

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 особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів

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

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)



(підпис)

Стецишин В.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ярема І.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Ляшук О.Л.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2020

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

« 6 » квітня 2020 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту Стецишину Володимирі Тарасовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів

Керівник роботи Луців Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор

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

Затверджені наказом ректора від « 6 » квітня 2020 року № 4/7-228

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 травня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Типовий технологічний процес обробки глибокого отвору, паспорт радіально-свердильного верстату, ескіз креслення інструменту для обробки глибоких отворів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналітичний розділ. Постановка мети і задач дослідження. 2) Аналіз базового процесу розсвердлювання глибокого отвору. 3) Опис та обґрунтування конструкції верстату. Вибір компоновки, структурно-кінематичної та кінематичної схеми. 4) Конструювання шпиндельного вузла верстату і спеціального свердла. 5) Побудова математичної моделі процесу розсвердлювання глибокого отвору. 6) Визначення особливостей процесу розсвердлювання. 7) Техніко-економічний аналіз. 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 глибокого отвору.

3) Аналіз компоновок радіально-свердильних верстатів. Вибір раціональної.

4) Конструкція шпиндельного вузла верстату.

5) Аналіз функціональних схем обробки глибоких отворів із застосуванням інструментів з адаптивними осциляціями різальних елементів.

6) Математична модель розсвердлювання глибокого отвору

7) Складальне креслення інструменту з гідро адаптацією різальних елементів.

8) Наукові дослідження особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів.

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Окіпний І.Б., к.т.н., доц.. каф ЗВ		
Безпека життєдіяльності	Клепчик В.М., проректор з АГЧ		
Нормоконтроль	Ярема І.Т., к.т.н., доц.. каф. ВІ		

7. Дата видачі завдання 6 квітня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	Тиждень 1	
2	Інформаційно-патентний пошук	Тиждень 2	
3	Постановка мети і завдань дослідження	Тиждень 2	
4	Опис та обґрунтування конструкцій радіально-свердлильних верстатів для обробки глибоких отворів	Тиждень 3	
5	Базова технологія розсвердлювання глибоких отворів	Тиждень 4	
6	Розробка структурної та кінематичної схем верстату	Тиждень 5	
7	Вибір раціональної компоновки верстату	Тиждень 5	
8	Конструювання шпиндельного вузла верстату	Тиждень 6	
9	Розробка послідовності проведенні наукових досліджень	Тиждень 4	
10	Обґрунтування конструкції свердла	Тиждень 5	
11	Побудова математичної моделі процесу свердління	Тиждень 6	
12	Аналіз графічних залежностей при розсвердлюванні	Тиждень 7	
13	Визначення особливостей процесу розсвердлювання за допомогою інструментів із гідро адаптацією різальних елементів	Тиждень 8	
14	Застосування елементів CAD і CAE	Тиждень 8	
15	Аналіз графічних залежностей амплітуд коливань різальних елементів від окремих факторів	Тиждень 9	
16	Техніко-економічний аналіз прийнятих рішень	Тиждень 10	
17	Охорона праці стосовно розробленого верстату	Тиждень 10	
18	Безпека життєдіяльності стосовно об'єкту	Тиждень 10	
19	Оформлення кваліфікаційної роботи	Тиждень 11	
20	Захист кваліфікаційної роботи	Тиждень 12	

Студент




(підпис)

Стецишин В.Т.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Луців І.В.

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Реферат.....	5
Анотація	7
Вступ.....	10
1. Аналітичний розділ	12
1.1 Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи	12
1.2 Інформаційно-патентний пошук	18
2. Дослідно-проектний розділ	31
2.1 Опис аналогів перспективних конструкцій радіально-свердлильних верстатів для розсвердлювання глибоких отворів	31
2.2 Розрахунки щодо базової технологічної операції механічної обробки деталі, що передбачає свердління глибоких отворів.....	34
2.3 Розробка структурно-кінематичної та кінематичної схема радіально-свердлильного верстату . Обґрунтування вибору раціональної компоновки верстату	36
2.4 Силовий розрахунок і конструювання шпиндельного вузла проєктованого верстату.....	47
3. Науково дослідна частина.....	53
3.1 Опис послідовності наукових досліджень.....	53
3.2 Обґрунтування конструкції свердла з гідро адаптацією різальних елементів.....	54
3.3 Зміст наукових розвідок особливостей процесу розсвердлювання за допомогою свердління із гідро адаптацією різальних елементів з використанням елементів CAD і CAE.....	66
3.4 Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень	70
3.5 Обговорення та аналіз отриманих результатів.....	72
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	74
4.1. Планування на підприємстві робіт щодо охорони праці.....	74
4.2. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції щодо розробленого верстату..	78
Загальні висновк	82
Бібліографія.....	83
Додатки.....	86

РЕФЕРАТ

Тема. Дослідження особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів

Метою даного дослідження є підвищення ефективності процесу розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті

Об'єкт дослідження - процес розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті.

Предмет дослідження – особливості розсвердлювання глибоких отворів з допомогою інструменту, що передбачає гідроадаптацію різальних лез.

У виконуваний кваліфікаційній роботі магістра досягнуті такі **основні результати**:

- 1) На основі аналізу методів і способів, а також відповідних технологічних операцій свердління отворів значної глибини та їх розсвердлювання показано, що при цьому мають місце конструкторсько-технологічні особливості, що полягають у точному забезпеченні форми і розмірів отвору, і перш за все - прямолінійності його осі.
- 2) На основі аналізу класифікаційних ознак і конструкцій існуючих інструментів доведено, що при конструюванні свердла для глибокого свердління і розсвердлювання потрібно перш за все забезпечити вимоги високої продуктивності, надійного відведення стружки, охолодження різальної зони, зручності і технологічності конструкції, а також достатню необхідну точність отвору.
- 3) Описано і проаналізовано особливості типової технологічної операції свердління та розсвердлювання глибокого отвору, а також відповідні схеми формоутворення при свердлінні отворів.
- 4) Розроблена як приклад структурно-кінематична схема пропонованого радіально-свердлильного верстату та проведено його кінематичний розрахунок і запропонована повна кінематична схема.

- 5) На основі аналізу відомих компоновок обґрунтовано вибране компоновочне рішення і спроектовано загальний вигляд пропонованого радіально-свердлильного верстату.
- 6) Для шпиндельного вузла верстату проведено жорсткісний розрахунок.
- 7) Синтезовані функціональні схеми свердел, споряджених механізмами міжлезових зв'язків і запропоноване конструктивне рішення збірного свердла з гідро адаптацією різальних елементів.
- 8) На основі відомого підходу розвинута математична модель, що описує вібрації нежорсткого інструменту при операції глибокого свердління.
- 9) Встановлені особливості глибокого свердління та розсвердлювання глибоких отворів за допомогою розроблених свердел і визначені амплітуди можливих коливань зумовлені гідроадаптацією різальних лез при зміні твердості оброблюваного матеріалу та несиметричності лез.
- 10) Розроблені заходи з охорони праці і безпеки життєдіяльності стосовно до об'єкту досліджень.

АНОТАЦІЇ

Стецишин В.Т.; " Дослідження особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів". 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2020 р.

У кваліфікаційній дипломній роботі магістра наведені результати досліджень особливостей розсвердлювання отворів значної глибини при застосуванні у якості інструменту спеціального свердла з гідро адаптацією лез. Метою роботи є підвищення ефективності процесу глибокого розсвердлювання із застосуванням радіально-свердлильного верстату. Аналітичний розділ кваліфікаційної роботи присвячений аналізу існуючі дослідження щодо свердління глибоких отворів. Встановлено, що при цьому мають забезпечуватись їх висока точність і прямолінійність осі і висуваються ряд вимог щодо продуктивності обробки, вільного відведенні стружки та інших. Також проаналізовані конструктивні особливості свердел для глибокого свердління. В роботі проведений опис типової операції глибокого свердління і розсвердлювання. Синтезовані окремі схеми формоутворення при свердлінні. Як приклад розроблена структура радіально-свердлильного верстату для його застосування для глибокого свердління, спроектована його кінематика та привід головного руху. Розраховано на жорсткість шпиндельний вузол верстату. Для реалізації мети наукового пошуку запропонована коротка методика наукового дослідження. Синтезовані функціональні схеми свердла із відокремленими різальними елементами з можливістю їх адаптації до змін у робочому процесі. Адаптована для застосування модель для розрахунку автовібрацій нежорсткого інструменту – свердла для глибокого розсвердлювання. На основі розробленої математичної моделі коливного руху різальних елементів збірного інструменту для розсвердлювання визначені з використанням комп'ютерних розрахунків амплітудні значення коливань різальних елементів досліджуваного свердла при їх адаптації за допомогою

гідравлічної системи вирівнювання навантажень. При цьому брались до уваги коливання, спричинені змінами твердості оброблюваного матеріалу і нерівнозначності самих лез. Робота завершується розробкою вимог щодо охорони праці і безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: глибоке розсвердлювання, радіально-свердлильний верстат, свердло, гідроадаптація, лезо, різальні елементи

Stetsyshyn V T.; " Study of deep holes boring features by an instrument with cutting tools hydro-adaptation" 133 – Industrial machinery engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2020.

The Master Diploma Qualification Paper deals with the research results of the characteristic features determination of deep holes boring using drill with cutting tools hydro-adaptation. The goal of research is to increase the effectiveness of deep hole enlarging on radial drilling machine. The analytic part of qualification paper deals with the analyzes of deep holes drilling modern researches. It is stated that in this cases the high accuracy and axis straightness are to be

provided. The other requirements are put forward dealing with the machining productivity and free chip removal from the cutting zone. The design features of the deep hole drills are also analyzed. The paper includes the conducted description of manufacturing process of deep drilling and enlarging holes. Some schemes of shape forming in drilling are beign synthesized. The structure of radial drilling machine is exemplified to beign used in deep drilling. The kinematics and main motion drive are designed. The machine spindle unit is calculated in order to provide its rigidity. To realize the scientific search goal the short scientific method is proposed. In this way the drill functional schemes are beign synthezed to describe the separated cutting elements with possibility of their adaptation to the variations in the work process. The simulation model was adapted for calculation of autovibrations of the nonrigid tool – drill for deep holes enlarging. Based on the developed mathematical model of cutting elements vibration motions of the composed tool for holes enlarging the amplitude values

of cutting elements vibrations in the process of their adaptation with the help of hydraulic equalizing system are determined using computer calculations. In this case the vibrations caused by changes in machining material hardness or the edges nonequalities are taken into consideration. The paper is completed with requirements development in labor safety and life activities protection.

Key words: deep holes enlarging, radial drilling machine, drill, hydro-adaptation, edge, cutting elements

Вступ

При впровадженні у виробництво нових, в тому числі науковомістких технологій та конструкцій машин, актуальною є розробка нових технологічних рішень. При цьому однією із серйозних проблем у матеріалообробці є свердління глибоких отворів.

Термін глибокий отвір має різне тлумачення і класифікується по відношенню довжини L свердління до діаметра d отвору. Для глибоких отворів це умовне відношення по різних джерелах коливається від трьох до десяти діаметрів. Глибокими, як правило, вважають такі отвори, що неможливо обробити без періодичного виводу свердла для видалення стружки (релаксація свердла). Вивід інструмента з отвору необхідний в більшості випадків, при глибині свердління більше 5 діаметрів, що прийнято, наприклад, за основу при введенні поправочних коефіцієнтів у довіднику нормувальника-машинобудівника.

Оброблення глибоких отворів лезовим інструментом є багато складнішим у порівнянні із обробленням зовнішніх поверхонь. Інструмент має меншу жорсткість і його розміри лімітуються розмірами отвору. При цьому погіршуються умови охолодження зони різання і видалення стружки, а самі поверхні менш доступні для контролю в процесі оброблення. Одним із важливих практичних питань є забезпечення допуску на уведення осі отвору від теоретичного напрямку. Причина уведення осі полягає в миттєвому коливанні навантажень на лезах, що є наслідком зміни миттєвих січень зрізу через різницю твердості матеріалу, наявність автоколивних рухів інструменту, похибок геометрії різальних кромek, тощо. Відомі конструкції інструментів для глибокого свердління не передбачають механізму міжлезового зв'язку, яким забезпечується автоматичне вирівнювання осьових сил на лезах.

У зв'язку з цим, розробка та дослідження процесів та нових інструментів для свердління, в тому числі глибоких отворів, використання яких дозволяє в значній мірі позбутися вище відмічених недоліків роботи традиційних інструментів при свердлінні отворів є актуальною науковою проблемою.

Дана робота магістра виконана на кафедрі конструювання верстатів, інструментів та машин Тернопільського національного технічного університету.

Наукова новизна результатів, отриманих у роботі така:

1. Відпрацьований синтез функціональних схем збірних свердел, які мають окремі різальні леза, що адаптивно між собою пов'язані і само пристосовуються до змін у процесі різання.
2. Запропонована для застосування математична модель для якісного розрахунку крутильних вібрацій авто коливного характеру для нежорсткого свердла для глибокого розсвердлювання.
3. За допомогою запропонованої математичної моделі коливань різальних елементів свердла для розсвердлювання визначені амплітуди взаємних коливань елементів збірного свердла в процесі їх гідро-адаптації в залежності від змін у твердості матеріалу обробки і неоднаковості лез.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблено структурну та кінематичну схеми верстату радіально-свердлильного типу для його використання при глибокому розсвердлюванні.
2. Спроектовано конструкцію свердла для обробки (розсвердлювання) глибоких отворів.

Апробація досліджень

Результати досліджень за тематикою роботи магістра представлені на III міжнародній студентській науково-технічній конференції 23-24 квітня 2020 року (2020 р.) і опубліковані:

Стецишин В. Розсвердлювання отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів. Матеріали III міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 року), 2020. - С.93-94.

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку літератури (32 найменувань), 4 додатків.

Загальний обсяг текстової частини – 86 сторінок, 3 таблиць, 25 рисунків.

1. Аналітичний розділ

1.1. Огляд та аналіз проблематики дипломної роботи

Складною і трудомісткою операцією є свердління і розсвердлювання глибоких отворів. Довгі свердла володіють малою жорсткістю. Внаслідок цього відбувається їх поздовжній вигин під дією сил різання. Це як правило призводить до викривлення поздовжньої осі отвору. При цьому із збільшенням довжини отвору такий процес сприяє тому, що утворення стружки відбувається у несприятливих умовах і тому ускладнюється вивід стружки з отвору в процесі роботи свердла.

Значною проблемою при виготовленні глибоких отворів є адекватний вибір режимів різання, а також важливих характеристик різального інструменту.

Отже, часто основним завданням при проектуванні такої технологічної операції є обґрунтування методики визначення параметрів та характеристик різального інструменту в залежності від визначеної раціональної швидкості різання.

Область використання шуканого інструменту, як правило, така: свердління глухих і наскрізних отворів в шпинделях та валах, при виготовленні масляних канавок в матеріалі колінчастого валу. Дуже актуальним є глибоке свердління корпусів насосів, або корпусів форсунок, а також у шатунах та деталях іншої конструкції, які мають значну довжину. Подібні інструменти зазвичай мають невисоку продуктивність. Лише внаслідок цього забезпечується отримання достатньо точних отворів зі збереженням їх прямолінійності.

Розглянемо детальніше які методи застосовуються для здійснення глибокого свердління на прикладі інструменту – свердла спірального [1].

Для виготовлення різанням отворів з глибиною 5 і більше діаметрів (глибоких отворів) застосовують особливі підходи. Тоді вдається обробити матеріал з найбільш досяжною точністю, а також прямолінійністю з досить високим ступенем оптимальності. Також при цьому забезпечується досягнення високої якості оброблюваної поверхні. Важливою умовою обробки за допомогою

методу глибокого свердління є наявність охолодження, що здійснюється під тиском.

Особливістю застосовуваного методу свердління глибоких отворів є визначення необхідного правильного напрямку під час врізання на початку процесу різання. Свердління проходить з використанням спеціальної кондукторної втулки. Також використовується попереднє центрування отвору або ж розсвердлювання у заздалегідь підготовленому просвердленому отворі, що показано на рис.1.1.

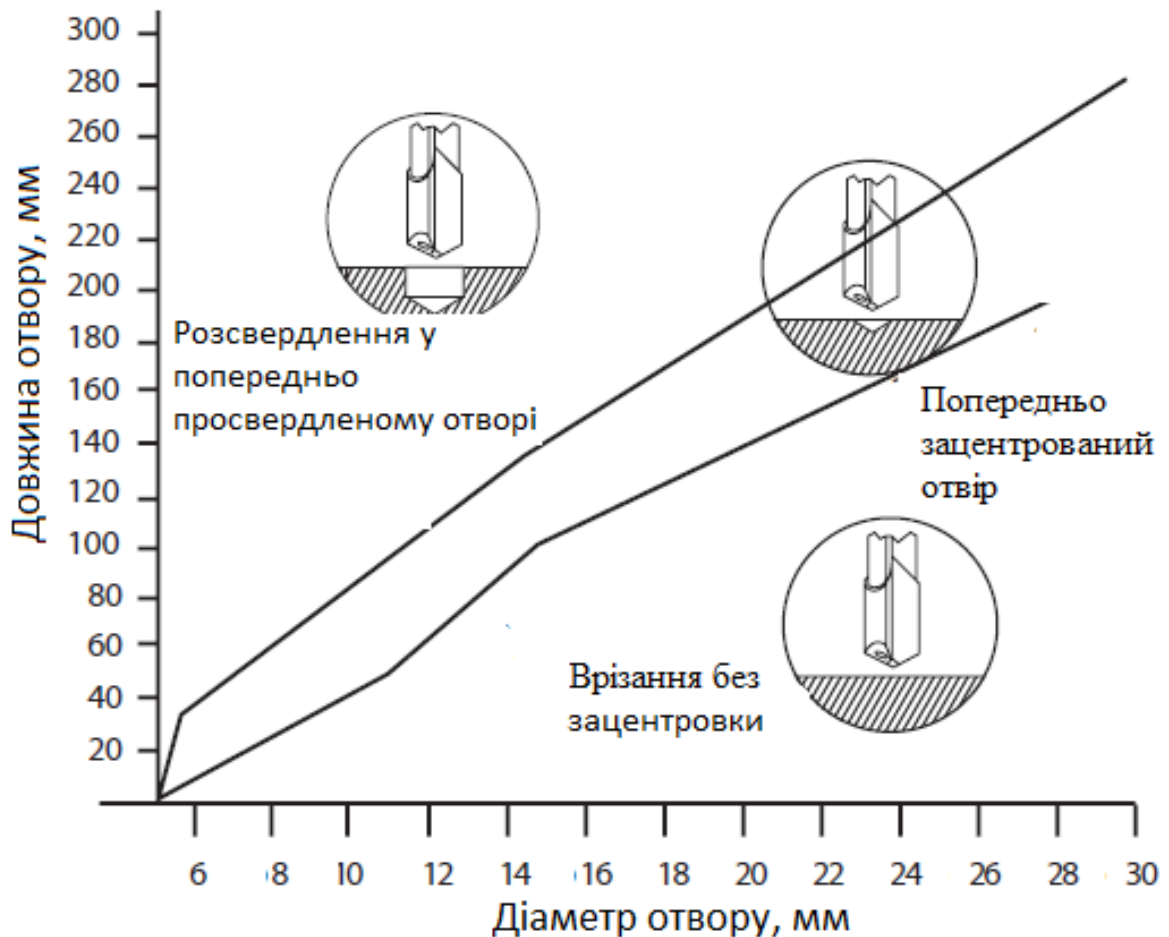


Рис.1.1 - Різні технології врізання при свердлінні залежно від діаметру отвору та його довжини

В ряді праць показано, що значні труднощі виникають через неможливість при глибокому свердлінні вільного обертання на повних обертах різального інструменту [1].





Інженерна практика пропонує для глибокого свердління декілька видів свердел [1]:

- а) свердла спіральні, конструкції яких містять отвір для підведення в зону різання охолоджувальної рідини;
- б) гарматний свердлильний пристрій з припаяним пластинками твердого сплаву;
- в) гарматний свердлильний пристрій з цільною твердосплавною різальною робочою частиною;
- г) свердлильна установка для обробки гармат із двома різальними пластинками - твердосплавною і проміжною;
- д) перові, а також шпиндельні свердла, які зазвичай використовують для виготовлення отворів у шпинделях металорізальних верстатів.

При виборі конструкції перш за все визначаються з необхідним діаметром відповідно до діаметру отвору [2]. Береться до уваги загальна довжина отвору. Після цього вибирають типом хвостовика інструменту. Ці характеристики призначають відповідно до оброблюваного матеріалу. Безпосередня увга приділяється швидкості подачі інструменту та характеру відводу утворюваної стружки.

У забезпеченні зазначеної у технічному завданні точності отвору та значень його прямолінійності, рівнозначно як і якості оброблюваної поверхні отвору значну роль відіграє форми опорної поверхні на різальній голівці інструменту[2]. Правильність вибору конструкцій таких різальних головок диктується певними особливостями їх застосування, що відображено у різних позиціях наведеної таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Ескізне виконання конструкцій різальної головки свердел для глибокого свердління

Тип	Конструкція різальної головки	Особливості застосування свердла
А		<p>Використовується для свердління у всіх матеріалів за умови виконання високих вимог щодо точності створу, що обробляється</p>
С		<p>Застосовується при свердлінні у чавунах з точністю поверхонь П 7-9. Сили різання, що виникають на кромці передаються на бокові опорні поверхні і бокову кромку, що полірують поверхню отвору.</p>
Е		<p>Застосовується для важкооброблюваних матеріалів, високолеговані сталі</p>
D		<p>Свердління отворів в колінчастих валах, під кутом, свердління алюмінію.</p>

У випадку довжини отвору більше, ніж $40d$ варто одночасно використовувати два свердла [2].

При обробленні деталей із алюмінієвих сплавів, застосовують однолезові конструкції інструменту, що мають кут при вершині 180 градусів. Вибір швидкості різання при цьому для зазначених свердл для різних видів матеріалів можна вибирати за номограмою, наведеною на рис.1.2.

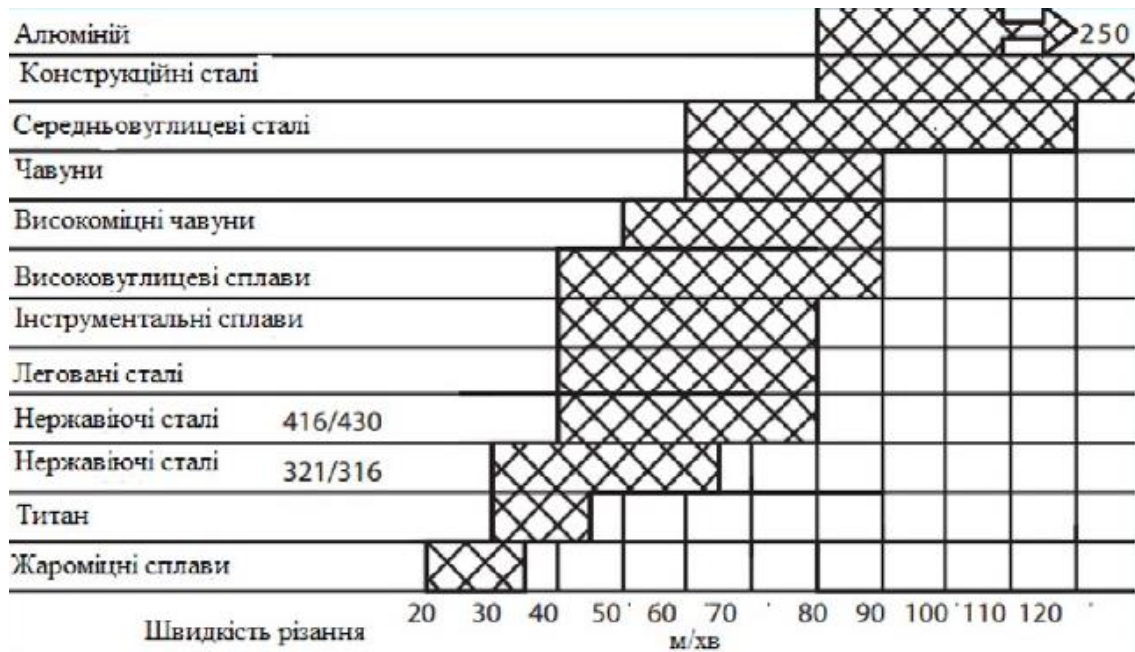


Рис. 1.2. Номограма для розрахунку значення швидкості різання при свердлінні глибоких отворів залежно від матеріалу заготовки, що обробляється

Відомо, що величина подачі є основним параметром формування стружки [1,3,4]. Вибирати величину подачі теж можна здійснювати за допомогою графіка. Зокрема, на рис. 1.3 зображений порядок вибору раціональної подачі при свердлінні для різних діаметрів обробки.

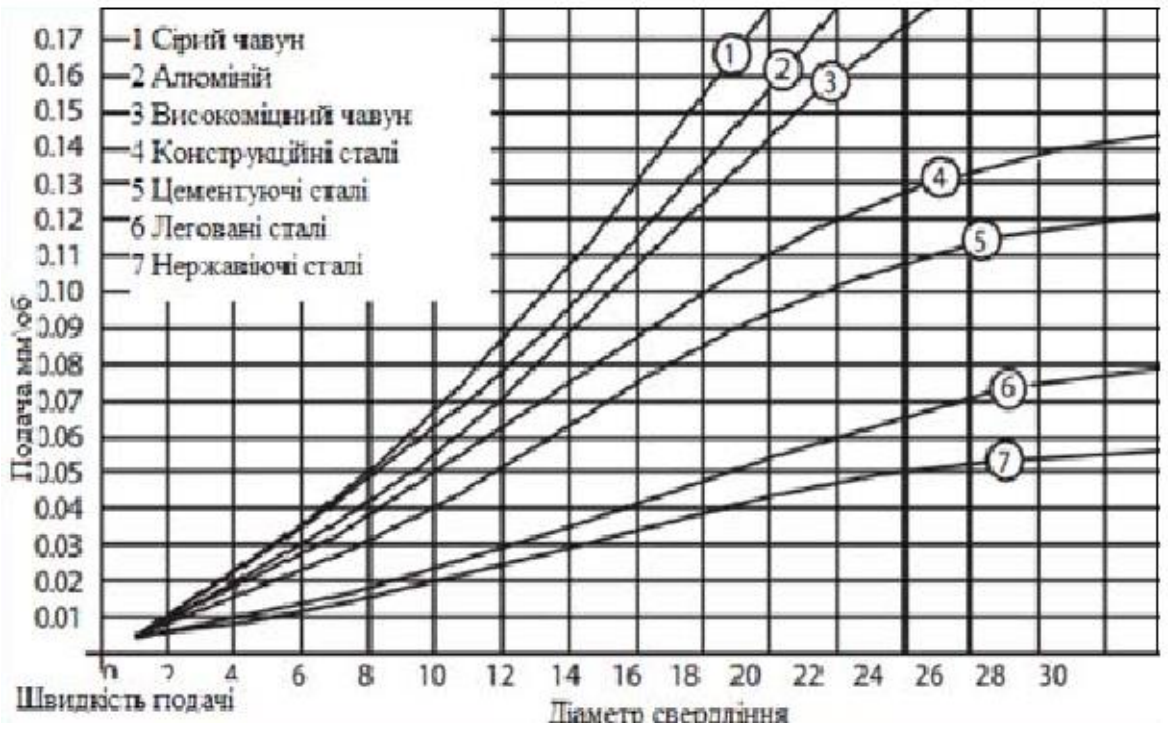


Рис.1.3. Вибір величини подачі при свердлінні та розсвердлюванні

Також на рис. 1.4 зображені можливі режими виводу стружки, що вивільняється, із зони різання. На графіку одночасно наведено, що оброблення поверхонь в процесі свердління залежить від об'єму та тиску рідини для охолодження, що подається в зону різання.

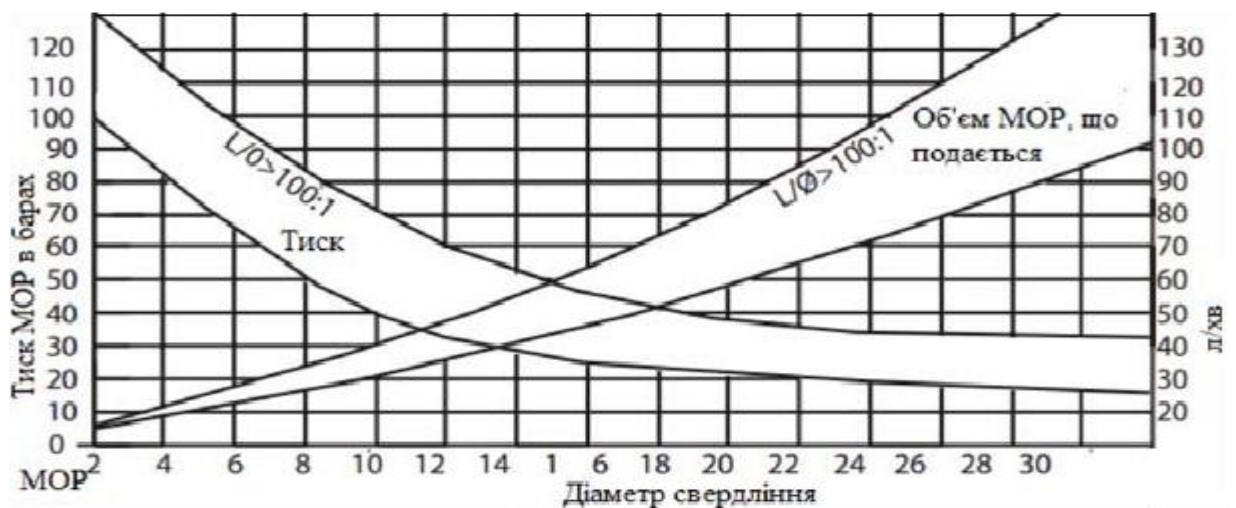


Рис. 1.4. Вибір режимів подачі MOP для видалення стружки із зони різання

Відомо, що максимальну довжину свердління бажано розраховувати беручи до уваги максимальне співвідношення цієї довжини до діаметру свердла. Можна скористатись при цьому допомогою рис. 1.5. При цьому потрібно при вибраній швидкості різання встановити максимальне співвідношення довжини до діаметру свердла. Тоді відповідно швидкість різання проектують до перетину з кривою і, таким чином, можна відмітити співвідношення довжини до діаметру на вертикальній осі.

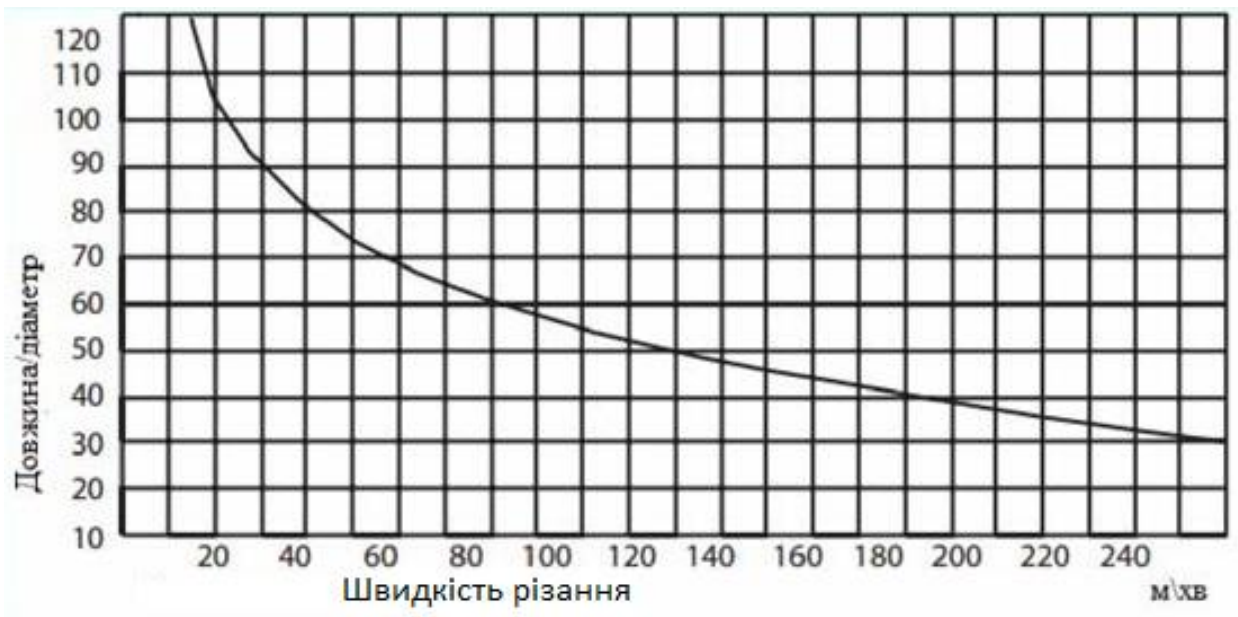


Рис.1.5. Графік визначення можливості визначення залежності параметрів інструменту та оброблюваного отвору від швидкості різання

Користуючись вище наведеними графічними залежностями та номограмами можна достатньо ефективно та в стислі терміни визначити параметри режимів різання та геометрію різального інструменту для оброблення глибоких отворів із заданими характеристиками.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

В цьому параграфі зупинимось на аналізі відомої із літературних джерел інформації про конструкції свердел для глибокого свердління і розсвердлювання отворів.

З усієї системи ВПД - Верстат, пристосування, інструмент і деталь - при глибокому свердлінні в найбільш важких умовах працює інструмент – свердло [1]. Конструкція інструменту повинна забезпечувати численні функції. Через замкнутий обсяг і форсовані режими, при яких вимушений працювати корпус різального інструменту - свердла, його різальні, а також напрямні елементи працюють з високими напруженнями. Для виходу із цієї ситуації інженерна практика накопичила велику кількість різноманітних конструкцій свердел. Характерно, що ці свердла часто мають різні оригінальні елементи.

Таким чином, два фактори - складність технологічної операції глибокого свердління і по-друге - намагання створити конструкцію інструмента високої продуктивності, призвели до виникнення нових оригінальних і удосконалювання вже існуючих конструктивних виконань свердел. Крім того, це призвело до призначення найвигідніших (близьких до оптимальних) конструктивних і геометричних параметрів інструментів для такого складного виду обробки.

При створенні, удосконалюванні та конструюванні інструментів для глибокого свердління намагаються задовільнити ряд істотних вимог. Серед них такі: 1) висока продуктивність процесу свердління (розсвердлювання); 2) стабільний і надійний відвід стружки; 3) підведення в зону різання необхідної кількості рідини для охолодження; 4) технологічність конструкції та виготовлення інструмента; 5) висока стійкість різальної частини свердла; 6) мінімальні величини похибок точності отримуваних отворів; 7) низька собівартість технологічної операції.

Ці конструктивні рішення не завжди обгрунтовано і повно вирішуються дослідниками і конструкторами.

Назвемо ряд факторів, які є особливо істотними при конструюванні свердл для глибокого розсвердлювання.

Так, в даному випадку ми маємо: зменшення жорсткості інструмента при великій довжині свердла, труднощі підведення в різальну зону мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) і необхідність надійного відведення стружки. Все це викликає утворення певних похибок геометричної форми отвору, його розмірів, відхилення геометричної осі отвору. Також збільшується шорсткість поверхні отвору, що обробляється. Багатьма авторами доведено, що на операції глибокого свердління необхідно проводити часті виведення свердел з оброблюваного отвору для того, щоб видалити стружку і здійснити подачу МОР у зону різання. Наприклад, згідно досвіду фірми "Фудзієцу", якщо проводити свердління при глибині 125 мм інструментом діаметром 6 мм, то необхідно зробити до 20 релаксаційних рухів інструменту. Відповідно до існуючих нормативних даних [1], рекомендується робити не менш, як п'ять виводів свердла при умові свердління отвору на глибину, яка дорівнює десятиєм діаметрам. Зазначене істотно позначається як на продуктивності оброблення, так і на отримуваній точності поверхні отвору.

При обробці глибоких отворів, а саме - отворів глибиною понад 5 діаметрів - однією з основних проблем є забезпечення стабільного її видалення стружки певних розмірів із зони різання.

При обробленні пластичних матеріалів вимушеним є обмеження глибини свердління. Це викликане збільшенням різноманітних сил тертя в оброблюваній системі, а також з деформацією стружки, її згинанням у гвинтових канавках, і забиванням канавок стружкою [1]. Вказані фактори істотно зменшують стійкість різальної частини інструменту і часто викликають навіть руйнування свердла. Нормалізовані свердла, як відомо, крім того, мають конструктивно потовщення серцевини у напрямку до їх хвостовика. Це відповідно чинить опір вільному виходу з отвору стружки. Різноманітні пристрої для подрібнення стружки дозволяють виключити з операції

релаксаційні рухи інструменту з метою очищення його від стружки, так чином підвищуючи продуктивність обробки.

У конструкціях інструментів для глибокого свердління відчувається тенденція отримати інструмент, у якому одночасно поєднувалися б необхідні характеристики жорсткості зі створенням вигідних умов різання, що супроводжуються подрібненням зливної стружки та її видалення з різальної зони.

Вітчизняною промисловістю широко використовуються подовжені спіральні свердла: з циліндричним хвостовиком ГОСТ 886 - 77, з конічним ГОСТ 2092-77 і видовжені ТУ 2-035-600-77. Для збільшення робочої довжини іноді до свердел доварюють або прикріплюють необхідної довжини хвостовик.

При обробленні сталей, алюмінію та інших матеріалів з високою пластичністю виявляється, як правило, що нормалізовані спіральні свердла діаметру до 50 мм при збільшенні глибини свердління більш п'яти діаметрів не працюють. Це викликається пакетуванням стружки у стружковивідних канавках і відповідним значним зростанням зусиль різання. Тому для обробки пластичних матеріалів в конструкціях свердел зменшують ширину стрічок у 1,5...2 рази. Також гвинтові канавки розширюють в 1,3...1,5 рази. Часто змінюють профіль і збільшують кут нахилу гвинтових канавок, іноді до величини 60° [2].

Доведено, що гвинтові канавки повинні забезпечувати достатній об'єм для розміщення стружки. Проте при цьому не повинна зменшуватись жорсткість свердла. З цією метою для свердління глибоких отворів використовують часто свердла з внутрішнім відводом стружки. Це можуть бути односторонні свердла для діаметрів $d = 2 \div 50$ та двосторонні свердла (як правило, ежекторного типу) для діаметрів $d = 30 \div 85$ [2]. Такі свердла можна характеризувати як свердла з підвищеною жорсткістю. При використанні ежекторних свердел виникають певні ускладнення, які стосуються підводу охолоджувальної рідини. Але незважаючи на це їх часто застосовують для

свердління глибоких отворів ($L \leq 50d$) певними високопродуктивними методами, наприклад із використанням армування (рис.1.2).

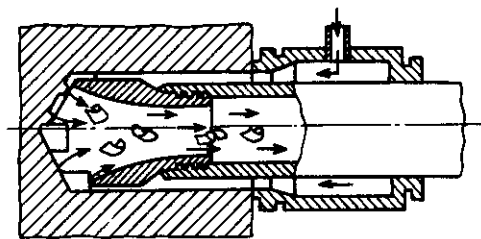


Рис.1.6. Схема ежекторного свердління

Одним із недоліків ежекторного свердла є те, що відбувається інтенсивне зношення твердосплавних пластинок, що знижує період стійкості цього недешевого інструменту. Тому в розвиток цього положення, були розроблені конструкції ежекторних свердел із вставними різцями [1]. У цих конструкціях до вставних різців припаяні твердосплавні пластинки (рис. 1.7). При цьому зношення пластинок призвратить лише до заміни тільки цих двох різців.

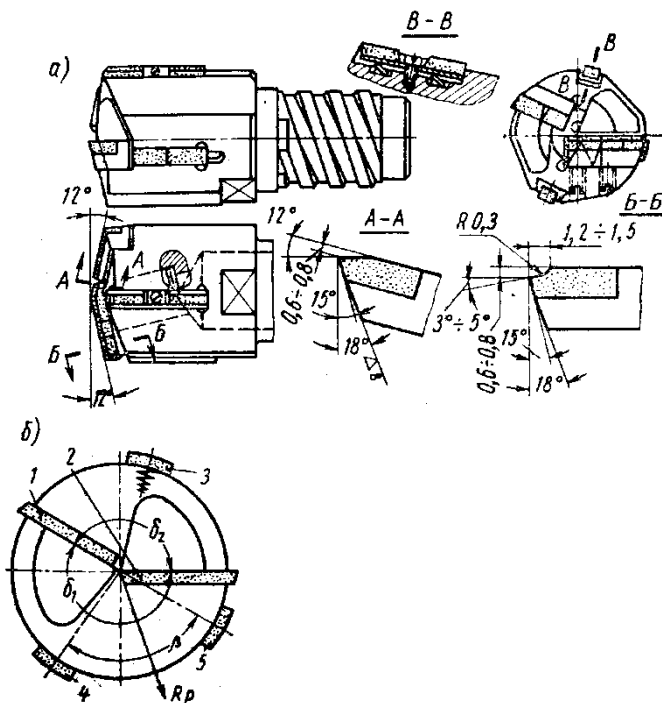


Рис. 1.7. Дволезове ежекторне свердло зі вставними різцями

На рис. 1.7. наведена конструкція такого дволезового ежекторного свердла. Воно призначене для пришвидшеного свердління отворів великого

діаметру (50 – 85 мм). Збірне свердло складається із сталевого корпусу, а також двох різців, які оснащені пластинками твердого сплаву марки T15K6. Пластинки розташовані одна стосовно одної приблизно під кутом 150° .

В корпусі свердла закріплені жорстко три напрямні пластинки. Це забезпечує хороше базування свердла в оброблюваному отворі, а також мінімальну величину уведення свердла.

Цікавим є також дослідження роботи свердел для глибокого свердління. Спочатку розглянемо загальні положення.

Існуючі свердла для глибокого свердління можна розділити на дві групи: 1) свердла для суцільного свердління і 2) свердла для кільцевого свердління.

В основному в інженерній практиці використовується суцільне свердління. Проте метод кільцевого свердління вважається більш прогресивним. Як правило кільцеве свердління застосовується, починаючи з діаметрів свердління $d_s > 80$ мм. Однак остання дослідження показують, що слід очікувати, що суцільне свердління поступово буде витіснитись і за менших діаметрів свердління. Адже добре знайомі спроби застосування кільцевих свердел для діаметрів свердління навіть менших 30 мм. Проте основною причиною недостатнього впровадження кільцевого свердління у практику виробництва є його менша надійність.

В загальному також свердла для глибокого свердління можна розділити за способом їх базування під час виконання робочого процесу на дві великі групи. При глибокому свердлінні базування свердла має велике значення[1]. В цьому випадку к свердло може мати свою опору тільки на поверхню отвору, що утворюється. По відношенню до свердла базування при цьому є або постійним, або періодично може змінюватися. При постійному методі базування сили опору, що виникають в поперечній площині інструменту, діють весь час тільки в одному напрямку відносно до свердла (рис. 1.8, а). Якщо ж ми маємо невизначене базування, то виявляється, що ці сили або ж

відсутні взагалі, або ж вони змінюють свій напрямок стосовно інструменту в процесі функціонування свердла (рис. 1.8, б і в).

Слід відзначити, що при повному базуванні на свердло діє поперечна сила R , яка притискає інструмент до поверхні просвердленого отвору.

Якщо ж свердло не має визначеності при базуванні, то поперечна сила R , яка в процесі свердління змінна у напрямку буде його розгойдувати. У цьому випадку, не забезпечується необхідна точність свердління. Однак, незважаючи на це, за рахунок введення додаткових пристроїв так свердла можна успішно затососувати, внаслідок відповідного підвищення надійності їх роботи.

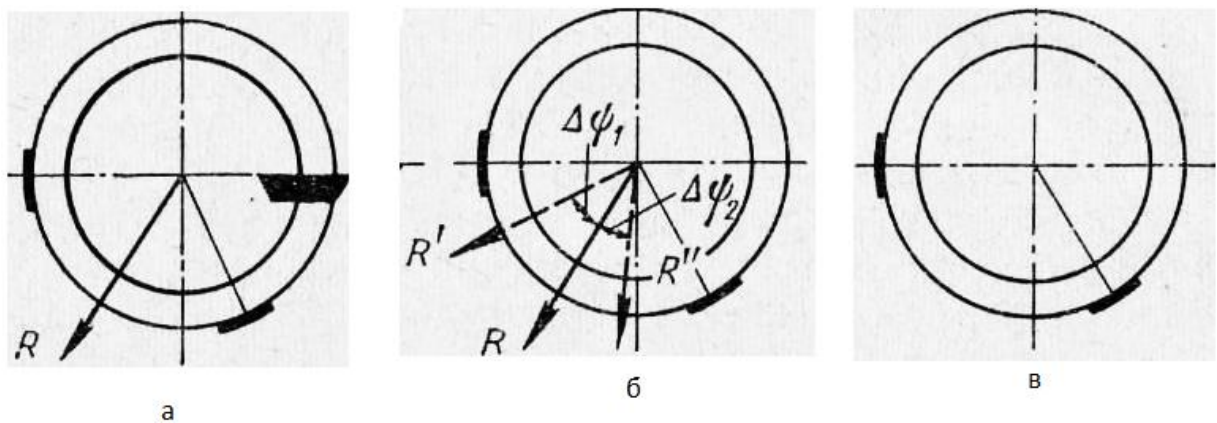


Рис. 1.8. Дія робочої сили в площині, що є перпендикулярною до осі свердла: а - сила є постійною за величиною і напрямком ($R = \text{const}; \alpha = 0$); б - сила є змінною і за величиною, і за напрямком R ; в - сила $R = 0$

Зрозуміло, що на маленькій ділянці різального леза йдеться до спричинення значних втрат твердого сплаву. Тому доцільним є розподіл ширини зрізу декількома різцями. При цьому пошкоджену ділянку різального леза можна легко відновити заміною різця, що вийшов з ладу. Також до переваг розподілу ширини зрізу можна віднести простоту отримання конструкцій інструментів з постійним базуванням.

Таким чином, відповідно до завантаження різальних лез свердла, ці різальні інструменти можна розділити також на дві групи.

Відповідно розрізняють методи: 1) поділу ширини зрізу і 2) поділу подачі. При свердлінні з розподілом ширини зрізу розуміють кількість різальних лез, що необхідні для перекриття всієї ширини зрізу.

При конструюванні свердел цей метод є прогресивним, бо перекриття одним лезом всієї ширини різання, особливо при свердлінні глибоких отворів є малодосяжним.

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

Цей спосіб буває внутрішній або зовнішній. Обидва способи мають як позитивні, так і негативні моменти.

У ряді випадків найбільш поширеним є внутрішнє відведення стружки. Недоліком є те, що його здійснення досить складне. Проте даний спосіб забезпечує високу якість отворів, що обробляються. Це пов'язане з тим, що стружка, яка відходить не дряпає поверхню отвору. Окрім того, не відбувається пакування стружки у канавках. Відповідно стружка не застрягає між напрямними інструменту і заготовкою. Слід сказати, що ці свердла характеризуються відповідно меншим зношенням напрямних. При цьому процес свердління глибоких отворів при внутрішньому способі відведення стружки протікає більш надійно. Це яскраво видно на прикладі обробки отворів середніх діаметрів.

Для отворів діаметрів $d_c < 35$ мм свердла, зазвичай, проектують із зовнішнім відведенням стружки. Це пов'язане з тим, що невеликі розміри стебла свердла не забезпечують надійного стружковідведення з використанням внутрішнього способу.

При кільцевому свердлінні крупних отворів також застосовують зовнішнє відведення стружки. В цьому випадку розміри стебла і самого свердла дозволяють надійно здійснювати таке відведення стружки і одночасно забезпечуються умови чистоти отвору.

При обробці отворів великого діаметру окрім цього, на практиці застосовуються менші значення подач (рис. 1.9), ніж при обробці отворів середнього діаметру. Це також сприяє стружковідведенню.

Також слід додати, що при використанні зовнішнього відведення стружки при обробці отворів великих діаметрів економлять на оснащенні.

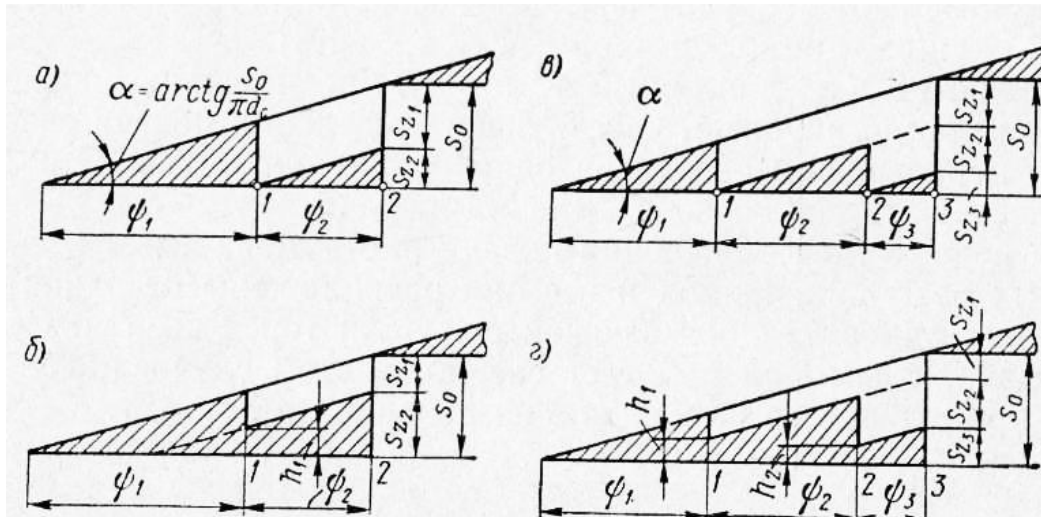


Рис. 1.9. Графіки розподілу подачі між різальними елементами інструменту за один оберт

Класифікувати свердла можна також і за різними конструктивними елементами. Найбільш істотними з них є конструкції різців та направляючих свердел і конструкції елементів приєднання свердел до стebel (рис. 1.10).

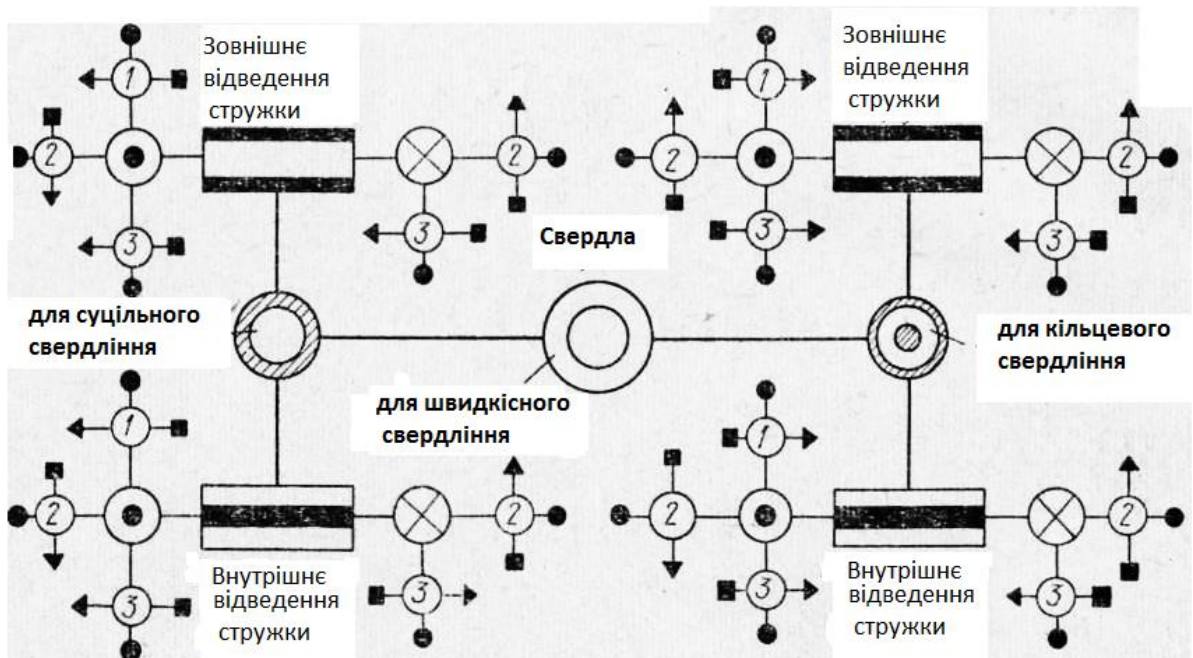


Рис. 1.10. Класифікація свердел глибокого свердління. Позначення: 1 - свердла, що працюють методом ділення ширини зрізу; 2 - свердла, що працюють методом поділу подачі; 3 - свердла, що працюють комбінованим методом (свердла 2 і 3-ї груп повинні мати число різальних лез $p > 2$)

У малих свердел різальні леза і напрямні є напайними. Вони виготовляються із твердих сплавів. Рідше застосовуються пресовані, а також спечені металокерамічні свердла. Вони приєднуються до стебла методом пайки.

Свердла зі швидкорізальної та інструментальної сталі для звичайного свердління також виготовляються цільними - у вигляді насадок до стебел.

В конструкціях свердел для свердління отворів з діаметрами $d_s > 40$ мм найчастіше різці та напрямні виготовляють змінними. В цих випадках у переважній більшості пластини твердого сплаву припаюються до державки різців і до колодок напрямних.

Значно рідше застосовують свердла, які використовують механічне кріплення твердосплавних пластин лез і напрямних.

Окремі зауваження слід висловити щодо хвостовиків.

При обробці глибоких отворів до цього часу часто застосовувалися свердла та інші інструменти із зовнішніми хвостовиками для приєднання до стебел. У цьому випадку на хвостовиках нарізалася багатоходова різьба. Проте досвід експлуатації таких інструментів, в тому числі досвід негативного характеру, послужив підставою запропонувати для приєднання інструментів до стебел внутрішню одноходову різьбу.

Для приєднання великих інструментів до стебел різьба часто є непридатною. В цьому випадку існує тенденція, що проявляється у заклинюванні на стеблі. Тому в подібних випадках зазвичай застосовують торцеве приєднання до стебла гвинтами і торцевими шпонками або штифтами.

Щодо верстатного парку, то процес свердління глибоких отворів здійснюють на вертикально-свердлильних, горизонтально-свердлильних, радіально-свердлильних та багатоцільових верстатах.

Висновки по розділу 1, постановка мети та задач дослідження

На основі аналізу результатів, отриманих при реалізації розділу 1 отримані такі висновки:

- 1) Проведений аналіз проблематики процесу свердління глибоких отворів. Встановлено, що для виготовлення різанням отворів з глибиною 5 і більше діаметрів (глибоких отворів) значної довжини застосовують особливі підходи, які полягають у забезпеченні точності отвору і прямолінійності його осі.
- 2) Виявлено, що при виготовленні глибоких отворів визначальним питанням є адекватний вибір режимів оброблення, а також вдале конструювання і оптимальне знаходження важливих характеристик різального інструменту (свердла).
- 3) Показано, що при проектуванні інструментів для глибокого свердління і розсвердлювання слід намагатись забезпечити вимоги високопродуктивного процесу обробки, надійного відведення стружки, охолодження зони різання, технологічності конструкції і мінімізації похибок точності отримуваних отворів.
- 4) Проаналізовані класифікаційні ознаки і конструктивні особливості існуючих інструментів для оброблення глибоких отворів, що становлять основу для розроблення нових перспективних інструментів.

Таким чином, можна здійснити постановку мети даного дослідження в рамках виконуваної дипломної роботи , як і сформулювати основні задачі дослідження.

Метою даного дослідження є підвищення ефективності процесу розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті

Об'єкт дослідження - процес розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті.

Предмет дослідження – особливості розсвердлювання глибоких отворів з допомогою інструменту, що передбачає гідроадаптацію різальних лез.

Таким чином, можна сформулювати **основні задачі**, які потрібно реалізувати у виконуваній дипломній роботі:

1. Проведення аналізу існуючих методів і способів свердління та розсвердлювання глибоких отворів та відповідного технологічного процесу.
2. Дослідження конструктивних характеристик інструментів для оброблення глибоких отворів.
3. Здійснити опис існуючих перспективних конструкцій радіально-свердлильних верстатів, що використовуються для свердління та розсвердлювання глибоких отворів.
4. Проаналізувати базову технологічну операцію свердління та розсвердлювання глибокого отвору.
5. На основі аналізу схем формоутворення запропонувати структурно-кінематичну та розробити кінематичну схеми пропонованого верстату.
6. Обґрунтовано вибрати раціональне компоновочне рішення і оформити загальний вигляд верстату.
7. Провести розрахунок на жорсткість шпиндельного вузла радіально-свердлильного верстату.
8. На основі синтезу функціональних схем збірних свердел з міжлезовими зв'язками зконструювати інструмент для свердління з гідро адаптацією руху різальних лез.
9. Розвинути математичну модель автоколиваний нежорсткого інструменту для глибокого свердління.
10. Визначити особливості впливу гідроадаптації різальних лез на розсвердлювання глибоких отворів при зміні твердості матеріалу обробки і несиметричності лез.
11. Запропонувати міри з охорони праці і безпеки життя і діяльності людини.
12. Оформити формулювання висновків по роботі.

2. Дослідно-проектний розділ

2.1. Опис аналогів перспективних конструкцій радіально-свердлильних верстатів для розсвердлювання глибоких отворів

Для операції глибокого свердління використовуються верстати, [3,4], спеціального призначення, універсальні свердлильні, револьверні і токарні спеціалізовані. Великий діапазон діаметрів і довжин отворів, велика номенклатура деталей вимагають застосування різних методів і схем глибокого свердління. Для одержання глибоких отворів діаметром до 85 мм часто застосовується суцільне свердління, при якому отвір утворюється за допомогою перетворення в стружку всього металу, що підлягає видаленню. Для отворів діаметром більш 85 мм широко використовують кільцеве свердління.

Обробку глибоких отворів часто здійснюють на радіально-свердлильних верстатах[5,6,13,14]. Удосконалення цих верстатів йде шляхом збільшення продуктивності, розширення їх технологічних можливостей, а також механізації та автоматизації процесу обробки.

Бажання до створення широко універсальних верстатів, які забезпечують якісну і високопродуктивну роботу призвело до того, що сучасні радіально-свердлильні верстати мають широкі діапазони і велику кількість обертів і подач шпинделя при високій продуктивності.

Доля допоміжного часу на цих верстатах все ще є великою. Тому навіть незначне скорочення часу на допоміжні операції є цінним і призводить до зростання продуктивності верстатів. Окрім того важливим є відповідне вдосконалення інструментального забезпечення процесу обробки глибоких отворів.

В промисловості застосовують багато типів радіально-свердлильних верстатів.

Найбільше розповсюдження отримали верстати загального призначення, коли виріб розміщується на плиті або на тумбі нерухомо. При цьому шпиндель займає вертикальне положення і переміщується у трьох напрямках: по колу навколо вертикальної колони, вздовж радіусів цих кіл і вертикально вздовж своєї осі.

Для свердління не тільки вертикальних отворів, але також нахилених і горизонтальних застосовуються універсальні радіально-свердлильні верстати з поворотною шпиндельною головкою.

Якщо оброблюваний виріб масивний, використовуються радіально-свердлильні верстати з колоною, що переміщується вздовж станини. Подальше удосконалення таких верстатів призвело до створення самохідних радіально-свердлильних верстатів, які можуть рухатись по рельсах. Також знаходять застосування переносні верстати. Їх переносять підймальним краном до потрібного місця і кріплять поряд з деталлю або ж прямо на ній.

Одним із різновидів радіально-свердлильних верстатів є настінні верстати, у яких відсутні плита і колона.

Для свердління отворів у листовому матеріалі використовують верстати з малим осьовим переміщенням шпинделя і без плити. Для сверлення отверстий в листовому матеріалі використовують станки з малим осьовим переміщенням шпинделя і без плити. Різноманітність таких верстатів - верстати з шарнирним хоботом, на кінці останньої ланки якого закріплена шпиндельна головка.

Випускають радіально-свердлильні верстати загального призначення моделей 2А53, ОС-67, 2А55, 2М55, 2Б55, 257, 2Б57, 258 і 2Б58 з найбільшим діаметром свердління в сталі середньої твердості 35, 50, 75 і 100 мм.

За кордоном випускають радіально-свердлильні верстати загального призначення з діаметром свердління від 25 до 160 мм. Найбільший вильот шпинделя досягає 4500 мм.

Найбільш популярний верстат, який планується нами використати як типовий і який застосовують для свердління і розсвердлювання глибоких отворів у деталях із отворами з вертикальною віссю є верстат моделі 2A554 (рис. 2.1).

Цей верстат володіє високою жорсткістю. Він призначений для виконання технологічних операцій широкого спектру. Зокрема, це операції, пов'язані зі свердлінням і розсвердлюванням глухих і наскрізних отворів діаметром до 50 мм у деталях середнього та крупного розмірів. На цьому верстаті можна проводити свердління в суцільному матеріалі, розсвердлювання, зенкерування та інші подібні технологічні операції. Модель отримала велику популярність у зв'язку із можливістю обробки деталей великої ваги.



Рис. 2. 1. Фотографія радіально-свердлильного верстату 2A544

Для цього верстату характерно, що під час роботи рухомим є тільки робочий орган, на якому кріпиться інструмент. При цьому більша частина органів керування розміщена на корпусі робочої головки. Верстат використовується для отримання досить точних деталей. Максимальний

діаметр свердління для сталей у 50мм може бути розширений до 63 мм для чавуна. Передбачене швидке переміщення рукава по колоні із швидкістю 1,4 м/хв. Свердлильна головка може переміщуватись на відстань біля 1225 мм. Рукав може повертатись навколо колони на кут 360 градусів. Ачстота обертання шпинделя варіюється від 18 до 2000 об/хв за рахунок 24 передач. Отвір може отримуватись досягнення зусилля у 20 кН.

2.2. Розрахунки щодо базової технологічної операції механічної обробки деталі, що передбачає свердління глибоких отворів

Стосовно базової технології обробки [8,9,10], яку можна було б взяти за основу при проектуванні верстату і розробці відповідного інструментального забезпечення для свердління виберемо найбільш навантажену операцію, що може виконуватися на проектованому радіально-свердлильному верстаті. Такою операцією буде чорнове чи однократне свердління з максимальним діаметром $D=50$ мм, вуглерідних і легованих сталей з $\sigma_{вр}=800$ Мпа свердлами зі швидкорізальної сталі [7].

При цьому розрахуємо режими і сили різання S_o , V , n , P_o , $M_{кр}$ для такої операції.

За [11] значення подачі для прийнятих умов визначається по формулі:

$$S_o = S_{от} * K_{sl} * K_{сж} * K_{si} * K_{sd}, \quad (2.1)$$

де: $S_{от}=0.60$ мм/об (при однократному свердлінні з квалітетом JT12, діаметрі свердління 40-50 мм, сталі з НВ 160-240); $K_{sl}=1.0$ – при $L_{св}<3D$; $K_{сж}=0.75$ – середня жорсткість системи; $K_{si}=1.0$ – свердло з швидкоріжучої сталі; $K_{sd}=1$ – наскрізне свердління. Таким чином,

$$S_o = 0.6 * 1.0 * 0.75 * 1.0 * 1.0 = 0.45 \text{ мм/об}$$

Приймаємо найближче менше значення з ряду подач проєктованого верстата $S_0 = 0.4$ мм/об.

Швидкість різання визначається згідно до відомої формули [11,12]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.2)$$

При свердлінні конструкційної вуглеводистої сталі з $\sigma_B=750$ МПа, свердлом із швидкоріжучої сталі Р6М5 і подачі $S>0.2$ мм/об, з охолодженням коефіцієнти і показники степені у формулі (1.3) мають такі значення: $C_v=9.8$, $q=0.4$, $y=0.5$, $m=0.2$ [11].

Коефіцієнт K_v складний і обчислюється за виразом

$$K_v = K_{vm} * K_{vn} * K_{vi} * K_{vl} * K_{vz}, \quad (2.3)$$

де $K_{vm} = (750 / \sigma_B)^{nv}$, $nv=0.9$; $K_{vn}=1$ при поверхні заготовлі без корки; $K_{vi}=1$ - інструмент із швидкоріжучої сталі Р6М5; $K_{vl}=1$ при глибині свердління $<3D$, $K_{vz}=0.75$ при одинарному заточенні свердла . Стійкість свердла $T=90$ хв при: діаметрі свердління $D=41-50$ мм, сталюї деталі, свердлом із швидкоріжучої сталі.

Тоді

$$V = (9.8 * 50^{0.4}) \cdot (750/729)^{0.9} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.75 = 23.18 \text{ м/хв}$$

Відповідно до визначеної частоти

$$n = 1000V / \pi D = 1000 * 23.18 / 3.14 * 50 = 147.5 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n=125$ об/хв.

Зусилля подачі P_0 , Н:

$$P_o = 10 * C_p * D^{q_p} * S^{Y_p} * K_p , \quad (2.4)$$

Крутний момент, $M_{кр}$, Нм визначимо так:

$$M_{кр} = 10 * C_M * D^{q_M} * S^{Y_M} * K_p . \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнтів у вказаних вище формулах такі:

$C_p=68$, $C_M=0.0345$, $q_p=1.0$, $q_M=2.0$, $Y_p=0.7$, $Y_M=0.8$, $K_p=(\sigma_b/750)^{np}$,
 $np=0.75$.

Тоді маємо, що

$$P_o=10*68*50^1*0.4^{0.7}*(729/750)^{0.75} = 17525.5 \text{ Н,}$$

$$M_{кр}=10*0.0345*50^2*0.4^{0.8}*(729/750)^{0.75} = 405.7 \text{ Нм.}$$

2.3 Розробка структурної-кінематичної та кінематичної схем радіально-свердлильного верстату. Обґрунтування вибору раціональної компоновки вертату.

2.3.1. Розробка схем формоутворення

Схеми свердління різняться відносними рухами інструмента і деталі. На універсальних, агрегатних верстатах і автоматичних лініях головний рух і рух подачі частіше має інструмент. На спеціальних верстатах, що забезпечують високу точність розташування осі просвердлених отворів, широко використовується обертання деталі й інструмента [13,14,15] (рис. 2.2).

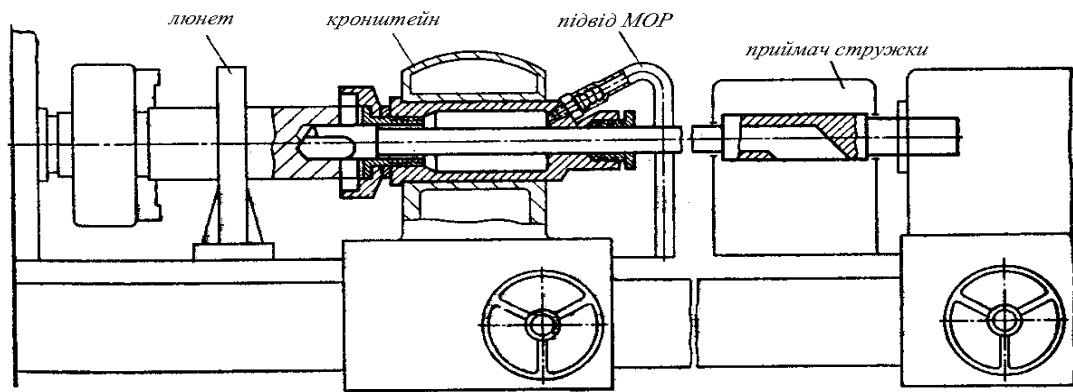


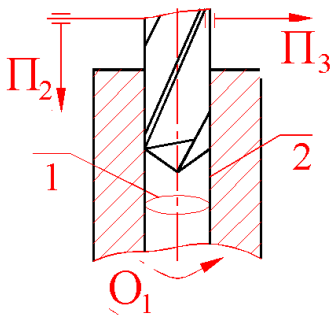
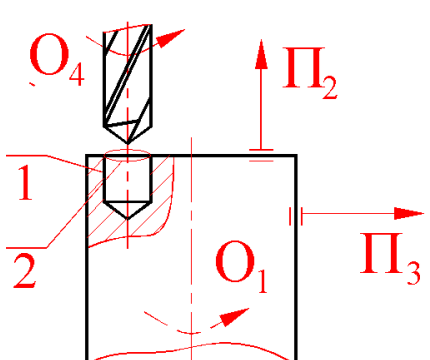
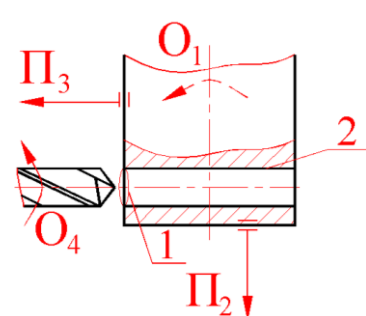
Рис. 2.2. Схема свердління глибокого отвору

Із групи свердлильних верстатів найбільш універсальними є радіально-свердлильні. Основне їх призначення – обробка отворів, в тому числі глибоких, у крупних деталях в одиничному і дрібносерійному виробництві. Висока продуктивність цих верстатів досягається їх оснащенням спеціальними пристосуваннями. На відміну від вертикально-свердлильних верстатів, при роботі на яких доводиться переміщувати деталь відносно свердла, на радіально-свердлильних верстатах переміщається свердло відносно оброблюваної деталі.

На радіально-свердлильних верстатах проводиться свердління отворів у суцільному матеріалі, розсвердлювання, зенкування і зенкерування попередньо просвердлених отворів, зенкування торцевих поверхней, циліндричних і конічних углублень, развертування отворів, нарізання внутрішньої різьби мітчиками [16]. Крім перерахованих операцій, за допомогою спеціальних інструментів і пристосувань на радіально-свердлильних верстатах можна розточувати отвори, канавки, вирізати отвори великого діаметра і диски із листового металу, свердлити квадратні отвори, притирати точні отвори циліндрів, подшипників, клапанів и т.д.

Деякі схеми формоутворення наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Схеми формоутворення при обробці на радіально-свердлильних верстатах

1.		1 – сліду	$\Phi_V(O_1)$	Уст (Π_3)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_2)$	
2.		1 – сліду	$\Phi_V(O_4)$	Уст (Π_3); Уст (O_1)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_2)$	
3.		1 – сліду	$\Phi_V(O_4)$	Уст (Π_2); Уст (O_1)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_3)$	

2.3.2. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату

У проєктованому верстаті привід головного руху і привід подач кінематично зв'язані між собою, тому що значення подач вимірюються в міліметрах на 1 оборот шпинделя. Отже при проєктуванні приводу головного руху це потрібно враховувати.

Реалізується це в конструкції верстату передачею руху до приводу подач від шпинделя, що є робочим органом головного руху (руху різання). На рис.2.3 показана структурно-кінематична схема основної частини (приводів

головного руху і подачі) радіально-свердлильного верстата. Рух до шпинделя передається від електродвигуна Д через коробку швидкостей i_v . Шпиндель обертається в підшипниках(опорах) встановлених у пинолі. Пиноль є робочим органом подачі. Рух до неї передається зі шпинделя через коробку подач i_s , механізм включення / вимикання подачі ВК (фрикційна муфта) на рейкову шестірню, що входить у зачеплення з зубцями рейки, нарізаної на пинолі. Ця рейкова передача перетворює обертальний рух рейкової шестірні в поступальний рух подачі рейки з пинолю і шпинделем.

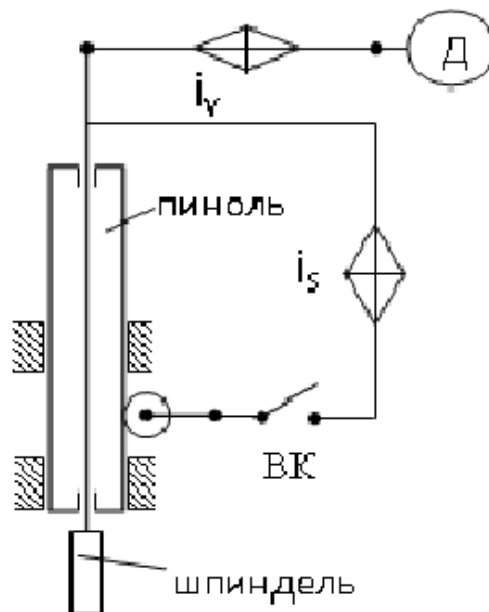


Рис. 2.3. Структурно-кінематична схема верстату

Відповідно структурно-кінематична схема верстату (рис. 2.) складається, таким чином, із таких кінематичних ланцюгів: а) обертання шпинделя; б) руху подачі; в) вертикального переміщення рукава; г) переміщення свердлильної головки по рукаву; д) прискорених переміщень шпинделя.

2.3.3. Розробка кінематичної схеми верстату

На основі структурно-кінематичної схеми розробляємо повну кінематичну схему пропонованого верстату, яка приведена на рис. 2.

При цьому зважаємо на такі характеристики верстату:

- 1) типорозмір верстата, визначається максимальним діаметром свердління по сталі 45 – $D_{\max}=50$ мм;
- 2) клас точності верстата – нормальний;
- 3) межі частот обертання $n_1=50$ об/хв, $n_z=2000$ об/хв;
- 4) межі значень подач шпинделю $s_1=0.16$ мм/об, $s_z=1.6$ мм/об;
- 5) потужність головного двигуна $N_{ед}=5.5$ кВт;
- 6) робочий хід шпинделя $h=350$ мм;
- 7) виліт осі шпинделя від направляючих колони $L=1500$ мм;
- 8) конічний отвір у шпинделі для встановлення інструмента – Морзе 5;
- 9) найменший термін експлуатації верстата $T_e=7$ років;
- 10) коефіцієнт технічного використання $K_{тв}=0.6$;
- 11) кількість змін роботи верстата $K_{см}=2$;
- 12) переключення передач рейково-важельним механізмом;
- 13) включення, виключення, реверс – електродвигуном;
- 14) система змазування – індивідуальна, від насосу.

Головний рух передається від двигуна потужністю 5,5 кВт, привід подачі має потужність 2,2 кВт.

Для побудови кінематичної схеми перш за все розробляємо структурну сітку приводу головного руху. Орієнтуємось на те, що проєктований привід головного руху має мати 24 швидкості. Тоді можемо проєктувати структуру такого типу: $z=3*2*2*2$ або ж $z=2*3*2*2$.

Орієнтуючись на останню структуру, визначаємо відповідні характеристики. Тоді структурна формула приводу набуде вигляду:

$$z = 2_1 * 3_2 * 2_6 * 2_{12},$$

яку для наших шуканих умов можемо представити для забезпечення діапазону у 21 швидкість у дещо змінній формі:

$$z = 2_2 * 3_4 * 2_1 * 2_9.$$

Саме цю формулу ми використаємо для кінцевої побудови графіку чисел бертів для приводу головного руху стосовно проектованого радіально-свердлильного верстату.

У структурі коробки швидкостей передбачимо,, таким чином такі рухомі блоки: 3 подвійних і один трійний. Блоки мали б забезпечувати 24 ступеней обертів шпинделя. Але структурний графік побудований таким чином, що три ступені чисел обертів перекриваються. Всі інші ж ступені утворюють геометричний ряд з $\phi=1,26$ в інтервалі від 20 до 2000 об/хв. Такий структурний портрет приводу головного руху добре ілюструє картина графіку чисел обертів для цього приводу (рис. 2.7), яка передбачає 5 валів коробки і передачу руху від електродвигуна до вала I яerez відповідну передачу – зубчасту.

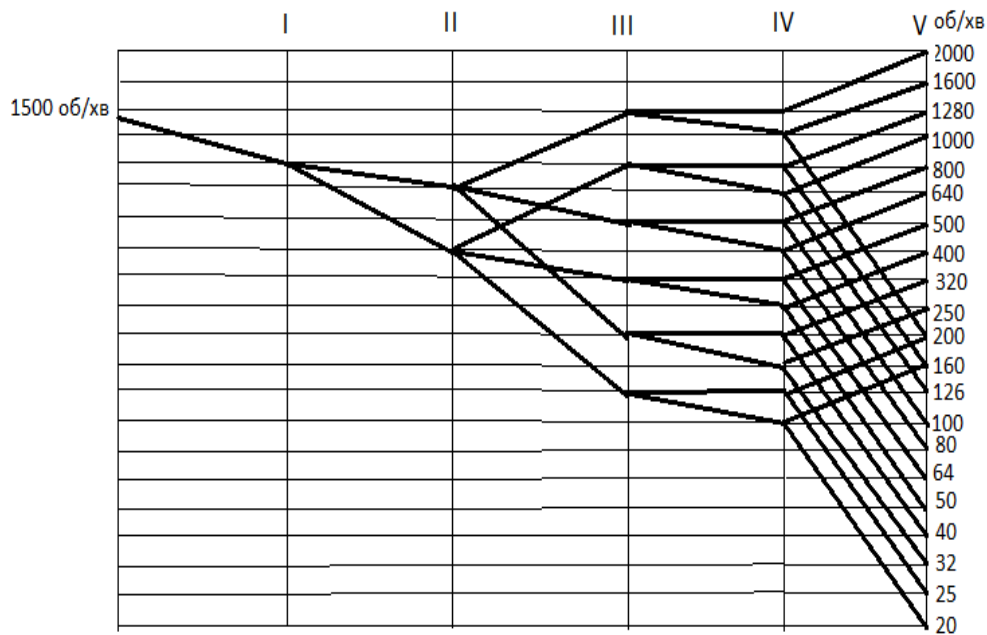


Рис. 2.4. Картина графіку чисел обертів проектованого приводу головного руху радіально-свердлильного верстату

Таким чином можемо приступати до оформлення повної кінематичної схеми верстату (рис. 2.5).

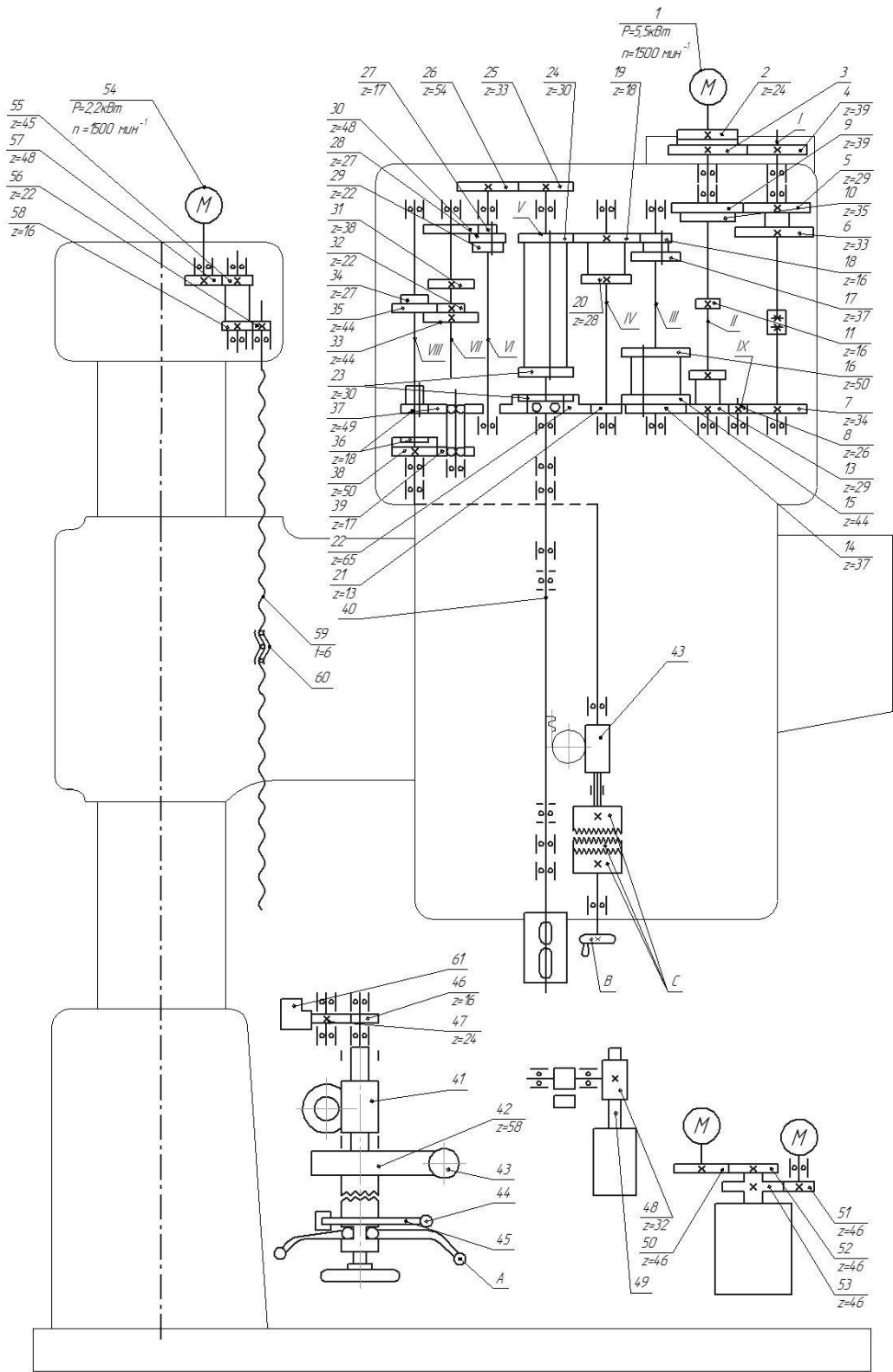


Рис. 2. 5. Повна кінематична схема радіально-свердлильного верстату для розсвердлювання глибоких отворів

Умовні позначення: А - штурвальні рукоятки; В – маховичок; С – зубчасті муфти; Д – механізм включення подачі; F – затиск головки; Е – привід гідроселектора.

На кінематичній схемі можна бачити, що шпиндель отримує обертання від електродвигуна через проміжкові передачу, пускову фрикційну муфту і вже вказану коробку швидкостей з 4 рухомими зубчастими блоками.

Фрикційна муфта з'єднується з коробкою або за рахунок двійчатки 9-10, або через паразитну шестерню 8.

Коробка швидкостей також забезпечує обернений рух.

Коробка подач отримує рух від шпинделя через шестерні 25-26. Один трійний і два двійних блоки забезпечують отримання 12 подач. Ці подачі утворюють геометричний ряд з $\varphi=1,41$ в інтервалі від 0,056 до 2,5 мм/об.

Свердлильна головка розміщена на напрямних рукава, по яких вона легко переміщується в радіальному напрямку. Легке переміщення свердлильної головки забезпечується застосуванням комбінованих напрямних кочення-ковзання.

Переміщення головки по рукаву здійснюється з допомогою маховика, що сидить на валу, що проходить через отвір рейкового валу подачі.

На іншому кінці вала є шестерня 46. Ця шестерня через накидну шестерню 47 з'єднується з рейкою 61, що нерухомо закріплена на рукаві.

Вертикальне переміщення рукава відбувається окремим електродвигуном через редуктор із зубчастими колесами 56, 55, 58, 57.

Редуктор кріпиться на верхній частині колони.

Гвинт подйому 59 і гайка 60 монтують в рукаві.

2.3.4. Розробка компоновочної схеми і загального вигляду

Компоновка верстату, який пропонується для розсвердлювання глибоких отворів, є традиційною для радіально-свердлильних верстатів [16,17].

Існуючі компоновки радіально-свердлильних верстатів представлені на рис. 2. 6.



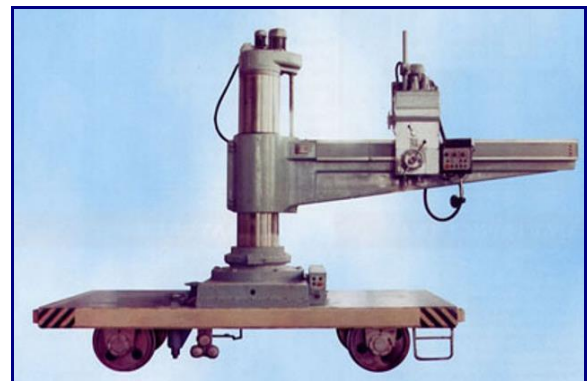
а)



б)



в)



г)

Рис. 2.6. Базові існуючі компоновки радіально-свердлильних верстатів: а) загального призначення; б) переносний; в) з колоною, що переміщується по напрямних станини; 4) пересувний по рельсах

При розробці компоновочного рішення слід приділити увагу тому, щоб розроблюваний верстат мав продуману конструкцію і відповідно необхідні характеристики. При цьому розміщення окремих вузлів визначають високу ефективність верстату і його незамінність при проведенні різноманітних операцій, в тому числі операції розсвердлювання глибоких отворів.

Тому пропонована компоновка включає ряд широко застосовуваних елементів компоновки свердлильних верстатів. Серед них слід виділити, зокрема:

- 1) Стаціонарна плита з Т-видними пазами для затиску деталі, що обробляється. На цій плиті нерухомо кріпиться внутрішня колона.
- 2) Внутрішня колона, на якій на підшипниках монтується колона, що обертається. На цій колоні розміщений рукав із свердлильною головкою.
- 3) Рукав, який має можливість вертикального переміщення по колоні, а також можливість обертання навколо вертикальної осі спільно із колоною.
- 4) Свердлильна головка, яка має можливість горизонтального переміщення по напрямних рукава.
- 5) Шпиндель, який змонтований в циліндричній гільзі і має можливість вертикального переміщення у корпусі свердлильної головки. Таким чином, подача забезпечується з допомогою гільзи шпинделя. Всі інші переміщення і позиціювальні.

Розроблювана компоновка також передбачає подачу змащувально-охолоджувальної рідини під тиском в зону різання. За рахунок цього може суттєво підвищуватись швидкість різання і величина подачі. Величина об'єму встановлюваної заготовки визначається розмірами стола і висотою розміщення головки. Функціональність верстату суттєво збільшується за рахунок застосування інструменту з гідро адаптацією різальних лез.

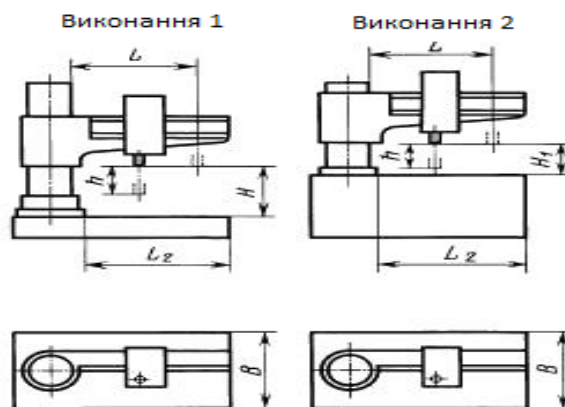


Рис.2.7. Компонування радіально-свердлильних верстатів виконання 1(на плиті) і 2 (на тумбі)

Для верстата, який проектуємо приймаємо тип виконання 1 – на плиті з підйомною поворотною траверсою.

Тому ми можемо перейти до остаточної пропозиції щодо компоновочного рішення для розроблюваного верстату – радіально-свердлильного стаціонарного на плиті.

Відповідно до прийнятого компоновочного рішення розробляємо креслення загального вигляду верстату, яке показано на рис. 2. 8.

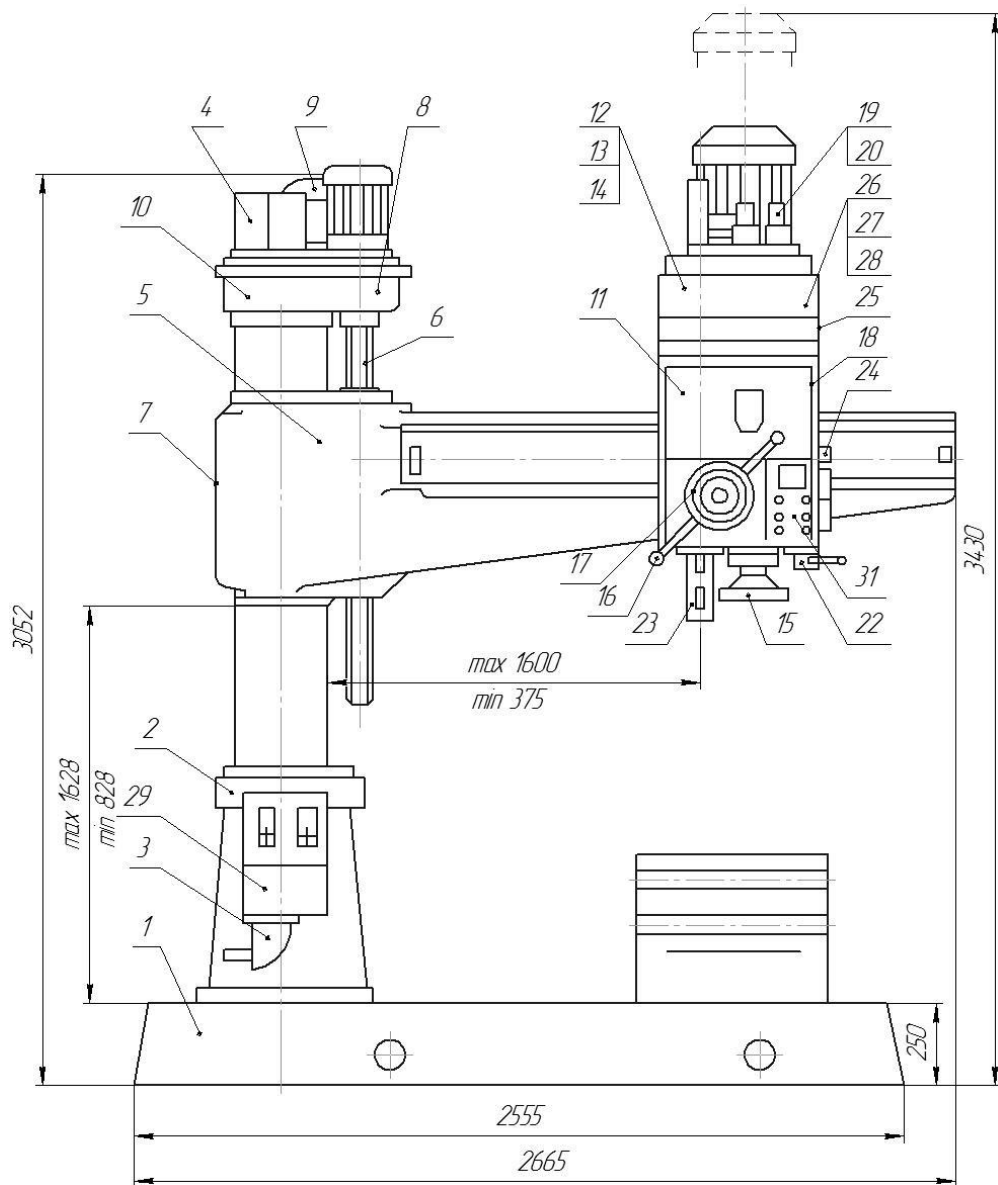


Рис. 2. 8. Креслення загального вигляду верстату

2.4. Силовий розрахунок і конструювання шпиндельного вузла проектного верстату

Силовий розрахунок необхідний для коректного вибору приводного двигуна.

Приймаємо попередньо як приводний двигун асинхронний короткозамкнений одношвидкісний електродвигун 4А112М4УЗ фланцевого виконання М300 потужністю 5.5 кВт. Потужність попередньо прикинули відповідно до верстату-аналога. Синхронна частота обертання ротора двигуна головного руху, який пропонується, дорівнює 1500 об/хв, а асинхронна, по якій будуть розраховуватися частоти обертання шпинделя $n_{ед}=1440$ об/хв.

Виконуємо перевірку на достатність заданої потужності приводного двигуна.

Ефективна потужність різання $N_{эф}$

$$N_{еф} = M_{кр} * n / 9750 = 405.7 * 125 / 9750 = 5.201 \text{ кВт}$$

Необхідна потужність приводного двигуна з урахуванням потужності затрачуваної на подачу $N_{п}$ і потужності холостих ходів $N_{х}$ [14]

$$N_{\dot{y}\ddot{a}} = \frac{N_{\dot{y}\delta}}{K \cdot \eta} + N_{i}, \quad (2.6)$$

де $K=1.25$ – коефіцієнт короткочасного перевантаження двигуна, $\eta=0.75-0.85$ – КПД привода (приймаємо 0.85).

Потужність, затрачувана на подачу

$$N_{п} = Q * S * n / 6120000, \quad Q = P_{о} + 2000 M_{кр} * f / d_{шп}, \quad (2.7)$$

де $f=0.15$ – коефіцієнт тертя в шлицевому з'єднанні шпинделя з гільзою коробки швидкостей, $d_{шп}=42$ мм (рекомендується приймати приблизно рівним максимальному діаметру свердління).

$$Q = 17525.5 + 2000 \cdot 405.7 \cdot 0.15 / 42 = 19958.5 \text{ Н}$$

$$N_{\Pi} = 19958.5 \cdot 0.4 \cdot 125 / 6120000 = 0.167 \text{ кВт.}$$

Обчислюємо потрібну потужність електродвигуна за виразом (2.6)

$$N_{ед} = 5.21 / (1.25 \cdot 0.85) + 0.163 = 5.067 \text{ кВт.}$$

Таким чином номінальна потужність електродвигуна 5.5 кВт цілком достатня для проектуваного верстата.

Основні розміри обраного електродвигуна, необхідні для його вбудовування в проектуваний верстат, наступні:

- діаметр вала $d=32$ мм, довжина вала $l=80$ мм, шпонка $b=10$ мм;
- фланець – діаметр $D_f=300$ мм, товщина $t=16$ мм;
- посадковий виступ на фланці – діаметр $D=230$, висота $h=4.0$ мм;
- кріпильні отвори у фланці: кількість – 4, діаметр – 15 мм, на діаметрі 265 мм;
- загальні габарити: довжина $L=452$, максимальний діаметр $D_{\max}=300$ мм.

Шпиндель радіально-свердлильного верстату легко переміщується як в радіальному напрямі, так і вздовж різних радіусів. Свердло таким чином може бути зупиненим у будь-якій точці площі, яка обмежена двома колами, які є концентричними: одне коло утворене радіусом найбільшого вильоту шпинделя, а інше – найменшого вильоту при круговому обертовому русі рукава.

Шпиндель отримує обертання від електродвигуна через проміжкові передачу, пускову муфту і коробку швидкостей із пересувними зубчастими блоками, що передбачається розробленою кінематикою верстату. Передбачений також реверсний рух шпинделя – тобто проти годинникової стрілки.

Пересувні блоки забезпечують частоти обертання шпинделя в інтервалі від 20 об/хв до 2000 об/хв. Набір частоти обертання і подачі шпинделя забезпечують швидко зміну значень елементів режиму різання. Фрикційна муфта забезпечує окрім швидкого реверсу запобігання коробки

швидкостей від перевантажень.

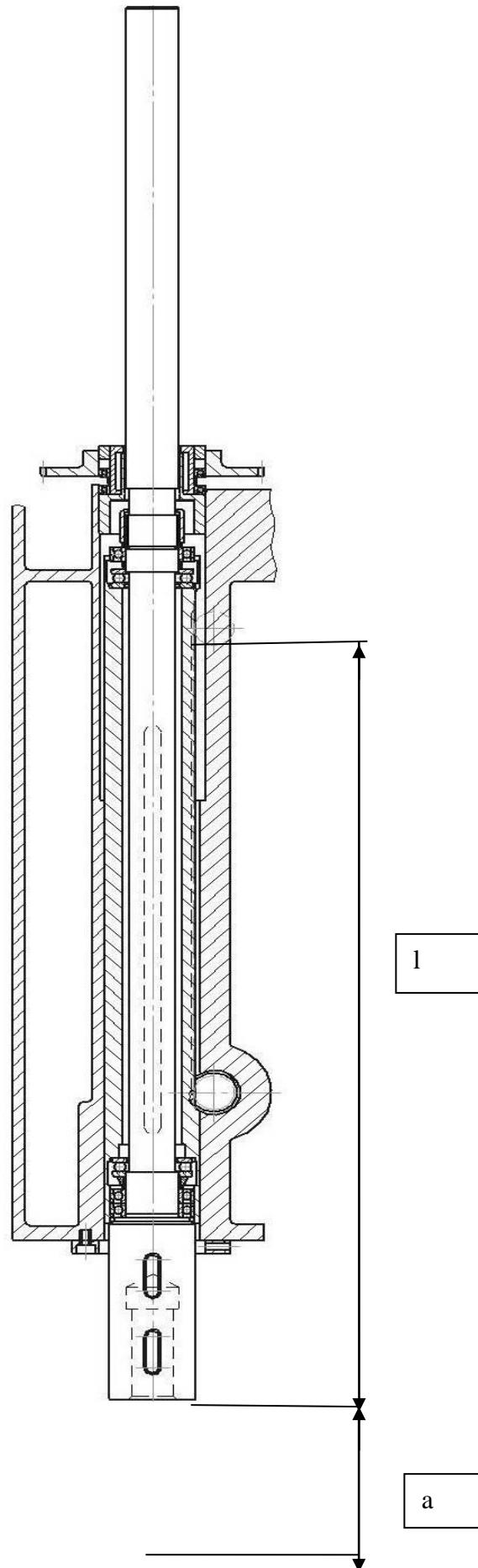


Рис. 2.9. Ескіз шпиндельного вузла розробленого верстату.

Одним із найважливіших параметрів шпиндельного вузла є його між опорна відстань – тобто відстань між підшипниками, які стоять у передній і задній опорах шпиндельного вузла, [18] .

Якщо спрощено замінити шпиндельний вузол балкою на двох пружних опорах із зусиллям, що моделює різання на передньому його кінці - консолі, то така модель дозволяє розрахувати міжорону відстань вузла.

У роботі [13] показано, що крива, яка описує загальну піддатливість шпиндельного вузла, має екстремум, який дозволяє оцінити як досягнути мінімальної піддатливості – максимальної жорсткості. При цьому виведене, [13], алгебраїчне рівняння третього порядку для визначення величини оптимальної міжопорної відстані:

$$l_{onm}^3 - \left\{ \frac{6EJ_1k_1}{a} l_{onm} + 6EJ_1 [k_1(1 - \xi_3) + k_2] \right\} = 0, \quad (2.8)$$

де E – модуль пружності матеріалу шпинделя; J_1 і J_2 – осьові моменти інерції для січення шпинделя в місці різання і між опорами відповідно. Цю формулу можна переписати так [19]:

$$l_{onm}^3 - 6EJ_1k_1 \left\{ \frac{1}{a} l_{onm} + \left[(1 - \xi_3) + \frac{k_2}{k_1} \right] \right\} = 0.$$

Таким чином, для визначення значення оптимальної між опорної відстані дослідимо поведінку функції

$$\Phi = l_{onm}^3 - 6EJ_1k_1 \left\{ \frac{1}{a} l_{onm} + \left[(1 - \xi_3) + \frac{k_2}{k_1} \right] \right\}.$$

Для цього використаємо програму розрахунку, розроблену для середовища MathCAD [20]. Результати розрахунків за даною програмою представлені на рис. 2.10.

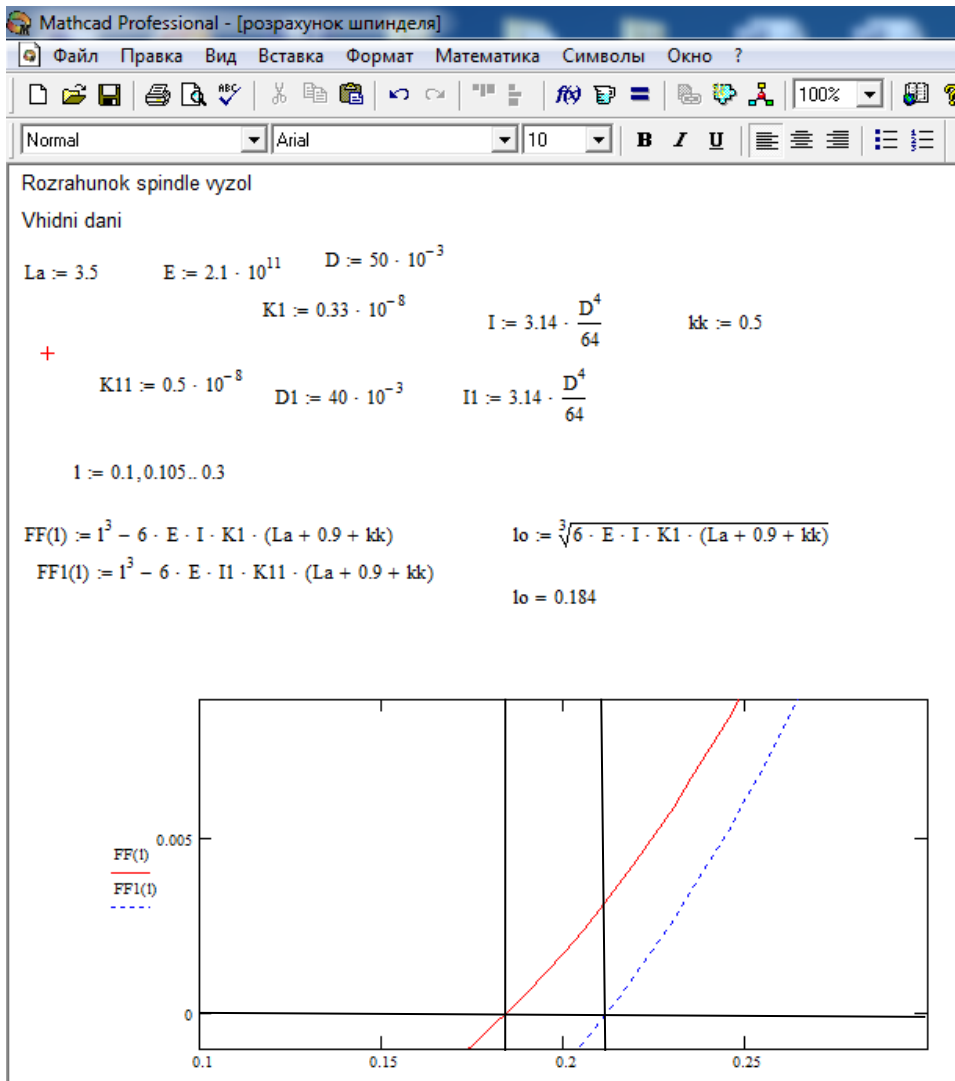


Рис. 2.10 Результати розрахунків за програмою MathCAD

Розв'язок оптимального рішення шукаємо на перетині отриманих графіків з нулевим рівнем функції. Таким чином, отримуємо, що для податливостей $0,33$ і $0,5 \cdot 10^{-8}$ м/Н маємо відповідно значення між опорної відстані у 184 і 207 мм.

Відповідно вибираємо між опорну відстань 200 мм.

Висновки по розділу 2

Дослідження, проведені у розділі 2 привели нас до таких висновків.

1. На основі аналізу процесу свердління глибоких отворів встановлено, що таку обробку доцільно здійснювати на радіально-свердлильних верстатах, які дозволяють створити для цієї обробки зручну зону і мають відповідні технологічні можливості.

2. В результаті розгляду базової технологічної операції глибокого свердління отвору діаметром 50 мм у конструкційній сталі розраховані критичні значення подач і швидкостей різання, а також відповідні силові характеристики.

3. Визначені основні схеми формоутворення дозволили розробити структурно-кінематичну схему запропонованого радіально-свердлильного верстату та спроектувати на основі розрахованого числа ступеней привід головного руху включно із графікрм чисел обертів і розгорнутою кінематичною схемою.

4. Аналіз існуючих компоновок і відомих підходів сприяли вибору компоновочної схеми пропонованого радіально-свердлильного верстату і оформленню його загального вигляду.

5. Вибір двигуна приводу головного руху і розробка кінематичної схеми привели до виконання конструкції шпиндельного вузла верстату, а також його розрахунку з критерію жорсткості і калькуляції на основі розвитку відомої моделі між опорної відстані верстату з використанням розробленої в середовищі MathCAD комп'ютерної програми.

3. Науково-дослідна частина

3.1. Опис послідовності проведення наукових досліджень

Метою досліджень є порівняльна оцінка параметрів і елементів при розсвердлюванні глибоких отворів з використанням спеціального збірного інструменту, спорядженого механізмом з гідро адаптацією різальних елементів.

Методика досліджень передбачає специфічне поєднання конструкторсько-технологічного і науково-дослідного пошуку. Таку методику можна представити у вигляді такої послідовності.

- 1) Обґрунтування процесу свердління і розсвердлювання глибоких отворів свердлами із різальними елементами адаптивного типу.
- 2) Розробка функціональних схем для збірних свердел з механічними та гідравлічними зв'язками між різальними лезами.
- 3) Створення збірного інструменту з різальними елементами, спорядженими можливістю гідро адаптації.
- 4) Розвиток математичної моделі розрахунку автоколиваний нежорсткого свердла для глибокого розсвердлювання і свердління.
- 5) Аналіз графіків амплітуд крутих вібрацій нежорсткого інструменту при глибокому свердлінні отвору.
- 6) Побудова математичної моделі амплітудних коливань різальних елементів свердла для глибокого розсвердлювання.
- 7) Дослідження особливостей впливу гідро адаптації на вібраційні рухи різальних лез при розсвердлюванні глибоких отворів в залежності від змінної твердості оброблюваного матеріалу та несиметричності конструкції свердла.
- 8) Вироблення висновків щодо визначення особливостей розсвердлювання з допомогою інструменту з гідро адаптацією лез в процесі обробки.

3.2. Обґрунтування конструкції свердла з гідро адаптацією різальних елементів

Як відмічалось вище, причиною уведення свердла є різниця сил на обох його лезах, тому однією із задач, які виникають при проектуванні технологічного процесу глибокого свердління (особливо у важкооброблюваних матеріалах) є зменшення величини різниці сил на лезах шляхом автоматичного їх вирівнювання безпосередньо в процесі свердління.

Інструменти такого типу називають самоналагоджувальними [5, 13, 23].

Сконструювати інструмент такого типу можна на основі дворізевого свердла із вставними різцями. Схема інструменту (рис. 3.1) передбачає вирівнювання сил різання на різцях 4 і 5, якщо їх хвостовики реагують на зміну сил різання на кожному з них через важіль 2, який в свою чергу кріпиться до шарніра 3, що жорстко з'єднаний з корпусом 1 [23].

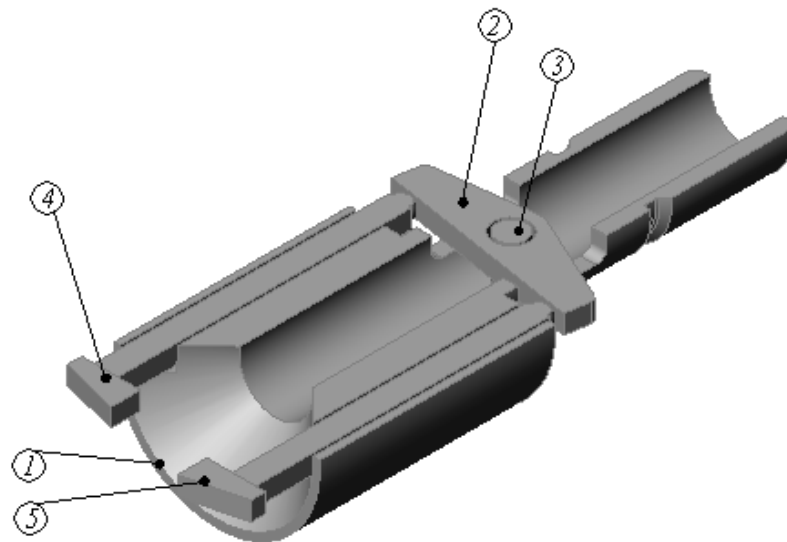


Рис.3.1. Функціональна схема свердла з міжлезовим зв'язком

Як впливає з аналізу функціональної схеми, сили (реакції) на обох плунжерах, при однакових плечах важеля та при відсутності сил тертя, будуть завжди однаковими, тобто збільшення реакції на одному з плунжерів буде викликати поворот важеля і, як наслідок, перерозподіл величини подачі на різцях до тих пір, доки не встановиться рівновага. Виходячи з принципу

роботи такого інструмента можна зробити висновок про те, що товщина зрізу металу на обох різцях в процесі роботи свердла буде різною до тих пір, поки будуть різними умови роботи обох різців.

Представлена на рис. 3.1 функціональна схема самоналагоджувального інструмента служить лише для представлення принципу його дії і не може бути взята за основу при побудові конструктивної схеми з огляду на ряд техніко – економічних причин. Використання важеля та шарніра зменшує площу перерізу стружковивідного отвору, що, як відмічалось вище, є недопустимо в свердлах для глибокого свердління. Окрім того, місця контакту рухомих частин конструкції між собою повинні бути надійно захищені від попадання продуктів різання (МОР з подрібненими частинками стружки), що важко виконати в даній конструкції. Наявність сил тертя в рухомих парах призведе до того, що стан рівноваги конструкції відбуватиметься при різних значеннях сил на різцях, і різниця ця буде рівною сумарній силі тертя. Тому необхідно, по можливості, зменшувати сили тертя в кінематичних парах і, як наслідок, кількість таких пар – теж.

Виходячи з цього, доцільно замінити механічний зв'язок гідравлічним, з'єднавши обидва отвори, в яких розташовані хвостовики різців кільцевою канавкою, а самі хвостовики – плунжерами, ущільнення яких не викликає особливих проблем. Таким чином конструктивна схема свердла стає гідромеханічною, яка зберігає всі необхідні властивості функціональної схеми (рис. 3.1) та в значній мірі позбавлена властивих їй недоліків.

Серед факторів, що впливають на якість оброблення отворів при свердлінні можна виділити такі найважливіші: похибки інструменту (втрата стійкості свердла та несиметричність розташування різальних лез); коливання твердості матеріалу заготовки; похибки закріплення інструменту у шпинделі верстату; нежорстке закріплення заготовки; призначення неадекватних умовам точності та міцності деталі режимів оброблення. Саме ці причини є наслідком коливань свердла та заготовки, що призводять до “розбивання отвору” та відхилення осі обробленого отвору від теоретичного

положення через уведення інструменту (особливо при свердлінні глибоких ($L/D > 5$) отворів).

Загальновідомими є 2 шляхи зменшення цих похибок: конструкторський (підвищення жорсткості технологічної системи ВПД) і технологічний (зменшення навантажень на інструмент за рахунок реструктуризації технологічної операції та використання неінтенсивних режимів оброблення).

Запропонований у даній роботі шлях впровадження свердел з рухомими лезами, що пов'язані кінематичним зв'язком, дозволяє поєднувати використання інструменту зі стандартними геометричними параметрами з високоефективними режимами оброблення.

В таблиці 3.1 наведені синтезовані варіанти функціональних схем збірних свердел з міжлезовими механічними та гідравлічним зв'язком.

Зокрема, між лезами може бути відсутній зв'язок, і вони при цьому жорстко зв'язані з корпусом (варіант 1). Існують випадки, коли одне із лез доцільно підпружинити (варіант 2), або ж підпружинюють обидва леза (варіант 4).

Для вирівнювання осьових навантажень в інструменті можна запропонувати механічний зв'язок між лезами, зокрема з допомогою важеля (варіант 3), при цьому одне із лез може бути підпружиненим (варіант 5).

Нарешті, достатньо простою і ефективною є схема із зворотнім гідравлічним зв'язком (варіант 6), яка має ряд переваг, що стосуються демпфування коливань [5,23,26,27] і інерційності зв'язку.

Як доведено у роботі [28], саме цей шлях є найбільш впливовим на формування показників якості при обробленні глибоких отворів.

Кінематичні особливості умов роботи свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком з рухомими лезами виглядають наступним чином.

Синтез функціональних схем збірних свердел з міжлезовими механічними та гідравлічними зв'язками

1.		4.	
2.		5.	
3.		6.	

Внаслідок нерівномірності навантаження на леза, що викликано наявністю у структурі матеріалу заготовки твердих включень 1 або несиметричністю розташування лез, різальні елементи 2 і 3 мають можливість взаємно зміщуватись на величину лезових осциляцій Δ . Тоді додаткове навантаження на лезо компенсується додатковою силою, що виникає внаслідок зростання або зменшення глибини різання. Така технологічна схема обробки передбачає вирівнювання складових сил різання, що діють на леза інструменту і викликає деформацію системи ВПД за рахунок вирівнювання сил в напрямку подачі.

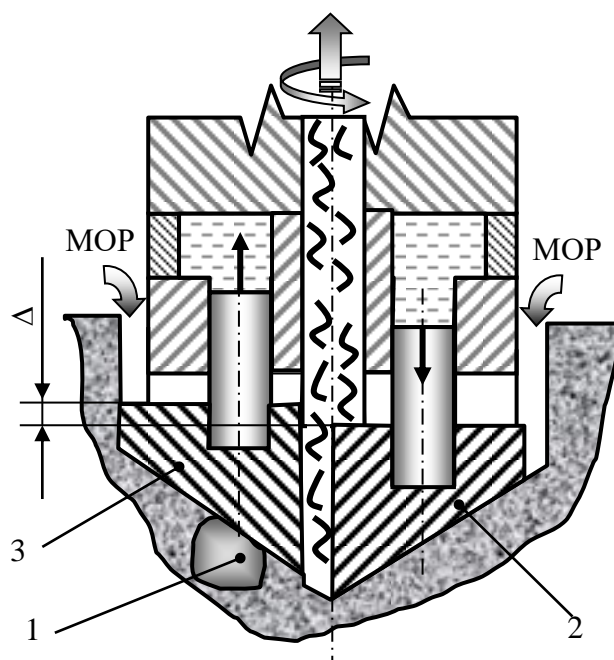


Рис.3.2. Кінематична схема роботи свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком

Конструкція свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком проектувалась на основі функціональної схеми (рис. 3.2) та конструктивної схеми дволезового свердла, [28], яке працює за методом поділу ширини зрізу.

На рис.3.3 наведена конструкція розробленого збірного свердла з гідравлічним міжлезовим зв'язком. В корпусі 1 свердла виконані повздовжні ступінчасті циліндричні отвори, в яких встановлені плунжери 2 і 3, кінці яких вільно проходять в отворах втулок 4 і 5, жорстко з'єднаних з корпусом. Дані втулки поряд з циліндричними пальцями 6 і 7 являються напрямними

елементами для лез 8 і 9, які є різальними елементами збірною свердла. Для обмеження відносного зміщення лез по відношенню до напрямних елементів призначені циліндричні пальці 10 і 11. В конструкції передбачені отвори для плунжерів, які гідравлічно з'єднані між собою кільцевою канавкою 12. Для заливки рідини використовується отвір в корпусі свердла, який закритий різьбовою конічною пробкою 13.

Для базування свердла в отворі використовуються три твердосплавні напрямні пластини 14. В процесі оброблення отвору автоматичне вирівнювання навантажень між лезами інструменту здійснюється за рахунок відносного зміщення плунжерів, зусилля на яких внаслідок прямого гідравлічного зв'язку залишається однаковим.

Відстань між різцями і корпусом вибирається з врахуванням величини ходу плунжера та податливості рідини під навантаженням. Для базування свердла в отворі на корпусі останнього розміщено три напрямні пластини (виготовлених з вольфрамо–кобальтового сплаву ВК3, ВК6 або ВК8) із зворотною конусністю 1:100. Для запобігання заклинюванню свердла в отворі, напрямні пластини розташовують не симетрично [1]. Свердло кріпиться хвостовиком до порожнистої штанги відповідної довжини шляхом різьбового з'єднання обох елементів з допомогою багатозахідної прямокутної різі. Внутрішня порожнина корпусу та штанги служить (рис. 3.3) для транспортування стружки та МОР, а також для додаткового охолодження корпусу інструменту.

Принцип дії інструмента з міжлезовим гідравлічним зв'язком базується на законі Паскаля про те, що тиск всередині рідини передається у всі сторони рівномірно, тобто при однакових діаметрах плунжерів, осьові реакції різців на силу, яка діє на них зі сторони корпусу будуть завжди однакові. В дійсності, через сили сухого тертя між рухомими частинами свердла, цей принцип частково порушується. Припустимо, що при свердлінні, по якійсь із перелічених у розділі 2.1. причин, сила на одному із різців зросла і різниця сил на обох різцях є більшою за сумарну силу сухого тертя. Зростання сили

на різці викличе додаткове переміщення його плунжера і, як наслідок, додаткове зростання тиску.

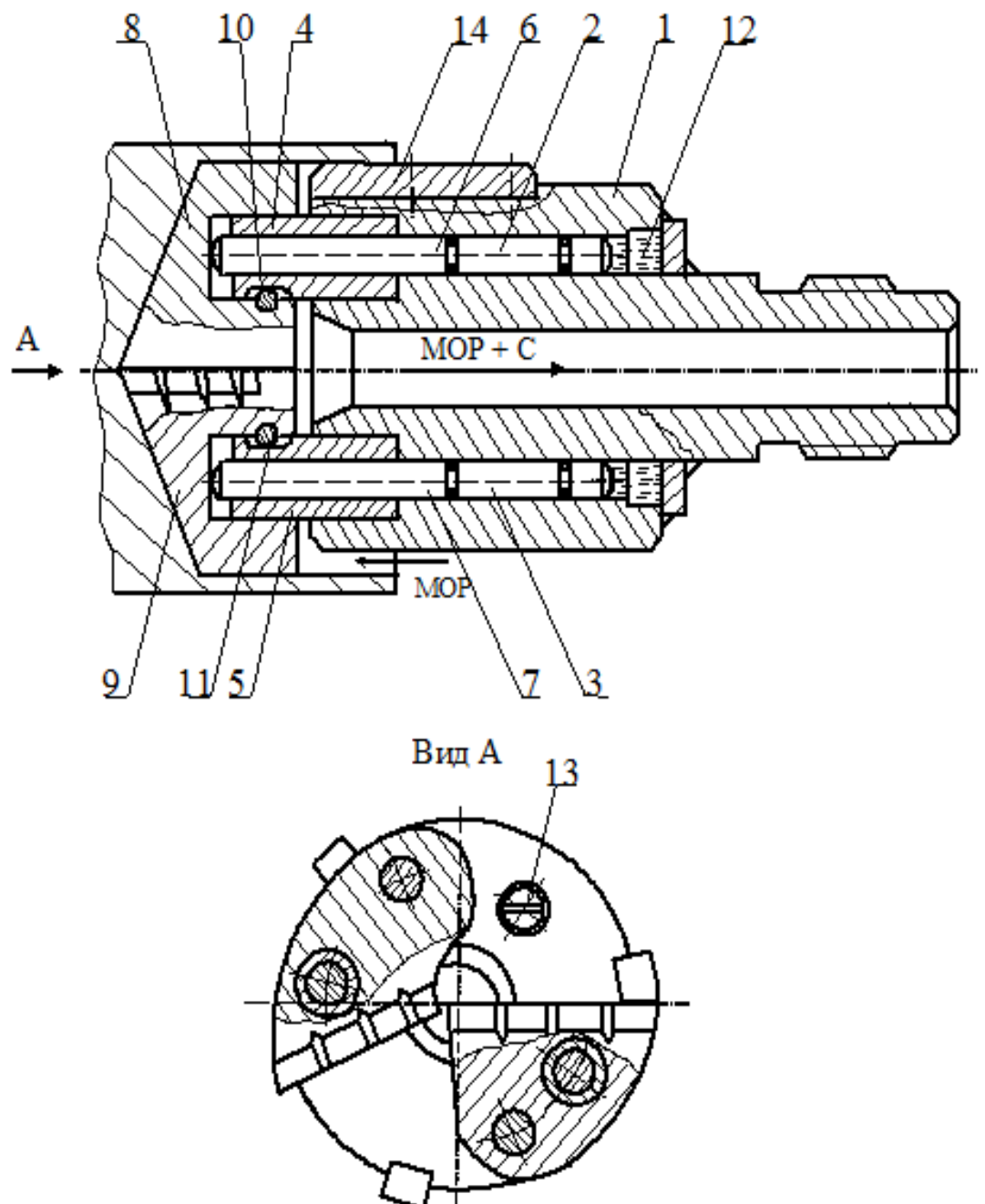


Рис.3.3. Конструкція збірного свердла з гідравлічним міжлезовим зв'язком

Згідно закону Паскаля, навантаження на інший плунжер пропорційно зросте, що викличе збільшення глибини різання на цьому різці, тобто інструмент налагоджується до зміни умов роботи (різниці сил на різцях). Якщо ж різниця сил на різцях є меншою за сумарну силу сухого тертя в рухомих елементах конструкції, то плунжер буде утримуватися силою тертя, переміщення його буде неможливе і, як наслідок, неможливою буде адаптація. Тому в даній конструкції необхідно зменшувати сухе тертя, оскільки воно формує зону нечутливості свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком.

При збільшенні навантаження на інструмент (більшого за розрахункове) рідина додатково стискається, різці впираються в корпус і, тим самим, кільцева порожнина розвантажується від подальшого зростання тиску і тоді подальше протікання процесу свердління нічим не відрізняється від обробки відомими свердлами.

3.3. Побудова математичної моделі

Основний вплив на процес різання мають відносні коливання інструменту та деталі. Від цих коливань, в кінцевому вигляді, залежить як стійкість та продуктивність роботи металорізального інструменту, так і якість оброблюваної поверхні (хвилястість, шорсткість, наклеп, залишкові напруження тощо). Особливо велике значення надається автоколиванням нежорсткого інструменту, до якого можна віднести свердла для глибокого свердління. Причому найбільш впливовими коливаннями є круті коливання інструменту.

При крутих коливаннях свердла справедлива рівність:

$$\overline{M}_{\text{ін}} + \overline{M}_{\text{оп}} + \overline{M}_{\text{пр}} + \overline{M} = 0 \quad (3.1)$$

де $\overline{M_{\text{ін}}}, \overline{M_{\text{оп}}}, \overline{M_{\text{пр}}}, \overline{M}$ - моменти сил відповідно інерції, опору, пружності та різання.

Інакше це можна записати у вигляді:

$$I \frac{d^2\varphi(t)}{d(t)^2} + \eta \frac{d\varphi(t)}{d(t)} + C\varphi(t) = M \quad (3.2)$$

де I – приведений момент інерції свердла; η - узагальнений момент опору; C – коефіцієнт жорсткості.

При значних крутильних коливаннях стандартного дволезового свердла для глибокого свердління, праву частину рівності (2.2) можна записати наступним чином:

$$M = M_p + M_1 + M_2 + B \quad (3.3)$$

де M_p – момент сил від різальної частини свердла; M_1, M_2 – моменти сил відповідно на першому та другому лезі калібруючої частини свердла; B – додатковий постійний момент сил тертя від направляючої частини свердла.

В якості спрощеного розрахунку розглянемо випадок малих коливань свердла відносно статичного кута закручування.

При крутильних коливаннях свердла відносно статичного кута закручування використовуючи методику І.Г.Жаркова [4] рівність (3.3) можна записати наступним чином:

$$M = M_p + M_0 + \varepsilon \cdot \sin(\omega t) + K_p \delta [2\varphi(t - \tau) - \varphi(t - T/2 - \tau)] + B \quad (3.4)$$

де $\varepsilon \cdot \sin(\omega t)$ - періодичне збудження моменту різання, що викликане відхиленням твердості матеріалу деталі та наявністю твердих включень, що переважають 5% середньостатистичної твердості матеріалу. У вказаній рівності (3.4) M_0 – момент, що виникає внаслідок підрізання бічної сторони

профілю леза свердла при статичному куті закручування (під статичним кутом закручування слід розуміти кут закручування свердла під дією моменту M_p); $\varphi(t)$ - кутове відхилення свердла відносно статичного кута закручування; K_p – коефіцієнт різання; δ - коефіцієнт депланації; T – час одного оберту свердла; τ - відставання в часі зміни зусилля різання від зміни товщини зрізаного шару. Позначимо $M_p + M_0 + B = \text{const} = D$. Тоді рівняння (3.2) може бути представлено у вигляді

$$I \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} + \eta \frac{d\varphi(t)}{dt} + C\varphi(t) = K_p \delta [2\varphi(t - \tau) - \varphi(t - T/2 - \tau)] + \varepsilon \cdot \sin \omega t + D \quad (3.5)$$

Відлік кута повороту проводимо від статичного кута закручування:

$$\varphi(t) = \varphi_{\text{ст}} + \varphi_1(t) \quad (3.6)$$

Тоді рівняння (3.5) запишемо у вигляді:

$$I\ddot{\varphi}(t) + \eta\dot{\varphi}(t) + C\varphi(t) = K_p \delta [2\varphi(t - \tau) - \varphi(t - T/2 - \tau)] + \varepsilon \cdot \sin \omega t \quad (3.7)$$

Вимушену складову рівняння (3.7) запишемо у вигляді :

$$\varphi(t) = E \sin \omega t + F \cos \omega t \quad (3.8)$$

Підставивши вираз (3.8) у рівняння (3.7) і виконавши перетворення у символній формі, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} F[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau)] + E[\eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau)] &= 0 \\ -F[\eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau)] + E[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau)] &= \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Введемо позначення :

$$\left. \begin{aligned} C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \varpi(T/2 - \tau) &= a_1 \\ \eta\varpi - K_p \sin \varpi(T/2 - \tau) &= a_2 \end{aligned} \right\}, \quad (3.10)$$

Тоді матимемо:

$$\left. \begin{aligned} Fa_1 + Ea_2 &= 0 \\ -Fa_2 + Ea_1 &= \varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

Розв'язуючи систему рівнянь (3.11), отримаємо:

$$E = \frac{a_1 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2}; \quad F = -\frac{a_2 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2}. \quad (3.12)$$

Вимушену складову рівняння (3.8) запишемо у вигляді:

$$\varphi(t) = \frac{a_1 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2} \sin \varpi t - \frac{a_2 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2} \cos \varpi t. \quad (3.13)$$

Після нескладних перетворень отримаємо:

$$\varphi(t) = \varphi_A \sin \left[\varpi t + \operatorname{arctg} \left(-\frac{a_1}{a_2} \right) \right]. \quad (3.14)$$

Залежність $\varphi_A = \varepsilon / \sqrt{a_1^2 + a_2^2}$ і є аналітичною інтерпретацією амплітуди крутих коливань свердла при глибокому свердлінні отвору. Приймаючи до уваги прийняті у виразі (3.10) позначення, у повному вигляді отримаємо:

$$\varphi_A = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\left[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \varpi(T/2 - \tau) \right]^2 + \left[\eta\varpi - K_p \sin \varpi(T/2 - \tau) \right]^2}}. \quad (3.15)$$

За допомогою даного виразу за програмою MathCAD можна здійснювати аналіз впливу окремих параметрів режиму різання та конструкції інструменту на вібростійкість свердла в процесі глибокого свердління (рис. 3.4).

Узагальнений коефіцієнт демпфування η досить сильно впливає на величину амплітуд автоколивань. Ця залежність має гіперболічний характер. При значенні $\eta \geq 4000$ амплітуда автоколивань наближається до 0, тобто процес свердління у всіх випадках протікає стабільно, без вібрацій. При зменшенні η амплітуди автоколивань зростають спочатку повільно, а потім швидше. При значенні $\eta < 1500$ амплітуда автоколивань стає більша 0,5 мм, тобто процес свердління стає неможливим.

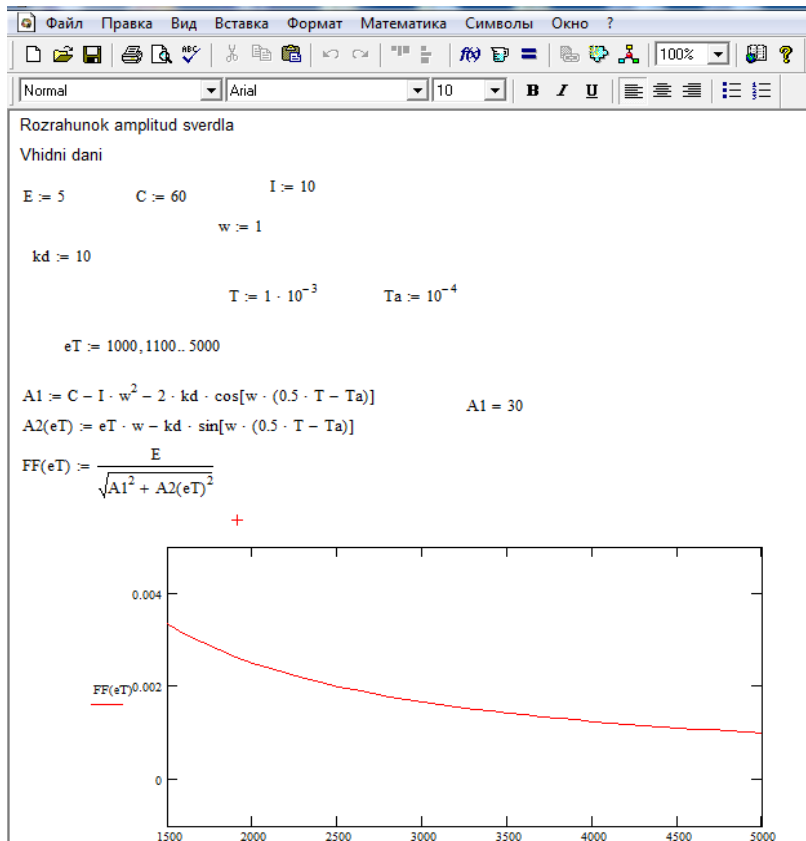


Рис. 3.4. Залежність амплітуд від коефіцієнту η

Для більшості реальних процесів свердління коефіцієнт демпфування складає величину 3000 – 3500. При такому значенні коефіцієнту максимальне значення амплітуд знаходиться в межах 40 – 150 мкм (при заданих умовах обробки).

Залежність амплітуди автоколивань від жорсткості домінуючої коливальної системи C має приблизно аналогічний характер, проте гіперболічна залежність виражена дещо слабше. Так, при збільшенні в реальних межах узагальненого коефіцієнту демпфування в півтора рази,

амплітуда автоколивань зменшується приблизно в 3 рази, то при зростанні жорсткості в 2 рази і амплітуди автоколивань зменшуються вдвічі.

Все це дозволяє зробити висновок про пріоритетність зменшення автоколивань технологічними шляхами, ніж конструкторськими. Тобто доцільніше розробляти свердла, що мають можливість гасити автоколивання, ніж створювати наджорсткі інструменти (особливо в умовах глибокого свердління).

3.3. Зміст наукових розвідок особливостей процесу розсвердлювання за допомогою свердли із гідро адаптацією різальних елементів з використанням елементів CAD і CAE

В даному випадку розглянемо особливості впливу гідро адаптації різальних лез на якість розсвердлювання глибоких отворів.

Для визначення складової сили різання при свердлінні можна використати емпіричну формулу [11,12]:

$$P_z = p \cdot a^{1-m} \cdot b \cdot k_v \cdot k_l \cdot k_{\text{мор}} \cdot k_h \cdot k_b, \quad (3.16)$$

де p – питома сила опору різання, Н/мм²;

a, b – товщина та ширина зрізу, мм;

m – показник ступеня, для сталей $m=0,17-0,2$; для жаростійких сталей і сплавів $m=0,2-0,25$; для чавунів $m=0,21-0,26$; для бронзи і сплавів $m=0,17$;

k_v – коефіцієнт, що враховує швидкість різання: при $V=5-15$, $k_v=1,1-1,2$; при $V=20-30$ м/хв, $k_v=0,9-1,0$; при $V=30-40$ м/хв, $k_v=0,8-0,9$; при $V>40$ м/хв, $k_v=0,7-0,8$;

k_l – коефіцієнт, що враховує глибину свердління: при $l/D=3-5$, $k_l=1,0-1,1$; при $l/D=5-10$, $k_l=1,1-1,3$; при $l/D>10$, $k_l=1,3-1,5$;

$k_{\text{мор}}$ – коефіцієнт, що враховує використання мастильно-охолоджуючих рідин;

k_h – коефіцієнт, що враховує зношування різальних лез свердла; $k_h=1,25-1,4$;

k_b - коефіцієнт, що враховує вид оброблення: при свердлінні $k_b=1,0$; при розсвердлюванні $k_b=0,95$.

Зміну твердості матеріалу заготовки можна проілюструвати коефіцієнтом k_T :

$$k_T = \frac{HB_{\max}}{HB_{\min}}, \quad (3.17)$$

де HB_{\max} , HB_{\min} – середньостатистична твердість матеріалу заготовки, найбільша та найменша, відповідно.

Слід зауважити, що для ряду чавунів та сплавів з титановими, вольфрамовими та молібденовими включеннями такі коливання можуть досягати 80-120% ($k_T=1,8-2,2$) [7].

Оскільки величини b ; k_v , $k_{\text{мор}}$, k_h і k_b для роботи обох лез є незмінним і їх добуток позначимо через D , то формулу (3.16) запишемо у вигляді:

$$P_z = p \cdot a^{1-m} \cdot D, \quad (3.18)$$

Питома сила опору різання [22] :

$$p = 1,36 \cdot \sigma_B \cdot \xi, \quad (3.19)$$

де σ_B – границя міцності матеріалу, МПа [25]:

$$\begin{cases} \sigma_B = 0,343 \cdot HB & \text{- для сталі HB125 - 175} \\ \sigma_B = 0,362 \cdot HB & \text{- для сталі HB > 175} \end{cases}, \quad (3.20)$$

ξ - коефіцієнт усадки стружки ($\xi=4-6$ [22]).

Товщина зрізу :

$$a = \frac{S}{2} \cdot \sin(\varphi), \quad (3.21)$$

де S – подача на 1 оберт шпинделя, мм/об.

Враховуючи, що значення сил P_z формуються на 2-х лезах інструменту і вирівнюється внаслідок існування кінематичного зв'язку, то можна записати:

$$k_T = \frac{HB_1}{HB_2} = \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^{1-m} = \left(\frac{a_1 + \Delta}{a_1} \right)^{1-m}, \quad (3.22)$$

де HB_1 і HB_2 – твердість матеріалу на першому та другому лезі, відповідно; a_1 і a_2 – товщина зрізу на першому та другому лезі, відповідно.

Враховуючи вираз (3.22) після перетворень дістанемо :

$$\Delta = \left(\sqrt[1-m]{k_T} - 1 \right) \cdot S \cdot \sin(\varphi), \quad (3.23)$$

Графічна інтерпретація цієї залежності подана на рис. 3.5.

Проаналізуємо можливу зміну величини лезових осциляцій Δ внаслідок несиметричності різальних лез. Провівши аналіз аналогічний вищенаведеному, але з точки зору зміни кутів при вершині першого φ_1 і другого φ_2 леза свердла, отримаємо:

$$\frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} = \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^{1-m} = \left(\frac{a_1}{a_1 + \Delta} \right)^{1-m}. \quad (3.24)$$

Якщо прийняти, що $|\varphi_1 - \varphi_2| = \tau_\varphi$ і прийнявши $\varphi_1 = (2/3)\pi$ [рад], то можна записати:

$$\frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sin\left(\frac{3}{2}\pi + \tau_\varphi\right)} = \left(\frac{S \cdot \sqrt{3}}{(S \cdot \sqrt{3}) + 2\Delta} \right)^{1-m}. \quad (3.25)$$

Звідси :

$$\Delta = \frac{S \cdot \sqrt{3} \cdot m^{-1} \sqrt{2 \cdot \sin\left(\frac{3}{2} \pi + \tau_{\phi}\right)} / \sqrt{3} - S \cdot \sqrt{3}}{2} \quad (3.26)$$

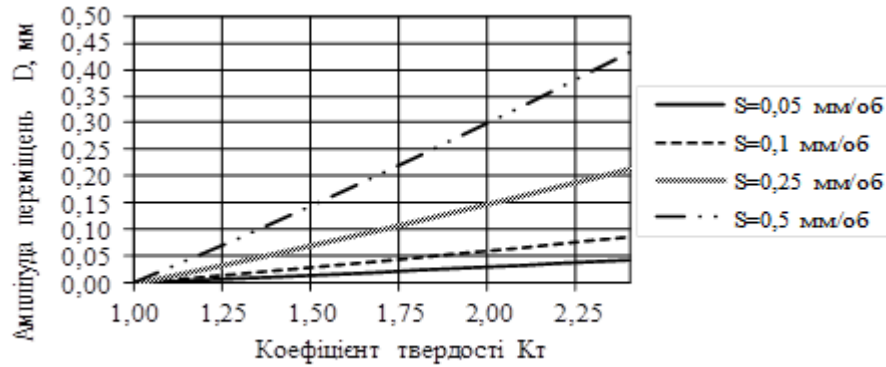


Рис 3.5. Графічна залежність амплітуди лезових осциляцій Δ від коефіцієнту зміни середньостатистичної твердості матеріалу заготовки k_т при різних значеннях подачі S

Графічну залежність амплітуди Δ переміщень рухомих лез свердла від несиметричності різальних лез свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком подано на рис.3.6.

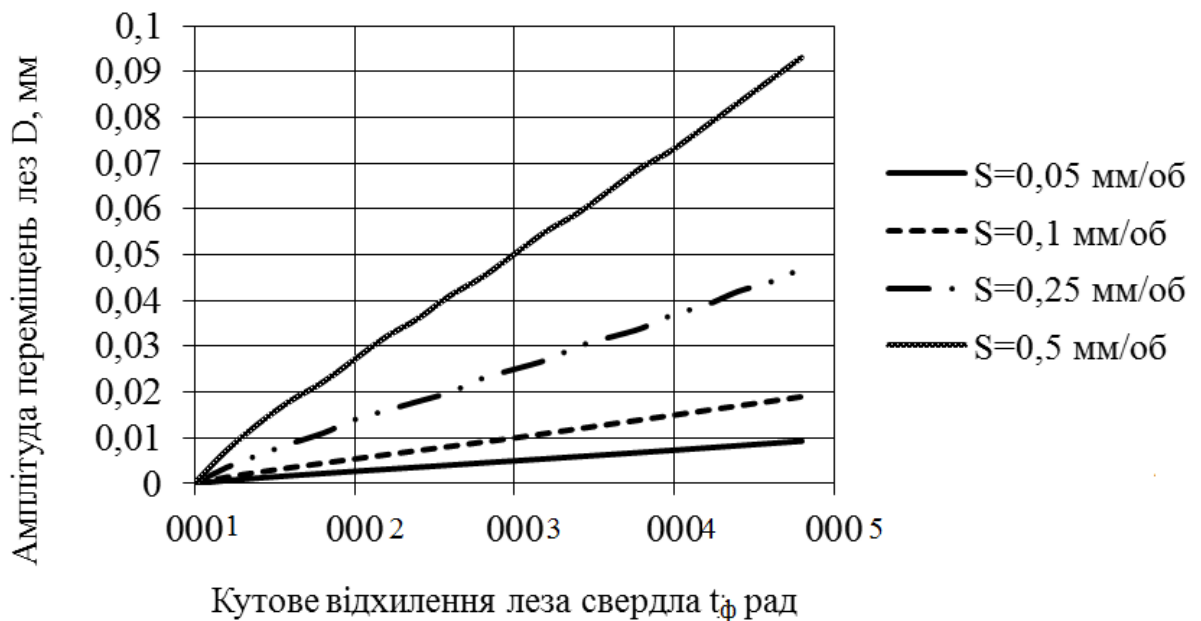


Рис.3.6. Графічна залежність амплітуди лезових осциляцій Δ (мм) від несиметричності τ (рад) положення різальних лез свердла з міжлезовим гідравлічним зв'язком при різних значеннях подачі S .

Аналіз розрахунків вищенаведених залежностей доводять, що свердло з міжлезовим гідравлічним зв'язком можна використовувати для підвищення точності отворів, особливо у випадку оброблення отворів зі значним (вище 5) співвідношенням довжини до діаметру. Амплітуда осциляцій різальних лез при цьому не перевищує 0,5мм.

3.4 Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень

Автоматичне регулювання режимами обробки на верстатах дозволяє в процесі такої обробки досягати необхідних значень техніко-економічних показників такого процесу. Зважаючи на відповідність такого підходу до виробничих умов можна сформулювати скореговану мету технологічної операції: обробити необхідну кількість заготовок у відповідності з технічними вимогамив певний проміжок часу при найменших сумарних витратах праці [30]. Сукупні затрати праці на операції можуть бути оціненими за допомогою різних показників.

Часто стосовно технологічної операції керуються поняттям приведених витрат, які стосовно до обробки однієї заготовки можна виразити формулою:

$$B = C + E_n K,$$

де C – собівартість обробки однієї заготовки; K – питомі капіталовкладення у виробничі фонди, зумовлені виконанням даної операції; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що дорівнює величині 0,15.

Якщо пов'язати величину приведених витрат з параметрами режиму обробки, то змінну частину приведених витрат, що залежить від елементів режиму можна представити формулою [5]:

$$B_3 = \left(\tau_p + \frac{\tau_{3M}}{N} \right) E + \frac{I}{N}, \quad (3.27)$$

де τ_p – час різання; τ_{3M} – час простою верстату, пов'язаний із зміною різального інструменту; E – приведені питомі витрати (в 1 с) на експлуатацію верстату

(без витрат на різальний інструмент) і зарплату робітника; I – приведені витрати, зумовлені експлуатацією різального інструменту за період його стійкості, включно із витратами на пере загострення і зарплату наладчика; N – кількість деталей, оброблених за період стійкості інструменту.

Зрозуміло, що для операції розсвердлювання є справедливими такі співвідношення:

$$N = \frac{T}{\tau_p}, \quad \tau_p = \frac{l}{ns} \frac{z}{t}, \quad (3.28)$$

де T – період стійкості інструменту; l – довжина обробки; z – сумарний припуск, що знімається на даній операції; n – частота обертання свердла; s – подача на один оберт; t – глибина різання.

Аналізуючи вирази (3.27) і (3.28) можна перейти до залежності іншого вигляду:

$$B_3 = lz \left(\frac{E}{nst} + \frac{E\tau_{3M} + I}{nstT} \right). \quad (3.29)$$

В розглядуваному випадку розсвердлювання припустимо рівномірний розподіл припуску між проходами при пошуку найкращої комбінації параметрів n, s, t . При цьому постійний співмножник lz у (3.28) можна опустити. Якщо ж ми маємо однопрохідну обробку, то вираз (3.28) ще більше спроститься, бо в цьому випадку $t=z$. Але в будь-якому випадку величину стійкості слід розглядати як деяку функцію $T(n, s, t, H)$ всіх параметрів режиму, а також параметру H . Величина цього параметру залежить від умов обробки. Якщо ж зауважити, що величина n є прямо пропорційною до швидкості різання v , то математичним виразом критерію ефективності режиму може слугувати функція

$$\theta = \left(\frac{E}{vst} + \frac{E\tau_{3M} + I}{vstT(v, s, t, H)} \right). \quad (3.30)$$

Таким чином, з врахуванням певних спрощень було показано, що достатньо об'єктивною оцінкою режиму розсвердлювання може слугувати

середня за період стійкості інструменту величина приведених витрат на знімання одиниці об'єму припуску чи на обробку одиниці площі.

Зрозуміло, що величина E для випадку стандартного розсвердлювання і розсвердлювання новим свердлом є однаковою, як і величини t і $\tau_{зм}$. Тоді (3.30) можна представити у вигляді

$$\theta = \frac{1}{vS} \left[1 + \frac{\tau_{зм}}{T(v, s, t, H)} \left(1 + \frac{I}{E\tau_{зм}} \right) \right]. \quad (3.31)$$

Обгрунтовано припустимо, що у випадку обробки новим способом способом і швидкість різання і подача збільшуються на 15%, стійкість інструменту зростає на 20%, а величина $I/(E\tau_{зм})$ зростає від 0,1 до 0,2.

Тоді побачимо, що співвідношення критерію ефективності у порівнюваних випадках розсвердлювання отвору збірним свердлом з гідро адаптацією порівняно із традиційним способом становитиме

$$\theta_{зб} / \theta_{см} = 1,293.$$

Таким чином, загальна ефективність за критерієм приведених витрат збільшилась на 29,3%.

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

1. Запропоновано методику дослідження спеціального інструменту для обробки глибоких отворів, в тому числі способом їх розсвердлювання.
2. Проаналізовані існуючі конструкції сверدل для обробки глибоких отворів. Визначено ряд недоліків, що погіршують в подальшому якість оброблюваної поверхні.
3. Обговорені експлуатаційні характеристики інструментів для обробки глибоких отворів та визначені основні фактори такого процесу.
4. Запропоновані функціональні схеми збірних свердел із механізмами вирівнювання силових навантажень при свердлінні та розсвердлюванні.
5. Проведено проектування конструкції інструменту для глибокого свердління.

6. Запропоновано розвиток математичної моделі крутильних автоколивань при свердлінні отворів нежорстким інструментом та розраховані закономірності зміни їх амплітуд.
7. Розроблено математичну модель осциляцій різальних елементів збірною свердла при розсвердлюванні глибокого отвору.
8. Встановлено в результаті розрахунків, що свердло з міжлезовим гідравлічним зв'язком можна використовувати для підвищення точності отворів незалежно від коливань твердості оброблюваного матеріалу і існуючих несиметричностей у інструменті.

Оприлюднені результати даного дослідження показані у збірнику тез конференції, а саме:

Стецишин В. Розсвердлювання отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів. Матеріали III міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 року), 2020. - С.93-94.

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1. Планування на підприємстві робіт щодо охорони праці

Відомо, що відповідно до чинного законодавств планування роботи з охорони праці прийнято поділяти на планування перспективне, поточне та оперативне.

Найбільш важливі, трудомісткі й довгострокові щодо термінів виконання заходи з охорони праці охоплює **перспективне планування**. Виконання вказаних заходів, як правило, вимагає, щоб декілька підрозділів підприємства працювали в цьому плані спільно. Для здійснення можливості виконання таких заходів перспективного плану обов'язково повинен бути проведений обґрунтований розрахунок щодо необхідного матеріально-технічного забезпечення заходів та фінансових витрат із зазначенням джерел фінансування. Перспективне планування роботи підприємства з охорони праці в основному за формою представляється у вигляді розробленого комплексного плану підприємства щодо покращення стану охорони праці. Такий план, як правило, охоплює 3-5 років.

Поточне планування на підприємстві здійснюється протягом календарного року на основі відпрацювання відповідних заходів та їх включення до колективного договору (розділ «Охорона праці»).

Окрім того, дуже важливим є **оперативне планування** охорони праці. На підприємстві воно здійснюється за результатами контролю стану охорони праці у структурних підрозділах і загалом на підприємстві, а також відповідно до наслідків перевірок органів державного нагляду. Оперативні заходи, що розробляються для усунення виявлених недоліків оформляються наказом роботодавця.

Системою управління охороною праці передбачена окрема функція СУОП з організації та координації робіт. Вона передбачає утворення органів управління охороною праці щодо всіх стадій виробничого процесу та усіх рівнів менеджменту виробництвом. Також ця функція передбачає визначення

обов'язків осіб, що задіяні у процесі управління, а також їх прав, відповідальності та послідовності взаємодії. Функцією СУОП також передбачене прийняття та виконання рішень щодо робіт з охорони праці.

Зазначене вказує на дієве управління охороною праці, що забезпечується за рахунок функціонуванням СУОП і відповідним контролем за охороною праці на підприємстві.

Щодо контролю за охороною праці, то його можна розглядати як:

1) *Відомчий*. Він здійснюється уповноваженими посадовими особами - представниками міністерств або інших центральних органів, а також відповідальними працівниками корпорації, концерну асоціації, тобто певного об'єднання, до якого належить підприємство.

2) *Регіональний*. Такий контроль виконується посадовими особами та представниками місцевих органів виконавчої влади та самоврядування.

3) *Громадський*. Його здійснюють виборні органи та представники профспілок та громадських організацій.

4) *Страховий*. Він проводиться працівниками з Фонду соціального страхування, які є експертами щодо нещасних випадків на виробництві, а також випадків професійних захворювань;

5) *Внутрішній*. Такий контроль здійснюється власне на підприємстві спеціально створеними службами, а також відповідними посадовими особами і громадськими інспекторами підприємства, уповноваженими на такий контроль від трудових колективів.

Внутрішній контроль, як контроль безпосередньо на підприємстві є дуже важливим, бо проводиться частіше порівняно із іншими видами контролю. Від його дієвості на підприємстві безпосередньо залежить стан охорони праці.

Цей вид контролю можна поділити на такі складові: а) оперативний (повсякденний) контроль; б) контроль служби охорони праці; в) громадський контроль; г) адміністративно-громадський контроль.

Адміністративно-громадський контроль є триступневим. Отже, він проводиться на трьох ступенях чи власне рівнях.

Перший рівень вказаного контролю передбачає, що начальник виробничої дільниці чи майстер дільниці та громадський інспектор профгрупи щоденно спільно перевіряють на ввіреній їм виробничій дільниці стан охорони праці.

На другому рівні адміністративно-громадського контролю начальник цеху згідно із затвердженим графіком разом з громадським інспектором та іншими фахівцями: цеху механіком, технологом, електриком двічі на місяць перевіряють стан охорони праці уже в цеху.

Третій рівень такої контролю є щомісячним відповідно до встановленого графіку. При цьому комісія під головуванням керівника підприємства чи головного інженера здійснює перевірку в цілому стану охорони праці. Комісія включає таких осіб: керівник служби охорони праці, голова комісії з профкому щодо питань охорони праці, керуючий медичним підрозділом, працівник пожежної охорони підприємства, а також головні фахівці. Комісія фіксує результати своєї роботи в журналі триступеневого контролю. Результати перевірки розглядаються на нараді. За її результатами наради керівник видає наказ по підприємству.

Також сутність функції СУОП полягає у системному та регулярному обліку показників стану охорони праці. При цьому проводиться аналіз одержаних даних та узагальнюються причини недотримання вимог щодо охорони праці, що зазначені у законодавчих та інших нормативних актах. Також аналізуються причини невиконання заходів щодо покращення стану безпеки, екології виробничого середовища, санітарії та гігієни праці. Проводиться також огляд дієвості заходів, спрямованих на усунення недоліків. Обовязково піддаються аналізу матеріали щодо нещасних випадків та виникнення професійних захворювань. Також перевіряються всі результати контролів за станом охорони праці. Здійснюється перегляд паспортів санітарно-технічного стану стосовно умов праці в цеху, чи власне на дільниці. Увага приділяється матеріалам стосовно обстежень споруд, будівель, приміщень та обладнання.

Згідно із результатами аналізу, обліку, а також оцінки стану охорони праці відповідним чином вносяться доповнення та уточнення до планів роботи з охорони праці, як оперативних і поточних, так і перспективних.

Серед структурних підрозділів та серед працівників визначаються кращі стосовно виконання показників з охорони праці.

Відповідно основними показниками, що передбачають проведення комплексного аналізу і за якими оцінюється робота стосовно виробничих умов та ідентифікації небезпек, а також регулювання ризиків, можуть бути зазначені такі **коефіцієнти** [31]:

1) частоти травматизму $K_{ч}$, що визначає кількість нещасних випадків (профзахворювань) на підприємстві за відповідний період часу, в розрахунку на 1000 працюючих;

2) тяжкості травматизму $K_{т}$, тобто середньої непрацездатності одного потерпілого (в робочих днях);

3) дотримання інструкцій з охорони праці $K_{о}$, який визначається як відношення кількості працюючих, які дотримуються інструкцій з охорони праці, до загальної чисельності працівників;

4) технічної безпеки обладнання $K_{бo}$, який розраховують як співвідношення показників безпеки, яким обладнання відповідає, до загальної кількості таких показників для даного обладнання;

5) безпеки технологічних процесів $K_{тп}$, який виражається щодо технологічних процесів (згідно із загальним обсягом технічної документації) співвідношенням кількості показників, що задовольняють вимогам, до загальної кількості таких показників безпеки;

6) дотримання допустимих рівнів шкідливих факторів $K_{ш}$. Цей коефіцієнт розраховують як частку від ділення числа шкідливих факторів, що знаходяться в допустимих межах і загального числа шкідливих факторів, що є на даному підприємстві.

4.2. Розрахунок місцевої витяжної вентиляції щодо розробленого верстату

Розроблювана витяжна вентиляція, як природна, так і штучна повинні відповідати ряду вимог санітарно-гігієнічного плану.

Вентиляція це один із дієвих засобів створення у приміщеннях необхідних метеорологічних умов, що стосуються безпечної праці. Серед таких вимог – температура повітря, його вологість, а також швидкість переміщення повітря. При цьому із приміщення, в якому розміщене технологічне обладнання, повинні усуватись шкідливі гази, пил, аерозолі та інші речовини. Як крайня міра – необхідно істотно зменшувати їх концентрації до допустимого рівня. Також забруднене повітря із зовнішнього середовища не повинно потрапляти у цех. Неприпустимим також є засмоктування повітря із забрудненнями із сусідніх приміщень. Вентиляція не повинна створювати протягів, як і сприяти суттєвому охолодженню. При проектуванні і спорядженні вентиляційних пристроїв необхідно забезпечити можливість вільного доступу до них задля керування ними, а також їх ремонту. Вентиляція не повинна створювати незручності при експлуатації, зокрема, пов'язаних із шумовим навантаженням, вібраційним впливом. Також слід виключити потрапляння вологи – дощу, снігу та інше.

На підприємствах часто застосовується система кондиціонування повітря. Вона загалом досить повно відповідає зазначеним вище вимогам. При цьому кондиціонери створюють та підтримують у приміщенні необхідні характеристики повітряного середовища. В той же час при встановленні кондиціонерів слід враховувати також економічні чинники.

Окремо слід зазначити, що стосовно приміщень віднесених до потенційно пожежо- та вибухонебезпечних, то для відповідних вентиляційних систем, встановлених у таких приміщеннях, нормами висувається низка додаткових вимог. В даному ж випадку ми розробляємо місцеву витяжну вентиляцію стосовно спроектованого радіально-

свердлильного верстату, який розміщено у механічному цеху, і відповідно потребує вентиляційного забезпечення звичного для таких умов порядку.

В такому плані розглянемо порядок відповідного розрахунку місцевої витяжної вентиляції [32]. При цьому проаналізуємо схему повітряного обміну в приміщенні (рис. 4.1).

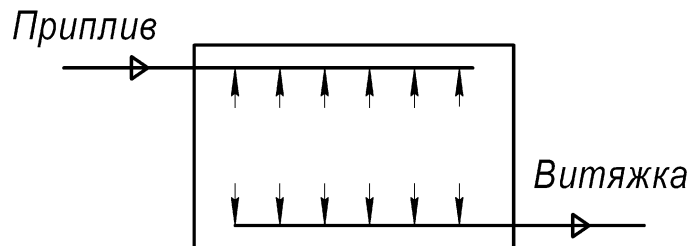


Рис. 4.1. Схема здійснення повітрообміну

Представимо початкові дані для розрахунку.

Приміщенням, у якому розміщено верстат, є механічний цех. Характеристичними параметрами при цьому є розмір приміщення V (м^2) і кількість шкідливих речовин, а саме різного роду пилю, U (мг/год).

Знаючи кількість пилю, що надходить у цех за годину, можна визначити кількість повітря, яке необхідно замінити при вентиляції. Використаємо при цьому формулу:

$$L = \frac{U}{(k_1 - k_2)}, \quad (4.1)$$

де k_1 - гранично допустима концентрація пилю, що надходить у повітря цеху, мг/м^3 ; k_2 - концентрація відповідних шкідливих речовин у повітрі внаслідок припливу, мг/м^3 .

Відповідно переходять до визначення поперечного перерізу повітропроводів на всіх можливих ділянках. Площа таких перерізів визначається в м^2 за формулою,:

$$f_p = \frac{L}{3600 \cdot v_p}, \quad (4.2)$$

де L - об'єм повітря, яке транспортується, v_p - швидкість повітря.

В результаті розрахунків можна вибрати круглий повітропровід з листової сталі із стандартними розмірами $d=500$ мм.

Тепер потрібно розрахувати тиск, який необхідний для передачі повітропроводами повітря. Його можна визначити як суму втрат тиску на тертя та втрат у місцевих опорах мережі. Отже, можливі втрати тиску в Па на вказані тертя в трубопроводах можна обчислити за формулою:

$$P_{mp} = R \cdot L, \quad (4.3)$$

де R – питомі втрати тиску в Па/м в трубопроводах на 1м довжини; L – довжина в м ділянки.

Власне питомі втрати тиску можна визначити таблично або формулою:

$$R = \frac{\lambda v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{d \cdot 2 \cdot g}, \quad (4.4)$$

де λ - коефіцієнт опору тертя залежно шорсткості стінок повітропроводу (для сталевих пристроїв $\lambda / d = 0.031$); v_{ϕ} - швидкість повітря м/с; d - діаметр повітропроводів, мм; γ - питома вага, Н/м³; g – прискорення сили тяжіння.

Відповідно втрати тиску в місцевих опорах послідовно для кожної ділянки обчислюють за формулою, Па:

$$z = \sum \xi \frac{v_{\phi}^2 \cdot \gamma}{2 \cdot g}, \quad (4.5)$$

де ξ - коефіцієнт місцевих опорів. При цьому враховуються коефіцієнти місцевих опорів в трійнику і втрати тиску у хрестовині .

Отже, загальні втрати тиску на кожній розрахунковій ділянці і вітках:

$$H = R \cdot L + z. \quad (4.6)$$

Тоді переходять до вибору вентиляційного обладнання.

При цьому необхідна потужність електродвигуна вентилятора, кВт:

$$N_{\text{вент}} = \frac{L \cdot H \cdot K}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}, \quad (4.7)$$

де L – загальна кількість пилю що надходить в робочу зону, $\text{м}^3/\text{г}$; H – тиск, що створюється вентилятором, Па; K - коефіцієнт запасу, $K = 1,1 \dots 1,5$; η - ККД вентилятора (0,5...0,8).

У відповідності від умов виробництва і потужності вибираємо закритий обдувний двигун [32].

Загальні висновки

- 1) В результаті аналізу інформаційного пошуку показано, що в процесі здійснення технологічної операції глибокого розсвердлювання мають місце певні особливості конструкторського і технологічного плану, що визначаються точністю форми і розмірів оброблюваного отвору, і вимогою прямолінійності його осі.
- 2) Класифікаційні ознаки та конструктивні виконання існуючих інструментів доводять, що при проектуванні і виготовленні свердл для глибокого розсвердлювання необхідним є забезпечення вимоги високої їх продуктивності, точності формування отвору, гарантованого виведення зливної стружки, охолодження місця різання та отримання інших результатів.
- 3) На основі аналізу типової операції розсвердлювання глибоких отворів відображені основні схеми їх формоутворення.
- 4) Розроблена структурно-кінематична схема радіально-свердлильного верстату стала прототипом до кінематичного розрахунку і проектування розгорнутої кінематичної схеми.
- 5) Обґрунтовано обране результуюче компоновочне рішення і зображено загальний вигляд пропонованого верстату.
- 6) Здійснений розрахунок між опорної відстані за критерієм жорсткості та спроектований шпindelного вузол верстату.
- 7) Представлено результати синтезу функціональних схем свердел з міжлезовими зв'язками і запропонована конструкція збірного інструменту з можливістю гідро адаптацією його різальних елементів.
- 8) Здійснено розвиток математичної моделі крутильних вібрацій нежорсткого інструменту при операції глибокого розсвердлювання.
- 9) Встановлені особливості адаптивного розсвердлювання глибоких отворів і розраховані амплітуди само налагоджень при гідроадаптації лез при змінних твердості матеріалу та несиметричності свердла.

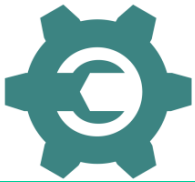
Бібліографія

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. Всыш.шк., 1988. – 256с.
3. Кузнецов, Ю.М. Теорія технічних систем /Ю.М. Кузнецов, І.В. Луців, С.А. Дубиняк. – К. – Тернопіль, 1997. – 310с.
4. Кузнецов, Ю.М. Теория технических систем: Учебник /Ю.М. Кузнецов, Ю.К. Новоселов, И.В. Луців. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2010. – 252с.
5. Тверской, М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках /М.М. Тверской. - М.: Машиностроение, 1982. – 208с.
6. Жарков, И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом /И.Г. Жарков. – Л: Машиностроение, 1986. – 296с.
7. Гуляев, А.П. Металловедение /А.П. Гуляев. – М.: Машиностроение, 1986. – 272с.
8. Балакшин, Б.С. Основы технологи машиностроения /Б.С. Балакшин. – М.: Машиностроение, 1969. – 561с.
9. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения /А.Ф. Горбацевич. – Минск: Высшая школа, 1975. – 288с.
10. Егоров, М.Е. Технология машиностроения /М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – М.: Высшая школа, 1976. – 535с.
- 11.Справочник технолога-машиностроителя: В 2-х т. /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
12. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов: Справочник /Ю.В. Барановский. – М.: Машиностроение, 1972. – 408с.
13. Металлорежущие станки: Учебник /В.Э.Пуш и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 575с.

14. Маеров, А.Г. Устройство, основы конструирования и расчет металлообрабатывающих станков и автоматических линий: Учебное пособие / А.Г.Маеров. М.: Машиностроение, 1986.
15. Проников, А.С. Металлорежущие станки и автоматы /А.С. Проников и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 479с.
16. Аверьянов, О.И. Модульный принцип построения станков с ЧПУ / О.И. Аверьянов. – М.: Машиностроение, 1987. – 345с.
17. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков /Ю.Д. Врагов. – М.: Машиностроение, 1978. – 208с.
18. Пуш, В.Э. Конструирование металлорежущих станков /В.Э. Пуш. – М.: Машиностроение, 1977. – 561с.
19. 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.
20. Шанайда, В.В. Пакет MathCAD в инженерных расчетах /В.В. Шанайда. –Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2001. – 163с.
21. Детали и механизмы металлорежущих станков. Под ред. Д.Н.Решетова. В 2-х т. – М.: Машиностроение, 1970.
22. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304с.
23. Анельчик, Д.Є. Система різання: фізичні основи і оптимізація /Д.Є. Анельчик, С.В. Швець, І.В. Луців, І.Д. Дубецький. Під ред. І.В. Луціва. – Одеса-Тернопіль: вид-во ТДТУ, 2000. – 145с.
24. Подураев, В.Н. Технология физико-химических методов обработки /В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1985. – 264с.
25. Беляев, Н.М. Сопротивление материалов /Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608с.
26. Кудинов, В.А. Динамика станков /В.А. Кудинов. – М.: Машиностроение, 1967. – 359с.
27. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков/ С.С. Кедров. – М.: Машиностроение, 1978. -199с.

28. Луців, І.В. Аналіз ресурсу і конструктивних особливостей свердл адаптивного типу для обробки глибоких отворів. / І.В. Луців, І.І. Брощак // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Зб. наук. праць. Вип. 6 –Житомир: ЖДТУ, 2009. - С.132-143.
29. Стецишин, В. Розсвердлювання отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів. Матеріали III міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 23-24 квітня 2020 року), 2020. - С.93-94.
30. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / Под ред К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. – 430с.
31. 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.
32. Волков О.Д. Проектирование вентиляции промышленных зданий: Учеб. Пособие / О.Д. Волков. – Х.: Выща шк., 1989. – 240с.

Додаток 1



КАФЕДРА
КОНСТРУЮВАННЯ ВЕРСТАТІВ,
ІНСТРУМЕНТІВ ТА МАШИН



**Тернопільський національний
технічний університету імені Івана
Пулюя**

Дослідження особливостей розсвердлювання глибоких отворів інструментом з гідро адаптацією різальних елементів

Стецишин Володимир Тарасович, магістрант, гр. Мвнм-61

Керівник кваліфікаційної роботи :

доктор технічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України,
професор кафедри конструювання верстатів,
інструментів та машин
Луців Ігор Володимирович

Тема, мета і завдання дослідження

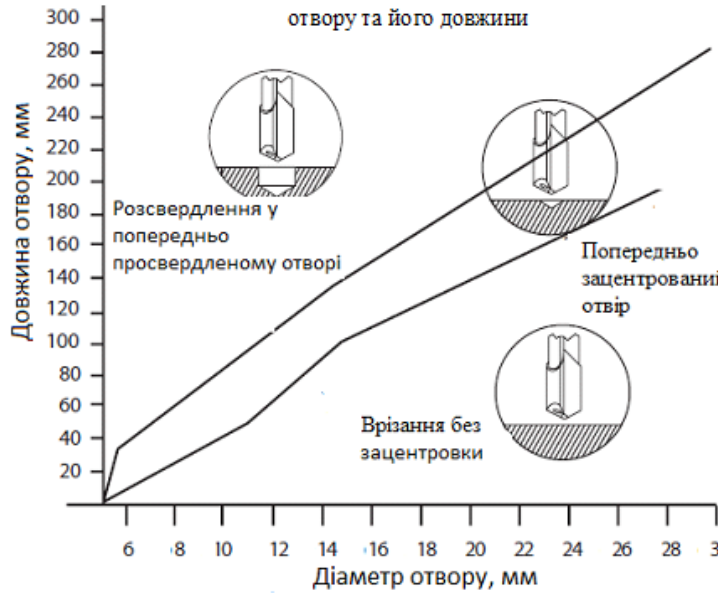
- **Метою даного дослідження** є підвищення ефективності процесу розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті
- **Об'єкт дослідження** - процес розсвердлювання глибоких отворів на радіально-свердлильному верстаті.
- **Предмет дослідження** – особливості розсвердлювання глибоких отворів з допомогою інструменту, що передбачає гідроадаптацію різальних лез.

Основні завдання дослідження

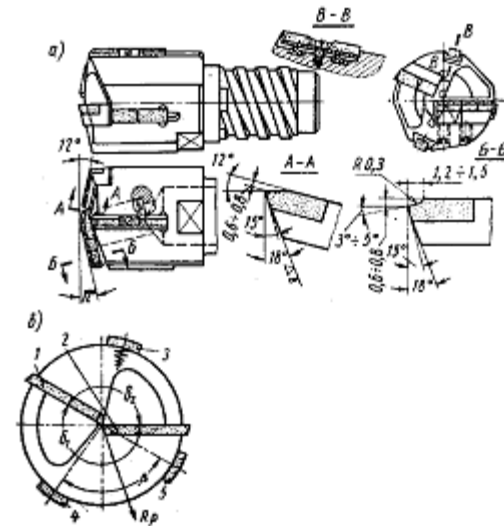
- 1) Проведення аналізу методів і способів розсвердлювання глибоких отворів.
- 2) Дослідження характеристик інструментів для глибокого розсвердлювання.
- 3) Опис перспективних конструкцій радіально-свердлильних верстатів.
- 4) Аналіз базової технологічної операції свердління та розсвердлювання глибокого отвору.
- 5) Пропозиція схем формоутворення , розробка структурно-кінематичної та кінематичної схем пропонованого верстату.
- 6) Вибір раціональної компоновки верстату і розрахунок на жорсткість шпиндельного вузла.
- 7) Синтез функціональних схем збірних свердел з міжлезовими зв'язками зконструювати інструмент для свердління з гідро адаптацією руху різальних лез.
- 8) Розвиток математичної модель автоколиваний нежорсткого інструменту.
- 9) Визначення особливостей впливу гідроадаптації різальних лез на розсвердлювання глибоких отворів при зміні твердості матеріалу обробки і несиметричності лез.
- 10) Розробка заходів з охорони праці і безпеки життєдіяльності людини.

Актуальність теми досліджень

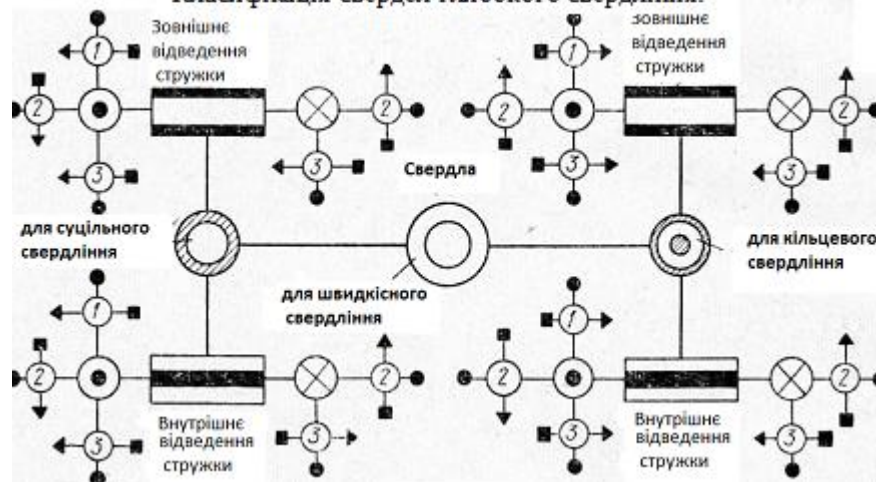
Різні технології врізання при свердлінні залежно від діаметру отвору та його довжини



Дволезове ежекторне свердло зі вставними різцями



Класифікація свердел глибокого свердління.



- 1 - свердла, що працюють методом ділення ширини зрізу;
 - 2 - свердла, що працюють методом поділу подачі;
 - 3 - свердла, що працюють комбінованим методом
- (свердла 2 і 3-ї груп повинні мати число різальних лез $p > 2$)

Конструкторсько-технологічний аналіз

Фотографія

радіально-свердильного верстату 2A544

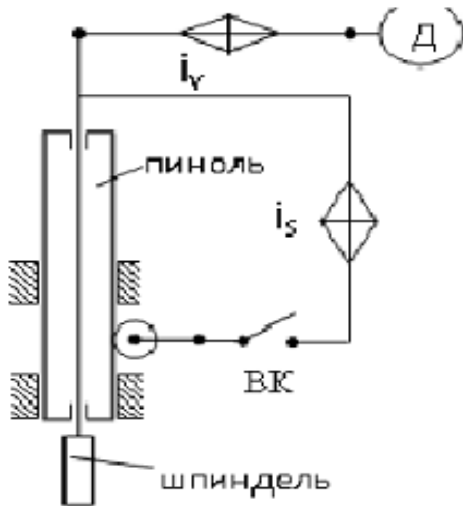


Таблиця Схеми формоутворення при обробці на радіально-свердильних верстатах

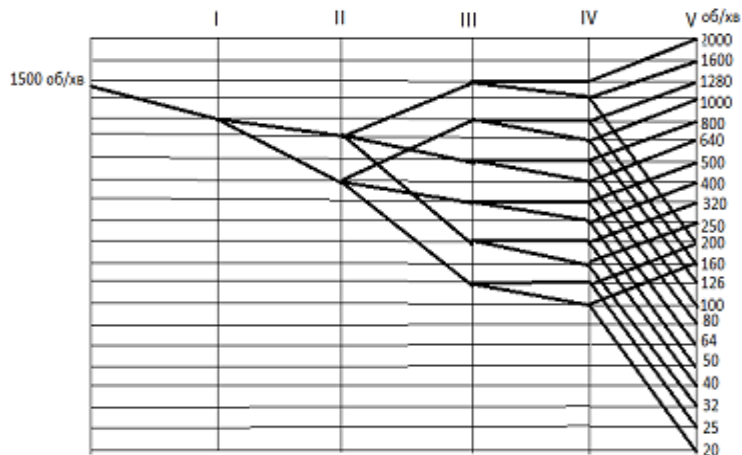
1.		1 – сліду	$\Phi_V(O_1)$	Уст (Π_3)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_2)$	
2.		1 – сліду	$\Phi_V(O_4)$	Уст (Π_3); Уст (O_1)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_2)$	
3.		1 – сліду	$\Phi_V(O_4)$	Уст (Π_2); Уст (O_1)
		2 – сліду	$\Phi_S(\Pi_3)$	

Розробка кінематичної схеми

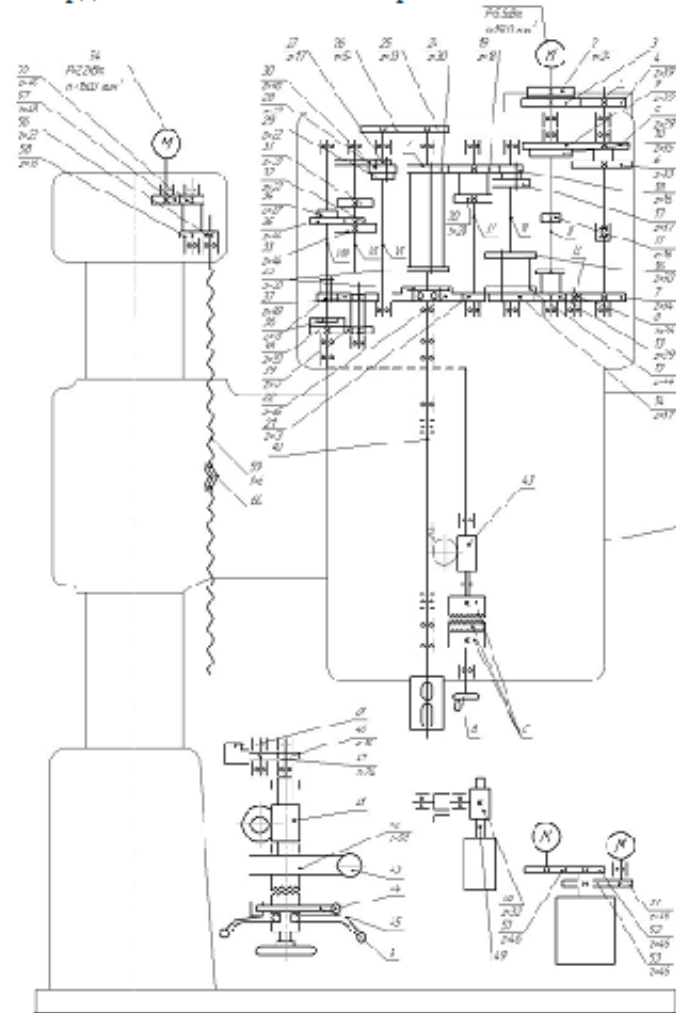
Структурно-кінематична схема верстату



Картина графіку чисел обертів проектаного приводу головного руху радіально-свердильного верстату



Повна кінематична схема радіально-свердильного верстату для розсвердлювання глибоких отворів



Існуючі компоновки радіально-свердлильних верстатів



а)



б)

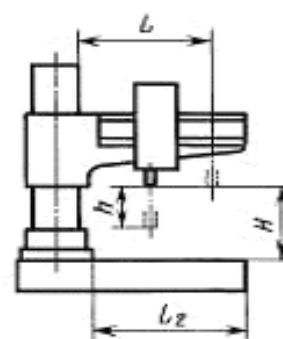


в)

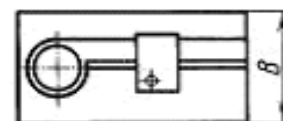
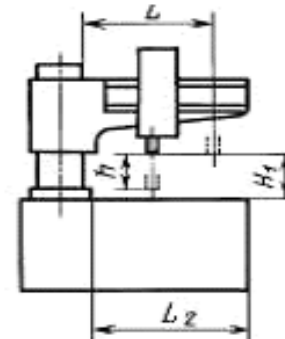


г)

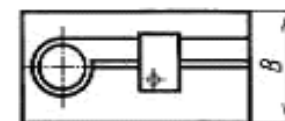
Виконання 1



Виконання 2



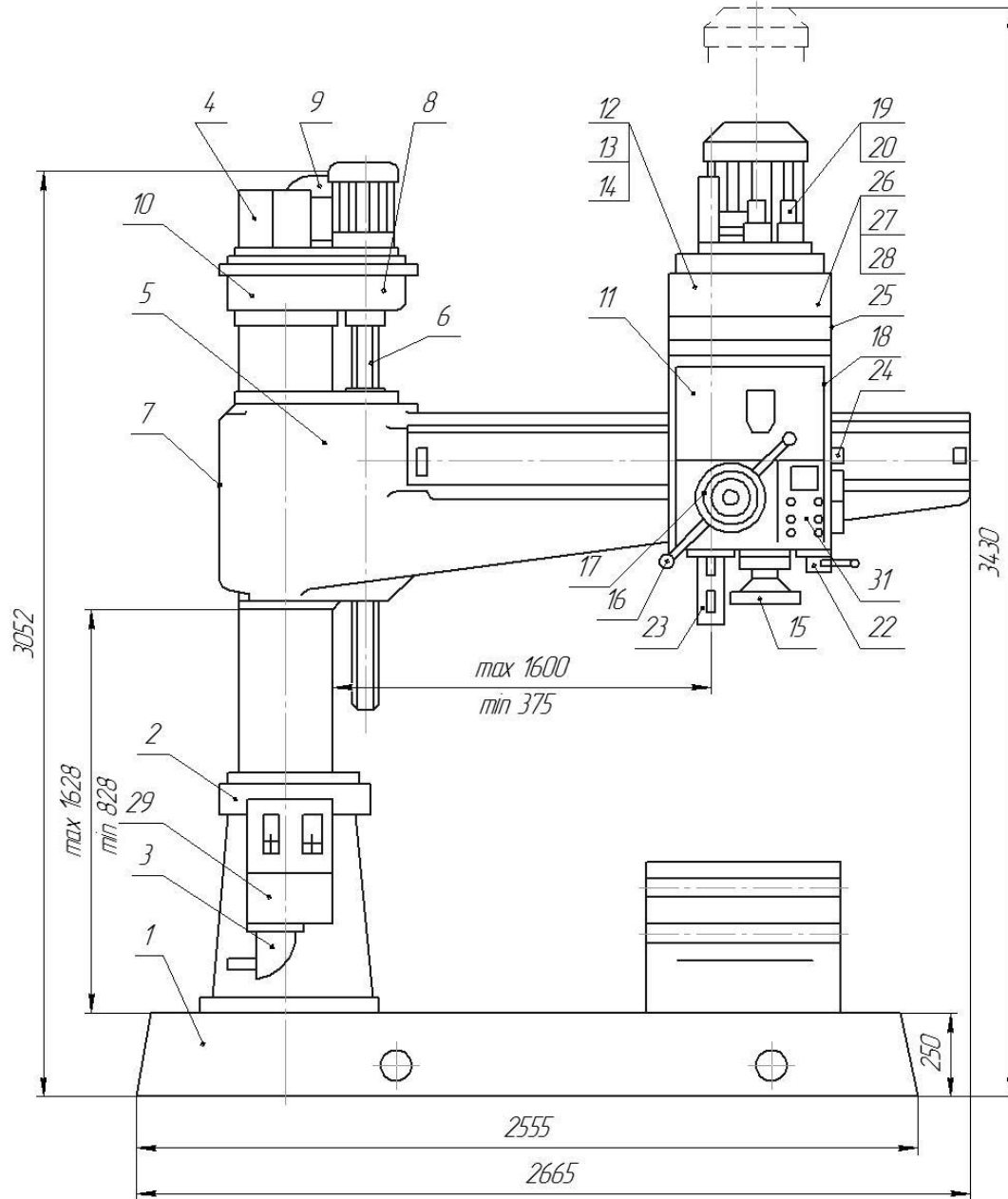
на плиті



на гумбі

а) загального призначення; б) переносний; в) з колоною, що переміщується по напрямних станини; г) пересувний по рельсах

Загальний вигляд верстату

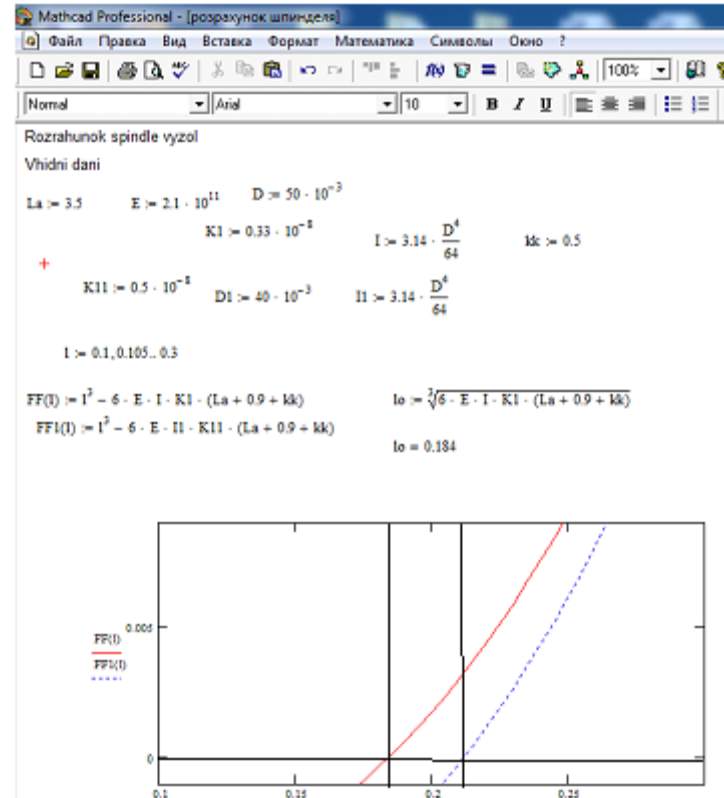
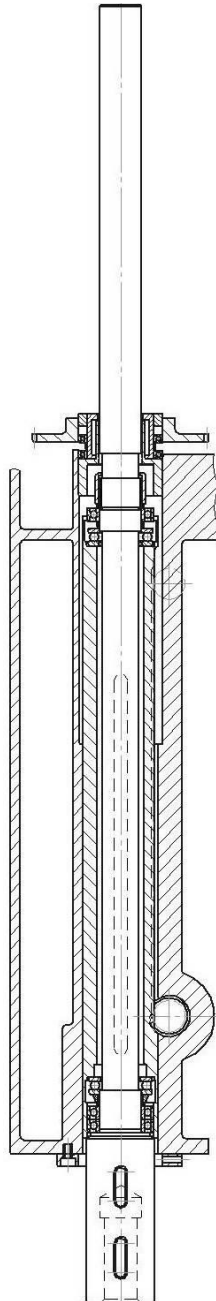


Ескіз і розрахунок шпиндельного вузла

Функція оптимальної міжпорної відстані

$$\Phi = l_{opt}^3 - 6EJ_1k_1 \left\{ \frac{1}{a} l_{opt} + \left[(1 - \xi_3) + \frac{k_2}{k_1} \right] \right\}$$

Результати розрахунків в середовищі MathCAD



Оптимальне рішення - на перетині з нулевим рівнем функції: 184-207 мм. Приймаємо l=200мм

Обґрунтування конструкції свердла з гідроадаптацією різальних елементів

Синтез функціональних схем збірних свердел з міжлезовими механічними та гідравлічними зв'язками

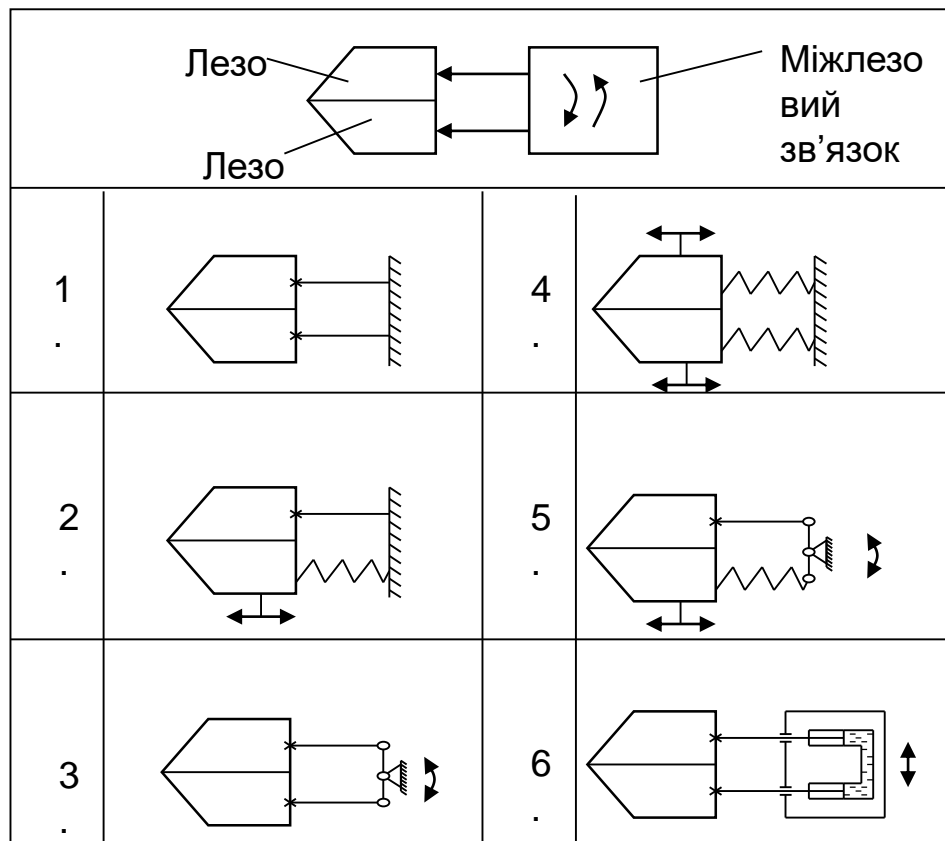
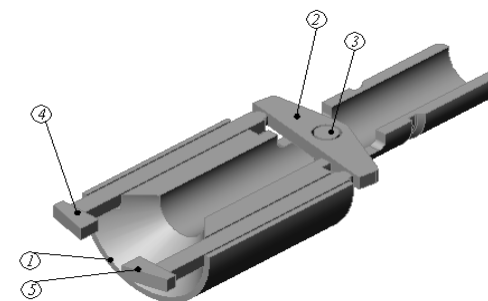
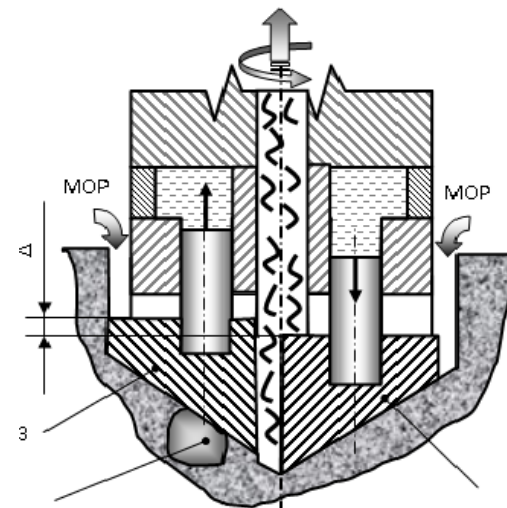


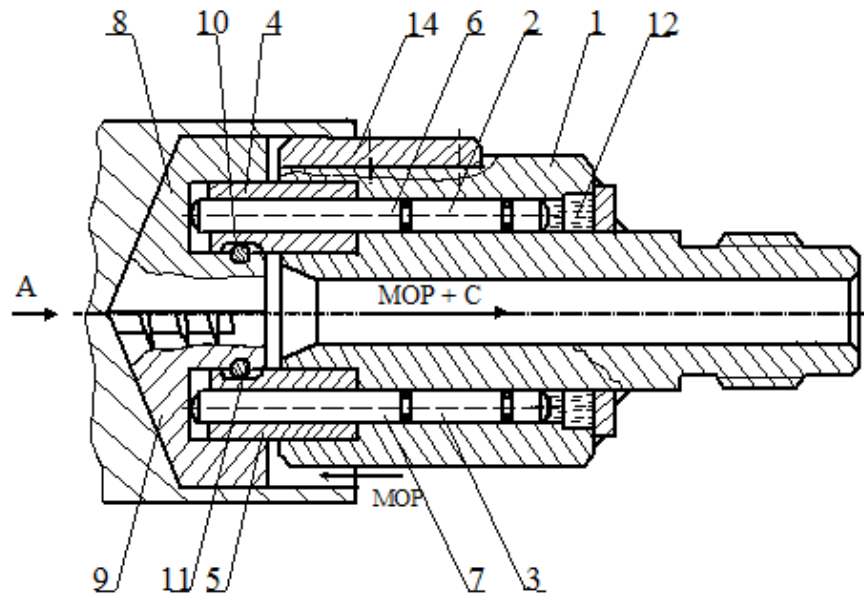
Схема свердла з механічними зв'язками



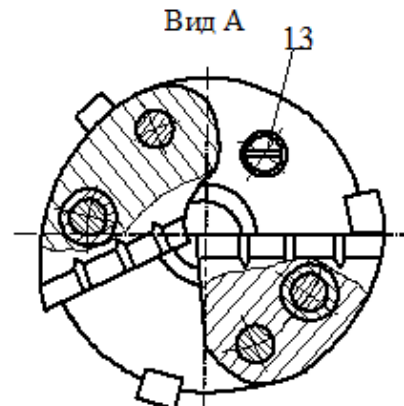
Кінематична схема роботи свердла з гідроадаптацією різальних елементів



Конструкція збірного свердла з гідравлічним міжлезовим зв'язком



1. Корпус.
- 2, 3. Плунжери.
- 4, 5. Втулки.
- 6, 7. Пальці.
- 8, 9. Напрявні.
- 10, 11. Пальці циліндричні.
12. Канавка кільцева.
13. Пробка.



Математична модель автоколивань нежорсткого інструменту при глибокому розсвердлюванні

$$I \frac{d^2\varphi(t)}{dt^2} + \eta \frac{d\varphi(t)}{dt} + C\varphi(t) = K_p \delta[2\varphi(t - \tau) - \varphi(t - T/2 - \tau)] + \varepsilon \cdot \sin \omega t + D$$

Залежність амплітуд від коефіцієнту η

$$\varphi(t) = \varphi_{cr} + \varphi_1(t)$$

$$\left. \begin{aligned} F[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau)] + E[\eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau)] &= 0 \\ -F[\eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau)] + E[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau)] &= \varepsilon \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau) &= a_1 \\ \eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau) &= a_2 \end{aligned} \right\}$$

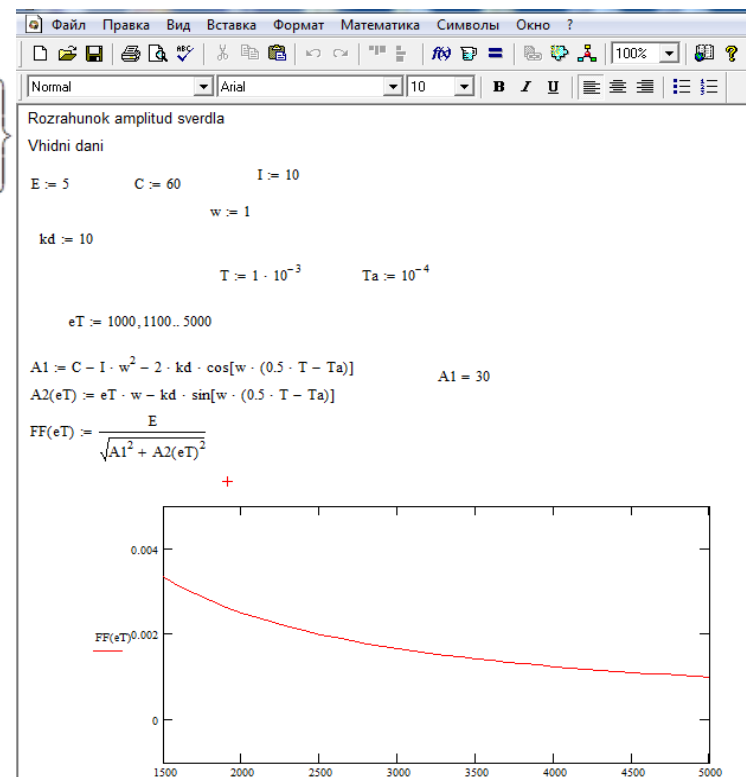
Розв'язок задачі

$$\varphi(t) = \frac{a_1 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2} \sin \omega t - \frac{a_2 \varepsilon}{a_1^2 + a_2^2} \cos \omega t.$$

$$\varphi(t) = \varphi_A \sin \left[\omega t + \arctg \left(-\frac{a_1}{a_2} \right) \right]$$

Значення амплітуд коливань

$$\varphi_A = \frac{\varepsilon}{\sqrt{[C - I\omega^2 - 2K_p \delta \cos \omega(T/2 - \tau)]^2 + [\eta\omega - K_p \sin \omega(T/2 - \tau)]^2}}$$



для більшості реальних процесів розсвердлювання коефіцієнт демпфування міститься в межах 3000 – 3500. При цьому максимальні значення амплітуд виявляються рівними 40 – 150 мкм (при відповідно заданих умовах оброблення)

Особливості процесу розсвердлювання із гідро адаптацією різальних елементів

Математична модель розсвердлювання

$$P_z = p \cdot a^{1-m} \cdot b \cdot k_v \cdot k_1 \cdot k_{\text{мор}} \cdot k_h \cdot k_b$$

$$P_z = p \cdot a^{1-m} \cdot D$$

$$p = 1,36 \cdot \sigma_B \cdot \xi \begin{cases} \sigma_B = 0,343 \cdot \text{HB} & \text{- для сталі HB125 - 175} \\ \sigma_B = 0,362 \cdot \text{HB} & \text{- для сталі HB > 175} \end{cases}$$

Модель впливу випадкової зміни твердості

$$k_t = \frac{\text{HB}_{\text{max}}}{\text{HB}_{\text{min}}}, \quad a = \frac{S}{2} \cdot \sin(\varphi)$$

$$k_T = \frac{\text{HB}_1}{\text{HB}_2} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{1-m} = \left(\frac{a_1 + \Delta}{a_1}\right)^{1-m}$$

Величина осциляцій

$$\Delta = \left(\sqrt[1-m]{k_T} - 1 \right) \cdot S \cdot \sin(\varphi)$$

Модель впливу нерівномірності кутів лез

$$\frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^{1-m} = \left(\frac{a_1}{a_1 + \Delta}\right)^{1-m}$$

$$|\varphi_1 - \varphi_2| = \tau_\varphi \quad \varphi_1 = (2/3)\pi$$

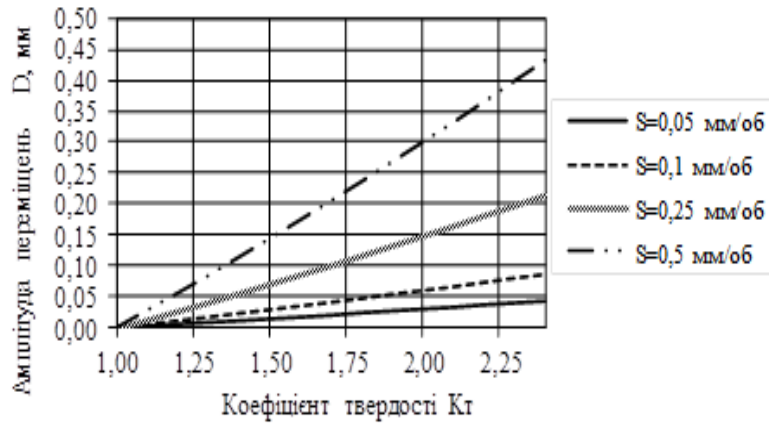
$$\frac{\sqrt{3}}{2 \cdot \sin\left(\frac{3}{2}\pi + \tau_\varphi\right)} = \left(\frac{S \cdot \sqrt{3}}{(S \cdot \sqrt{3}) + 2\Delta}\right)^{1-m}$$

Величина осциляцій

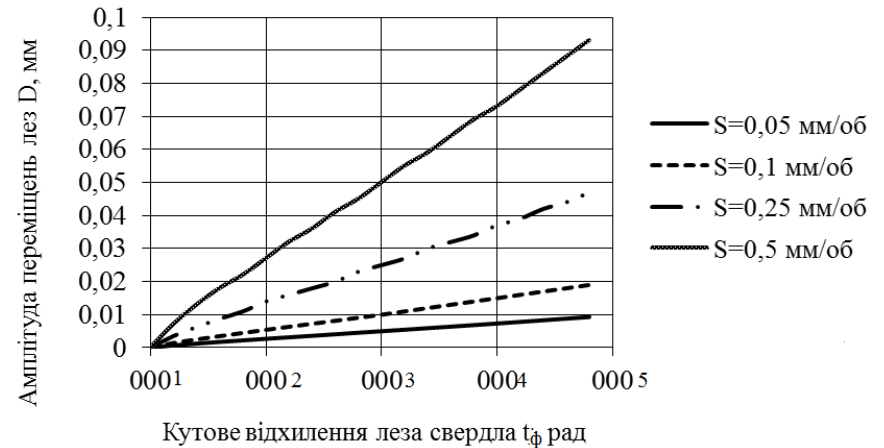
$$\Delta = \frac{S \cdot \sqrt{3} \cdot \sqrt[1-m]{\frac{2 \cdot \sin\left(\frac{3}{2}\pi + \tau_\varphi\right)}{\sqrt{3}}} - S \cdot \sqrt{3}}{2}$$

Результати моделювання особливостей роботи збірного свердла із гідроадаптацією лез

Графічна залежність амплітуди лезових осциляцій Δ від коефіцієнту зміни середньостатистичної твердості матеріалу заготовки K_t при різних значеннях подачі S



Графічна залежність амплітуди лезових осциляцій Δ (мм) від несиметричності τ (рад) положення різальних лез свердла з міжлезовим підравлічним зв'язком при різних значеннях подачі S .



Техніко-економічна ефективність прийнятих рішень

Приведені витрати в залежності від параметрів режиму обробки

$$B_3 = \left(\tau_p + \frac{\tau_{3M}}{N} \right) E + \frac{I}{N}$$

Для операції розсвердлювання є справедливим:

$$N = \frac{T}{\tau_p} \quad \tau_p = \frac{l}{ns} \frac{z}{t}$$

$$B_3 = lz \left(\frac{E}{nst} + \frac{E \tau_{3M} + I}{nstT} \right)$$

Математичний вираз критерія ефективності режиму оброблення

$$\theta = \left(\frac{E}{vst} + \frac{E \tau_{3M} + I}{vstT(v, s, t, H)} \right)$$

$$\theta = \frac{1}{vs} \left[1 + \frac{\tau_{3M}}{T(v, s, t, H)} \left(1 + \frac{I}{E \tau_{3M}} \right) \right]$$

у випадку обробки новим способом способом і швидкість різання і подача

збільшуються на 15%,

стійкість інструменту зростає на 20%,

а величина $I/(E \tau_{3M})$ зростає від 0,1 до 0,2.

співвідношення критерію ефективності

$$\theta_{36} / \theta_{ст} = 1,293$$

Дослідження особливостей
розсвердлювання глибоких
отворів інструментом з гідро
адаптацією різальних елементів

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ

Додаток 2

УДК 621.9.06

В.Т. Стецишин, студент

Науковий керівник: І.В. Луців, д.т.н., проф.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РОЗСВЕРДЛЮВАННЯ ОТВОРІВ ІНСТРУМЕНТОМ ІЗ ГІДРОАДАПТАЦІЄЮ РІЗАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

V.T. Stetsychyn, student

Scientific adviser: I.V. Lutsiv, Dr., Prof.

ENLARGING HOLES BY DRILLING WITH A TOOL WITH CUTTING ELEMENTS HYDROADAPTATION

При свердлінні на якість отворів, що утворюються при обробці, впливає ряд факторів. Це – можлива втрата стійкості інструменту, несиметричність в його конструкції і розміщенні різальних лез, зміна твердості матеріалу, що обробляється, похибки закріплення інструменту у шпинделі верстату, недоліки закріплення заготовки, в тому числі в плані жорсткості системи, неадекватні режими оброблення та інші. Саме ці фактори мають своїм наслідком небажані коливання свердла та заготовки. Це може призводити до того, що оброблюваний отвір так би мовити розбивається, і в результаті отримуємо відхилення осі отриманого отвору від її теоретичного розміщення через уведення інструменту (особливо це має місце при свердлінні глибоких ($L/D > 5$) отворів).

В інженерній практиці загальновідомими є два шляхи зменшення описаних похибок обробки. Перш за все - це конструкторський метод, який полягає у підвищенні жорсткості технологічної обробної системи верстату, пристосування та інструмент, а також технологічний метод, який полягає у зменшенні навантажень на інструмент за рахунок реструктуризації технологічної операції та використання неінтенсивних режимів оброблення. При цьому часто застосовують багатоходове свердління, що передбачає використання розсвердлювання глибоких отворів.

Нами в цьому плані запропонований підхід використання спеціальних свердел з рухомими лезами. Ці різальні елементи пов'язані між собою гідroadаптаційним зв'язком, що дозволяє поєднувати використання інструменту зі стандартними параметрами геометрії з режимами оброблення високої ефективності [1] (рис.1).



Рис. 1. Функціональна схема дволезового свердла з гідroadаптацією різальних лез

Таким чином при наявності у структурі матеріалу оброблюваної заготовки твердих включень або ж певної несиметричності розміщення лез, що викликає нерівномірне навантаження на ці леза, у пропонованому варіанті свердла різальні елементи здійснюють взаємопов'язані осциляції величини Δ .

При цьому нерівномірне додаткове навантаження на будь-яке різальне лезо компенсується відповідним додатковим зусиллям. Таке зусилля зумовлене зростанням або зменшенням глибини різання на кожному різальному елементі. Запропонована нова технологічна схема обробки, таким чином, передбачає взаємовирівнювання осьових складових зусиль різання, що діють на леза інструменту, а отже - і загалом сил різання і, що важливо сил, які визначають уведення свердла від теоретичної осі отвору. Це відбувається за рахунок варіацій індивідуальних подач окремих різальних елементів. Таким чином має місце поділ ширини зрізу.

Основний вплив на реалізацію процесу розсвердлювання з допомогою описаного інструменту мають відносні коливання свердла із гідроадаптацією лез та деталі. Від цих взаємних осциляцій, залежать у рівній мірі стійкість і продуктивність різання вказаного інструменту, так і якість поверхні, що обробляється, в кінцевому вигляді (похибки точності, величини шорсткості, залишкові напруження і наклеп, тощо).

В даному випадку розглянемо особливості впливу гідро адаптації різальних лез на якість розсвердлювання глибоких отворів. Для визначення складової сили різання при свердлінні скористаємось відомою формулою:

$$P_z = p \cdot a^{1-m} \cdot b \cdot K, \quad (1)$$

де p – питома сила опору різання, Н/мм²; a, b – товщина та ширина зрізу, мм; m – показник ступеня, для сталей $m=0,17-0,2$; для жаростійких сталей і сплавів $m=0,2-0,25$;

K - поправочний коефіцієнт, який враховує режими роботи, зміну твердості матеріалу та інші фактори.

Враховуючи те, що $a = (s/2) \sin \varphi$, і що відношення коефіцієнту твердості: $k_T = HB1 / HB2$, де $HB1$ і $HB2$ - твердість матеріалу на першому та другому лезі, відповідно, матимемо значення взаємопов'язаних осциляцій лез:

$$\Delta = \left(\sqrt[1-m]{k_T} - 1 \right) s \cdot \sin \varphi. \quad (2)$$

Це дозволяє визначити картину осциляцій при відслідковуванні зміни твердості матеріалу на різальних поверхнях окремих лез (рис. 2).

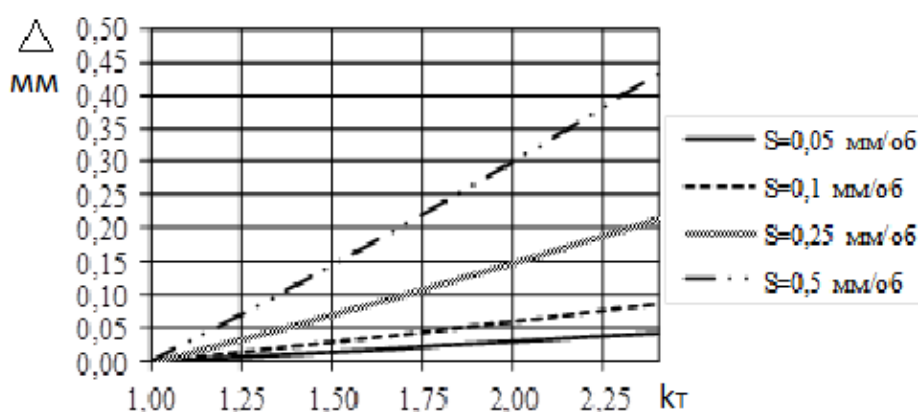


Рис. 2. Графік зміни амплітуди різальних лез при варіаціях твердості матеріалу на лезах


Представлені залежності показують, що інструмент з гідро адаптацією різальних лез можна використовувати для підвищення точності отворів, особливо при розсвердлюванні отворів зі значним (вище 5) співвідношенням довжини до діаметру.

Література.


1. 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.

Додаток 3

Форм	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
				Деталі		
		1		Основа	1	
		2		Зажимний хумут	1	
		3		Колона	1	
		4		Гільза	1	
		5		Траверса	1	
		6		Гвинт вертикального переміщення	1	
		7		Зажим рукава	1	
		8		Задня бабка	1	
		9		Електро двигун гідравлічний	1	
		10		Гідро зажим	1	
		11		Пульт керування	1	
		12		Кронштейн пульта	1	
		13		Шпindelьна бабка	1	
		14		Гільза шпindelя	1	
		15		Хрестовий перемикач	1	
		16		Ручка швидкої подачі шпindelя	1	
		17		Кнопкова станція	1	
		18		Зажим головки	1	
		19		Привод гідропресилектора	1	
		20		гідропресилектор	1	
		21		Противавга	1	
		22		Рукоятка управління фрекціоною мвфтою	1	
		23		Шпindelь	1	

Изм	Лис	№ докum.	Подп.	Дат	Специфікація радіально-свердлильного верстату	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Стециши							
Пров.	Луців І. В.							
Н.контр.								
Утв.	Луців І. В.							
						ТНТУ ім І.Пулюя ФМТ. МВнм-61		

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
				<i>Деталі</i>		
		1		<i>Шпиндель</i>	1	
		2		<i>Корпус</i>	1	
		3		<i>Вал</i>	1	
		4		<i>Вал</i>	1	
		5		<i>Вал</i>	1	
		6		<i>Вал шлицевий</i>	1	
		7		<i>Шків</i>	1	
		8		<i>Підшипник</i>	1	
		9		<i>Підшипник</i>	1	
		10		<i>Підшипник</i>	1	
		11		<i>Зубчасте колесо передачі</i>	1	
		12		<i>Зубчасте колесо передачі</i>	1	
		13		<i>Зубчасте колесо передачі</i>	1	
		14		<i>Зубчасте колесо передачі</i>	1	
		15		<i>Зубчасте колесо передачі</i>	1	
		16		<i>Кришка</i>	1	
		17		<i>Втулка</i>	1	
		18		<i>Пружина</i>	1	
		19		<i>Болт</i>	1	
		20		<i>Болт</i>	1	
		21		<i>Шайба</i>	1	
		22		<i>Болт</i>	1	
		23		<i>Болт</i>	1	

Ізм	Лист	№ докум	Подп.	Дата				
Разраб.		Стецишин В			Специфікація шпинделя	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Луцій І. В.					1	1
Н.контр.						ТНТУ ім І.Пулюя ФМТ. МВнм-61		
Утв.		Луцій І. В.						

Додаток 4

