \bar{r}_0}{\partial q_{0i}} \right) \times \Delta q_i = 0.$$

Систему координат ув'язуємо з базовою поверхнею. Оскільки ми також оперуємо поняттям "номінальна система координат", то можна говорити про похибку розміщення системи координат на базовій поверхні стосовно номінальної.

Матриця узагальненої похибки має наступний вигляд:

$$\varepsilon_b = \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_b & \beta_b & \delta x_b \\ \gamma_b & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 0 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Для незалежних змінних φ та x в матриці ε_b похибки положення

прирівнюються до нуля. Звідси випливає, що, $\delta x_b = 0$, $\gamma_b = 0$.

Тоді матриця узагальненої похибки матиме вигляд:

$$\varepsilon_b = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \beta_b & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 0 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо $\Delta \bar{r}_b$:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{r}_b &= \varepsilon_b \times \bar{r}_0 + d\bar{r}_0 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & \beta_b & 0 \\ 0 & 0 & -\alpha_b & \delta y_b \\ -\beta_b & \alpha_b & 1 & \delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x \cdot \cos(\varphi) \\ x \cdot \sin(\varphi) \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} + 0 = \\ &= \begin{vmatrix} 0 \\ \delta y_b \\ -\beta_b x \cos(\varphi) + \alpha_b x \sin(\varphi) + \delta z_b \\ 0 \end{vmatrix} \end{aligned}$$

Вектор $\Delta \bar{r}_b$ це функція від двох змінних x , ϕ та чотирьох похибок $\delta y_b, \beta_b, \alpha_b, \delta z_b$. Зміст перелічених похибок в характеристиці вектора $\Delta \bar{q}$.

$$\Delta \bar{q} = (\delta y_b, \beta_b, \alpha_b, \delta z_b)^T.$$

Розписавши зміст функцій-векторів $\Delta \bar{q}$, $\Delta \bar{r}_b$ доцільно встановити складові матриці не відповідностей G :

$$\Delta \bar{r}_b = G \times \Delta \bar{q},$$

і компоненти матриці G :

$$\frac{\partial \bar{r}_0}{\partial q_i} = \frac{\partial \Delta \bar{r}_0}{\partial \Delta q_i}; \quad G_i = \frac{\partial \Delta \bar{r}_b}{\partial \Delta q_i}.$$

$$G = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -x \cos(\varphi) & x \sin(\varphi) & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Тоді транспонована матриця G^T матиме вигляд:

$$G^T = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -x \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & x \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Розраховуємо компоненти вектора $\bar{q}$ із залежності:

$$\bar{q} \times H = \bar{d}$$

Для цього слід знайти вектор з нормальних коефіцієнтів $\bar{f}$.

$$\bar{f} = G^T \times \bar{n} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -x \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & x \sin(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ x \cos(\varphi) \\ -x \sin(\varphi) \\ -1 \end{vmatrix}.$$

Підставивши значення передаточних коефіцієнтів у математичні залежності, які описують нормальну площину, знайдемо складові компоненти нормальної матриці H :

$$\eta_{ki} = \int_S \bar{f}_k \times \bar{f}_i \times ds,$$

$$\text{де } \int_S ds = \int_0^{2\pi} \int_0^l \sqrt{a(u,v)} du dv.$$

Як вже було відзначено раніше, що $a(u,v) = \left| \bar{r}_u \times \bar{r}_v \right|^2 = x^2$, отримуємо:

$$\int_S ds = \int_0^{2\pi} \int_0^l \sqrt{x^2} dx d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^l x dx d\varphi.$$

Отже,

$$\eta_{11} = \eta_{12} = \eta_{13} = \eta_{14} = \eta_{21} = \eta_{31} = \eta_{41} = \int_0^{2\pi} \int_0^l 0 \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{22} = \int_0^{2\pi} \int_0^l [x \cos(\varphi)]^2 \cdot x dx d\varphi = 0,25\pi l^4;$$

$$\eta_{23} = \eta_{32} = \int_0^{2\pi} \int_0^l x \cos(\varphi) \cdot (-x \sin(\varphi)) \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{43} = \eta_{34} = \int_0^{2\pi} \int_0^l x \sin(\varphi) \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{24} = \eta_{42} = \int_0^{2\pi} \int_0^l [-x \cos(\varphi)] \cdot x dx d\varphi = 0;$$

$$\eta_{33} = \int_0^{2\pi} \int_0^l [-x \sin(\varphi)]^2 \cdot x dx d\varphi = 0,25\pi l^4;$$

$$\eta_{44} = \int_0^{2\pi} \int_0^l x dx d\varphi = 0, 5\pi l^4.$$

Легко бачити, що матрицю H можна подати у вигляді:

$$H = 0,25\pi l \times \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix}$$

Компоненти вектора-функції $\bar{d}$ визначимо з формули:

$$d_i = \int_S f_i \times \Delta \bar{r}_n \times ds.$$

Звідси:

$$d_1 = \int_0^{2\pi} \int_0^l f_1 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^l 0 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = 0$$

$$d_2 = \int_0^{2\pi} \int_0^l f_2 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^l x \cos(\varphi) \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \frac{1}{3} \beta_0 l^3 \pi$$

$$d_3 = \int_0^{2\pi} \int_0^l f_3 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^l [-x \sin(\varphi)] \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \frac{1}{3} \alpha_0 l^3 \pi$$

$$d_4 = \int_0^{2\pi} \int_0^l f_4 \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^l (-1) \times \Delta \bar{r}_n \times x dx d\varphi = -\left(\frac{2}{3} \beta_1 l^3 \pi - l^2 \delta z_0 \pi - l^2 \delta z_2 \pi - l^2 \delta z_1 \pi\right)$$

Отже,

$$\bar{d} = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{3}\beta_0 l^3 \pi \\ \frac{1}{3}\alpha_0 l^3 \pi \\ -\frac{2}{3}\beta_1 l^3 \pi + l^2 \delta z_0 \pi + l^2 \delta z_2 \pi + l^2 \delta z_1 \pi \end{pmatrix}$$

Отримані варіанти значень для матриць H і $\bar{d}$ об'єднуємо у рівнянні $H \times \Delta \bar{q} = \bar{d}$. Розв'язок цього рівняння [20] дозволить оперувати значеннями складових вектора $\Delta \bar{q}$ у залежності від складових компонентів H і $\bar{d}$.

Тобто,

$$\Delta \bar{q} = H^{-1} \times \bar{d}$$

де $H^{-1} = \frac{1}{\det H} \times [A]^T$, A -матриця математичних доповнень.

Транспонована матриця $[A]^T$ рівна:

$$[A]^T = 0,25\pi l \times \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25\pi l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,25\pi l & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5\pi l \end{vmatrix}$$

Визначаємо $\det H$:

$$\det H = 0,25\pi l \times \det \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{vmatrix} = 0.$$

Матриця H не може мати обернену до себе матрицю H^{-1} .

Отже,

$$\Delta \bar{q} = H^{-1} \times \bar{d} = 0.$$

З результатів виконаних розрахунків видно, що обробка деталей методами

поперечного та поздовжнього точіння не матиме суттєвих похибок, які б мали характер технологічної спадковості. Похибки обробки носять наслідний характер в результаті сумарного впливу технологічних факторів на попередніх стадіях обробки, технологічних операціях та переходах.

3.4.6. Вплив відхилення від форми на точність позиціонування

Одним з основних методів аналізу похибок позиціонування деталей різної геометричної форми під час виконання проектних робіт, як самих деталей, так і процесів їх виготовлення є 3D-моделювання. Сучасні автоматизовані системи проектування дозволяють досліджувати, як деталі розташовані в складальних модулях. Визначаючи умови спряження кількох поверхонь, можна легко оцінити вплив перекриття або проміжків між цими поверхнями.

Особливу увагу приділено аналізу відносного розташування круглих деталей. Такі деталі відносять до категорії «тіла обертання» при закріпленні в три- або чотирикулачкових патронах. Чотирикулачкові патрони забезпечують симетричний затиск деталі. Якщо встановити, що поверхня деталі еліптична або має відмінну геометричну форму з чотирьохгранним числом граней, можна мінімізувати відхилення умовної осі деталі від умовної осі обертання патрона. Центрування таких патронів відбувається після установки на планшайбу, стежачи за тим, щоб вісь обертання деталі максимально була наближена до осі обертання патрона.

Для деталей трикутного профілю посадочних поверхонь або для тих, де число граней кратно трьом, рекомендуються трикулачкові патрони. У випадках з різними профілями деталей і багатокулачковими патронами може виникнути ексцентриситет між осями обертання патрона і деталі, що призводить до значних відхилень округлості оброблених поверхонь. Ці висновки також застосовні до цангових патронів.

Ці процеси доцільно вивчати за допомогою 3D технологій. Використовуючи можливості лазерних різальних верстатів і фрезерних верстатів

з ЧПК, ми можемо моделювати різні профілі деталей і їх затискні механізми. Беручи до уваги коефіцієнти масштабування для відхилень від округлості та циліндричності, ми отримуємо параметричні рівняння для розрахунку параметрів точності обробки з урахуванням конкретних вхідних параметрів, таких як форма поверхні, відхилення від циліндричності (для тіл обертання), особливості затискного механізму та форми контактні поверхні.

Для вирішення таких багатопараметричних проблем слід використовувати спеціалізовані математичні пакети. Важливо визначити діапазон величин вхідних параметрів, встановити крок зміни для цих значень і представити результати у графічному відображенні. Цей спосіб відображення результатів є ефективним, оскільки дозволяє в візуально оцінювати ліміти раціональних параметрів на основі вхідних значень. Таким чином, ми можемо розробити комплекс технічних вимог для виготовлення деталей, які враховують як технологічні можливості, так і особливості наявного верстатного парку.

3.5. Обговорення та аналіз отриманих результатів

Проведення широкопланових досліджень часто обмежене локальними обмеженнями. У таких ситуаціях корисно використовувати інструменти імітаційного моделювання та засоби 3D-моделювання. Більшість результатів дослідження були оприлюднені, а загальні висновки опубліковані в матеріалах конференції:

Копія тез наведена у додатках.

3.6. Висновки за розділом

Виконаний об'єм дослідницьких робіт показав, що критерій осьових відхилень як показник точності є комплексним і багатокритеріальний вплив на його величину не є лінійним. На підставі проведеного теоретичного аналізу,

аналітичних розрахунків та графічного моделювання доцільно сформулювати наступні висновки:

1. Методи морфологічного аналізу розширюють варіанти для пошуку прогресивних технічних рішень, а саме в напрямку розробки оновлених конструкцій токарних патронів.
2. Застосування методів критеріального оцінювання дозволило виділити раціональні параметри для технічного рішення у процесі проектування за попередньо призначеними критеріями впливу та оцінювання.
3. Застосування сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання дозволило оцінити вплив деяких керованих параметрів на показники точності у механічній обробці.
4. Доведено, що для токарних патронів точність позиціонування деталі залежить від ряду параметрів стосовно відхилень від круглості та кількості затискних кулачків у конструкції патрона.
5. Для компенсації відхилення форми на посадочній поверхні в патроні доцільно використовувати компресійні центрувальні конуси.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

4.1.1. Планування робочого місця

Актуальність проблем безпеки при роботі на металорізальних верстатах особливо велика у зв'язку з великим контингентом робочих, зайнятих обробкою різанням, збільшенням випуску верстатів, а також тим, що на заводах мають місце нещасні випадки. Причини цих нещасних випадків різноманітні: конструкторські недоліки верстатів, недоліки в організації охорони праці, порушення інструкції по техніці безпеки і правил внутрішнього розпорядку робітниками.

При проектуванні верстата і організації роботи на ньому необхідно враховувати небезпечні фактори і передбачити відповідні заходи забезпечення безпеки. До основних травмуючи факторів належать:

1. різальні інструменти та рухомі вузли верстатів;
2. привідні та передаточні механізми. Вони можуть наносити травми в процесі експлуатації, наладки і ремонту обладнання;
3. зливна стружка;
4. відлітаюча стружка і пил крихких металів;
5. пристосування для закріплення оброблюваної деталі чи інструмента;
6. заготовки та готові вироби;
7. електричний струм.

Для того, щоб праця робітників була безпечною, необхідно перш за все в конструкції верстатів, різних допоміжних пристроїв передбачити всі необхідні заходи безпеки. Крім того необхідно, щоб організація праці на робочому місці і його оснащення відповідали вимогам безпеки. При цьому має на увазі, що

робота виконується в приміщенні, повністю відповідному санітарним нормам. Задачі електробезпеки на верстатах в багатьох випадках вирішуються шляхом використання напруги безпечної величини (12, 36 В) або встановлення різноманітних блокуючих пристроїв, які виключають випадковий доступ до струмопровідних частин, що знаходяться під небезпечною напругою. Згідно з галузевим стандартом верстато-інструментальної промисловості ОСТ 2Э59-3-72 на зовнішніх сторонах дверей шафів з електрообладнанням, кришок коробок та інших електричних пристроїв має бути передбачений попереджувальний знак напруги, а по ОСТ 2Э59-10-72 над гвинтами заземлення необхідно закріпити знак заземлення.

Для безпеки верстати оснащуються різноманітними запобіжними пристроями, які автоматично усувають небезпеку виникнення аварії, поломки через порушення технологічного процесу, порушення роботи верстата, перевантаження чи переходу рухомих частин за встановленні межі. На проєктованому верстаті захист від перевантажень чи порушення техпроцесу здійснюється запобіжними муфтами, які встановленні на валах електродвигунів, а величина ходу всіх рухомих вузлів верстата контролюється кінцевими вимикачами.

При проєктуванні металорізальних верстатів мають бути передбаченні огороження різального інструменту, зони обробки та рухомих деталей для попередження травмування робітників. Огороженню підлягають всі привідні і передаточні механізми верстата, а також робочі площадки верстатів, розміщених на висоті. Огороджуючи пристрої виготовляють, як правило, із металів чи інших неметалічних матеріалів. Привідні і передаточні механізми огорожують знімними чи відкриваючими дверцятами для змащування, регулювання, встановлення і зняття знімних зубчастих коліс. В проєктованому верстаті зона різання захищена прозорим щитком, робоче положення якого контролюється кінцевим вимикачем. Всі гітари змінних коліс закриті дверцятами, які також контролюються кінцевими вимикачами. Для захисту робітників від випадкового дотику до регулювальних квадратів вузлів верстата,

використано захисні ковпаки і механізм викидання спеціального ключа, який може залишити наладчик.

Штучне освітлення цеху і робочого місця має бути рівномірним. При роботах, виконання яких вимагає додаткового освітлення, робоче місце оснащують лампами місцевого освітлення, які живляться напругою 36 В. Користуватися місцевим освітленням напругою вище 36 В заборонено. Як правило робоча зона верстата має освітлюватись зліва і зверху. При місцевому освітленні на всіх лампочках повинні бути встановлені добрі розсіювачі. Вікна, світлові лампи і електричні лампочки повинні утримуватись в чистоті. Норма освітлення робочого місця складає 1300-2000 лк.

При проектуванні слід передбачити міри по зниженні шуму обладнання. Рівень шуму повинен відповідати санітарним нормам, тобто немає перевищувати 80 дБ.

На безпеку роботи на верстаті в значній мірі впливає раціональне зовнішнє оформлення верстата. Так, підбір кольору покриття верстата є ефективним засобом забезпечення хороших умов зорової роботи верстатника, шляхом створення контрасту між фоном і оброблюваною заготовкою та інструментом; кольорове оформлення органів керування (кнопок, важелів) у відповідні сигнальні кольори (червоний, жовтий, синій) сприяє зменшенню помилок при керуванні верстатом; позначення сигнальним кольором небезпечних зон, трубопроводів, ємкостей привертає увагу до небезпеки і в багатьох випадках попереджує аварії і нещасні випадки. Нанесення сигнальних кольорів на відповідні елементи верстатів і використання пластинок сигнальних кольорів має передбачатися робочим проектом кольорового оформлення верстата, і виконується з метою привертання уваги обслуговуючого персоналу по ГОСТ 14202-69.

Важливий вплив на безпеку і продуктивність праці робітника має оформлення робочого місця допоміжним обладнанням: раціональним стелажем для зберігання основного та допоміжного обладнання, зручною тарою для заготовок і готових товарів повинно забезпечувати найбільш продуктивні і

Площа робочого місця на токарному верстаті моделі 1Б732ФЗ:

$$S = (5500 + 400 + 300) \cdot 4100 = 25,42 \text{ м}^2$$

Обладнання, що знаходиться на ділянці механічної обробки повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.3.025-80 "Обработка металлов резанием. Требования безопасности".

Виробниче приміщення, в якому проходить процес обробки різанням, повинно відповідати вимогам СНиП 11-2-80, СНиП 11-89-80 і санітарним вимогам проектування виробничих приміщень СН 245-71. Ділянка повинна бути обладнана засобами пожежегасіння згідно ГОСТ 12.4.009-83. При обробці заготовок, які виходять за межі обладнання, встановлюються переносні огорожі.

Вміст шкідливих речовин у повітрі не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій (ГДК), які оцінюються в міліграмах на метр кубічний і норм, які вказані в ГОСТ 12.1.005-76 і СН 245-71.

Параметри мікроклімату ділянки повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.005-76. Оптимальна вологість 30..60 % при температурі повітря 18..20 °С.

Швидкість руху повітря один з факторів що характеризує мікроклімат приміщення. Швидкість руху повітря повинна бути в межах 0.1..0.5 м/с при загальній вентиляції і 0.7..2 м/с при місцевій вентиляції.

Загальний рівень звукового тиску в механічних, ремонтних і інструментальних цехах, що створюються металорізальним обладнанням, знаходяться в межах 85-100 дБ, яка досягає в окремих випадках 105 - 114 дБ. Спектр шуму в основному середній і високочастотний.

Температура в цеху де знаходиться верстат повинна бути не вище 20°С, відповідно до вимог експлуатації верстатів з ЧПК.

4.2. Безпека у надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Дії населення в надзвичайних ситуаціях (пожежі)

Для запобігання виникненню пожеж кожен громадянин зобов'язаний суворо дотримуватися встановлених правил щодо їх попередження у житлових будинках, на підприємствах, у лісах, на торф'яниках, у полі та в інших місцях.

На об'єктах народного господарства, з урахуванням виробничих умов [21, 22], встановлюється протипожежний режим і розробляються інструкції як для всього об'єкта, так і для окремих цехів, ділянок, бригад. В інструкціях наводяться норми зберігання різних матеріалів, зазначаються місця, де не можна курити і влаштовувати відкрите полум'я, описується порядок дій у разі виникнення пожежі.

У навчальних закладах, дитячих, лікувальних і культурних установах особлива увага приділяється питанням евакуації людей на випадок пожежі.

Ефективним засобом гасіння загорянь є вогнегасник. Потрібно знати, що для гасіння вогню не завжди можна користуватися водою. Не можна направляти водяний струмінь на електропровід, що горить, або на електрообладнання, бо людину може вразити струм, оскільки вода є провідником. Перш ніж гасити, слід зняти напругу; можна застосовувати вуглекислотні та порошкові вогнегасники. Горючу суміш і запалювальні речовини гасять піском, хімічною або повітряно-механічною піною, спеціальними порошковими сумішами.

У задимлене приміщення слід заходити обов'язково удвох, йти, тримаючись за стіни, щоб не втратити орієнтир. Працювати в ізольованих або фільтрувальних протигазах, але з гопкалітовим патроном. Двері в палаюче приміщення відкривати обережно і користуватися ними як прикриттям. Людей із задимленого, палаючого приміщення вивести назовні, попередньо накинувши їм на голову вологу тканину або одяг. Якщо вихід відрізано вогнем, людей евакуюють через вікна, балкони, застосовуючи ручні, механічні, стаціонарні драбинки і різні автопідйомники. Використовують також рятувальні мотузки.

Більшість лісових, торф'яних і польових пожеж виникають поблизу населених пунктів і доріг через необережне поводження з вогнем, від непогашених вогнищ чи іскор, що вилітають із вихлопних труб автомобілів, тракторів. Особливо легко загоряються хвойні ліси, сухі торф'яники, дозрілі хліба, суха трава. Тому не можна розводити вогнища у лісах, особливо хвойних, на торф'яниках, у заростах очерету, поблизу посівів зернових. Не дозволяється курити у лісі (можна на спеціально обладнаних майданчиках), біля валків скошеного хліба, під час роботи на комбайнах, тракторах, підбирачах, автомобілях. Усі машини повинні бути обладнані іскровловлювачами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано вибір засобів діагностики окремих вузлів верстата. Реалізовано схему діагностики на основі функціональної схеми з тензодатчиків.
2. Проведений аналіз конструкцій затискних патронів дозволив виокремити патрон для подальшого дослідження (патрон з підтискним центром).
3. Здійснено функціональний та математичний аналіз комплексу формотвірних рухів для реалізації процесу механічної обробки на токарному верстаті.
4. Виконано необхідні кінематичні розрахунки. Математично обґрунтовано доцільність впровадження двигуна приводу головного руху з регулюванням швидкості обертання вала.
5. Математична модель для опису формотвірних рухів дозволила формалізувати та вирішити задачу з позиціювання елемента металорізального інструменту в зоні різання.
6. Емітаційне моделювання довело свою ефективність при вивченні задач просторового позиціювання.
7. Доведено, що кратність у цілих числах з відношення числа ребер поверхневої форми деталі до кількості кулачків затискного патрона впливає на точність позиціювання оброблюваних деталей.
8. Направляючий підтискний центр у конструкції токарного патрона зменшує вплив спадкових похибок на точність позиціювання і механічної обробки.

Перелік посилань

1. Заєць С.С. Система діагностування стану обладнання в процесі виготовлення деталей приладів/ XIX Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи”, 13-14 травня 2020 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. с. 43-45.
2. В. В. Шевченко, С. С. Заєць, О. О. Олінійчук Аналіз акустичної емісії в процесах механічної обробки з використанням вейвлет – пакетів// Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, 7 (1229), 2017. – С. 232-238,
3. Дослідження впливу технологічних режимів фрезерування на рівень вібрації шпиндельного вузла обробного центру / А. О. Скоркін [та ін.] // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Techniques in a machine industry : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – № 1. – С. 59-64.
5. Луців І.В. Системи затиску та багатолезової токарної обробки з адаптивними властивостями/ І.В.Луців, В.Н. Волошин, В.М. Буховець// Збірник наукових праць IX Міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології в машинобудуванні». – Львів, 2020. – С. 117-120.
6. Lutsiv I. Adaptation of lathe chucks clamping elements to the clamping surface/ Lutsiv I., Voloshyn V., Bytsa R.// Machines, Technologies, Materials. International journal. – Issue 12/2015 – pp. 64-67.
7. Литвин О.В., Ящук І.Р. Стенд для проведення експериментальних досліджень конструктивно-кінематичних параметрів багатокулачкового самоцентруючого патрона/Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2020): матеріали тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів , 29–30 квітня 2020 р.): у 2-х т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та

- ін.]; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 110-112
8. Литвин О.В., Ящук І.Р., Паньков С.В. Багатокулачковий самоцентруючий патрон. Патент на корисну модель UA № 132525, МПК В23В 31/02 опубл. 25.02.2019, Бюл. №4, 2019 р.
 9. Пат. 121078, Україна МПК В23В 31/02 (2006.01) Самоцентруючий трикулачковий патрон / Кривий П.Д. Крупа В.В. Дзюра В.О., заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – № u201705783. Заявл. 12.06.2016, Опубл. 27.11.2017, бюл. № 22. – 4с.
 10. Луців І. В. Затискні кулачки з адаптивними властивостями для затиску тонкостінних деталей / І. В. Луців, В. Н. Волошин // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. – Т. : ТНТУ, 2020. – С. 90–91.
 11. Литвин О.В. Приведення жорсткості системи патрон –деталь токарного верстата/ О. В. Литвин, І. Р. Ящук, С.С. Раус // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки" за напрямком „Інженерна механіка", 2018, - вип.61. -С.99-105.
 12. Складов Р., Шанайда В. Розробка критеріальних оцінок для аналізу компоновок верстатів з паралельною кінематикою / Р. А. Складов, В. В. Шанайда // Матеріали ХІХ наукової конференції ТНТУ ім. Ів. Пулюя, 18-19 травня 2016 року – Т. : ТНТУ, 2016. – С. 74.
<http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/17396>
 13. Складов Р. А. Динамічна модель приводу автоматичної заміни інструментів багатоцільових верстатів / Р. А. Складов, Шанайда В. В. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Обладнання і технології сучасного машинобудування“, 11-12 травня 2017 року. – Т. : ТНТУ, 2017. С. 155–156. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22711>
 14. Складов Р., Шанайда В. Використання багатофункціонального пакету MathCad при прогнозуванні параметрів металорізальних верстатів. Збірник тез доповідей ХVІ наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, 2012, С. 69.

15. Склярів Р. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій / Склярів Р., Шанайда В., Савчук М. // Вісник ТНТУ. – 2011. – Том 16. – № 1. – С.117-125.
16. Вітенько Т. Роль іноваційної лабораторії FabLab в освітньому процесі за напрямками "Галузеве машинобудування" та "Прикладна механіка" / Т. Вітенько, В. Шанайда, В. Лазарюк // Матеріали XXI наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя, 16-17 травня 2019 року. – Т. : ТНТУ, 2019. – С. 11–12. - Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28168>
17. Vitenko T. Features of creating a solid models and assembly operations at CAD-systems / Vitenko T., Shanaida V., Drożdziel P., Madlenak R. // 9th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain), 3rd-5th of July, 2017: IATED Academy, 2017. – P. 7464-7469. - Режим доступу: <https://library.iated.org/view/VITENKO2017FEA>
18. Редько Р. Г. Дослідження пружно-силових характеристик затискних цанг, виготовлених за діючими та новими технологіями / Р. Г. Редько, О. І. Редько, В. В. Шанайда, Р. А. Склярів // Наукові нотатки. - 2014. - Вип. 44. - С. 249-253. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2014_44_41.
19. Герасимчук, Г. А., Склярів, Р. А., Шанайда, В. В. Розробка математичної моделі та дослідження складних профільних з'єднань у спеціалізованих пакетах комп'ютерного моделювання. Наукові нотатки, 2013, 42: 75-80.
20. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / Шанайда В.В. – Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
21. Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Панчук О.П., Чорна О.Г. Безпека життєдіяльності. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 276 с.
22. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 156 с.