

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: **Дослідження використання саморегульованих свердел
для роботи на багатошпindelному свердлильному верстаті**

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи МВм-61
спеціальності _____

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Щигельський Д.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Ляшук О.Л.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2022

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

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Кобельник В.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» листопада 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

студенту Щигельський Демян Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження використання саморегульованих свердел

для роботи на багатошпиндельному свердлильному верстаті

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

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2022 року № 4/7-908

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Технологічний процес обробки отворів типової деталі, паспорт

Багатошпиндельного свердлильного верстату, ескізи інструментів для обробки

отворів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналітичний розділ. Постановка мети і задач дослідження. 2) Аналіз базового процесу одночасного свердління отворів.

3) Обґрунтування та опис конструкції верстату. Вибір компоновки, побудова структурно-кінематичної та кінематичної схеми. 4) Конструювання функціонального вузла верстату.

5) Побудова математичної моделі процесу свердління. 6) Визначення особливостей

створення саморегульованих свердел. 7) Розробка конструкцій свердел. 8) Охорона праці і безпека життєдіяльності стосовно об'єкту дослідження. 9) Висновки

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

1) Тема, мета роботи, об'єкт і предмет дослідження; завдання роботи.

2) Витяг з технологічного процесу обробки отворів на багатошпиндельному верстаті.

3) Аналіз компоновок багатошпиндельних свердлильних верстатів і вибір раціональної.

4) Конструкція формуючого вузла верстату.

5) Аналіз схем обробки отворів із застосуванням саморегульованих свердел

6) Математична модель свердління отвору із саморегулюванням

7) Складальне креслення саморегульованих інструментів.

8) Наукові дослідження щодо застосування саморегульованих свердел

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сеник А.А., к.т.н., асистент каф. ВІ		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., старший викладач кафедри ОХ		
Нормоконтроль	Кобельник В.Р., к.т.н., доц.зав. каф. ВІ		

7. Дата видачі завдання

16 листопада 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	Тиждень 1	
2	Інформаційно-патентний пошук	Тиждень 1	
3	Постановка мети і завдань дослідження	Тиждень 1	
4	Опис та обґрунтування конструкцій багатопшпіндельних свердлильних верстатів	Тиждень 2	
5	Базова технологія одночасного свердління отворів	Тиждень 2	
6	Розробка структурної та кінематичної схем верстату	Тиждень 3	
7	Вибір раціональної компоновки верстату	Тиждень 3	
8	Конструювання функціонального вузла верстату	Тиждень 3	
9	Розробка послідовності проведенні наукових досліджень	Тиждень 4	
10	Обґрунтування конструкцій саморегульованих свердел	Тиждень 4	
11	Побудова математичної моделі процесу	Тиждень 5	
12	Аналіз графічних залежностей процесу	Тиждень 5	
13	Визначення особливостей застосування саморегульованих свердел	Тиждень 5	
14	Застосування елементів CAD і CAE	Тиждень 5	
15	Аналіз графічних залежностей ефективності застосування саморегульованих свердел	Тиждень 5	
16	Охорона праці стосовно розробленого верстату	Тиждень 6	
17	Безпека життєдіяльності стосовно об'єкту	Тиждень 6	
18	Оформлення кваліфікаційної роботи	Тиждень 6	
19	Захист кваліфікаційної роботи	Тиждень 6	

Студент

(підпис)

Щигельський Д.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

Зміст

	Реферат	5
	Вступ	10
1.	Аналітичний розділ	12
1.1.	Обговорення проблематики кваліфікаційної роботи	12
1.2.	Результати інформаційного пошуку стосовно компоновочного рішення верстату та конструкції інструменту	16
	Висновки щодо розділу 1. Визначення мети роботи і постановка задач дослідження	26
2.	Дослідно-проектний розділ	28
2.1.	Опис та обґрунтування багатоваріантної технології обробки	28
2.2.	Обґрунтування компоувальної схеми верстату з елементами оптимізації	32
2.3.	Кінематичний розрахунок та вибір структури приводів верстату	34
2.4.	Принцип роботи та розрахунок коробки подач	38
2.5.	Кінематичний розрахунок	42
2.6.	Вибір електродвигуна і конструювання шпиндельного вузла	47
	Висновки по розділу 2	53
3.	Науково-дослідна частина	54
3.1.	Мета і послідовність досліджень наукового розділу	54
3.2.	Обґрунтування конструкції плаваючого інструменту для свердління	55
3.3.	Побудова математичної моделі	58
3.4.	Зміст наукових розвідок особливостей динаміки процесу свердління при роботі плаваючим інструментом	61
3.5.	Техніко-економічна ефективність роботи свердел плаваючого типу	64
3.6.	Математичні розрахунки елементів свердлильних пристроїв	70
3.7.	Аналіз графічних залежностей регулювання подач	75
3.8.	Дослідження ефективності використання змінної подач	77
	Висновки за результатами розділу 3 наукового дослідження	80
4.	Охорона праці і безпека життєдіяльності	81
4.1.	Засоби з охорони праці пр. и роботі на свердлильних верстатах	81
4.2.	Безпека життєдіяльності на прикладі механічного цеху	85
	Загальні висновки	88
	Перелік посилань	90
	Додатки	93

РЕФЕРАТ

Тема. Дослідження використання саморегульованих свердел для роботи на багатошпиндельному свердлильному верстаті

Мета даного дослідження - це зростання ефективності свердління отворів на багатошпиндельному верстаті на основі забезпечення точності форми, діаметральних та осьових розмірів, і найголовніше - прямолінійності осі отвору.

Об'єкт дослідження - процес свердління наскрізних отворів на багатошпиндельному свердлильному верстаті.

Предмет дослідження – особливості одночасного свердління отворів саморегульованими інструментами із керованою подачею.

У представленій кваліфікаційній магістерській роботі отримані такі **результати**:

- 1) Проведений аналіз методів і способів свердління наскрізних отворів. Виявлено, що свердління отворів характеризується рядом особливостей, серед яких можливі уведення інструменту від його осі та ривок свердла при його виході з отвору.
- 2) На основі конструкторсько-технологічного аналізу існуючих інструментів виявлено, що для ефективного забезпечення процесу свердління необхідно виконати вимоги належної продуктивності оброблення і розмірної точності, охолодження зони різання, відповідного стружковідведення, конструкційної досконалості і надійності інструментів.
- 3) Подано опис і розрахунок типової операції багатошпиндельного свердління отворів. Аналіз технологічної операції послужив основою для розробки базових схем формоутворення для наскрізного свердління отворів.

- 4) Розроблена структурно-кінематична схема верстату, здійснений його кінематичний розрахунок, а також представлена повна кінематична схема для багатошпindelного свердління.
- 5) Запропонована компоновка верстату, що підлягає конструюванню.
- 6) Сконструйований формоутворюючий вузол багато-шпindelного верстату.
- 7) Обґрунтований підхід щодо регулювання подачі у пристроях для свердління наскрізних отворів.
- 8) Проведений аналітичний опис конструктивних схем свердління наскрізних отворів саморегульованими інструментами із змінною функцією поздовжньої подачі.
- 9) Базуючись на відомих підходах розвинута математична модель розрахунку параметрів свердлильних пристроїв для наскрізного свердління із змінною подачею для різних конструктивних схем.
- 10) Виявлені особливості наскрізного свердління отворів за допомогою розроблених саморегульованих свердел і визначені характеристики ефективності їх застосування для багатошпindelних верстатів.
- 11) Представлені окремі заходи з охорони праці та проаналізована безпека життєдіяльності при роботі з об'єктами дослідження.

Наукова новизна дослідження

1. Запропонований підхід до розробки саморегульованих свердлильних пристроїв осьової компоновки на основі структурного синтезу із використанням варіації векторних картин з метою забезпечення змінності подачі в процесі роботи.
2. Запропонований розвиток моделі оцінки ефективності застосування саморегульованих свердлильних інструментів для обробки на багатошпindelному свердлильному верстаті.

Практичне значення роботи.

1. На основі аналізу технологічної операції одночасного свердління декількох отворів запроновані компоновочне рішення і кінематична структура багатошпиндельного верстату з саморегульованим інструментальним забезпеченням.
2. Представлені конструктивні схеми саморегульованих свердел для використання на багатошпиндельному верстаті.

Апробація досліджень проведена у формі доповіді на ІХ міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 7-8 грудня 2022 року [30].

За своєю структурою виконана кваліфікаційна робота містить вступну частину, 4 розділи та висновки і 4 додатки. Перелік бібліографічних джерел складає 33 найменування.

Основний текст роботи розміщений на 92 сторінках. В роботі - 15 таблиць і 40 рисунків.

АНОТАЦІЇ

Щигельський Д.П.; " Дослідження використання саморегульованих свердел для роботи на багатошпиндельному свердлильному верстаті". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2022 р.

У дипломній кваліфікаційній магістерській роботі представлені результати досліджень щодо застосуванні інструментів саморегульованого типу із змінною подачею у багатошпиндельних свердлильних верстатах.

Мета роботи пов'язана із забезпеченням високої ефективності процесу одночасного свердління декількома інструментами на багатошпиндельному верстаті. Перший розділ кваліфікаційної роботи

розглядає існуючі роботи щодо наскрізного свердління отворів та аналіз відповідних конструкцій інструментів. При цьому виконаний огляд основних підходів щодо керування подачею при свердління та основні конструктивні схеми для процесу свердління.

Кваліфікаційна робота містить опис типової операції для одночасного свердління отворів декількома інструментами. Розроблені базові схеми формоутворення при виконанні свердлильних операцій.

Відповідно до завдання розроблена структурно-кінематична схема багатшпindelного свердлильного верстату, а також розраховані кінематика цього верстату і його головний привід. Сконструйований на базі існуючих розрахунків формоутворюючий вузол. Для реалізації мети кваліфікаційної роботи передбачено певну методику і послідовність науково-прикладного дослідження. Так запропонований підхід щодо керування формоутворюючим рухом подачі при свердлінні наскрізних отворів. Синтезовані конструктивні схеми свердел саморегульованого типу із забезпеченням регульованої подачі з можливістю їх пристосування до процесу наскрізного свердління. Запропонована розрахункова модель встановлення параметрів зазначених саморегульованих свердел для окремих їх конструкцій. Проведена порівняльна оцінка технічної ефективності застосування саморегульованих свердел при роботі на багатшпindelному верстаті. Кваліфікаційна робота містить рекомендації стосовно охорони праці і виконання вимог безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: свердління наскрізних отворів, саморегульоване свердло, багатшпindelний верстат, керування подачі

Shchyhelsky D.P.; "Study of self-adjusting drills use for a work on a multi-spindle dilling machine". 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2022.

The Master Thesis presents the results of research on the use of self-adjusting type tools with variable feed in multi-spindle drilling machines. The

objective of the Paper is related to ensuring the high efficiency of the simultaneous drilling process with several tools on a multi-spindle machine. The first section of the Qualification Thesis examines the existing papers on through-hole drilling and the analysis of the corresponding tools designs. At the same time, an overview of the main approaches to feed control during drilling and the main design schemes for the drilling process was performed.

The Qualification Paper contains a description of a typical operation of holes simultaneously drilling with several tools. Basic schemes of shape forming during drilling operations have been developed. In accordance with the task, a structural and kinematic scheme of a multi-spindle drilling machine was developed, as well as the kinematics of this machine and its main drive was calculated. Shape forming unit is designed on the basis of existing calculations. To realize the goal of the Qualification Paper, a certain methodology and sequence of scientific and applied study are provided. In this way the approach was proposed to control the feed forming movement when through holes drilling. Structural schemes of drills of the self-adjusting type were synthesized to provide the adjustable feed with the possibility of tool adaptation to the through holes drilling process. A calculation model to determine the parameters of the specified self-adjusting drills as for their individual designs is proposed. A comparative assessment of the technical efficiency of the self-adjusting drills use was carried out when multi-spindle machine operating. The Qualification Thesis also deals with the recommendations regarding labor protection and the fulfillment of life safety requirements.

Key words: through-hole drilling, self-adjusting drill, multi-spindle machine, feed control

Вступ

Виробництво верстатів можна віднести до базових галузей машинобудування, оскільки парк металорізальних верстатів визначає техніко-економічний потенціал всього машинобудівного комплексу. Продукти верстатобудування (верстати, машини, спорядження) складають до 60% основної частини машинобудівних фондів.

Прогресивною тенденцією машинобудування, яка сприяє його випереджаючому розвитку, є автоматизація його на базі програмно керованого обладнання, застосування верстатів-автоматів, верстаних модулів і робото-технічних комплексів. Істотним є використання верстатів, які передбачають концентрацію операцій.

Немаловажливим є імплементація у виробництво науково-місткої продукції та конструкцій нових машин та верстатів на базі прогресивних технологічних рішень.

Значна частина таких рішень базується на створенні верстатів, інструментів та спорядження, які б запобігали перенавантаженню обробних систем. У металорізальних верстатах значні навантаження спричинені дією зусиль різання, сил опору, або ж інерційних впливів. Режими навантаження обладнання можуть носити усталений характер, тобто бути стабільними (стійкими) або ж мати неусталений характер. При цьому система навантажень, що мають місце, може мати різну структуру, яка залежить від послідовності та порядку здійснення технологічних операцій та переходів, а також форм оброблюваних заготовок чи зовнішніх впливів детермінованої чи випадкової дії.

Зі зростанням інтенсифікації режимів обробки і відповідного росту продуктивності різання збільшується імовірність перенавантажень металорізальних верстатів, їх ключових елементів та інструментів, що викликане важкими умовами роботи, в тому числі при змінних характеристиках навантаження.

Можна виділити цілий ряд причин виникнення перевантажень у верстатах.

Це – нераціональна жорсткість обробної системи, втрата динамічної стійкості, надлишкові вязі, завищені параметри при обробленні, зношення обладнання та власне інструментів, можливі температурні деформації, утворення зливної стружки. Поряд з відміченими факторами особливою причиною виникнення перевантажень технологічної системи є зміна умов різання при врізанні інструментів у заготовку і при виході із її тіла. Це може призводити до погіршення умов різання, зниження якісних параметрів оброблення.

Така специфічна причина перенавантажень вимагає як її докладного дослідження, так і вироблення певних рекондацій щодо усунення перенавантажень вже в процесі різання.

Особливо істотним є виникнення вказаних перевантажень при свердлінні отворів, оскільки роботі свердла в отворі представляє собою замкнуту закриту систему.

Виходом із даної ситуації може бути використання інструментів саморегульованого типу, які б дозволяли уникнути негативних факторів перевантажень в процесі свердління. Використання таких пристроїв виглядає особливо доцільним при одночасному свердлінні одразу декількох отворів, а саме на багатошпиндельному свердлильному верстаті.

Зазначений аналіз підтверджує актуальність проблеми створення і дослідження прогресивних інструментів із саморегулюванням для одночасної обробки отворів на багатошпиндельному свердлильному верстаті.

1. Аналітичний розділ

1.1. Основна проблематики процесу свердління

Для виготовлення циліндричних отворів у деталях машин найчастіше застосовують свердлильну операцію, [1,2]. Така операція передбачає обробку як правило двома різальними лезами, суміщеними в єдиній конструкції інструменту – свердла, [1,3]. При свердлінні отримують як отвори, що є відкритими з обох боків (наскрізні отвори), так і отвори, що є відкритими з одного боку, тобто глухі отвори. При цьому операція свердління при обробленні металів супроводжується утворенням стружки.

Задану точність оброблених отворів при свердлінні отримати важче, ніж при обробленні зовнішніх поверхонь. Тому допуски, що регламентують точність отворів, є більшої величини, ніж допуски на оброблення зовнішніх поверхонь, [4].

Свердлильні роботи становлять вагому частину загального обсягу механічного оброблення. Так, вони становлять 6-20% цього обсягу для серійного виробництва і до 30% для масового. Окрім того, сучасною тенденцією є також заміна технологічних операцій на розточувальних верстатах більш дешевими операціями свердління. Тому вказана доля свердлильних операцій має напрямок до зростання. При цьому слід вказати, що вимога зменшення собівартості продукції і зростання продуктивності праці, яка в тому числі вимагає концентрації операцій на одному обладнанні, призводить до оброблення отворів, серед них наскрізних, одночасно декількома свердлами, причому і різного діаметру, [2].

При свердлінні кінематичні особливості процесу оброблення характеризуються гвинтовим рухом, який інструмент здійснює відносно заготовки, [3]. Оброблення відбувається таким чином, що осі свердла і отвору співпадають.

У випадку обробки на свердлильних верстатах заготовка, як правило, нерухома, а свердло (наприклад спіральне) в результаті обертання здійснює гвинтовий рух (випадок спірального свердла).

Таким чином, цей гвинтовий рух складатиметься із головного руху і руху подачі. Власне головний рух – це обертання свердла навколо своєї осі, а відповідно рух подачі – це поступальне відносно повільне поздовжнє переміщення інструменту, [3].

На виробництві застосовують свердла різних конструкцій.

Зокрема, спіральні свердла (рис. 1.1), [1], набули найбільшого розповсюдження. Діапазон їх використання – широкий. Так, спіральні свердла застосовують для обробки отворів різних діаметрів – від 0,25мм до 80 мм. Досяжна точність обмежується 11 квалітетом, а шорсткість – величиною $Rz=40$ мкм, [3].

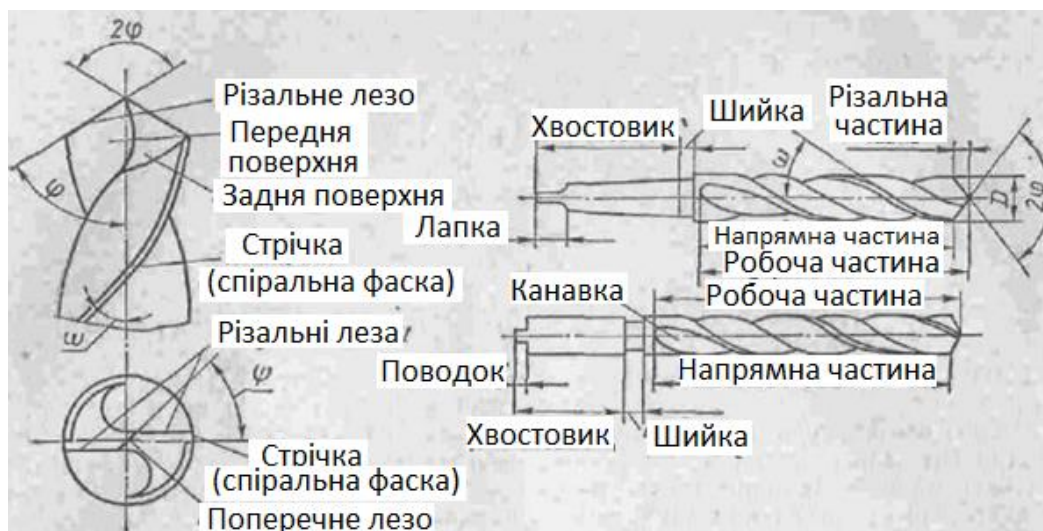


Рисунок 1.1. Елементи спірального свердла

Опишемо типову конструкцію спірального свердла. Воно є інструментом із двома різальними лезами, які, як правило, утворюють кут 2ϕ у 120° . Характерно, що спіральне свердло має різальне лезо у

вигляді поперечини на торці із кутом нахилу його приблизно у 50° . Довжина цього леза в долях діаметру свердління - 0,12...0,19.

Конструкція спірального свердла передбачає наявність серцевини. Її товщина збільшується на 100мм довжини серцевини інструменту на 1,4...1,8 мм у напрямі до хвостовика. Таким способом підвищують поперечну жорсткість свердла. У спіральних свердлах існує також вузька стрічка (так звана спіральна фаска), яка служить для спрямування інструменту при переміщенні його в отворі. Стрічка утворює кут у $24-30^\circ$ залежно від матеріалу, що обробляється. Зворотна конусність призначена для зменшення тертя стрічки. Конусність на 100 мм довжини складає приблизно 0,02 мм, [1].

Слід сказати, що окрему групи спіральних свердел складаються збірні свердла, які передбачають кріплення твердосплавних платинок.

Операція свердління на загал характеризується складністю і підвищеною трудомісткістю, наприклад порівняно із обробленням зовнішніх циліндричних поверхонь. В значній мірі це викликано конструкційними особливостями інструментів. Так, зокрема, спіральні свердла характеризуються пониженою жорсткістю. Окрім того довжина різальної частини лімітується лінійними розмірами самого отвору. Тому при здійсненні технологічної операції може відбуватись уведення інструменту під час його роботи від осі отвору. При цьому тіло свердла вигинається (деформується) і має місце викривлення осі отвору, що виготовляється. Причиною уведення свердла від його осі також вважають миттєві коливання і перевантаження на лезах інструменту, бо миттєво можуть змінюватись величини перерізів зрізу через коливання твердості шару матеріалу, авто коливні вібрації та похибки у геометричних параметрах різальних лез. Тому важливо забезпечувати відповідний допуск на уведення свердла від теоретичного напрямку його осі.

При свердлінні є чимало факторів, які не сприяють якісному протіканні процесу. Це визначено тим, що даний різальний інструмент

перебуває у замкненому середовищі. Така ситуація погіршує умови охолодження, а оброблювані поверхні є мало доступними. Окрім цього, збільшення довжини отвору призводить до того, що стружка утворюється у стиснених умовах, її відведення із отвору дуже ускладнене.

Слід зауважити, що в процесі свердління може мати місце радіальне биття інструменту. Воно, як правило, викликане певною несиметрією конструкції свердла. Певне зношення інструменту у процесі його роботи також призводить до нерівномірності навантажень на різальні леза від оброблюваного шару металу, що знімається. Отже, зусилля різання є змінними, результати оброблення погіршуються в процесі оброблення, відбувається розбивання отвору, а деколи – і руйнування свердла, його елементів та часто – заклинювання його в отворі.

Однією із основних причин перевантажень є зміна умов різання під час роботи інструменту.

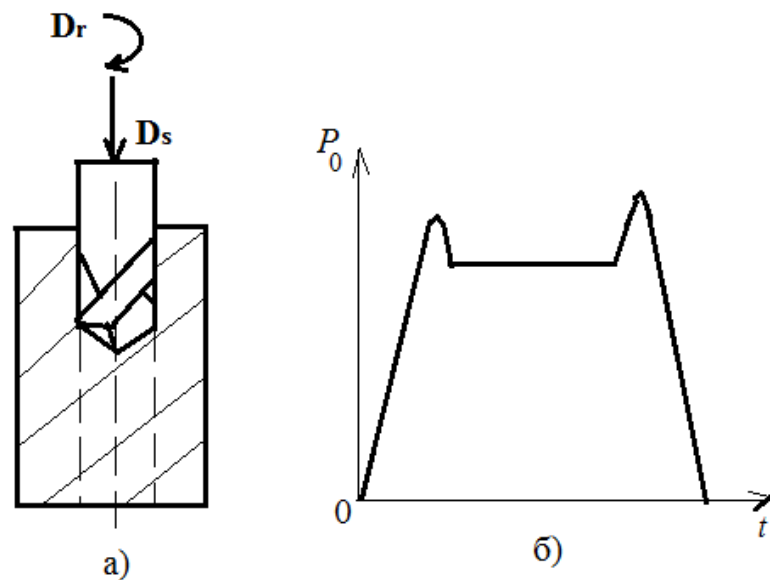


Рисунок 1.2 – Схема (а) процесу свердління і його силова характеристика (б)

Така зміна відбувається при перехідних процесах, а саме – при врізанні свердла та виході його лез із тіла заготовки. Відповідний процес ілюстровано рис. 1.2. Зокрема, при врізанні інструменту у оброблювану

деталь відбувається наростання сили різання до значення, яке дещо перевищує усталене значення осьового зусилля P_0 , [5].

Така динамічна поведінка пояснюється пружними властивостями системи «верстат із пристосуванням – інструмент і заготовка». В літературі показано, що залежно від таких властивостей цієї системи можуть виникати короточасні перевантаження до значень подвоєних зусиль P_0 (метод обробки по сліду - дані для токарної обробки В.Е. Пуша [6]).

Щодо свердління наскрізних отворів, то після завершення врізання в заготовку, яке супроводжується певним ударним процесом (рис. 1.2), відбувається накопичення потенціальної енергії пружною системою. Тому при виході різальних лез із тіла заготовки накопичена енергія перетворюється в кінетичну. При цьому це супроводжується ривком інструменту, значним збільшенням миттєвої подачі і миттєвим зростанням зусилля, що є небажаним ефектом.

Відповідно вказані фактори загалом потребують певних дій як конструкторського, так і технологічного характеру для зменшення негативного впливу різноманітних проблем свердління на якість процесу.

1.2. Технологічні фактори вирішення проблеми

Технологічні фактори визначають як застосування різних технологічних схем при здійсненні процесу свердління, так і адекватний вибір елементів режимів різання і відповідних характеристик інструментів.

Щодо схем здійснення технологічного процесу, то доцільно розглянути варіанти, які використовуються для забезпечення процесу врізання спірального свердла (рис. 1.3).

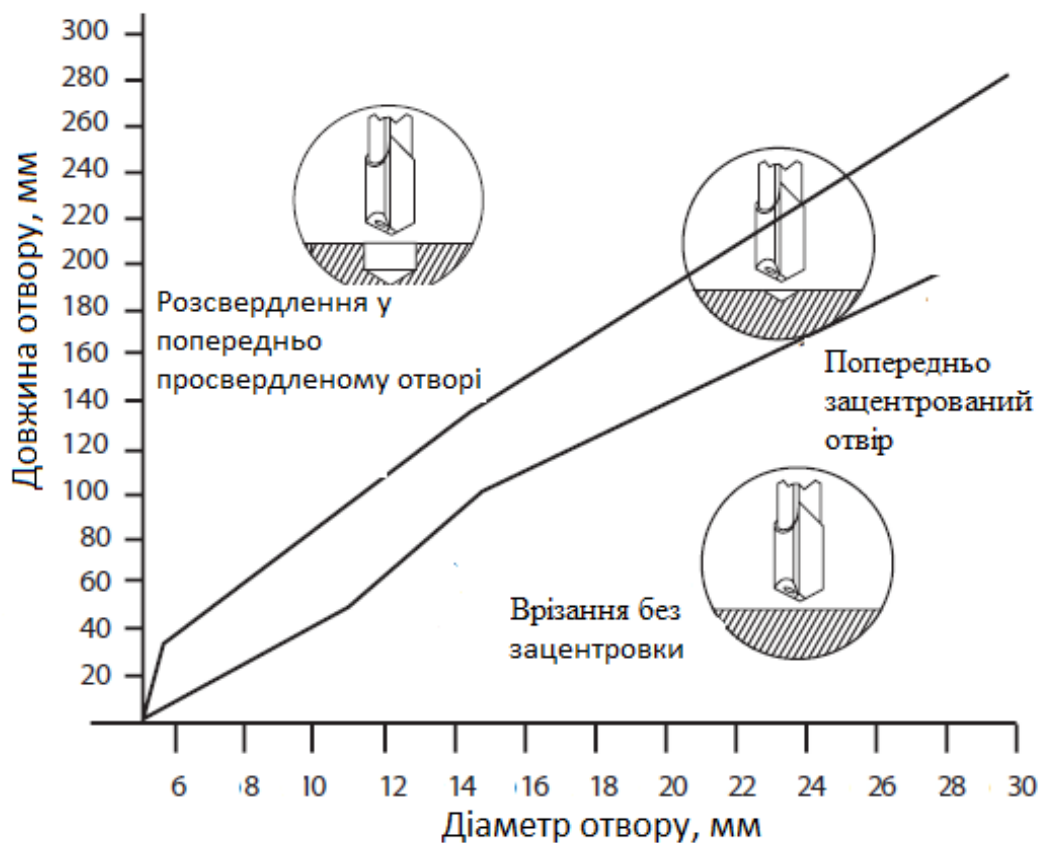


Рисунок 1.3 – Типові технологічні схеми врізання при свердлінні

Очевидно, що визначення необхідного напрямку руху інструменту під час врізання є дуже важливим і чинить суттєвий вплив на процес різання. При свердлінні використовують спеціальні кондукторні втулки. Можливим є попереднє розсвердлювання і попереднє центрування отвору. Врізання без зацентровки обмежене досяжною довжиною отвору, що обробляється залежно від діаметру інструменту. Для виготовлення глибоких отворів, глибина яких перевищує 5 і більше діаметрів застосовують спеціальні підходи, що дозволяє досягнути необхідної прямолінійності отвору рои заданій його точності. Часто необхідно застосовувати свердління двома свердлами.

Істотним для якісного застосування процесу свердління також є забезпечення вільного обертання свердла в отворі на певних режимах.

Важливим є, зокрема, визначення параметрів режимів різання, одним із яких є швидкість різання. Так, вибір швидкості для випадків свердління у різних матеріалах можна проілюструвати номограмою, приведеною на рис. 1.4.

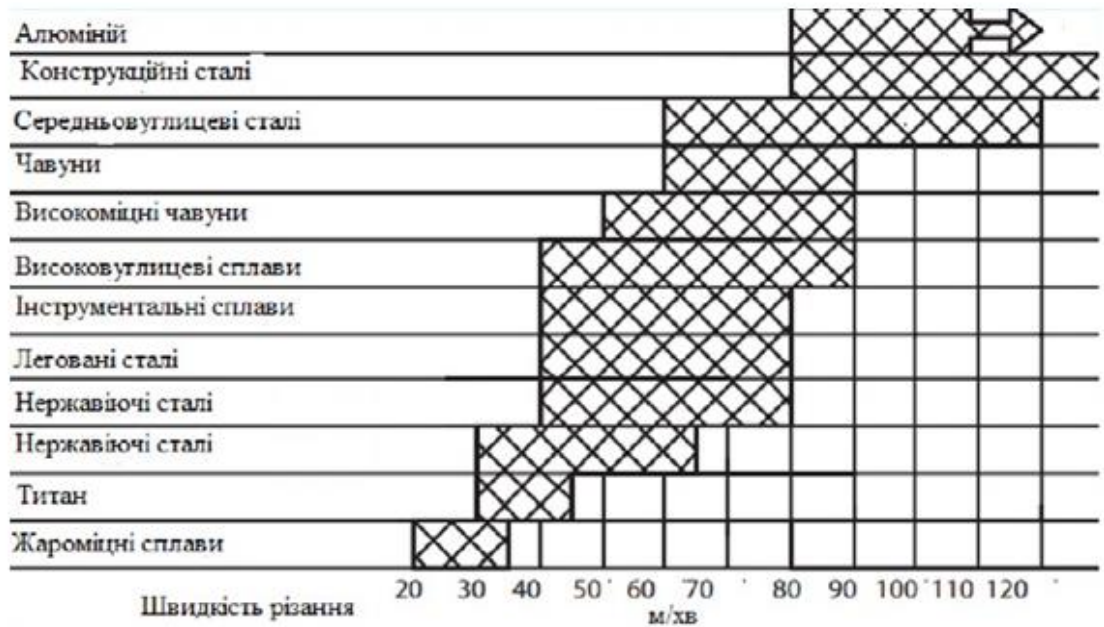


Рисунок 1.4 – Номограма вибору швидкості різання

При цьому максимальна довжина свердління, яка визначається довжиною отвору, що обробляється, має брати до уваги співвідношення величин довжини і діаметру свердла. Для цього можна використати відмий графік (рис. 1.5). Для обраної швидкості різання проектуючи криву на вісь ординат визначають як відносяться довжина і діаметр свердла.

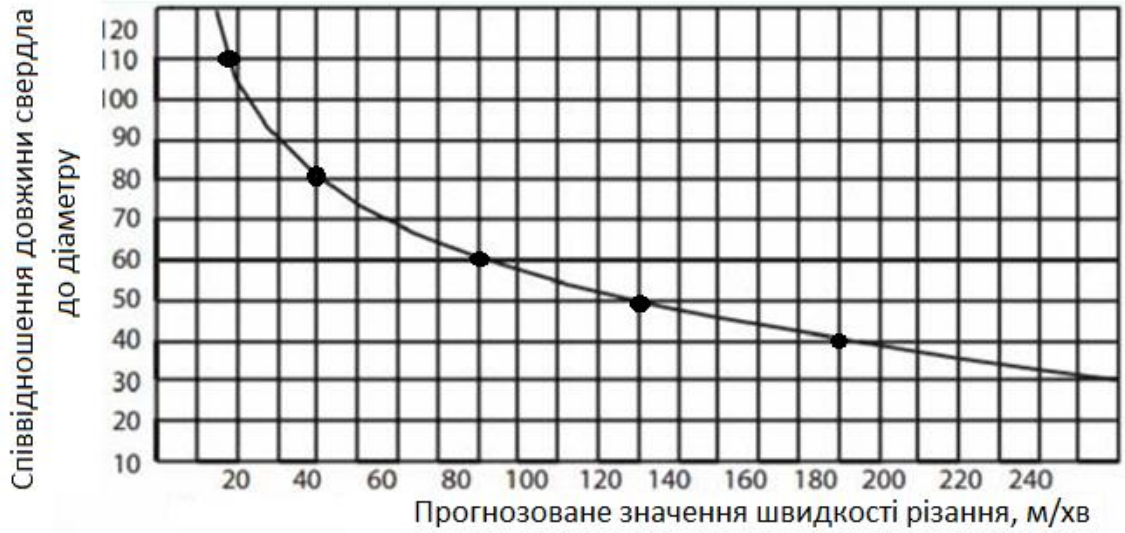


Рисунок 1.5 – Співвідношення довжини і діаметру свердла

В свою чергу вибір величини подачі теж можна вибирати графічно, що показано на відповідному графіку (рис. 1.6).

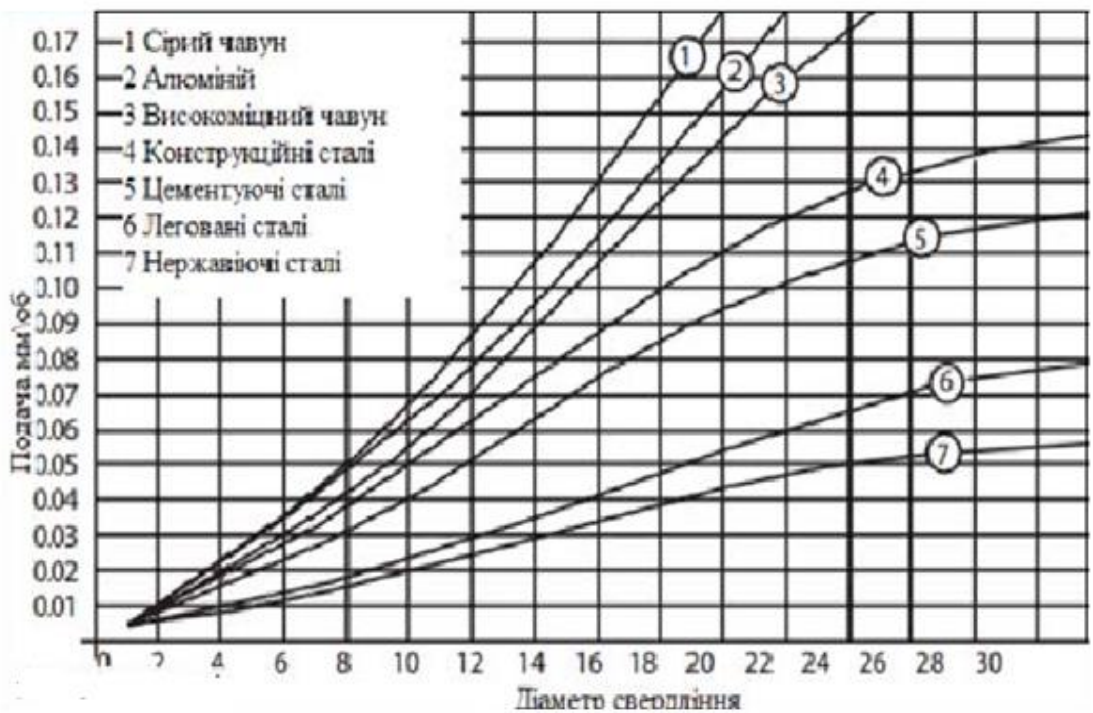


Рисунок 1.6 - Вибір величини подачі

1.3. Аналіз особливостей конструювання інструментів для свердління

Стосовно конструктивних виконань свердл, то беруть до уваги те, що свердло є слабким елементом обробної системи і працює у найважчих умовах. У процесі різання затрудненими є відвід стружки і подача мастильної чи охолоджувальної рідини в зону різання. Стружка додатково треться до поверхні канавок, а стрічки свердла туться до оброблюваної поверхні. При різанні виділяється значна кількість тепла. Тепло в основному поглинається різальним інструментом та заготовкою. Це особливо є помітним у випадку свердління отворів у матеріалах із низьким коефіцієнтом теплопередачі (зокрема, при обробці пластмас). При цьому до 95% тепла, що виділяється, поглинається свердлом. Тому, якщо не застосовувати охолодження, то це може призвести до оплавлення різальних лез. Слід відмітити, що при конструюванні свердел треба мати на увазі, що швидкість різання по перерізу свердла не є постійною, вона зменшується від периферії свердла до центру. Якщо порівнювати з точінням, то бачимо, що при свердлінні збільшені деформації шару металу, що знімається, і стружки. Також значно збільшується тертя – у парах тертя свердло-заготовка, стружка-свердло, стружка-заготовка. Тому швидкість різання на 30-60% є меншою, ніж при точінні.

Таким чином, конструкція свердла має бути багатофункціональною, тобто повинна виконувати багато функцій, [1]. У зв'язку із закритістю простору і інтенсивні режими оброблення всі елементи свердла: корпус, різальні та напрямні частини - працюють з перевантаженнями значної величини. Тому практика свердління призвела до появи різних конструкцій таких інструментів.

Основними факторами пошуку нових конструктивних рішень інструментів для свердління виступають складність власне технологічної операції і необхідність забезпечити високу продуктивність при збереженні заданої якості оброблення.

Тому при конструюванні свердлильних пристроїв слід задовільнити такі основні вимоги: висока продуктивність; постійне і надійне відведення стружки; забезпечення підведення охолоджувальної рідини; технологічність інструменту; достатня стійкість різальної частини; мінімізовані похибки оброблення; задовільна собівартість виробу.

При конструюванні за основу вибору діаметру мають діаметр отвору,[3]. Іншою характеристикою є загальна довжина отвору. Слід мати на увазі, що при більших довжинах свердл зменшується їх жорсткість. Далі задають тип хвостовика. При цьому враховують оброблюваний матеріал. Орієнтуються на швидкість величини подачі та спосіб стружковідведення.

При недоліках у конструюванні свердел можемо мати значні похибки щодо форми отвору, відхилення його геометричної осі, а також збільшення шорсткості отриманої поверхні. Слід передбачити потребу у виведенні свердел із отвору, що обробляється, якщо довжина цього отвору є значною. Деякі нормативні дані рекомендують до 5 виведень інструменту із отвору при свердлінні на глибину до 10 діаметрів, [2], що істотно знижує продуктивність операції і точність оброблення. Якщо обробляють пластичні матеріали, то глибина свердління є меншою. Всі ці обставини сильно зменшують стійкість інструменту, можесть призвести до руйнування різальної частини або і тіла свердла. Як конструктивний фактор для виправлення такої ситуації застосовують конструктивне потовщення серцевини свердла, [1]. Таке потовщення є у нормалізованих свердел у напрямку до хвостовика. Проте при цьому збільшується опір стружці, що виходить з отвору.

Тому у прогресивних конструкціях інструментів перемагає тенденція створити інструмент з підвищеними характеристиками жорсткості і забезпеченням плавних умов різання та дробленням і виведенням із зони різання зливної стружки.

Для збільшення діапазону довжин оброблення у промисловості застосовують подовжені спіральні свердла (ГОСТи 886-77, 2092-77). Для оброблення отворів у матеріалах із високими показниками пластичності для

відповідних свердел зменшують ширину стрічки максимально вдвічі, ширину канавок збільшують у півтора раза, а їх кут нахилу – навіть до 60° , [1].

Це родлять, щоб забезпечити необхідний простір для розміщення стружки. З метою недопущення зменшення жорсткості інструменту можуть використовувати внутрішній відвід стружки. До них відносять, зокрема, ежекторні свердла. Так, на рис. 1.7 приведено конструкцію ежекторного свердла із вставними різцями замість твердосплавних платин, [1].

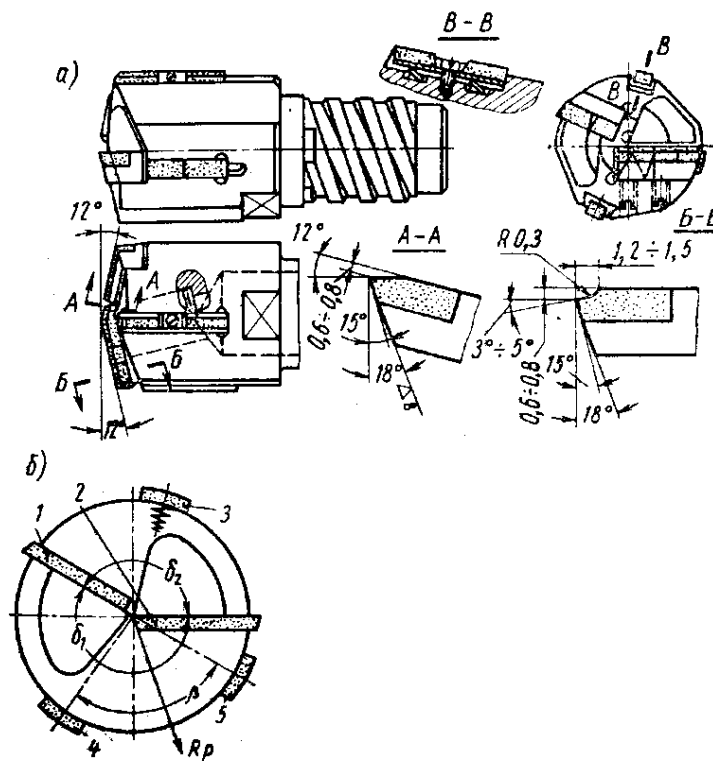


Рисунок 1.7 - Дворіздеве ежекторне свердло

Однією із основних ознак різноманіття конструкцій свердел є застосування різних способів стружковідведення, а саме- внутрішнього і зовнішнього.

Ще однією ознакою при класифікації свердел може бути вибраний спосіб відведення стружки.

В діапазоні діаметрів до 35мм свердла конструюють із зовнішнім відведенням стружки, бо іншого не дозволяють діаметральні розміри свердла.

Проте часто застосовують і внутрішнє відведення стружки, яке є більш складним у конструктивному плані. В той же час при цьому якість отримуваних отворів є кращою, стружка не пошкоджує поверхню отвору не пакетується в канавках та не застрягає між інструментом і заготовкою. Таким чином, відведення стружки є більш надійним, що дозволяє застосовувати такий спосіб для виготовлення отворів середніх діаметрів.

Різальні леза, а також напрямні для малих свердел виконують напайними із твердих сплавів. Рідше використовують металокерамічні свердла, які виготовляють методом спікання. Свердла із швидкорізальної сталі виготовляють цільними. Знайшло на практиці і застосування механічних кріплень власне твердосплавних пластин.

Особливі конструктивні виконання відомі для хвостовиків свердел, [1, 2].

1.4. Керування подачею при свердлінні

Раніше було показано (параграф 1.2), що при свердлінні наскрізних отворів внаслідок пружних деформацій обробної системи та інших факторів відбуваються перевантаження цієї обробної системи як при умовно усталеному процесі різання, так і при перехідних процесах, особливо при врізанні в заготовку і виході свердла із обробленого отвору. До цього, зокрема, призводить перетворення першопочаткового накопичення потенціальної енергії у кінетичну енергію «ривка» (миттєвого зростання подачі) при виході. Це призводить також до різкого зростання крутного моменту. Тому при свердлінні наскрізних отворів порівняно із глухими отворами рекомендують зменшувати подачу на 25-35%, а іноді вдвічі, що не є раціональним з точки зору продуктивності оброблення, [7]. Крім того, підвищується собівартість операції, знижується її ефективність та спостерігається інтенсивніше зношування різальних лез.

Проблемі регулювання подачі при свердлінні присвячені наукові праці ряду авторів, зокрема С.Г. Нагорняка, П.Д. Кривого, В.Р. Кобельника, [5,7,8].

В цих працях обґрунтовується питання зменшення подачі при виході свердла із отвору для випадку оброблення наскрізних отворів. При цьому досліджувались кількісні характеристики змінної подачі і вплив різних факторів на встановлення закономірностей цих змін.

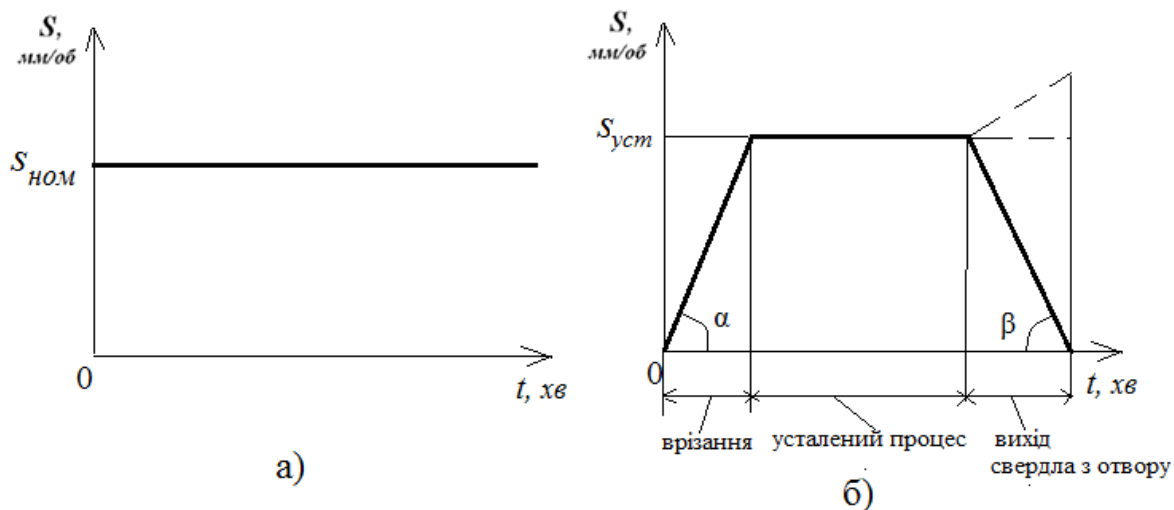


Рисунок 1.8 – Зміни подач при традиційному свердлінні (а) та із змінною подачею (б)

На рис. 1.8 представлені приклади свердління наскрізного отвору. У випадку а) – це свердління з постійною номінальною подачею $S_{ном}$, а у випадку б) – це свердління із змінною подачею, яка при врзанні зростає від 0 до усталеного значення $S_{уст}$, а при виході свердла зменшується від $S_{уст}$ до 0. Слід зауважити, що величини кутів α і β можуть знаходитись у різних співвідношеннях,, зокрема, $\alpha = \beta$ і $\alpha \neq \beta$.

Тобто це показує, що регулювання виходом свердла із заготовки можна проводити по різному.

Так, Кобельником В.Р., [7], показано, що при наскрізному свердлінні вихід свердла може характеризуватись різними законами зміни подачі: збільшення, постійного характеру і зменшення в залежності від діаметру свердла і жорсткості механізму подач свердлильного верстату.

Вказується, що при певних режимах і оброблюваних матеріалах при завершенні процесу свердління під вершиною свердла відбувається випучування матеріалу, нерівномірне його руйнування і утворюються своєрідні задири. Показано, що для свердл малих діаметрів при встановлених подачах 0,005-0,05 мм/об передбачений певний запас по міцності на кручення. Тому є підстави для збільшення подачі при виході свердла із отвору і отримання можливості зрізати допоміжними лезами пелюстки задирок.

Отриманий аналіз показує необхідність створення саморегульованих свердлильних пристроїв для керування процесом свердління в перехідних і усталених процесах за рахунок зміни подачі. При цьому Особливу увагу становить питання використання пристроїв регулювання подачею у багатошпindelних верстатах, що пов'язане із одночасним обробленням декількох отворів, причому різного діаметру в межах однієї операції.

Висновки до розділу 1

Результати, отримані у аналітичному розділі можна звести до наступного:

1) Виявлені основні проблеми, які характеризують свердління, а саме: складність і трудомісткість процесу; вплив несприятливих чинників через закритість різальної зони; невелика жорсткість свердел; згинні деформації і уведення осі інструменту в процесі роботи; труднощі із виведення стружки із зони оброблення; певна несиметричність конструкції інструменту (радіальне биття); нерівномірність в загальному випадку навантажень на леза ті інші.

2) Встановлені технологічні заходи, що застосовуються для уникнення погіршення якості і точності оброблення наскрізних отворів, в тому числі адекватний вибір значень полач і швидкостей різання.

3) Виявлені основні фактори, які стримують виконання основних вимог до конструювання прогресивних інструментів для свердління (високої продуктивності, надійного відведення стружки, охолодження зони різання, покращення точності і якості отворів, стабілізації осі інструменту в процесі роботи.

4) Показано, що ефективним методом управління процесом свердління є керування подачею свердл за різними законами, що є підставою для розроблення інструментів саморегульованого типу для застосування, зокрема, у багатошпindelних свердлильних верстатах.

5) Сформульовані мета, об'єкт, предмет і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності свердління на багатошпindelному верстаті отворів різного діаметру на основі підвищення точності і покращення якості оброблення.

Об'єкт дослідження - свердління на багатошпindelному свердлильному верстаті наскрізних отворів.

Предмет дослідження – закономірності одночасного свердління декількох отворів саморегульованими інструментами із зміною подачі

Завдання роботи:

1) Провести аналітичний огляд питань, що стосуються проблематики свердління наскрізних отворів і дослідження цього процесу. Виявлення характерних особливостей свердління наскрізних отворів.

2) Встановити технолого-конструкторські вимоги до інструментів для забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. Виявити основні підходи до керування подачі при роботі свердлильного пристрою.

3) Огляд і розрахунок операції свердління наскрізних отворів на багатошпindelному верстаті. Аналіз можливих схем формоутворення.

4) Розробити структурно-кінематичну і кінематичну схеми верстату на основі його кінематичного аналізу.

5) Вибрати раціональну компоновку верстату.

6) Сконструювати заданий формоутворюючий вузол для багатошпindelного верстату.

7) Для оброблення наскрізних отворів запропонувати принципові і конструктивні схеми регулювання подачі при використанні саморегульованих інструментів.

8) Для різних конструктивних схем предствити математичні моделі розрахунку саморегульованих свердлильних пристроїв із змінною подачею.

9) Визначити характеристики ефективності застосування саморегульованих свердлильних пристроїв керування подачею для багатошпindelних верстатів.

10) Описати необхідні заходи з охорони праці та безпеки із надзвичайних ситуацій.

2. Дослідно-проектний розділ

2.1. Елементи технології обробки

Попередньо проаналізуємо приклади реалізації технологічних процесів оброблення деталей, які містять в своїй конструкції декілька отворів,. Для аналізу виберемо дві деталі типу «плита». Будемо вважати ці деталі за представники.

Перша деталь виготовляється із сталі 45, друга – із алюмінію АДІ. Оброблювання цих матеріалів в подальшому зручно використовувати для кінематичних розрахунків верстату.

Проведемо аналіз хімічного складу визначених матеріалів, [9] (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Склад хімічних елементів (%) для матеріалу сталь45

(максимальні значення)

Хімічні елементи	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Сталь 45	0,5	0,3	0,7	0,04	0,04	0,3	0,3

Щодо алюмінію АДІ, то цей матеріал містить 0,6%Mn і 0,4%Si.

Відповідно зазначимо також окремі механічні властивості для вибраних матеріалів (табл.. 2.2).

Таблиця 2.2.

Механічні властивості матеріалів

Механічні властивості	Межа текучості σ_T , Н/мм ²	Межа міцності σ_B , Н/мм ²	Ударна в'язкість a_n , Н/мм ²	НВ
Сталь 45	360	610	50	500
АДІ	110	210	-	450

Представимо на ескізах в таблиці 2.3 елементи технологічного процесу щодо оброблення отворів. При цьому вважатимемо на технічні вимоги: отвори діаметрів (мм) 10, 15, 32 виготовляються за 7 квалітетом. Найбільш точна шорсткість отворів по Ra складає 6,3.

Таблиця 2.3.

Елементи технологій оброблювання деталей

№ дет.	Ескіз деталі	Операція	Різальний інструмент (матеріал Р6М5)
1		005 Свердлити 4 отвори $\Phi 10$	Свердло $\Phi 10$
		010 Свердлити 4 отвори $\Phi 32H7$ до $\Phi 31,96$	Свердло спеціальне $\Phi 31,96$
2		005 Свердлити 6 отворів $\Phi 13$	Свердло $\Phi 13$
		010 Цекувати 6 отворів $\Phi 13$ до $\Phi 22$ на глибину 5	Цековка $\Phi 22$
		015 Свердлити отвір $\Phi 30$	Свердло $\Phi 30$
		020 Свердлити 2 отвори $\Phi 15H7$ до $\Phi 14,96$	Свердло спеціальне $\Phi 14,96$

Проведемо розрахунок елементів режимів різання, [10,11,12].

За приклад візьмемо для деталі 1 обчислення режимів різання для операції свердління чотирьох отворів $\Phi 10$.

Очевидно, що глибина різання t дорівнюватиме $d/2=5\text{мм}$, де d – діаметр отвору (10мм). Вибираємо подачу, керуючись критерієм міцності свердла. Ця подача із найбільших допустимих $s=0,2$ мм/об,

Визначення швидкості різання проведемо за відомою залежністю для свердління [13]:

$$v = \frac{C_v d^q}{T^m s^y}, \quad (2.1)$$

де $T=25$ хв – значення стійкості інструменту[13], $C_v=9,9$ – коефіцієнт, $q=0,4$ – показник ступеня при діаметрі, а $m=0,2$ і $y=0,4$ - показник ступеня відповідно при стійкості і подачі, [13].

Визначимо також значення поправочного коефіцієнту. Після розрахунків з врахуванням його складових щодо твердості, інструментального матеріалу і глибини матимемо $K_v=1,25$.

Таким чином, обчислимо значення швидкості різання:

$$v = \frac{9,9 \cdot 10^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,2^{0,4}} \cdot 1,25 = 27,3 (\text{м} / \text{хв})$$

Заокруглюючи у більший бік, маємо $v=27,4$ м/хв.

Відповідно можемо визначити кількість обертів шпинделя за відомою залежністю:

$$n = \frac{1000v}{\pi d}, \quad (2.2)$$

тобто

$$n = \frac{1000 \cdot 27,4}{\pi 10} = 850 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Зважаючи на товщину плити призначаємо зід свердла $L_{св}=25\text{мм}$. При цьому можемо визначити значення основного технологічного часу свердління з врахуванням, що отвори виготовляються одночасно:

$$T_o = \frac{L_{св}}{ns} = \frac{25}{850 \cdot 0,2} = 0,15 \text{ хв.}$$

Таким чином, можемо сформуванати на основі, [14] таблицю елементів режимів різання для деталі 1 і для деталі 2 (табл. 2.4):

Таблиця 2.4

Таблиця елементів режимів різання (деталь 1)

Деталь	Глибина різання (мм) t	Швидкість різання (м/хв) v	Подача інструменту (мм /об) s	Оберти шпинделя (об/хв) n	Основний час (хв) T _o
1	(005) 5	27,4	0,2	850	0,15
	(010) 15,98	20	0,5	200	0,32
2	(005) 6,5	45	0,6	1040	0,04
	(010) 11,5	70	0,8	1020	0,01
	(015) 15	47	0,9	500	0,07
	(020) 7,48	48	0,6	1025	0,05

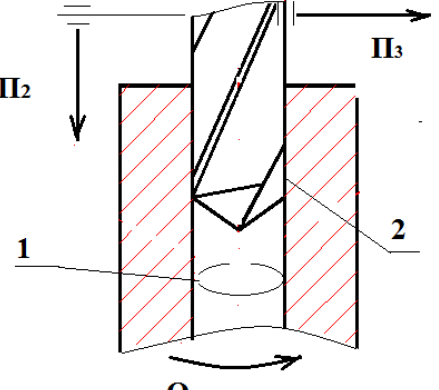
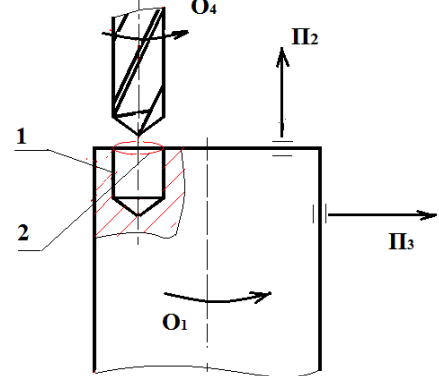
Розраховані величини параметрів режимів та основного технологічного часу послужать підставою для подальших кінематичних розрахунків.

2.2. Рухи формоутворення

На свердлильних верстатах здійснюють цілий ряд операцій, які пов'язані із виготовленням отворів – як наскрізних, так і глухих, [2].

Таблиця 2.5.

Схеми формоутворення при свердлінні

№	Схема формоутворення	Методи формоутворення (формоутворюючі рухи)		Додаткові рухи
1.		Метод сліду 1	Головний рух обертання $\Phi_V(O_1)$	Установочний рух Уст (П3)
		Метод сліду 2	Рух подачі $\Phi_S(P_2)$	
2.		Метод сліду 1	Головний рух обертання $\Phi_V(O_4)$	Установочні рухи Уст (П3); Уст (O1)
		Метод сліду 2	Рух подачі $\Phi_S(P_2)$	
3.		Метод сліду 1	Головний рух обертання $\Phi_V(O_4)$	Установочні рухи Уст (П2); Уст (O1)
		Метод сліду 2	Рух подачі $\Phi_S(P_3)$	

При цьому свердління може відбуватись у суцільному матеріалі, а мажуть проводитись роботи по допрацюванню попередньо розсвердлених отворів, зокрема, розсвердлювання, зенкерування, зенкування та інші. Здійснюються також роботи щодо зенкування торцевих поверхонь отворів, а також вирізання поглиблень циліндричної чи конічної форми. Важливим є нарізання мітчиками внутрішньої різьби, а також розвертування отворів, [2,15,16].

Деякі із таких схем, пов'язані із відповідним утворення форм поверхонь при роботі свердлильних верстатів покажемо у таблиці 2.5.

Таблиця 2.6

Схеми формоутворення при роботі на свердлильних верстатах

	1 копю- вання	0	Вр(П2)		1 копю- вання	0	Вр(П2)
	2 сліду	$\Phi_v(O1)$			2 сліду	$\Phi_v(O1)$	
	1 копю- вання	0	Вр(П2)		1 копю- вання	0	Вр(П2)
	2 сліду	$\Phi_v(O1)$			2 сліду	$\Phi_v(O1)$	
	1 копю- вання	0	Вр(П2)		1 копю- вання	0	Вр(П2)
	2 сліду	$\Phi_v(O1)$			2 сліду	$\Phi_v(O1)$	

У таблиці 2.6 зображені інші рухи для обробки на свердлильних верстатах при зенкеруванні, розвертуванні, оброблення плоских торців, зенкуванні, використанні мітчиків.

Проведене вивчення рухів використаємо при побудові і аналізі компоувальних рішень.

2.3. Аналіз верстатів-аналогів

При свердлінні знайшли використання верстати універсальні, зокрема вертикально-свердлильні, радіально свердлильні, спеціальні верстати. При цьому верстати характеризуються широким діапазоном та великою номенклатурою деталей. Це вимагає примінення різних схем оброблення і методів отримання отворів.

До вертикально-свердлильних верстатів середнього типу можна віднести такі найбільш розповсюджені моделі як 2Г125, 2Н135, [2].

Їх характеристики можна зобразити так, як показано у табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Окремі характеристики вертикально-свердлильних верстатів

Основні технічні характеристики	Моделі верстатів	
	2Г125	2Н135
Найбільший умовний діаметр свердління в сталі ,мм	25	35
Робоча поверхня стола,мм	450×450	450×500
Найбільша відстань від торця шпинделя до робочої поверхні стола,мм	700	750
Виліт шпинделя,мм	250	300
Найбільший хід шпинделя,мм	200	250
Найбільше вертикальне переміщення стола,мм	270	300
Частота обертання шпинделя ,об/хв.	45-2000	31-1400
Число подач шпинделя	9	9
Потужність електродвигуна приводу головного руху,кВт	2,8	4,0
Габаритні розміри:		
Довжина	915	1030
Ширина	785	850
Висота	2350	2535
Вага,кг	880	1200

Щодо застосовуваних типів компоновок, то часто є застосовуваною така компоновка вертикально-свердлильного верстату як показана на рис. 2.1.

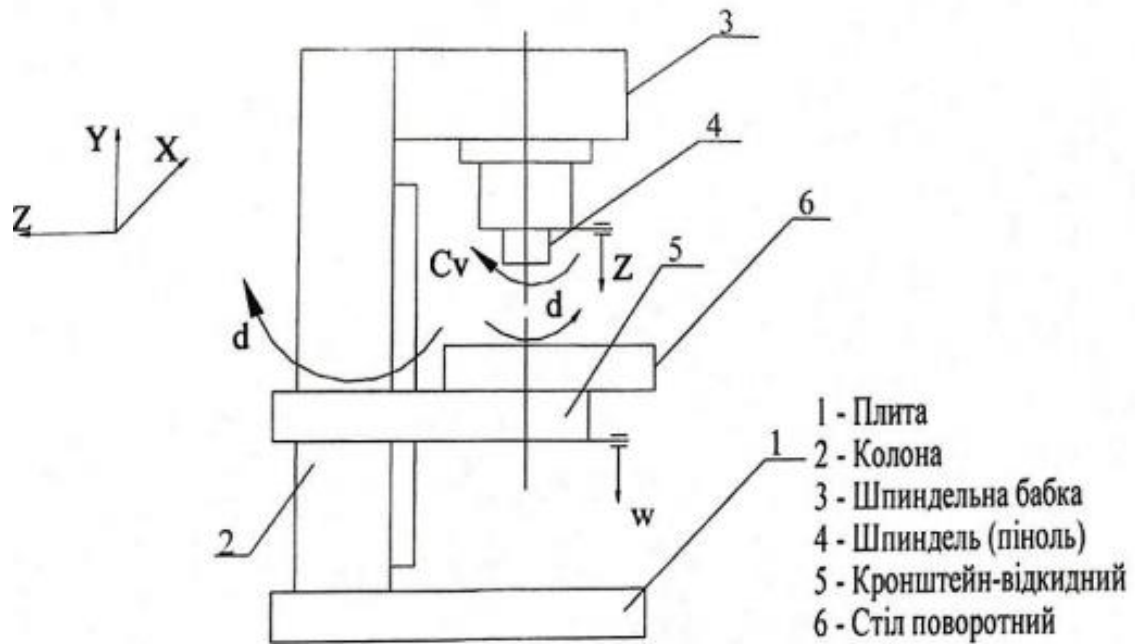


Рисунок 2.1 - Типова компоновка вертикально-свердлильного верстату

При цьому структурною формулою такої компоновки є: структурну формулу компоновки:

$$d^1 d^1 w^0 O Z^2 / C^0_v .$$

У цій формулі рухи встановлення d відображають рух обертання свердла у кронштейні. Також передбачений вертикальний рух стола w .

Щодо радіально-свердлильних верстатів, то до верстатів загального призначення відносять моделі 2А53, 2А55, 2М55, 258 і 2Б58 та інші. Зокрема, як приклад можна представити фото радіального верстату моделі 2А544 (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Типовий вигляд радіально-свердлильного верстату

Щодо свердлильних верстатів із багатьма шпинделями верстатів, то типовою конструкцією є верстат моделі 2Г175.

Приклади компоновок і відповідних структурних формул наведені на рис. наведені на рис. 2.3.

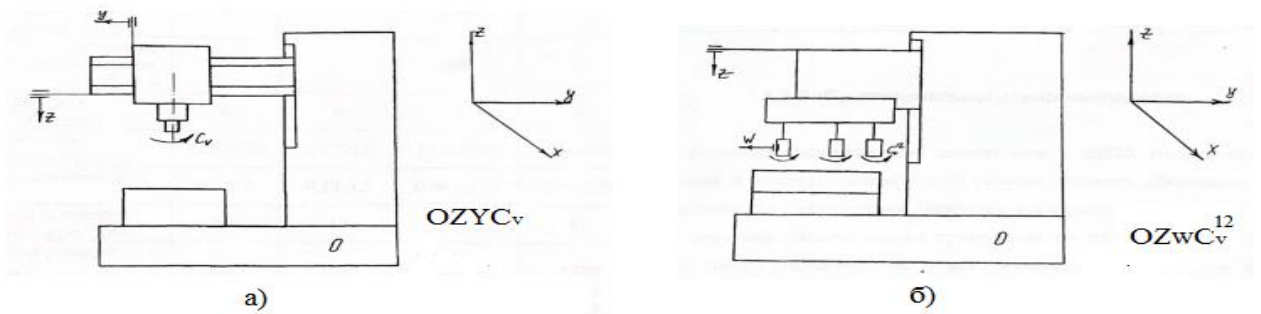


Рисунок 2.3 – Типові компоновки радіально-свердлильного верстату (а) і багатшпindelного свердлильного верстату (б)

Характеристик вказаних радіально-свердлильного та багатошпindelного свердлильних верстатів наведено у табл. 2.8

Таблиця 2.8

Окремі характеристики вертикально-свердлильних верстатів

Характеристики	2М57	2Г175
Діаметр свердління, мм	75	75
Вертикальне переміщення свердлильної головки, мм	-	400
Горизонтальне переміщення свердлильної головки, мм	1500	-
Вертикальне переміщення рукава, мм	900	-
Конус Морзе (для отвору шпинделя)	6	2
Кількість обертів шпинделя (об/хв)	12,5...1600	22...1000
Подачі, мм/об	0,063...3,15	0,05...2,24
Потужність приводу головного руху (кВт)	7,5	11
Габарити, мм:		
довжина	3620	1500
ширина	1550	1800
висота	3875	3650

Наведені характеристики верстатів і їх компоувальні рішення використаємо при побудові компоновки шуканої конструкції.

2.4. Пошук компоувального рішення

Для пошуку необхідного компоувального рішення скористаємось отриманою нами схемою рухів формоутворення для багатошпindelного свердлильного верстату (рис. 2.4).

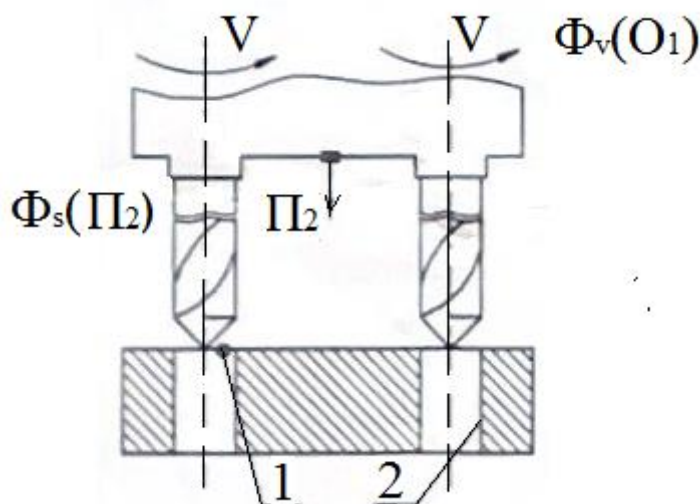


Рисунок 2.4 – Схема рухів формоутворення при свердлінні багатошпindelного верстату

На цій схемі бачимо, що головний формоутворюючий рух $\Phi_v(O_1)$ – обертання інструментів формує різання методом сліду, як і рух подачі $\Phi_s(\Pi_2)$.

Відомо [17,18], що при представленні верстату у якості блочної компоувки слід орієнтуватись на технологічний модуль ТМ. Такий модуль передбачає найменший склад блоків, що є достатнім для виконання формоутворення заданих поверхонь.

Мінімально для свердління ці блоки мали б складати шпindel, що обертається, і свердлильну головку, яка рухається поступально. Отже, потрібні блоки С і Z. Тому зважаючи на присутність також стаціонарного блоку (станини), отримаємо такий вираз для технологічного модуля:

$$ТМ=\{С,Z,0\}.$$

Зважимо, що ми маємо 2 рухомих елементи і один нерухомий. При цьому кількість вертикальних компоувок становитиме $V!=3!=6$ і такою ж є

кількість горизонтальних компонок: $H=6$.

Таким чином, можемо отримати для вертикальних компонок загальну матрицю у вигляді

$$V = \begin{vmatrix} OZC_v^{12} & ZOC_v^{12} & C_vZO \\ OC_v^{12}Z & C_vOZ & ZC_vO \end{vmatrix}$$

Аналогічну матрицю будуюмо і для гооризонтальних компонок.

Якщо ми позначимо обертовий рух $C \rightarrow 1$, а для поступального руху встановимо $Z \rightarrow 1$ (цей рух не є обертовим), то зможемо перейти до простішої матриці, що складається із 1 і 0:

$$V = \begin{vmatrix} \overline{011} & \overline{101} & \overline{110} \\ \overline{011} & \overline{101} & \overline{110} \end{vmatrix}$$

Ця матриця дає можливість охарактеризувати отримані компоновки.

Так, для компоновки $\overline{011}$ характерним є поступальне переміщення і обертання шпинделя. Для іншої компоновки $\overline{101}$ відмінним є те, що поступальне переміщення здійснює стіл, а також відбувається обертання шпинделя. Відповідними є і інші компоновальні пропозиції.

Щодо горизонтальних компонок, то таку побудову можна провести аналогічно.

Ці міркування дозволяють оформити такі рішення з допомогою відповідних схем, наприклад, для вертикальних компонок (рис. 2.5).

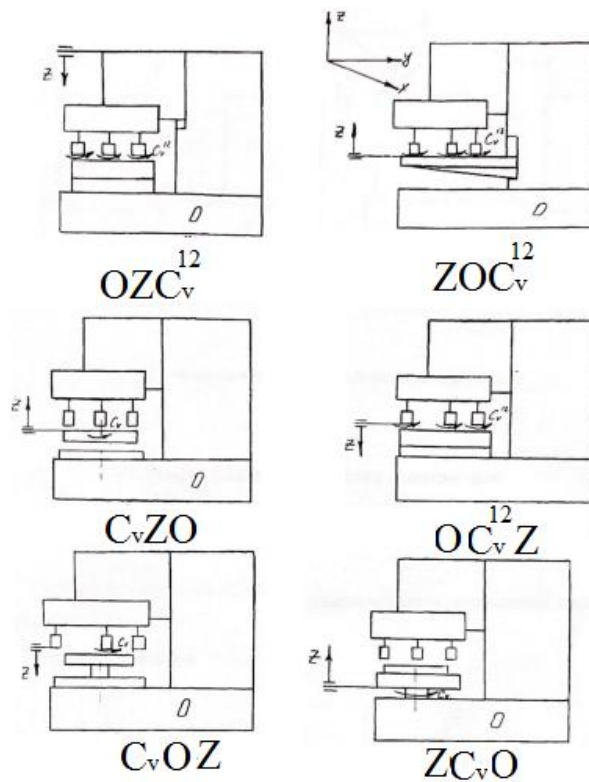


Рисунок 2.5 – Схеми верикальних компонок багатшпіндельного свердлильного верстату

Проведемо математичний відбір із отриманих 6-ти компонок шуканої. Для цього слід врахувати певні граничні умови. Тому розглянемо їх.

Умова M1 пов'язана із можливістю забезпечення головного руху. Так, згідно із наведеними схемами формоутворення передбачається, що головний рух надається інструменту. Згідно цього

$$O + 1OC + O1C.$$

Умова M2 (для підвищення точності верстату) передбачає, що до основи має прилягати блок вертикального переміщення, тобто

$$\bar{O}10 + \bar{O}O\bar{O} + O1C.$$

Нарешті умова M3 що пов'язана із динамікою компонок передбачає, що для вертикального переміщення вузол має бути меншої маси, тобто

$$O + O + OZC.$$

Наведена інформація дозволяє сформулювати математично умову сумарного підходу до вибору компоновки, тобто

$$\begin{array}{r}
 0 + 10C + 01C \\
 \overline{0}10 + \overline{0}0\overline{0} + 01C \\
 0 + 0 + 0ZC \\
 \hline
 0 + 0 + 0ZC
 \end{array}$$

Таким чином, отримуємо, що технологічний модуль складатиметься із елементів $0ZC$.

Відповідно з врахуванням модульного комплекту і необхідності розсування шпинделів верстату (рух w) отримуємо оптимальне вирішення компоувального рішення багатшпиндельного свердлильного верстату (рис. 2.6).

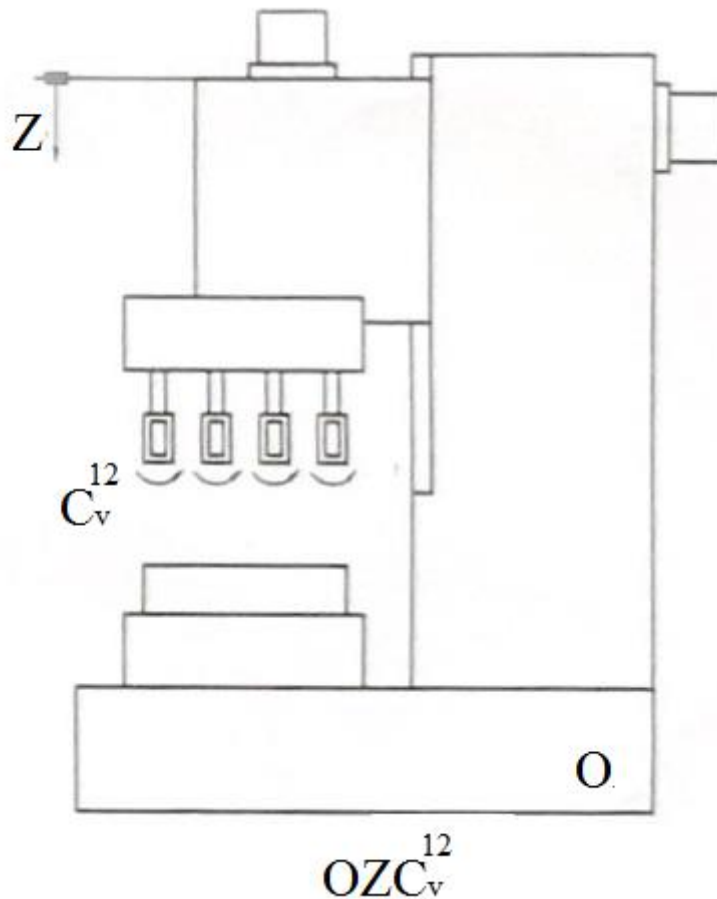


Рисунок 2.6. Шукана оптимальна компоновка верстату

2.5. Кінематичний розрахунок

Кінематичний розрахунок почнемо із побудови структурно-кінематичної схеми, [6,16,19] (рис. 2.7). Така схема повинна відповідати розробленим раніше схемам формоутворення поверхонь і обраний в результаті математичного відбору схемі компоновки.

У розроблюваному верстаті кожний привід (головного руху і подач) мають окремі двигуни Д1 і Д2. Рух від двигуна Д1 подається через пасову передачу на блок Б/V управління параметрами швидкості різання? Коробку швидкостей. Так само для привода подач призначена коробка подач Б/S. Приводи подач і швидкостей зв'язані між собою, бо у верстаті повинна бути забезпечена подача у мм на 1 оберт шпинделя верстату. Окрім того, як видно із структурно-кінематичної схеми забезпечується привід на окремі шпинделі свердлильної головки від основного шпинделя.

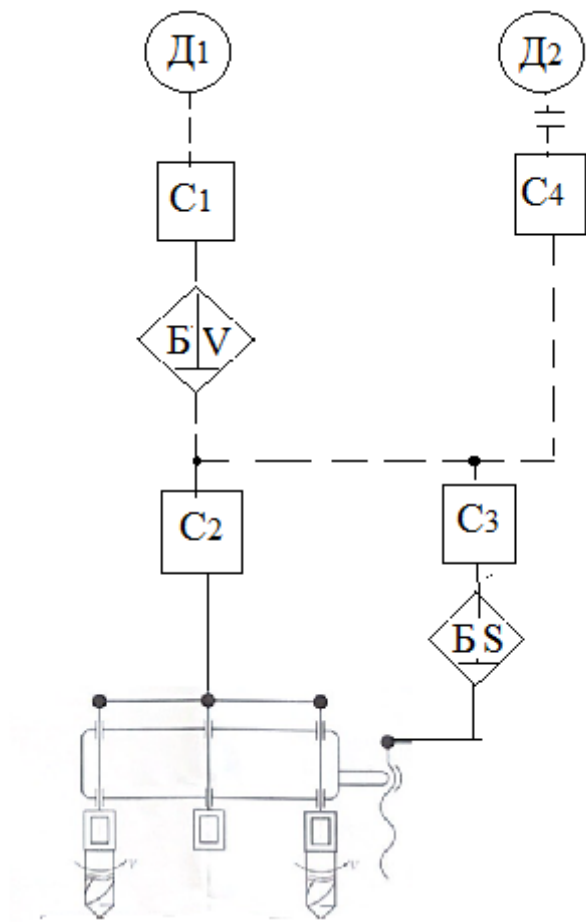


Рисунок 2.7 - Структурно-кінематична схема верстату

Таким чином, кінематика верстату складається із двох кінематичних ланцюгів – кінематичного ланцюга головного руху (обертання шпинделя) і кінематичного ланцюга подач.

Для розроблення кінематичної схеми проведемо кінематичний розрахунок верстату.

Спочатку визначимо діапазон регулювання головного приводу. При цьому скористаємось даними щодо швидкостей різання. Критичними вони будуть для кольорових металів. Приймаємо $V_{\max}=48$ м/хв.; $V_{\min}=5,2$ м/хв.. Відповідні діаметри обробки для верстату – 75 мм і 15 мм.

Для визначення частот обертання скористаємось відомою залежністю, [3]

$$n = \frac{1000V}{\pi d}.$$

Тоді для найбільшої частоти обертання визначимо значення

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 48}{\pi \cdot 15} = 1018(\text{об/хв}).$$

Для найменшої частоти обертання шпинделя матимемо величину

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 5,2}{\pi \cdot 75} = 22,1(\text{об/хв}).$$

Діапазон регулювання приводу головного руху визначимо за формулою

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = \frac{1018}{22,1} = 46.$$

Для подальшого розрахунку відповідно для даних для свердлильних верстатів задаємося значенням коефіцієнту – $\varphi=1,41$ – знаменника ряду геометричної прогресії.

Тоді кількість ступеней приводу головного руху

$$z = 1 + \frac{\lg D}{\lg \varphi} = 1 + \frac{\lg 46}{\lg 1,41} = 11,2.$$

Відповідно приймаємо $z=12$.

З врахуванням рекомендацій для характеристик незалежних груп (2 чи 3) можемо представити кількість ступеней у вигляді такого ряду співмножників, тобто будуюмо структурну формулу приводу:

$$z = 12 = 3_{(1)} \cdot 2_{(3)} \cdot 1 \cdot 2_{(6)}.$$

Таким чином, можемо представити структурну сітку приводу головного руху (рис. 2.8).

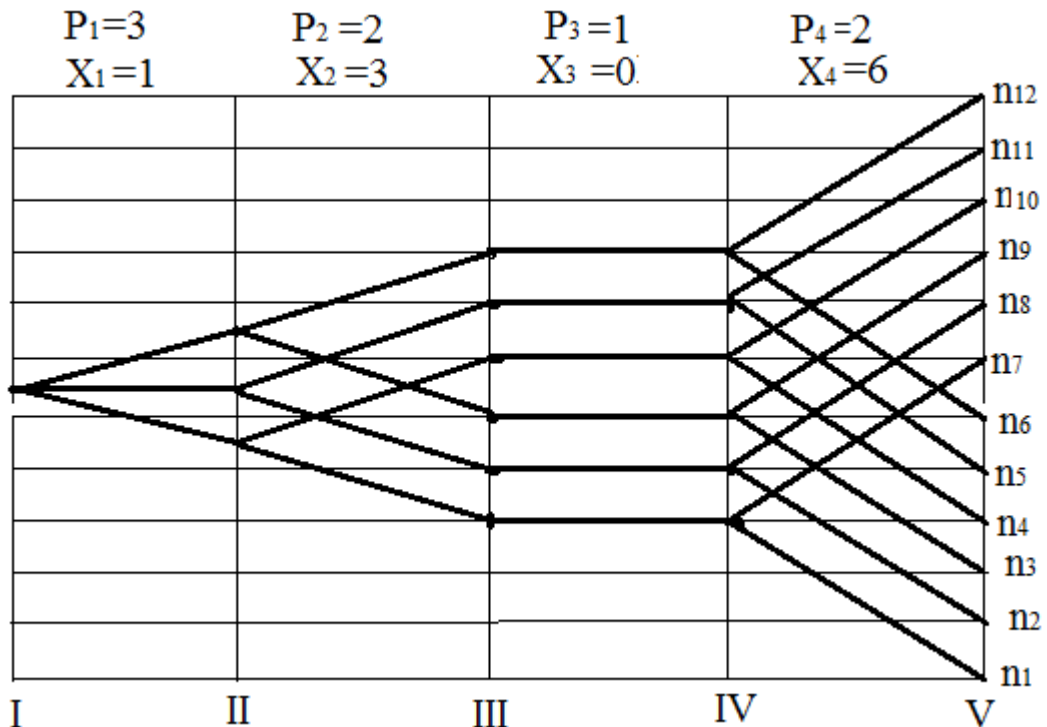


Рисунок 2.8. Структурна сітка приводу

Мінімальне значення частоти обертання – 22,1 об/хв.

Оскільки $\varphi=1,41$, то значення максимальної характеристики β дозволяє побудову графіка чисел обертів нормальної структури.

Прийmemo максимальне значення частоти обертання для двигуна 1500 об/хв.

Тоді загальне передаточне відношення дорівнює

$$u_{заг} = \frac{22,1}{1500} = \frac{1}{67,8}.$$

Розібемо це передаточне відношення на окремі складові:

Тоді матимемо

$$u_{заг} = \frac{1}{67,8} = \frac{1}{1,41} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2,82} \cdot \frac{1}{2,13} \cdot \frac{1}{4}.$$

Визначимо кількість клітинок (y), які відповідають понижуючим передачам кожної з груп:

а) понижаюча група від двигуна: $\varphi=1,41$, а отже $y=1$;

б) основна група: $y=2$;

в) перша група з перебором $y=3$;

г) друга група переборна $y=2$;

д) третя переборна група $y=4$.

В такому випадку можемо побудувати графік чисел обертів для приводу головного руху (рис. 2.9).

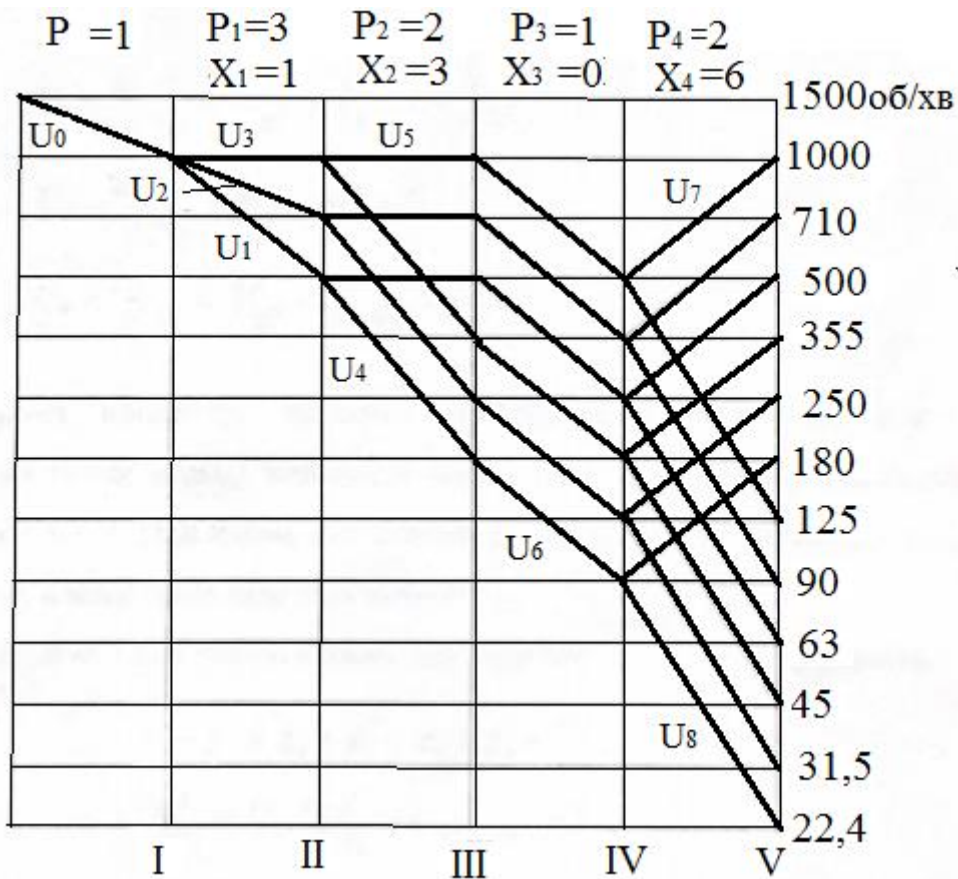


Рисунок 2.9 – Графік чисел обертів

Таким чином, користуючись графіком чисел обертів можна визначити передаточні відношення і відповідні числа зубів. При цьому будемо вважати, що модуль всіх зубчастих пар однаковий, а також однаковими є і міжосьові відстані зубчастих коліс. Результати розрахунку зведемо у таблицю 2.9.

Таблиця 2.9

Значення передаточних відношень і числа зубів

U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8
1/1,41	1/2	1/1,41	1	1/1,81	1	1/2,13	2	1/4
D_1/D_2	z_1/z_2	z_3/z_4	z_5/z_6	z_7/z_8	z_4/z_9	z_{10}/z_{11}	z_{12}/z_{11}	z_{11}/z_{14}
125/160	20/40	25/35	30/30	18/50	35/33	18/38	52/38	18/72

Таким чином, можемо зобразити елемент кінематичної схеми, що стосується головного руху (рис. 2.10).

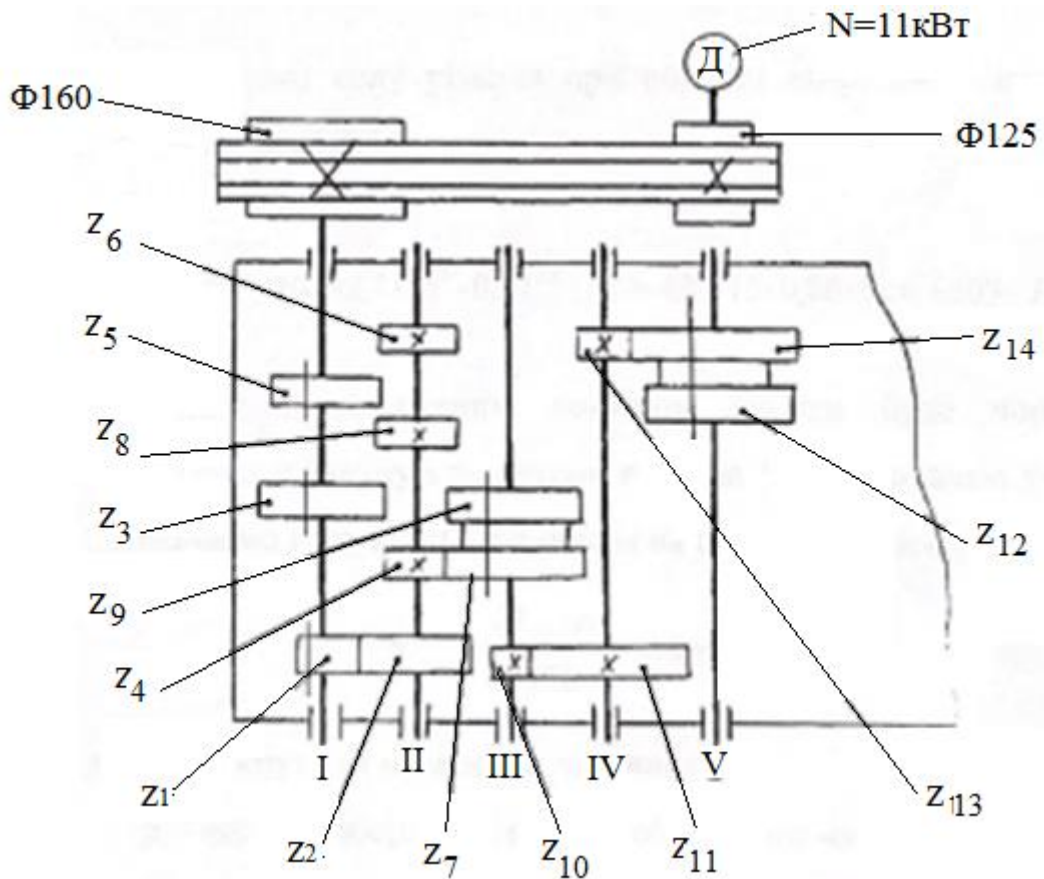


Рисунок 2.10 – Кінематична схема для приводу головного руху

2.6. Вибір електродвигуна і конструювання шпindelного вузла

Для вибору електродвигуна проведемо силовий розрахунок.

Для різання свердлами із найбільшим і найменшим діаметром визначимо сили різання.

Матеріалом для свердління вибираємо сірий чавун.

На свердло діє осьова сила різання. Визначимо її значення за відомою формулою, [13]:

$$P_o = 9,8 \cdot C_p d^{q_p} s^{Y_p} K_p.$$

Згідно до нормативних даних, [13] вибираємо величини коефіцієнтів і показників ступенів при діаметрі і подачі:

$$C_p = 43; q_p = 1,0; Y_p = 0,8.$$

Визначимо також значення поправочного коефіцієнта, [13]: $K_p=1,2$.

Тоді для діаметра свердління $d=75$ мм і подачі свердла $0,11$ мм/об матимемо

$$P_o = 9,8 \cdot 43 \cdot 75^{1,0} 0,11^{0,8} 1,2 = 3792(H).$$

При обробленні ж свердлом діаметром 15 мм і подачею $0,57$ мм/об матимемо інші значення, а саме

$$P_o = 9,8 \cdot 43 \cdot 15^{1,0} 0,57^{0,8} 1,2 = 6523(H).$$

Отже, робимо висновок, що навантаженішим є другий випадок, і, таким чином, критичним випадком є режим:

$$d = 15\text{мм}; s = 0,57\text{мм/об}.$$

Визначимо потужність на шпинделі і процесі різання за відомою формулою, [19]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{M_{\text{кр}} n}{9750}, \text{кВт}.$$

При крутному моменті $M_{\text{кр}}=60,6$ Нм і частоті обертання шпинделя 125 об/хв., матимемо

$$N_{\text{різ}} = \frac{60,6 \cdot 125}{9750} = 7,76\text{кВт}.$$

Відповідно з врахуванням коефіцієнтів корисної дії – $\eta=0,8$ і коефіцієнту перевантаження двигуна $1,1$ матимемо:

$$N_{\text{еф}} = 10,67\text{кВт}.$$

В результаті вибираємо електродвигун типу 4А132М потужністю 11 кВт.

Проведемо розрахунок шпиндельного вузла.

Компоновка шпиндельного вузла є важливою частиною його конструювання. Вона, як правило, пов'язана із компоновкою самого верстату. В нашому випадку мова йде про конструювання вузла багатшпиндельного верстату. Тому таке конструювання пов'язане із кількістю шпинделів та їх розміщенням. Тому будемо розглядати шпиндельний вузол як частину свердлильної головки.

Ескіз шпиндельного вузла і його розрахункову схему можна представити як показано на рис. 2.11.

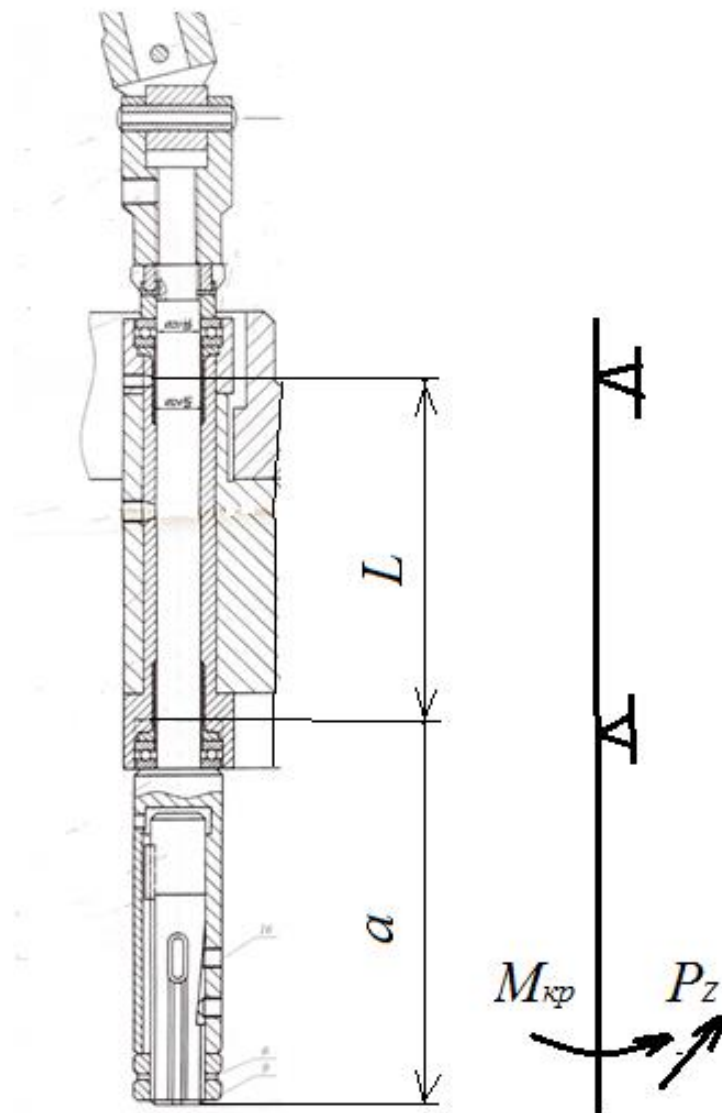


Рисунок 2.11 – Ескіз шпиндельного вузла із розрахунковою схемою

Силowymi факторами, що діють при свердлінні є осьова сила і крутний момент $M_{кр}$, який сприяє деформації шпинделя і уведенні свердла від напрямку його осі.

Для визначення діаметра шпинделя скористаємось формулою, [20]:

$$d_{ш} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 60,6}{3,14 \cdot 20}} = 0,0052 \text{ м.}$$

Конструктивно приймаємо найменший діаметр $d=20\text{мм}$.

Тепер розглянемо деформації шпинделя.

Зусиллям, яке деформує шпиндельний вузол, є сила P_z . Максимальне значення сили –

$$P_z = 2M_{кр} / d = 2 \cdot 60,6 / 0,02 = 6060 \text{ (Н)}.$$

Якщо не враховувати жорсткості шпиндельних опор, то для величини деформації в радіальному напрямку від дії сили P_z можна запропонувати такий вираз, [6, 21]

$$y_{ш} = P_z \frac{a^2}{E} \left(\frac{a}{I_2} + \frac{L(1-k)}{I_1} \right).$$

У цій формулі I_1 і I_2 – це моменти інерції шпинделя на робочому кінці і між опорами. Наближено приймемо $I_1=I_2=I$. Крім того зауважимо, що коефіцієнт зацмлення передньої опори в нашоу випадку дорівнює 0.

Тоді наведена формула набуде вигляду

$$y_{ш} = P_z \frac{a^2}{EI} (a + L).$$

Для першого наближення при розрахунку приймемо, що $a=L$.

Тоді матимемо:

$$y_{uu} = 2P_z \frac{a^3}{EI}.$$

Звідси для початкового визначення параметрів шпindelного вузла скористаємось існуючою залежністю для допустимих деформацій, [23], зокрема:

$$y_{uu} = 2P_z \frac{a^3}{EI} < 0,001L.$$

Тоді матимемо, що

$$\frac{L}{a} \approx \frac{2000P_z}{EI} a^2,$$

або

$$a \approx 0,01 \sqrt{\left(\frac{L}{a}\right) \frac{EI}{0,2P_z}}.$$

Така формула дає можливість представити графічно співвідношення функцій (L/a) і a .

Розробимо відповідну програму розрахунку в середовищі MathCAD, [22].

Зобразимо програму на рис. 2.12.

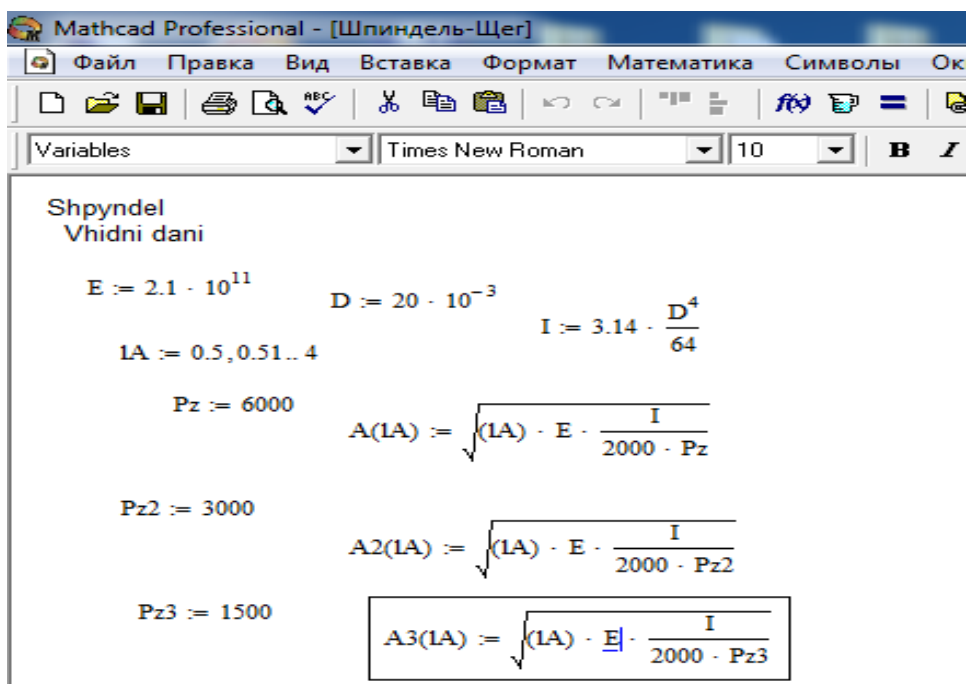


Рисунок 2.12 – Програма розрахунку

Результати розрахунку наведені на рис. 2.13.

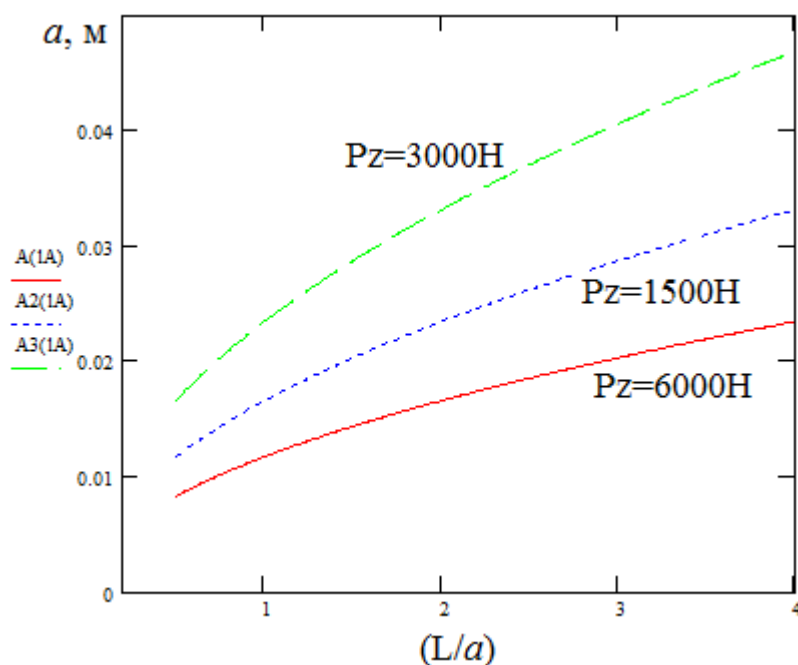


Рисунок 2.13 – Визначення a в залежності від L/a

Таке представлення розрахунку шпindelьного дає можливість легко визначати його геометричні розміри.

Висновки по розділу 2

Можемо сформулювати такі висновки.

1. Проведено аналіз технологічних операцій щодо одночасного свердління отворів у декількох деталях-представниках.

2. Показано на прикладах комплекс рухів формоутворення як свердлувальних, так і інших операцій, що використовуються при роботі багатошпиндельного верстату.

3. В результаті розгляду характеристик верстатів-аналогів запропоновано подальший хід конструювання приводу.

4. На основі розроблених схеми формоутворення проведений математичний відбір шуканої структурної формули компоновки і відповідного компоувального вирішення верстату.

5. Проведений кінематичний розрахунок: запропонована структурно-кінематична схема, розроблені структурна сітка і графік кількості обертів приводу головного руху верстату.

6. Розгорнуто кінематичну схему головного приводу із обґрунтування розрахунку кількості зубів та здійснено вибір електродвигуна.

7. Запропонований новий підхід щодо розрахунку геометричних параметрів шпиндельного вузла багатошпиндельного верстату на основі формули співвідношення між опорної відстані і вильоту шпинделя з використанням розробленої комп'ютерної програми і графічного представлення результатів.

3. Науково-дослідна частина

3.1. Послідовність досліджень

Основну мету, яку ми ставимо перед собою у науковій частині досліджень ми ставимо так: визначення ефективності використання запропонованих саморегульованих свердлильних пристроїв при одночасному свердлінні декількох отворів.

Відповідно методика таких досліджень поєднує у собі структурно-конструкторську частину і науково обґрунтовані розрахунки. Тому приблизну послідовність досліджень можна уявити так, як представлено нижче.

- 1) Обґрунтування варіантів регулювання фактором подачі інструменту при перехідних процесах свердління наскрізних отворів.
- 2) Розроблення для свердління наскрізних отворів структурних схем збірних пристроїв, що забезпечують регулювання процесу на основі варіантів розміщення векторів, що символізують рухи в оснащенні.
- 3) Опис конструкцій свердл із пружинними, конусно-шариковими і гідравлічними засобами адаптації до регулювання поздовжньої подачі.
- 4) Пропозиція методик математичного розрахунку елементів свердлильних пристроїв.
- 5) Графічний аналіз результатів розрахунків для випадку свердління наскрізних отворів.
- 6) Створення математичної моделі порівняльної ефективності використання саморегульованих свердл при обробленні наскрізних отворів на багатошпindelному верстаті.
- 7) Дослідження розробленої математичної моделі для різних значень величин характеристик робочого процесу.
- 8) Обґрунтування висновків щодо використання саморегульованих пристроїв зміни подачі при одночасному свердлінні наскрізних отворів різного діаметру.

3.2. Можливості регулювання формоутворюючими рухами при обробці наскрізних отворів

У розділі 1 проаналізовані основні причини перевантажень інструментів при обробці, зокрема наскрізних отворів у деталях машин. Ці перевантаження, що виникають в процесі лезового оброблення, поряд із зміною інерційних, демпфувальних властивостей верстано-інструментального спорядження, змін жорсткостей у конструктивних елементах і власне інструментах, можна попередити за рахунок регулювання формоутворюючими рухами обробної системи. При цьому можна змінити і характеристики самого процесу оброблення.

При свердлінні виділяють 2 формоутворюючих рухи, [3] - рух швидкості різання (рух обертання (здебільшого інструменту)) D_r і рух подачі D_s , яка спрямована вздовж осі оброблюваного отвору.

Із теорії адаптивного керування верстатами [Солом] відомо, що регулювання швидкістю різання не завжди є доцільним, бо пов'язане із керуванням значними потужностями, що є енергозатратним. Тому краще регулювати подачу інструменту.

При розробленні і конструюванні різноманітних пристроїв керування подачею може з'являтися велика множина конструкцій і схем. Для досягнення мети необхідно намагатись створити інструменти із найбільш раціональною функцією якості (максимальним значенням цільової функції), у даному випадку саморегулювання перехідними процесами. Тому в процесі вибору при дослідженнях оброблення наскрізних отворів доцільно розглядати як базові для конструювання можливості регулювання формоутворюючими рухами у процесах: врізання в заготовку, усталеного процесу різання і виходу інструменту.

Для наглядності такого вибору використаємо рис. 3.1, на якому показаний деревоподібний граф регулювання формоутворюючими рухами при оброблення з врахуванням постійного значення швидкості різання.

Окремі гілки цього графу ілюструють різноманітні поєднання рухів подач в процесі наскрізного свердління.

Таке поєднання передбачає, що на етапі врізання в тіло заготовки подача може приймати як постійне $s_{\text{пост}}$, так і змінне значення $s_{\text{змін}}$. При усталеному процесі різання, коли тіло свердла повністю знаходиться в отворі, значення подачі теж може бути або постійним, або змінним. Та ж картина і при виході інструменту із матеріалу заготовки: подача постійна або ж змінна.

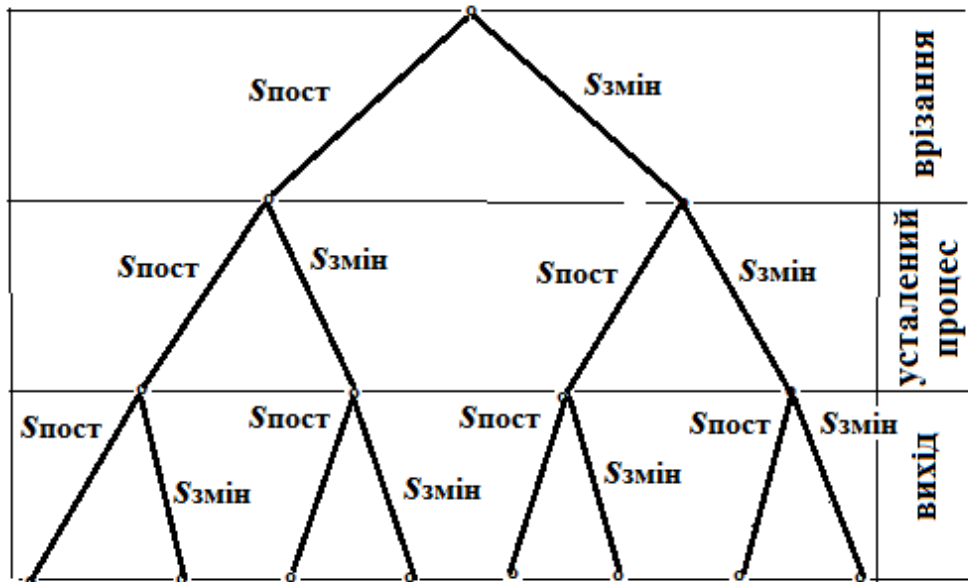


Рисунок 3.1 - Граф поєднання різних значень подачі інструментів при наскрізному свердлінні

Аналізуючи цей граф можна показати його окремі раціональні гілки:

- 1) врізання $s_{\text{пост}}$ → усталений рух $s_{\text{пост}}$ → вихід інструменту $s_{\text{змін}}$;
- 2) врізання $s_{\text{змін}}$ → усталений рух $s_{\text{пост}}$ → вихід інструменту $s_{\text{змін}}$;
- 3) врізання $s_{\text{змін}}$ → усталений рух $s_{\text{змін}}$ → вихід інструменту $s_{\text{змін}}$.

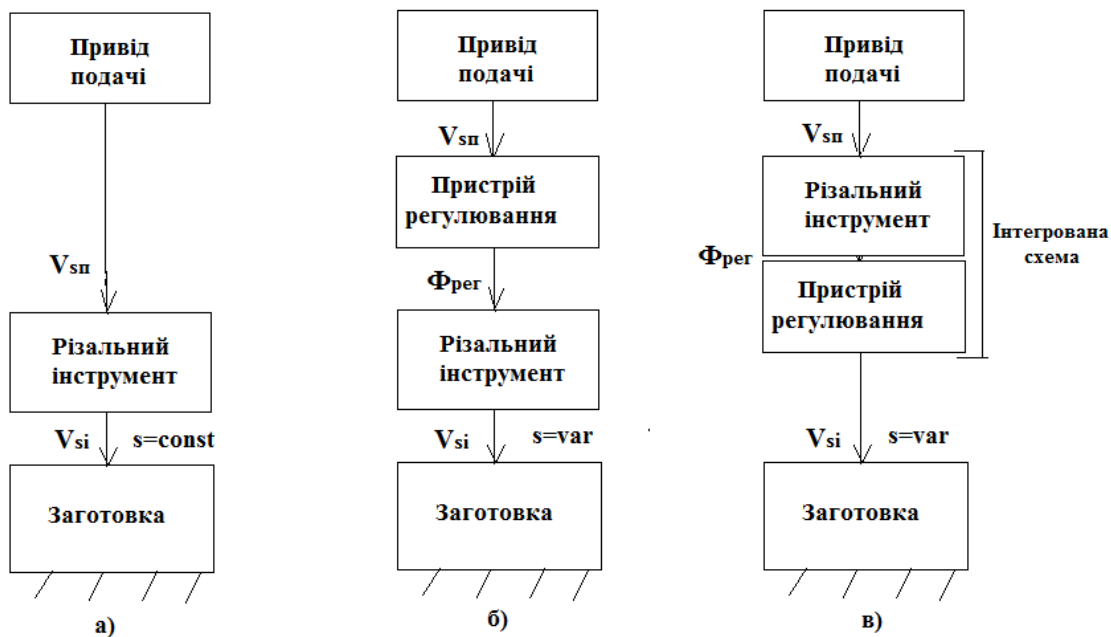


Рисунок 3.2 - Варіанти розміщення пристроїв саморегулювання

Ці приклади дають можливість побачити те, що для регулювання перехідних процесів різання необхідно провести декомпозицію елементів верстату і забезпечити узгодження між швидкістю подачі $V_{сп}$, що створюється приводом подачі, і швидкістю подачі власне різального інструменту $V_{сі}$ (більш загально – його лез). Цей підхід вперше був запропонований С.Г. Нагорняком, [5]. Причому таку структуру можна зобразити схемами для різних конструктивних варіантів (рис. 3.2).

Зокрема, схема рис.3.2, а показує приклад традиційного оброблення. При цьому $V_{сп} = V_{сі}$, і подача при різанні є постійною ($s = const$).

Рисунок 3.2., б показує розміщення пристрою регулювання перед інструментом. Встановлення режиму регулювання відбувається при здійсненні функції регулювання Фрег. Таким чином, досягається значення подачі, що змінюється $s = var$.

Застосування інтегрованої схеми (коли пристрій регулювання вбудований (інтегрований) власне у конструкцію інструменту перетворює обробну систему на саморегульований пристрій. При цьому значення подачі може набувати різних значень в залежності від прийнятого закону регулювання подачі у саморегульованому пристрої ($s = var$).

Таким чином, реалізується принцип забезпечення узгодженості векторів швидкостей елементів свердлильного спорядження.

Цей принцип полягає в тому, що вектори швидкостей спорядження розміщують співвісно із напрямком подачі, або ж паралельно чи з нахилом, причому вектори, які є співвісними, зміщують відносно осі обертання такого збірної інструменту для свердління.

Позитивний ефект для свердління наскрізних отворів від такого підходу полягає в тому, що в процесі врізання або ж виходу лез інструменту із тіла заготовки в момент часу, що відповідає, наприклад, початковому положенню вершини свердла відносно торця заготовки, швидкість осьового переміщення виявляється меншою від постійного значення осьової швидкості свердла, що створюється приводом подачі верстату. Таким чином, можна уникнути перевантаження інструменту в процесі оброблення наскрізного отвору.

3.3. Дослідження фактору зміни подачі при свердлінні наскрізних отворів

Загалом, характер поведінки фактору подачі при свердлінні наскрізних отворів є складним., особливо зважаючи на перехідні процеси. Так, при виході свердла із тіла заготовки може істотно змінюватись значення крутного моменту. У ряді праць, [7, 8] вказується, що при виході інструменту із отвору відбувається перетворення потенціальної енергії приводу верстату, накопленої при врзанні і здійсненні у сталеного процесу, у зростаючу кінетичну енергію, яка реалізується різким ривком подачі і збільшенням крутного моменту. Тому ці і подібні дослідження рекомендують при виготовленні наскрізних отворів зменшувати подачу на виході свердла. В той же час самі характеристики зміни подачі при виході інструменту залишаються не до кінця вивченими. Досить повно обґрунтовані причини зміни подачі при наскрізному свердлінні у праці, [7, 8]. Важливим є дослідження характеру зміни подачі при виході свердла з урахуванням як конструкторських особливостей інструментів, так і від жорсткості верстаної системи, або ж і від характеристик міцності свердел. Така задача вирішувалась П.Д. Кривим, В.Р. Кобельником, [7, 8]. Розглядалися питання вивченн дії на фактор подачі пластичної міцності матеріалу інструменту, можливості втати стійкості свердел як консольно закріплених стержнів, міцності свердлильних інструментів на кручення та можливостей самого верстату.

Так, значення подачі, що обмежується міцністю свердла з врахуванням діаметральних розмірів D , крутного моменту M і полярного моменту інерції W визначається нерівністю:

$$S \leq S_{\text{міц}} = \frac{M}{W} = \frac{C_M D^{x_M} S^{y_M}}{W} = C_S D^{x_S},$$

де C_M , C_S , x_M , y_M , x_S – відомі коефіцієнти і показники ступенів.

Подібні формули можна привести і для інших випадків розрахунків.

Так, якщо розглядати свердло як консольно закріплений стержень, що може втратити стійкість, то в узагальненому вигляді

$$S \leq S_{стк},$$

а якщо зауважити залежність подачі від пластичності матеріалу інструменту, то

$$S \leq S_{плс}.$$

Для свердл значного діаметру подача може обмежуватись задтністю приводу подач. Тоді

$$S \leq S_{прв}.$$

де

$$S_{прв} = \left(\frac{C_1}{D^{xp}} \right)^{1/ур},$$

і C_1 - коефіцієнт, що має постійне значення, а xp і $ур$ – показники ступенів при осьовій силі свердління.

Аналіз вказаних нерівностей показує, що вони виявляються функціями діаметру D свердла. При цьому встановлено, [8], що для менших діаметрів свердл для подачі лімітуючою є згинна міцність свердла, і лише при більших діаметрах – обмеження накладають інші характеристики. В роботі, [8] такж побудовані номограми, які характеризують допустимі значення подач в залежності від діаметрі свердла. Одна із таких примірних номограм має вигляд (рис. 3.3):

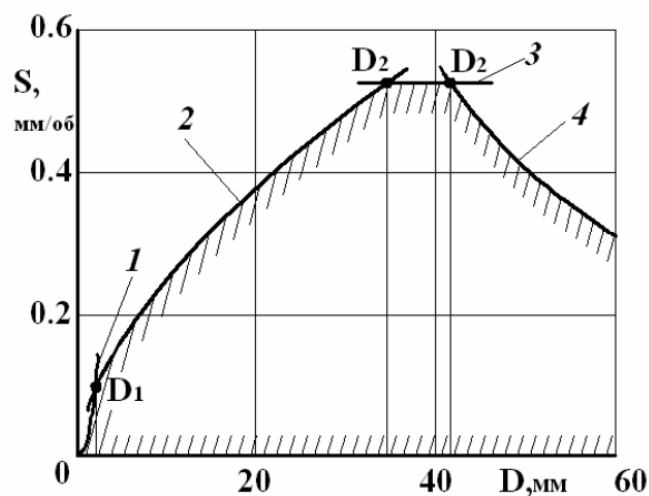


Рисунок 3.3 - Примірна номограма визначення подачі свердлінні залежно від діаметру свердла

Висновки, отримані зазначеними дослідниками обґрунтовують характер зміни подачі. Тому наведені міркування можуть служити основою для подальшого дослідження.

Слід також звернути увагу на проблему уведення свердла. Для уникнення цього негативного фактору необхідно забезпечити постійну рівність зусиль на окремих лезах свердла безпосередньо при свердлінні.

Це є можливим, коли між інструментами встановити зв'язок адаптивного типу, який би забезпечив вирівнювання осьових навантажень на лезах. Зв'язок може бути механічним, або ж, наприклад, гідравлічного типу. В процесі роботи такого свердла відбувається перерозподіл миттєвих подач на різальних елементах до моменту поки не встановиться рівновага. При цьому миттєво будуть змінюватись товщини зрізу.

Отже, ще одним принципом саморегулювання подачі є впровадження свердел з лезами, що є рухливими у поздовжньому напрямку і безпосередньо зв'язані між собою. Стосовно зазначених у п. 3.2 векторів швидкостей, то цей випадок кінематичного зв'язку відповідає їх паралельному розташуванню.

При цьому можна поєднати використання свердла із нормативними характеристиками із високопродуктивними технологічними факторами.

3.4. Розроблення структурних схем

Створення функціональних схем, що описують структуру саморегульованих свердел проведемо орієнтуючись на картину векторів відносних швидкостей елементів спорядження.

Спочатку розглянемо три схеми, які описують збірні свердла з послідовним розміщенням пружин, із конусно-шариковими пристроями і з пружинами розміщеними концентрично по колу (рис. 3.4). У всіх цих побудовах вектор V_s осьової швидкості подачі, яка задається приводом верстату співпадає з поздовжною віссю отвору і спрямований у напрямку руху. Для пружинного пристрою (рис. 3.4, а) власне вектор подачі

інструменту V_{si} розміщений співвісно. Відставання цього вектора від вектора V_s досягається сумісною роботою пружин П1 і П2. Регулювання неузгодження між векторами відбувається з використанням регульованого упора У.

При врізанні стискається пружина П1, що забезпечує плавне врізання різальних лез в заготовку. При виході інструменту із заготовки за рахунок контакту кільця К з упором У спрацьовує пружина П2 більшої жорсткості і відбувається плавний вихід із свердла із отвору.

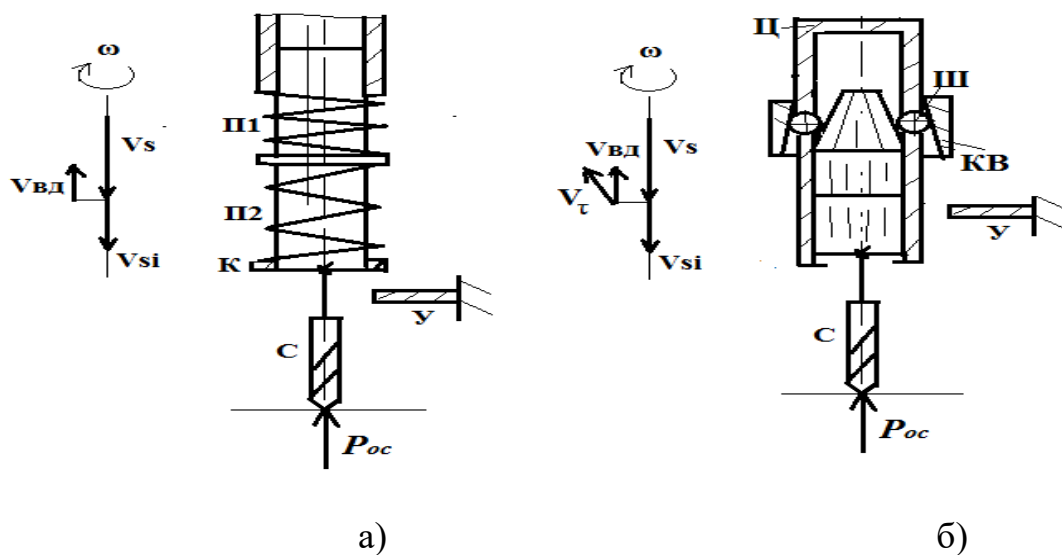


Рисунок 3.4 - Векторні і функціональні схеми пружинних і конусно-шарикових саморегульованих пристроїв

Якщо вектор V_t нахилений до поздовжньої осі, то матимемо іншу картину. Цей вектор реалізується конусним (фасонним) механізмом регулювання швидкоті подачі інструмента – свердла С. При цьому проміжків шарик Ш встановлюється у радіальному отворі циліндра Ц, який представляє собою корпус свердлильного пристрою. Всередині циліндра встановлена оправка із внутрішньою поверхнею у вигляді конічної втулки КВ, для взаємодії з якою призначений упор У. Таким способом формується вектор швидкості відставання $V_{вд}$. Таким чином забезпечується відставання вектора швидкості свердла V_{si} від вектора швидкості подачі приводу V_s . Слід відмітити, що залежно від форми поверхні втулки КВ можна забезпечити як

лінійне зменшення подачі при виході свердла, так і двоступінчасте або ж за нелінійним законом.

Плавне регулювання процесу виходу свердла із наскрізного отвору може бути досягнуте і при змінній кутовій швидкості на даному етапі обробки, причому ця кутова швидкість буде зростаючою (рис. 3.5, а).

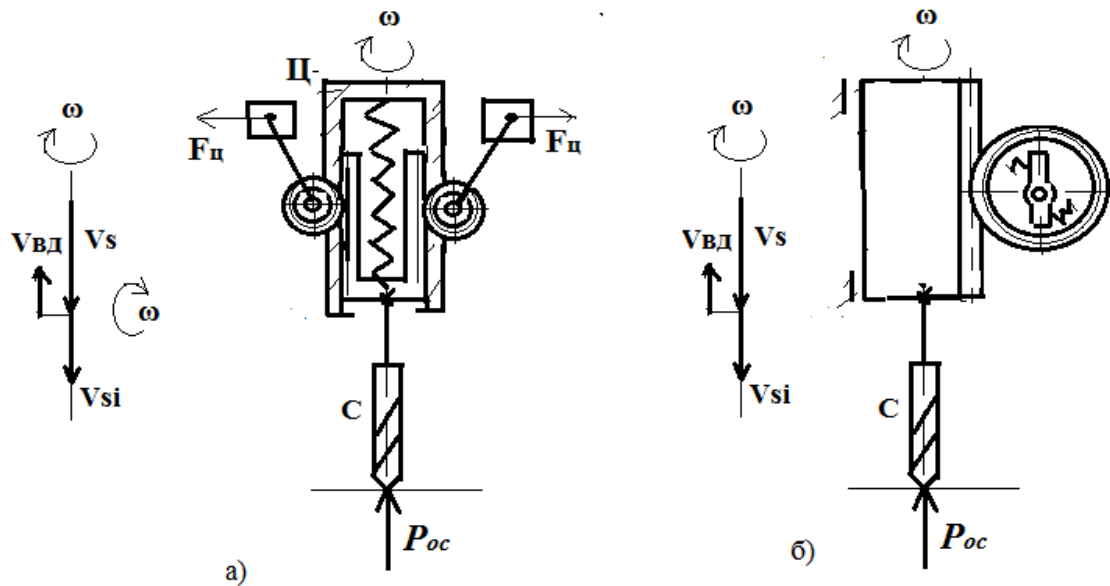


Рисунок 3.5 - Векторні і функціональні схеми саморегульованих пристроїв, побудованих за круговою закономірністю

При цьому вектор $V_{сд}$ утворюється за рахунок відносної кутової швидкості шестерен, які знаходяться у зачепленні із відцентровим механізмом у вигляді вантажів, які обертаються. Відносна зміна рівномірного руху відбувається за допомогою відцентрових сил $F_{ц}$. Збільшення кутової швидкості обертання в період виходу свердла з отвору із одночасним зменшенням подачі забезпечує відповідні вимоги і до продуктивності обробки.

Можливою також є реалізація механізму, коли вектор швидкості подачі свердла $V_{сi}$ формується за рахунок відносної кутової швидкості, що отримується від деформацій пружин стиску, розміщених у круговому напрямку. Під час врізання у заготовку пружини стискаються, накопичуючи потенціальну енергію. При виході свердла із заготовки ця енергія

вивільняється, що забезпечує плавний вихід свердла С за рахунок пружних сил.

Розглянемо також варіанти функціональних схем саморегульованих свердел зі зв'язками між розділеними лезами, такі працюють самостійно (рис. 3.6).

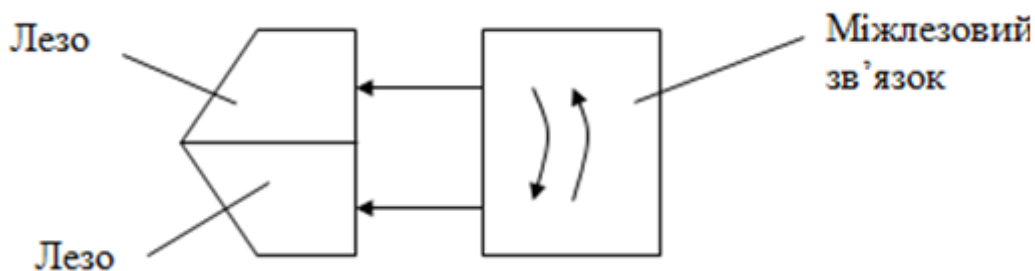


Рисунок 3.6 – Принцип побудови свердел зі зв'язками між лезами

На рис. 3.7 наведені схеми, які ілюструють різні можливі побудови конструкцій такого типу інструментів.

Так, рис. 3.7, а показує варіант, коли зв'язок відсутній, а леза жорстко кріпляться до корпусу інструменту.

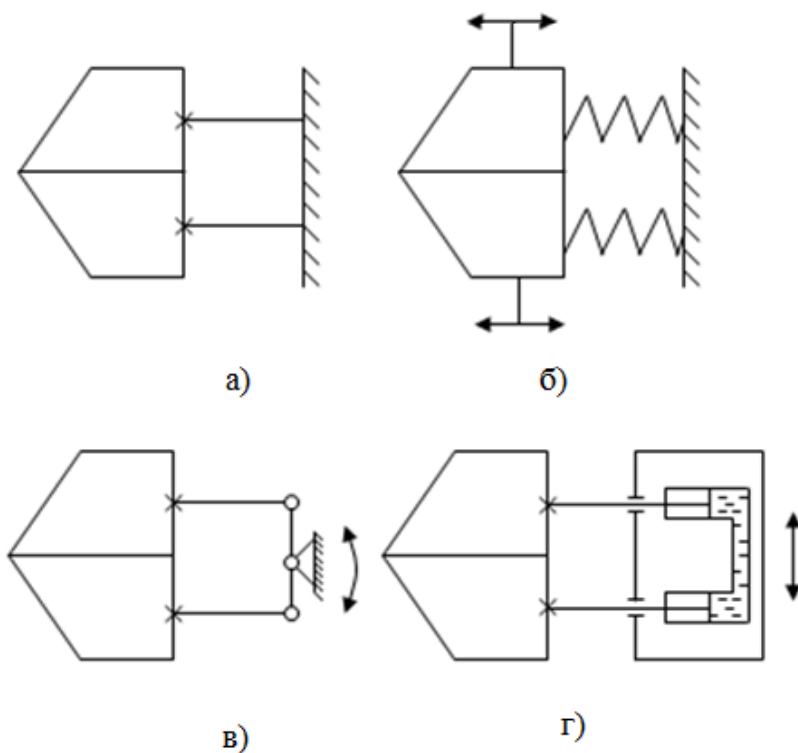


Рисунок 3.7 – Варіанти схем із міжлезовим зв'язком

Варіант б) рис. 3.7 показує випадок із підпружиненими лезами.

Інші варіанти рис. 3.7, ілюструють схеми зі зв'язками між лезами (в) з важільним зв'язком і г) – з гідравлічним зв'язком.

3.5. Опис конструктивних виконань

Більш простими є пружинні саморегульовані пристрої. Як вказано на рис. 3.4 і 3.5 пружні елементи встановлюють як всередині циліндрів, так і за їх межами, або ж розміщують по концентричним пазам навколо ведучих елементів.

Так двопружинні свердлильні пристрої можуть мати осьову і радіальну компоновку і бути споряджені пружинами із різними жорсткостями.

На рис. 3.8 показаний автоматичний двопружинний пристрій із послідовним розміщенням пружин.

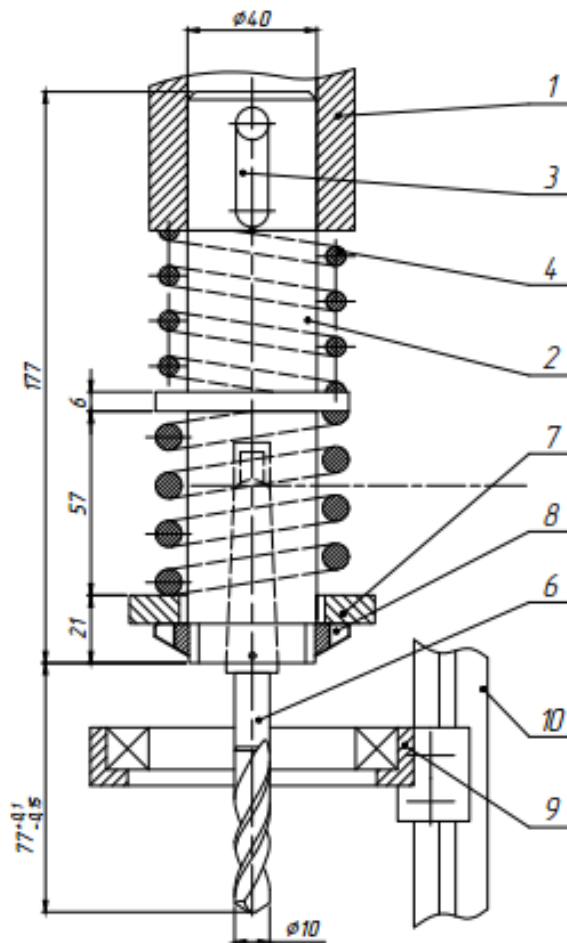


Рисунок 3.8 – Саморегульований пристрій із послідовним розміщенням пружин

Пристрій складається із напрямного циліндра 1, в якому піноль 2 може рухатись у поздовжньому напрямку в співвісних пазах 3. Між буртиком пінолі 2 розміщені пружини 4 і 5 різної жорсткості (жорсткість пружини 5 є більшою від жорсткості пружини 4). Свердло 6 закріплене в пінолі. Кільце 7 стискає пружину 5 за допомогою гайки 8. Розміщення упору 9 регулюється його закріпленням на стійці 10.

Під час врізання осьова сила свердління сприймається пружиною 4 (меншої жорсткості). При виході свердла із отвору нижній кінець пружини 5 більшої жорсткості входить у контакт із упором 9.

Подібною є конструкція саморегульованого свердла із конструкцією, яка передбачає концентричне розміщення пружин всередині одна одної (рис. 3.9).

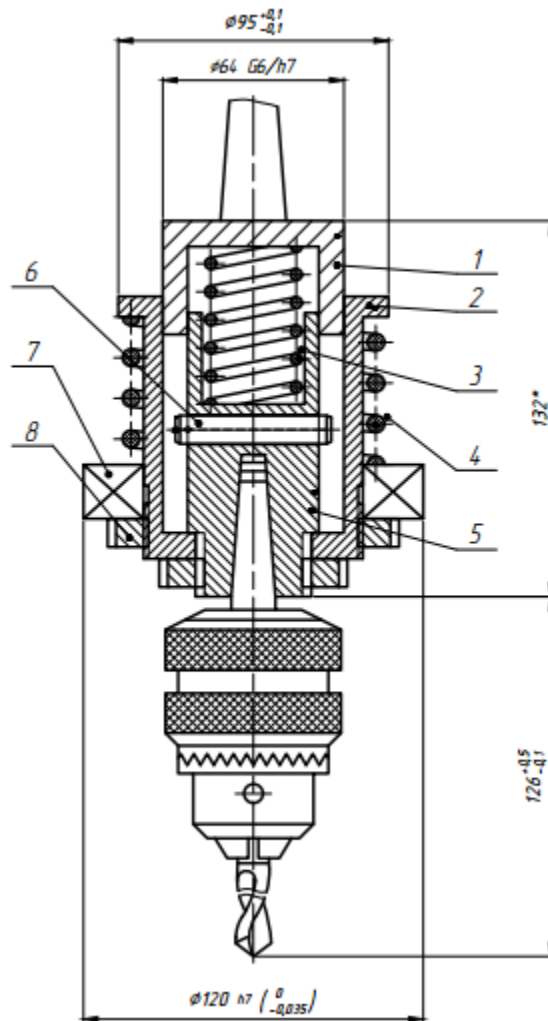


Рисунок 3.9 – Пристрій із співвісними пружинами

Пристрій складається із корпусу 1, який отримує рух від приводу подач. Корпус 1 може переміщуватись у поздовжньому напрямку у стакані 2. У пристрої встановлені пружини: більшої жорсткості 3 і меншої жорсткості 4. Пружина 3 верхнім торцем контактує із корпусом 1, а нижнім торцем – із гільзою 5, яка від провороту утримується пальцем 6. Пружина 4 більшої жорсткості верхнім торцем контактує із буртиком стакану 2, а нижнім – із кільцем 7, положення якого регулюється гайкою 8. Свердло 9 своїм конусом кріпиться у гільзі 5.

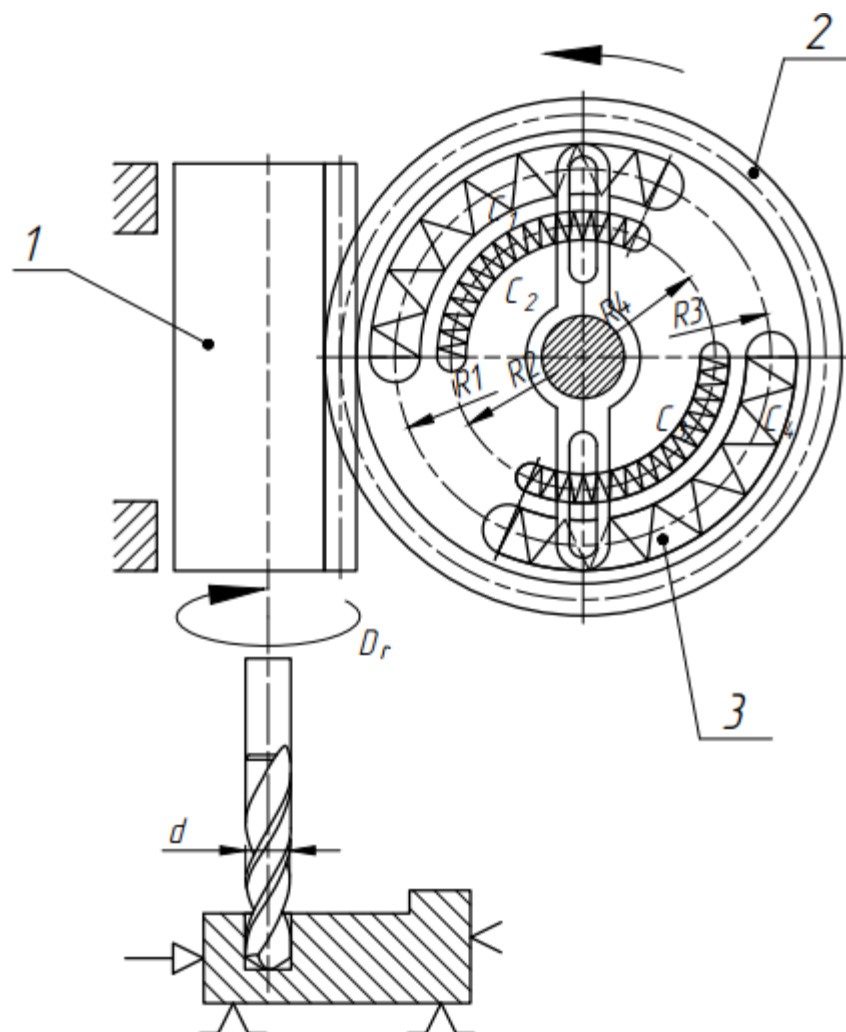


Рисунок 3.9 – Саморегульований пристрій для свердління із коловим розміщенням пружин

На рис. 3.9 показаний механізм, який доцільно використовувати для верстатів-автоматів з автоматичною подачею інструменту при виході

свердла. Пристрій виконаний у вигляді пружної муфти. В зачепленні із піною 1 сверлильної голвки знаходиться зубчасте колесо 2 (як ведена пів муфта). На торці колеса 2 виконані пази із розміщеними в них пружинами стиску і вкладиші із отворами. Ведуча пів муфта виконана у вигляді важеля 3, який жорстко пов'язаний із валом. У важелі 3 виконані прорізи із сухарями з наскрізними отворами. На рис. 3.9 зображений варіант з пазами радіусів R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . Перед початком роботи проводять налагодження пристрою. Включення в роботу необхідних пружин відбувається за рахунок зеднання циліндричних пальців сухірів з відповідними вкладишами, розміщеними у пазах веденої пів муфти.

Для власне регулювання подачі в сторону її зменшення в процесі виходу свердла із отвору можна застосовувати конусно-шарикові регулятори.

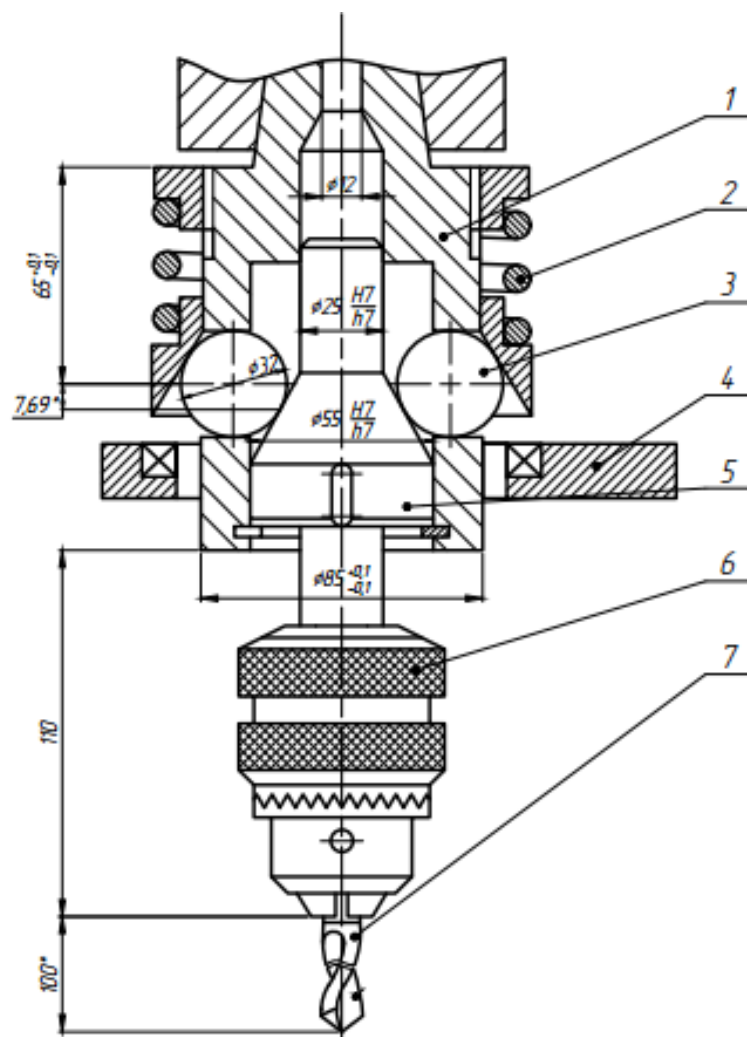


Рисунок 3.10 - Конусно-шариковий регулятор подачі

Регулятор містить корпус 1. Корпус 1 містить конічну втулку 2. З допомогою шариків 3 ця втулка контактує із конічною поверхнею регулятора. Ця конічна поверхня виконана на веденій оправці 5, з якою з'єднаний патрон 6 зі свердлом 7. При виході свердла 7 із заготовки конічна втулка 2 входить у контакт із упором 4 і зупиняється. При подальшому переміщенні корпусу 1 відносно вже нерухомої втулки 2 шарики 3 розходяться в радіальному напрямку. Через це відбувається відставання оправки зі свердлом 7 відносно подачі корпусу 1.

Для вирівнювання осьових складових сил свердління можна застосовувати інструмент із окремими лезами, між якими забезпечений в осьовому напрямку гідравлічний зв'язок (рис. 3.11).

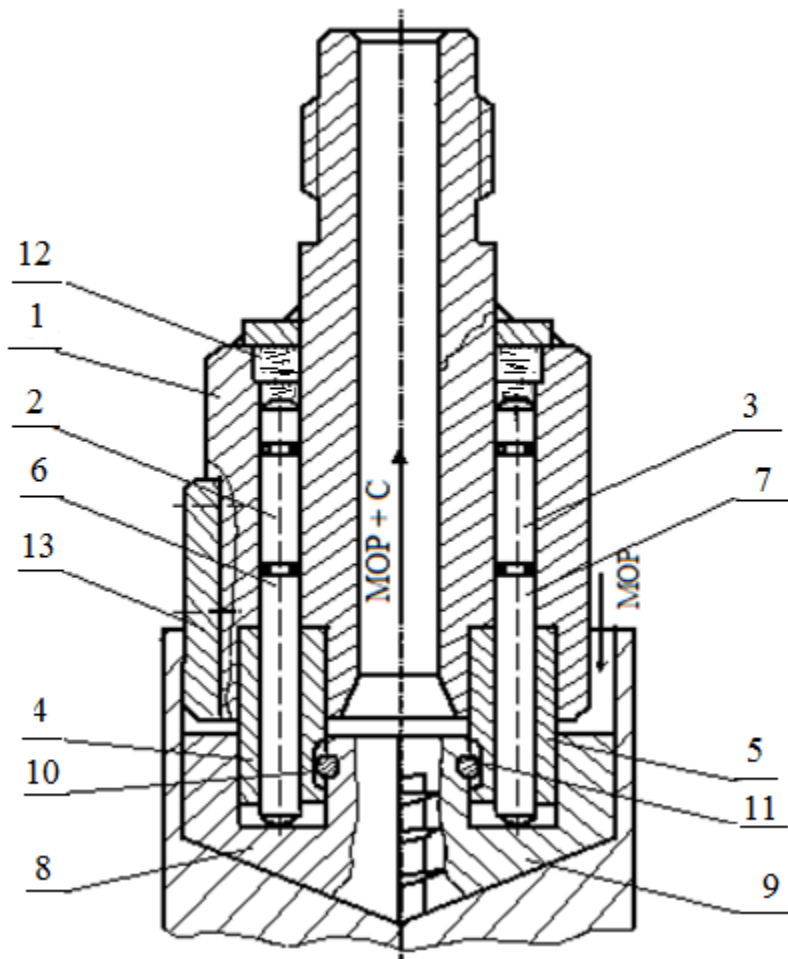


Рисунок 3.11 – Інструмент з гідравлічним зв'язком

Такий інструмент забезпечує підвищене демпфування.

Дволезове свердло складається із корпусу 1, в якому виконані поздовжні отвори. У цих отворах знаходяться плунжери 2 і 3. Кінці цих плунжерів знаходяться в отворах втулок 4 і 5, які в свою чергу з'єднані із корпусом 1. Ці втулки, як і пальці 6 і 7 виконують роль напрямних для лез 8 і 9 даного збірного свердла. Циліндричні пальці 10 і 11 виконують обмежувальну функцію щодо лез. З'єднання гідравлічної системи відбувається через канавку 12. Для базування свердла служать пластини 13.

3.6. Математичні розрахунки елементів свердлильних пристроїв

Стосовно налагодження двопружинного пристрою слід застосувати розрахункову схему, показану на рис. 3.12.

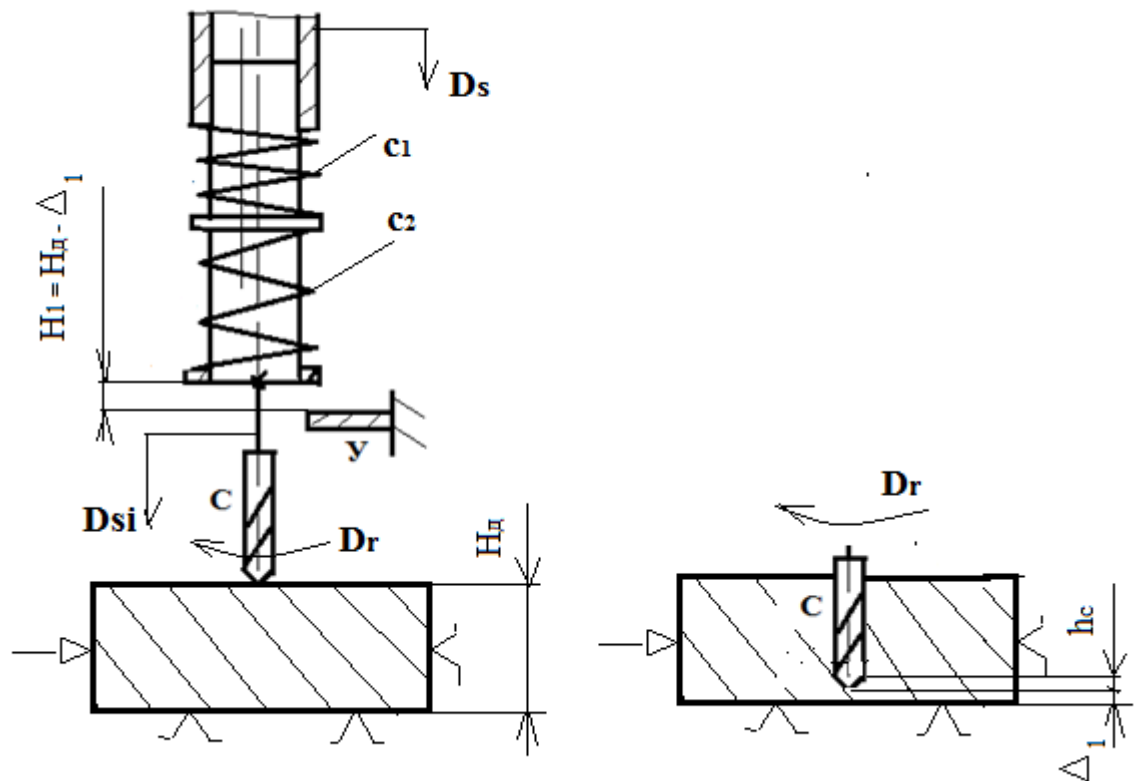


Рисунок 3.12 - Розрахункова схема налагодження двопружинного пристрою

Позначимо жорсткість пружини П1 меншої жорсткості C_1 , а жорсткість пружини П2 більшої жорсткості C_2 . Включення пружини П2 в роботу означатиме додатковий штучно створений опір. Це призведе до зменшення

швидкості руху D_{si} (свердла C) порівняно до швидкості руху подачі D_s (корпусу) при тому ж головному русі D_r . Виходячи із такої постановки задачі, можемо сформулювати математичні залежності для розрахунку жорсткостей пружин П1 і П2.

Так, жорсткість верхньої пружини, що при врізанні свердла в тіло заготовки сприймає осьове зусилля P_{oc} , з врахуванням діаметра свердла d і головного кута в плані φ можна виразити такою математичною формулою:

$$c_1 = (P_{oc} - P_1) \frac{1}{h_c} = \frac{2tg\varphi}{d} (P_{oc} - P_1),$$

де P_1 - значення сили пружності пружини П1 внаслідок попереднього стиснення, а h_c - довжина різальної частини інструменту.

Очевидно, що жорсткість пружини П2 можна виразити математичною залежністю:

$$c_2 = c_1 + P_{oc} \frac{1}{2(h_c + \Delta_1 + \Delta_{пер})},$$

де Δ_1 - відстань від зони початку випучування матеріалу до нижнього торця деталі; $\Delta_{пер}$ - перебіг свердла, що по напрямку співпадає з подачею.

Якщо розглядати саморегульований пристрій з коловим розміщенням пружин, що знаходяться на різних радіусах R_i , то можна знайти умову налагодження механізму для відповідного отвору. Таке налагодження проводять перед початком свердлінні отвору. При цьому критерієм виступає умова осьового переміщення пінолі зі свердлом при виході різальних лез із отвору. При цьому величина стискування пружин має такий вигляд:

$$H_{II} = \frac{P_{oc} r_3^2}{\sum_{i=1}^k c_i R_i^2},$$

де r_3 - дільний радіус кола зубчастого колеса, що знаходиться в зачепленні з пінолю; R_i - радіус паза i -ої пружини, жорсткість якої - c_i , k - кількість пружин, які включені в роботу.

Для розрахунку конусно-шарикового пристрою використаємо розрахункову схему рис. 3.13.

Значення подачі при виході свердла із отвору залежить від співвідношення кутів α (внутрішнього конуса) і β (оправки). При контакті втулки з упором відбувається відносне зміщення втулки відносно корпусу свердлильного пристрою. При цьому при переміщенні шарика на величину Δ Центр шарика із точки O переміститься в точку O_1 , а точка A контакту конусу втулки - в точку A_1 . Аналогічно стосовно контакту шарика з конусом точка B переміститься в точку B_1 .

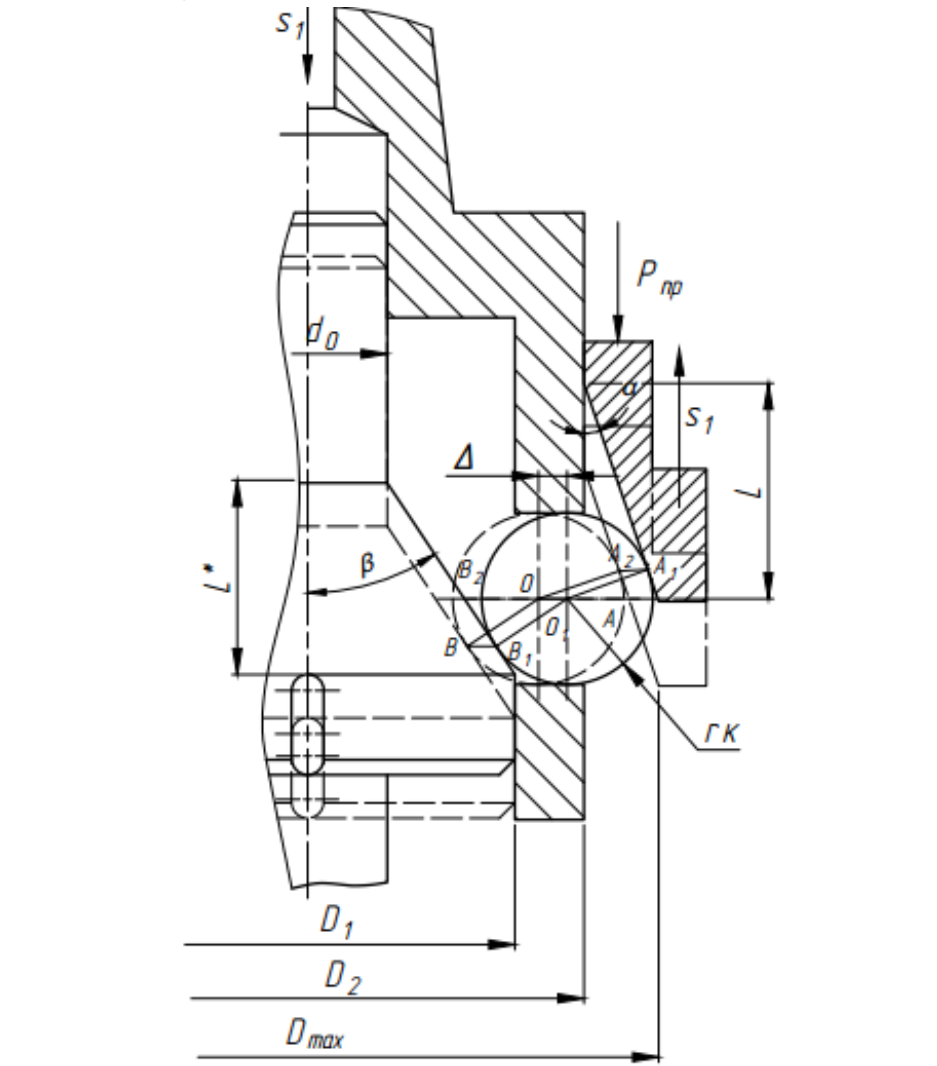


Рисунок 3.13 – Розрахункова схема конусно-шарикового саморегульованого свердла

Відстань $\Delta=BB_1=AA_1$. Спроекуємо точку A на нове положення твірної кінчної поверхні втулки. Це переміщення за один оберт шпинделя має значення подачі s . Тоді

$$AA_2 = s_1 = \frac{\Delta}{\operatorname{tg} \alpha}$$

З іншого боку:

$$BB_2 = s_1 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Відповідно осьова подача свердла під час його виходу з отвору

$$s_i = AA_2 - BB_2 = s_1 - s_1 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta}.$$

Конструктивні параметри такої пристрою залежать від кількості обертів, які здійснить свердло від початку зниження величини подачі до повного виходу із отвору.

Довжину відрізка, на якому треба зменшувати подачу, можна виразити формулою

$$h = \frac{d}{2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

Врахуємо, що $h = s_i n_{об}$.

Тоді кількість обертів для виходу свердла із деталі, враховуючи знижену подачу, матиме вигляд:

$$n_{об} = d / [2s_1 \operatorname{tg} \varphi (1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta})].$$

Отже, величина відстані L_p від нижнього торця втулки до точки її контакту із шариком має відповідати нерівності

$$L_p > s_1 n_{об} = d / [2 \operatorname{tg} \varphi (1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta})].$$

Повну висоту L кінчної частини втулки з врахуванням радіусу шарика r_u можна виразити формулою

$$L = r_u \frac{(1 - 0,9 / \cos \alpha)}{\sin \alpha} + d / [2 \operatorname{tg} \varphi (1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta})].$$

Відповідно найбільший діаметр кінчного отвору втулки є рівним

$$D_{\max} = D_2 + 2[r_u (1 - 0,9 / \cos \alpha) \cos \alpha + d \operatorname{tg} \alpha / [2 \operatorname{tg} \varphi (1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta})]].$$

При цьому D_2 – значення діаметру корпусу.

Відповідно діаметр отвору корпусу дорівнює

$$D_1 = D_2 - 2r_{uu}.$$

Діаметр частини оправки із умови недопущення випадання шарика –

$$d_0 = D_1 - 1,8r_{uu}.$$

Радіус шарика доцільно вибирати, користуючись формулою

$$r_{uu} = \frac{d \sin \beta}{(1 - 0,1/\cos \beta) \cos^2 \beta 2 \operatorname{tg} \varphi}.$$

Важливою характеристикою є зусилля пружини. Початкове зусилля стиску має перевищувати максимальну осьову силу свердління. Отже, зусилля пружини дорівнюватиме

$$P_{np} = \frac{P_{oc \max}}{f_{mp} \operatorname{tg}(\beta + \rho_2) [1 + 1/\operatorname{tg}(\alpha + \rho_1)]},$$

де f_{mp} – коефіцієнт тертя; ρ_1 і ρ_2 – кути тертя у відповідних зонах тертя.

Значення зусилля пружини є ключовим при виборі параметрів пружини.

Якщо розглядати дволезове свердло (р.с. 3.11), то для розрахунку його конструктивних параметрів доцільно скористатись величинами здійснюваних свердлом осциляцій.

Розглянемо два варіанти: 1) осциляції викликані різницями у твердості НВ матеріалів на лезах; 2) причиною осциляцій є похибки у розмірах головних кутів в плані φ лез.

Тоді для першого варіанту після представлення осьового зусилля різання, [29] степеневою залежністю матимемо значення осциляції для свердла із кутом в плані φ при свердлінні із загальною подачею s :

$$\Delta = s [1 - \sqrt[m]{K_T} - 1] \sin \varphi,$$

де K_T – співвідношення твердостей матеріалів; m - значення показника ступеня, що характеризує оброблюваний матеріал. Доцільно приймати: для сталей $m=0,2$; для чавунів $m=0,25$; для мідних сплавів $m=0,17$.

Якщо розглядати інший варіант, то побачимо, що при нерівності кутів в плані на обох лезах осциляції становитимуть:

$$\Delta = \frac{s\sqrt{3}}{2} \left[m \sqrt{\frac{2\sin[1,5\varphi + |\varphi_1 - \varphi_2|]}{\sqrt{3}}} - 1 \right],$$

де φ_1 φ_2 – кути в лпані на лезах 1 і 2.

3.7. Аналіз графічних залежностей регулювання подач свердлильних пристроїв

Аналіз таких залежностей проведемо на прикладі саморегульованого пристрою конусно-шарикової конструкції з ведучою оправкою, що має конічну форму. При цьому скористаємось виведеною залежністю для змінної подачі інструменту

$$s_i = s_1 \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \right).$$

Відповідно співвідношення подач матиме вигляд

$$s_i / s_1 = \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \beta} \right).$$

Побудуємо в середовищі MathCAD, [22] графіки цієї залежності для різних значень кутів α і β (рис. 3.14 і рис. 3.15).

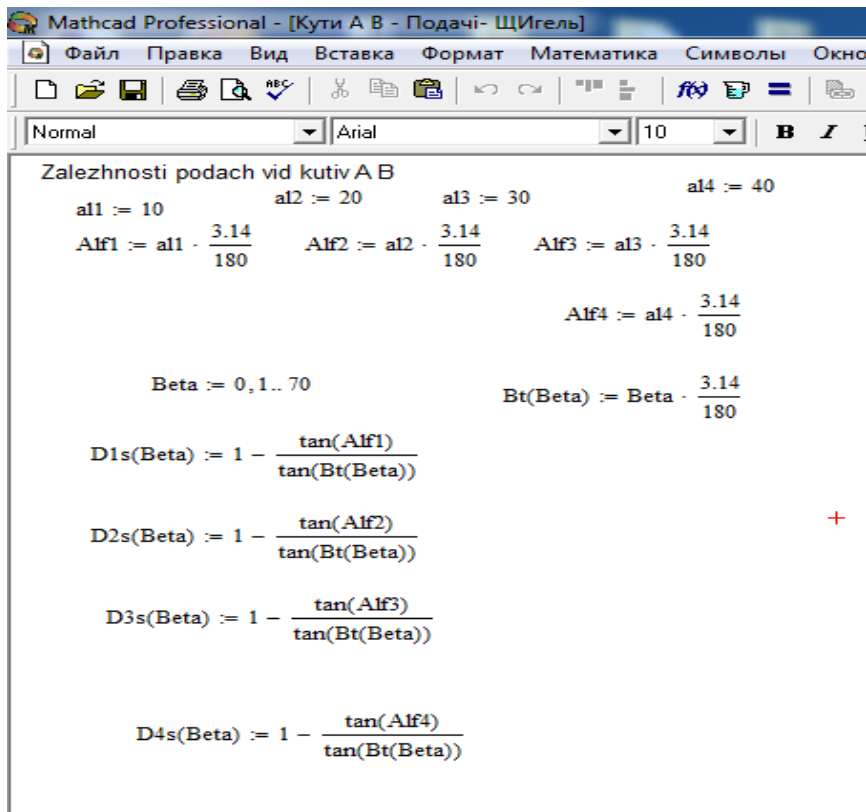


Рисунок 3.14 – Програма розрахунку змін подач

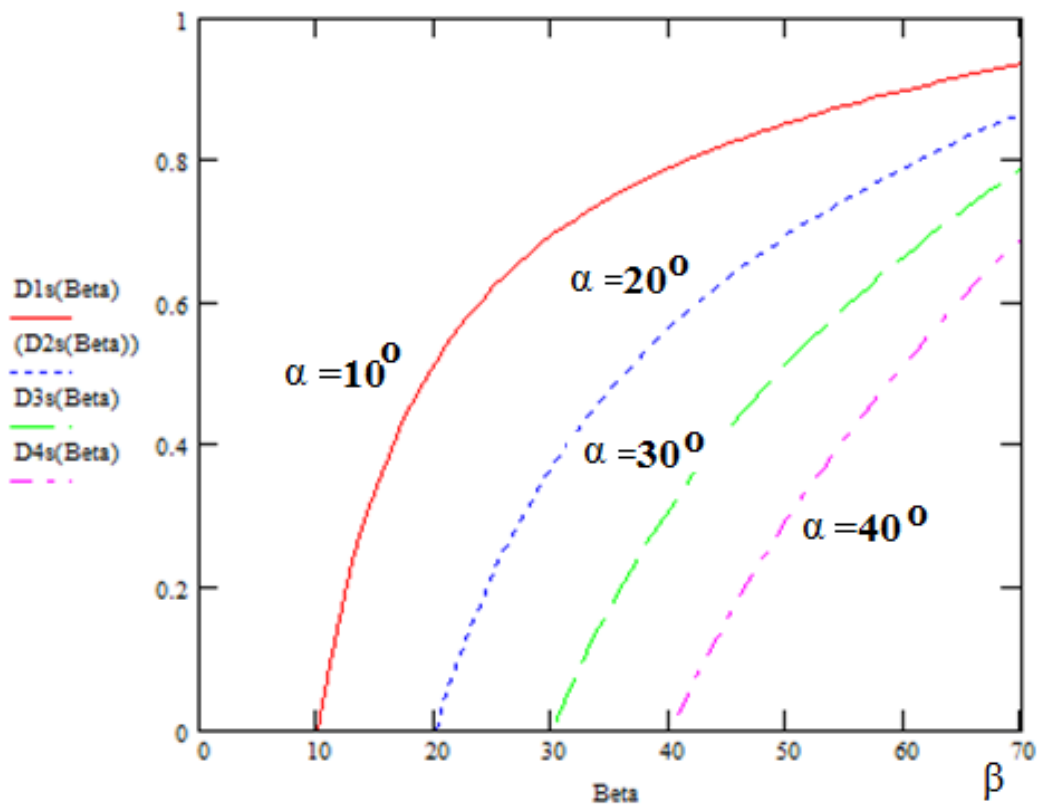


Рисунок 3.15 – Результати розрахунку змін подач в залежності від кутів

Проведемо аналіз отриманих графічних побудов і спробуємо їх протрактувати.

Аналіз залежності і графіків показує, що при $\alpha = 0$ подача свердла буде відсутньою.

Якщо ж кут $\alpha=0$ регулювання подачі свердла буде відсутнім.

При перевищенні кутом α величини β подача свердла буде відсутньою, бо свердло тікатиме з більшою швидкістю, ніж відбуватиметься осьова подача шпинделя.

Таким чином, єдиним прийнятним варіантом є варіант, коли кут α буде меншим кутом β . При цьому матимемо, що забезпечується зниження реальної подачі свердла при виході лез із тіла заготовки.

3.8. Дослідження ефективності використання змінної подачі свердел

Для дослідження зазначеної ефективності скористаємось поняттям основного часу, [3]. Схема відповідного розрахунку наведена на рис. 3.16.

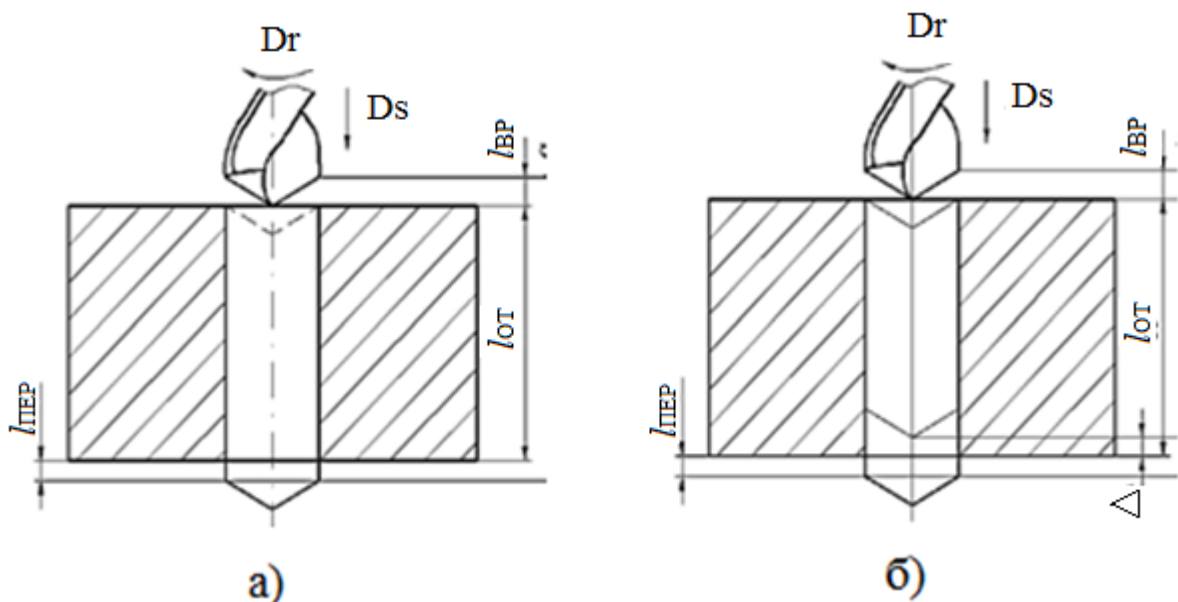


Рисунок 3.16 – Схема до розрахунку основного часу оброблення а) для свердління з неперервною подачею і б) для свердління з керованою подачею.

У випадку рис.3.16, а значення основного часу при частоті обертання шпинделя n можна розрахувати за формулою:

$$T_{осн} = \frac{l_{BP} + l_{OT} + l_{ПЕР}}{ns_n},$$

де l_{BP} – довжина, що відповідає врізанню; l_{OT} – глибина наскрізного отвору; $l_{ПЕР}$ – перебіг при виході із просвердленого отвору. Його величину беруть рівною $l_{ПЕР}=(3...5)s_n$, де s_n – номінальне значення подачі для свердління наскрізного отвору. Його приймають рівним 0,7 значення s для свердління глухого отвору. Таким чином, можна записати

$$T_{осн} = \frac{l_{BP} + l_{OT} + l_{ПЕР}}{0,7ns}.$$

Відповідно можна визначити основний час для випадку свердління із керуванням подачею.

При цьому приймемо, що при обробленні власне отвору подачу будемо вважати такою, що дорівнює значенню s , а подачу при перехідних процесах – зменшеною наполовину, тобто $0,5 s$. Тоді основний технологічний час для цього випадку:

$$T_{осн}^{II} = \frac{l_{BP}}{n0,5s} + \frac{l_{OT} - \Delta}{ns} + \frac{l_{ПЕР} + \Delta}{n0,5s}.$$

Врахуємо, щоя як вказано у, [3], $l_{BP}=0,5d$ (де d - діаметр отвору).

Тоді матимемо:

$$T_{осн}^{II} = \frac{d}{ns} + \frac{l_{OT} - \Delta}{ns} + \frac{l_{ПЕР} + \Delta}{0,5ns}.$$

Винесемо величину $1/(ns)$ за дужки. Тоді матимемо вираз

$$\begin{aligned} T_{осн}^{II} &= \frac{1}{ns} (d + l_{OT} - \Delta + 2l_{ПЕР} + 2\Delta) = \\ &= \frac{1}{ns} (d + l_{OT} + \Delta + 2l_{ПЕР}). \end{aligned}$$

Зазначимо, що доцільно технологічну ефективність прийняття рішення про керування подачею за допомогою регульованих свердлильних пристроїв виразити відношенням розрахованих вище основних часів.

Тоді коефіцієнт ефективності можна записати так:

$$K_e = \frac{T_{осн}}{T_{осн}^{II}} = \frac{0,5d + l_{OT} + l_{ПЕР}}{0,7(d + l_{OT} + \Delta + 2l_{ПЕР})}.$$

Поділивши чисельний і знаменник цього виразу на d , після незначних перетворень отримаємо

$$K_e = \frac{0,71 + 1,42(l_{OT}/d) + 1,42(l_{ПЕР}/d)}{1 + (l_{OT}/d) + (\Delta + 2l_{ПЕР})/d}.$$

Цей вираз можна спростити, якщо припустити, що величина перебігу дорівнює глибині врізання, і, отже, величині $l_{ПЕР}=0,5d$. Тоді матимемо

$$K_e = \frac{0,71 + 1,42(l_{OT}/d) + 0,71}{1 + (l_{OT}/d) + (\Delta/d) + 1} = 1,42 \frac{1 + (l_{OT}/d)}{2 + (l_{OT}/d) + (\Delta/d)}.$$

Очевидно, що виведена залежність досить добре показує зростання ефективності використання розроблених свердлильних пристроїв керування подачею для отворів значної глибини. Тоді доданки $2+\Delta/d$ будуть незначними порівняно із співвідношенням l_{OT}/d і при його збільшенні наблизатимуться до 1,3. Якщо ж свердлити неглибокі отвори, то ефективність використання саморегульованих пристроїв знижується.

Дослідимо поведінку коефіцієнту K_e залежно від l_{OT}/d для різних значень Δ/d детальніше. Для цього складемо програму в середовищі MathCAD [22] і побудуємо відповідні графіки (рис. 3.17).

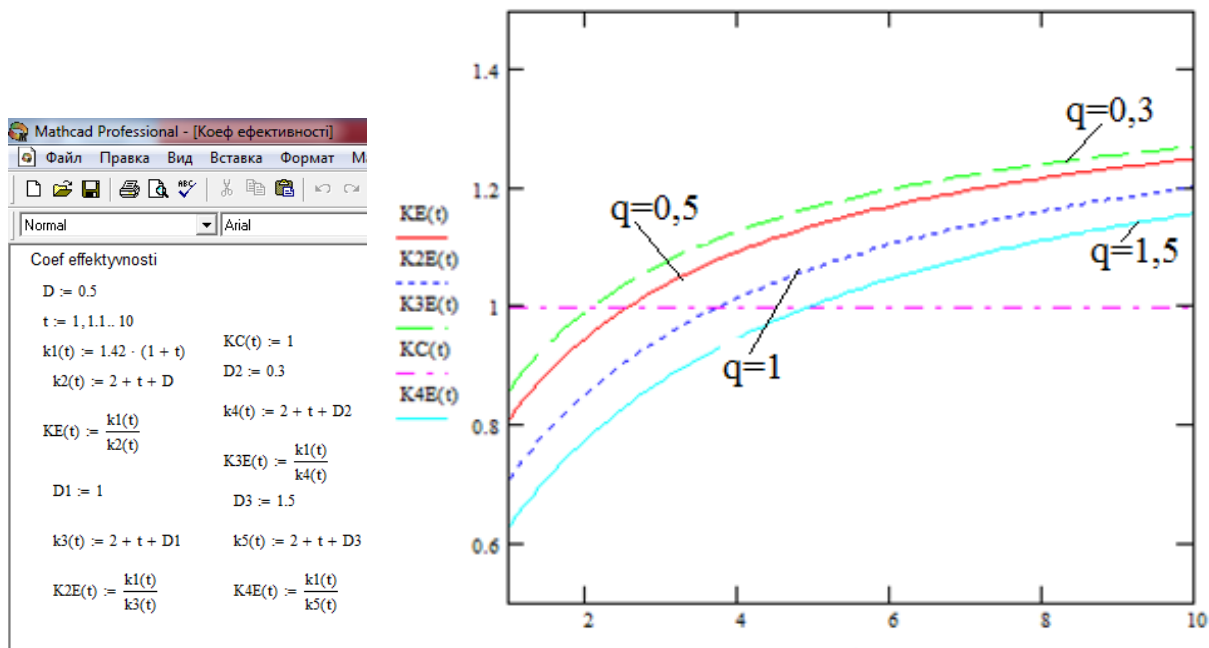


Рисунок 3.17 – Розрахунок коефіцієнту ефективності

На рис 3.17 представлені зміни величин коефіцієнтів K_e для значень $\Delta/d=0,3; 0,5; 1; 1,5$. Ці криві носять однаковий характер для різних значень цих співвідношень. В той же самий час рис. 3.17 показує, що при малих значеннях співвідношення глибини отвору до його діаметру застосування свердлильних пристроїв із керування подачею і неефективним. Критичною в цьому плані є пряма $K_e=1$. Але при свердлінні глибоких отворів керування подачею виявляється ефективним для будь-який величин $\Delta/d=q$.

Наведені дані не вичерпують глибини проблеми, але є підставою для подальших розвідок.

3.9. Основні отримані результати

1. Запропоновані послідовність і методика дослідження.
2. Проаналізована стратегія регулювання рухами формоутворення при обробленні наскрізних отворів.
3. Досліджено роль подачі при виготовленні наскрізних отворів і вплив цього фактору на процес різання.
4. Розроблено структурні схеми свердління, що передбачають регулювання подачею в перехідних процесах різання.

5. Проведено конструювання базових саморегулюючих свердлильних пристроїв.

6. Наведені математичні моделі розрахунків окремих компонентів свердлильних пристроїв із саморегулюванням.

7. Проаналізовані графічні залежності конструктивних параметрів свердлильного спорядження.

8. Доведена технологічна ефективність використання зміни подачі свердел в перехідних процесах. Коефіцієнт технологічної ефективності порівняно із традиційною технологією зростає до значення 1,3.

9. Публікація наведена в додатках

4. Охорона праці і безпека при надзвичайних ситуаціях

4.1. Охорона праці при роботі на свердлильних верстатах

Розглянемо загальні вимоги охорони праці при роботі на свердлильних верстатах. Ці вимоги поширюються на всіх працівників. До самостійної роботи допускаються особи, які досягли 18 років, пройшли обов'язковий періодичний медичний огляд та не мають медичних протипоказань. Окрім того, потрібно пройти спеціальне навчання або мати відповідний досвід роботи. При цьому вказані особи проходять пройшли вступний інструктаж з електробезпеки з присвоєнням III групи допуску та повинні бути ознайомлені з вимогами інструкції з охорони праці у відповідному приміщенні (місці установки верстата). Окремо зазначається, що необхідно суворо дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку та режиму роботи закладу.

Для осіб, які працюють на свердлильних верстатах потрібні бути ясними і зрозумілими фактори небезпеки при роботі.

Заходи з охорони праці при роботі на свердлильних верстатах розділимо на 3 групи: 1) перед початком роботи; 2) під час роботи і 3) після закінчення роботи.

Перед початком роботи на свердлильному верстаті необхідно надіти спецодяг, ретельно заправити волосся під головний убір та перевірити справність засобів індивідуального захисту (захисні окуляри; діелектричні килимки).

Слід добре оглянути робоче місце, позбутися зайвих предметів, що заважають, переконатися у справності роботи системи вентиляції.

Далі потрібно провести зовнішній огляд верстата і переконатися: а) у вільному доступі до пускового пристрою; б) пра цездатності гальмівного пристрою і блокувань (блокування має забезпечувати неприпустимість самостійного включення верстата при відкритій дверці огорожі); в) у справності педального механізму і маслосистеми (потрібної кількості масла в

насосі, перевірити, чи немає витоків мастила); г) у правильній освітленні свого робочого місця.

Необхідно короткочасним включенням перевірити справність роботи свердлильного верстата. Якщо була виявлена несправність верстата або робочої системи вентиляції, працівник зобов'язаний негайно сповістити інженера з охорони праці та керівництво і зробити відповідний запис у журналі реєстрації заявок.

Перед підключенням верстата до електромережі, при необхідності, стати на діелектричний килимок (якщо покриття підлоги виконане із струмопровідного матеріалу). Забороняється включати верстат в електричну мережу мокрими і вологими руками.

Не можна приступати до виконання роботи у разі виявлення відхилень від правил безпеки робочого місця, встановлених у цьому розділі інструкції, а також при неможливості виконання зазначених у даному розділі підготовчих до роботи дій.

Під час роботи на свердлильному верстаті необхідно суворо дотримуватися чинної інструкції з охорони праці .

Наявність напруги в електромережі треба перевіряти тільки спеціальним покажчиком напруги.

Слід стежити за справною роботою верстата, системи вентиляції, цілісністю ізоляції та наявності неушкодженого заземлення.

Особа, яка працює на свердлильному верстаті зобов'язана:

- виконувати роботу на свердлильному верстаті тільки у захисних окулярах та при включеній витяжній вентиляції;
- надійно закріплювати оброблювану деталь затискачами, а не тримати її руками;
- подачу свердла на деталь проводити плавно, без ривків;
- при обробці деталей великої довжини (понад 1,5 м.) користуватися спеціальними підставками;

- стружки із висвердленого отвору видаляти тільки за допомогою спеціальної щітки;
- не видаляти стружку при працюючому верстаті;
- матеріали та деталі акуратно складати у встановленому місці так, щоб вони не заважали подальшому виконанню роботи;
- не зупиняти і не гальмувати руками вимкнений, але ще продовжуючий обертатися шпиндель свердлильного верстата;
- особливу увагу і обережність приділяти наприкінці свердління (при виході свердла з матеріалу заготовки, зменшити подачу).

Під час виконання роботи на свердлильному верстаті забороняється:

1. перемикати електричні роз'єми при включеному електроживленні;
2. торкатися проводів та інших струмоведучих частин, які знаходяться під напругою;
3. продовжувати роботу на верстаті в разі його несправності, іскріння, задимлення, порушення ізоляції та заземлення;
4. закривати верстат папером, тканиною та сторонніми предметами, що може призвести до його несправності або отриманні травми робочим;
5. працювати на верстаті в не призначених для даного виду робіт рукавичках або рукавицях;
6. гальмувати руками патрон або обертове свердло верстата;
7. гальмувати шпиндель натисканням деталі;
8. нахилити голову близько до обертового шпинделя верстата і свердла;
9. тримати руками деталь при свердлінні, деталь повинна бути закріплена лише лещатами;
10. охолоджувати свердло під час роботи верстата за допомогою мокрих ганчірок;
11. залишати свердлильний верстат без нагляду, відкривати та знімати захисні огороження;
12. проводити самостійно розкриття та ремонт свердлильного верстата;
13. здувати стружку з верстата або прибирати її руками;

14. виконувати прибирання над і під працюючим свердлувальним верстатом або в небезпечній близькості від його рухомих частин;
15. протирати рубильники та інші вимикачі струму;
16. збирати відходи, папір і промаслене ганчір'я в ящики, призначені для відходів ганчір'я, (для кожного виду відходів повинен бути окремий ящик).

При відкритті вікон, необхідно простежити, щоб не було протягів, які можуть призвести до розбиття або пошкодження скла.

Після закінчення роботи на свердлильному верстаті працівник зобов'язаний:

- відвести свердло від оброблюваної заготовки і відключити електроживлення в послідовності, встановленій інструкцією з експлуатації з урахуванням характеру виконуваних робіт;
- привести в порядок робоче місце, очистити верстат, устаткування біля верстата, проходи від стружок і сміття за допомогою спеціальної щітки;
- скласти у спеціальну шафу інструмент і пристосування, які використовувалися під час роботи на верстаті;
- прибрати у відведене місце засоби індивідуальної захисту;
- почистити спецодяг і взуття, прибрати в призначену для спецодягу шафу,
- ретельно вимити руки з милом.

Також необхідно перекрити крани з водою, щільно закрити всі вікна, вимкнути освітлення.

4.2. Безпека при надзвичайних ситуаціях стосовно роботи на свердлильних верстатах та відповідні заходи для її забезпечення

Проаналізуємо небезпечні фактори при роботі на свердлильному верстаті

До цих факторів відносяться:

- фізичні (висока напруга в електричній мережі; рухомі й обертові частини верстата; наявність задирок на заготовках, відлітаюча стружка при обробці крихких матеріалів; сильний шум; вібрація; система вентиляції);
- хімічні (пил);
- психофізіологічні (напруга уваги).

Під час роботи на свердлильному верстаті повинен використовуватися наступний спецодяг та засоби індивідуального захисту: халат бавовняний, берет, захисні окуляри від попадання стружки та пилу в очі. На підлозі біля верстата обов'язково має бути дерев'яна решітка з діелектричним килимком.

Працюючий на свердлильному верстаті зобов'язаний дотримуватися правил пожежної безпеки, знати місця розташування первинних засобів пожежогасіння.

Ця особа також зобов'язана знати місце розташування аптечки та вміти надавати першу долікарську допомогу потерпілому.

В процесі виконання роботи працівник зобов'язаний дотримуватися правил носіння спецодягу, користування засобами індивідуального і колективного захисту, дотримуватися правил особистої гігієни, утримувати в чистоті своє робоче місце.

Свердлильний верстат повинен бути обладнаний захисним огороженням, спеціальним склом або корпусом.

Корпус свердлильного верстата повинен бути заземлений.

Робоче місце і робоча зона повинні мати хороше освітлення. Світло не має

бути занадто яскравим, щоб не сліпити очі співробітнику, який виконує роботу.

Для зміни свердел, очищення верстата, прибирання робочого місця необхідно використовувати допоміжні інструменти (ключ, гачок, щітка, совок, скребок тощо).

Про всі несправності свердлильного верстата працівник зобов'язаний негайно повідомити керівництво установи та зробити запис у журналі заявок.

У разі отримання травми працівник зобов'язаний негайно проінформувати про те, що трапилося, чергового адміністратора та медичну сестру, при необхідності – самостійно надати долікарську допомогу.

Окремо слід зауважити про вимоги щодо надзвичайних ситуацій при аваріях.

При виникненні аварійних ситуацій, негайно зупинити свердлильний верстат натисканням кнопки «стоп».

Якщо при роботі верстата відбувається перегрів двигуна, необхідно відключити його і дати охолонути. Охолоджувати двигун водою або вологою ганчіркою забороняється.

При появі різного стуку, вібрації, або зміни характерного шуму, перегріві робочого інструменту (свердла, підшипників), появі запаху горілого або диму, поломки свердла, а також при несправності заземлення корпусу верстата, негайно припинити роботу, відвести свердло від заготовки і відразу вимкнути свердлильний верстат. Про несправності слід повідомити керівника. Роботу дозволяється продовжувати тільки після усунення несправності.

Працівник зобов'язаний вміти надавати долікарську допомогу. Така допомога надається негайно, на місці події у правильній послідовності. На початку необхідно усунути джерело травмування (вимкнути двигун, зупинити механізм тощо).

Надання першої допомоги треба починати з самого головного, що загрожує здоров'ю або життю людини (при сильній кровотечі накласти джгут, вкласти записку із зазначенням часу накладення джгута, а потім перев'язати рану; при наявності закритого перелому – накласти шину; при відкритих переломах спочатку слід перев'язати рану, накласти шину; при опіках – накласти суху пов'язку), потім викликати швидку допомогу.

При підозрі на ушкодження хребта, покласти потерпілого на тверду поверхню та, якомога швидше, транспортувати до найближчого медичного закладу для надання допомоги.

Якщо сталося загоряння устаткування, негайно відключити свердлильний верстат від електроживлення, повідомити до пожежної охорони, керівнику закладу (за його відсутності – іншій посадовій особі), після чого приступити до гасіння пожежі наявними засобами, це може бути вогнегасник, пісок.

Загальні висновки

1) Аналіз способів і методів свердління наскрізних отворів. Що при цьому характерні певні особливості, особливо щодо перехідних процесів процесу різання, посеред яких уведення інструменту від осі свердла та його ривок при виході з отвору.

2) На основі конструкторсько-технологічного огляду існуючих і підходів виявлено, що для забезпечення належної ефективності процесу свердління потрібно забезпечити як продуктивність оброблення, так і розмірну точність і якість, що можливо при використанні ідеї контролювання подачею у процесі свердління.

3) Описано і подано розрахунок типової операції свердління наскрізних отворів з використанням багатьох шпинделів, що послужило основою для розроблення базових схем формоутворення поверхонь при свердлінні.

4) На основі огляду характеристик верстатів-аналогів представлений математичний відбір шуканої компоновки і виведена структурна формула та загальний вигляд компоувальної схеми для багатошпиндельного свердлильного верстату.

5) Запропонована структурно-кінематична схема, а на її основі розроблені для приводу головного руху структурна сітка і графік кількості обертів, які послужили основою для проектування кінематичної схеми верстату.

6) Запропонований новий комп'ютеризований підхід для визначення геометричних розмірів шпиндельного вузла і представлена його конструкція.

7) Обгрунтовані науково-прикладні передумови регулювання подачі у перехідних процесах для пристроїв свердління наскрізних отворів.

8) Описані і проаналізовані конструктивні схеми саморегульованих інструментів для свердління наскрізних отворів, які передбачають забезпечення функції зміни поздовжньої подачі.

9) Для різних конструктивних схем розвинуті математичні моделі розрахунку параметрів саморегульованих пристроїв для наскрізного свердління.

10) На основі врахування особливостей наскрізного свердління отворів з використанням саморегульованих свердел розраховані порівняльні характеристики ефективності їх застосування при одночасному виготовленні декількох отворів.

11) Запропоновані заходи охорони праці і представлене забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Список використаної літератури

1. Родин, П.Р. Металлорежущие инструменты: Учебник /П.Р. Родин. 3-е изд. – К.: Вища шк., 1986. – 455с.
2. Винников, И.З. Сверлильные станки и работа на них: Учеб. Пособие. /И.З. Винников. 5-е изд. – М. Высш.шк., 1988. – 256с.
3. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304с.
4. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія/ [Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Терно-граф, 2011. – 692 с.
5. Нагорняк, С.Г. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник / С.Г. Нагорняк, И.В. Луцев. – К.: Техника, 1992. – 72с.
6. Металлорежущие станки: Учебник /В.Э.Пуш и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 575с.
7. Кобельник В. Р. Забезпечення зміни подачі для керованого процесу свердління отворів/ Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. № 2 (33), 2014, с. 77-82.
8. П. Кривий. Про характер зміни подачі при виході інструмента з тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів / П. Кривий, В. Кобельник, М. Кузьмін // Вісник ТНТУ. — 2012. — Том 68. — № 4. — С.114-127. — (машинобудування, автоматизація виробництва та процеси механічної обробки).
9. Гуляев, А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1986. – 272с.
10. Балакшин, Б.С. Основы технологи машиностроения /Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 561с.
11. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения /А.Ф. Горбацевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 288с.

12. Егоров, М.Е. Технология машиностроения /М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 535с.
13. Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
14. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 408с.
15. Маеров, А.Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебное пособие / А.Г.Маеров. М.: Машиностроение, 1986.
16. Проников, А.С. Металлорежущие станки и автоматы /А.С. Проников и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 479с.
17. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 345с.
18. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков /Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
19. Пуш, В.Э. Конструирование металлорежущих станков /В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 561с.
20. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов /Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608с.
21. Дубиняк, С.А. Расчет деталей и узлов металлорежущих станков с использованием ЭВМ: Учеб. пособие /С.А. Дубиняк, С.Г. Нагорняк, И.В. Луцив, И.Д. Дубецкий. – К.: УМК ВО, 1989. -152с.
22. Шанайда, В.В. Пакет MathCADв инженерних розрахунках /В.В. Шанайда. –Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2001. – 163с.
23. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. Д.Н.Решетова. В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1970.
24. Анельчик, Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація /Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецкий. Під ред. І.В. Луціва. – Одеса-Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2000. – 145с.
25. Подураев, В.Н. Технология физико-химических методов обработки /В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985. – 264с.

26. А.с. 831411 СССР, МКИ В23 В47/00. Автоматическое сверлильное устройство / С. Г. Нагорняк, П. Д. Кривый (СССР). – № 2696642/25-08; заявлено 13.12.78; опубл. 23.05.81, Бюл. № 19.

27. А.с. 709274 СССР, МКИ В23 В47/00. Устройство для сверления / С. Г. Нагорняк (СССР). – № 2615202/25-08; заявлено 11.05.78; опубл. 15.01.1980, Бюл. № 2..

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

29. Луців, І.В. Аналіз ресурсу і конструктивних особливостей свердл адаптивного типу для обробки глибоких отворів. / І.В. Луців, І.І. Брошак // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Зб. наук. праць. Вип. 6 – Житомир: ЖДТУ, 2009. - С.132-143.

30. Луців І.В., Хомяк В.А., Щигельський Д.П. Пристрої керування перехідними процесами при свердлінні та фрезеруванні. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених «Актуальні задачі сучасних технологій» / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 7-8 грудня 2022року), 2022.

31. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под ред К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. – 430с.

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

33. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленных зданий: Учеб. Пособие / О.Д. Волков. – Х.: Выща шк., 1989. – 240с.

Додатки

