

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Конструкторсько-технологічне забезпечення ефективності свердління
отворів, що перетинаються

Виконав: студенти 6 курсу, групи МВм-61
напряму підготовки (спеціальності) _____
133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	_____	<u>Оліховський В.І.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Кобельник В.Р.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Кобельник В.Р.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завід. кафедри	_____	<u>Крупа В.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Крупа В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Оліховському Володимирі Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Конструкторсько-технологічне забезпечення ефективності свердління отворів, що перетинаються

Керівник роботи Кобельник Володимир Романович, к.т.н., доцент

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

Затверджені наказом ректора від « 15 » 08 2025 року № 4/7-756

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2025

3. Вихідні дані до роботи

Способи (методи), засоби та обладнання для проведення досліджень силових параметрів процесу свердління наскрізних отворів. Методи та засоби усунення задирок.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. Огляд та аналіз особливостей процесу різання при свердлінні. Аналіз, особливості конструктивних та геометричних параметрів спіральних сверدل. Аналіз впливу параметрів процесу різання при свердлінні, на формування стружки. Огляд впливу параметрів процесу різання при свердлінні на осьову силу, та крутний момент в процесі різання. Огляд та аналіз існуючих досліджень щодо формування задирок в процесі свердління наскрізних отворів. Огляд та аналіз конструкції спеціального оснащення для зміни подачі свердла в процесі свердління наскрізних отворів. Огляд конструкцій деталей з отворами, що перетинаються. Висновок до аналітичного розділу, постановка мети. РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ. Схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються з забезпеченням регульованої подачі. Розробка удосконалених конструкцій механізму подач свердильного верстату для свердління декількох конструктивних отворів, що перетинаються. Удосконалення конструкції пристрою для свердління наскрізних отворів, особливості та принцип роботи. Особливості розрахунку та підбір пружних елементів пристроїв для свердління. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ. Методика визначення впливу подачі та діаметру свердла в величину задирок при свердлінні наскрізних отворів. Планування та методика проведення експерименту. Ефективність процесу свердління наскрізних отворів, що перетинаються.

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

Тема, мета роботи, завдання. (Слайди). Огляд та аналіз особливостей процесу різання при свердлінні. Аналіз, особливості конструктивних та геометричних параметрів спіральних свердел. Схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються з забезпеченням регульованої подачі. Розробка удосконалених конструкцій механізмів. Особливості розрахунку та підбір пружних елементів пристроїв для свердління. та методика проведення експерименту. Обробка експериментальних даних. Ефективність процесу свердління наскрізних отворів. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доцент каф. ВІ Сеник А.А.		
Безпека в надзв. ситуаціях	асист. каф. ОХ Теслюк В.М.		

7. Дата видачі завдання 15.08.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	25.08.2025	
2	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.	21.11.2025	
3	РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	10.12.2025	
4	ДОСЛІДНО-ПРАКТИЧНИЙ РОЗДІЛ	15.12.2025	
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕХПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	16.12.2025	
6	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ	19.12.2025	
7	Графічна частина (Слайди)	19.12.2025	
8	Підготовка до захисту	до 23.12.2025	

Студент

(підпис)

Оліховський В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Оліховський В.І. Конструкторсько-технологічне забезпечення ефективності свердління отворів, що перетинаються. : робота на здобуття кваліфікаційного ступення магістр: спец. 133 – Галузеве машинобудування / наук. Кер. В.Р. Кобельник. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025 102 с.

В кваліфікаційній роботі розглянуто процес різання при свердлінні та особливості впливу різних факторів на процес свердління, оглянуто існуючі дослідження та пристрої для свердління наскрізних отворів. Подано схеми різання, удосконалені конструкції механізму подач та пристроїв для свердління. Експериментально досліджено подачу, на ефективність свердління та показники отриманих поверхонь. Опрацьовано питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Ключові слова: Свердління, наскрізний отвір, свердло, подача, зміна подачі, отвори що перетинаються.

Olikhovsky V.I. Design and technological support for the efficiency of drilling crossing holes. : thesis for the degree of Master: spec. 133 – Industrial Engineering / scientific supervisor V.R. Kobelnik. Ternopil: Ivan Pul'uj Ternopil National Technical University, 2025 102 p.

The thesis examines the cutting process during drilling and the peculiarities of the influence of various factors on the drilling process, reviews existing research and devices for drilling through holes. Cutting diagrams, improved designs of feed mechanisms and drilling devices are presented. The influence of feed on drilling efficiency and the quality of the resulting surfaces is experimentally investigated. Issues of occupational health and safety in emergency situations are addressed.

Keywords: Drilling, through hole, drill bit, feed, feed change, intersecting holes.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Огляд та аналіз особливостей процесу різання при свердління.....	8
1.2 Аналіз, особливості конструктивних та геометричних параметрів спіральних свердл.	9
1.3 Аналіз впливу параметрів процесу різання при свердлінні, на формування стружки.	14
1.4 Огляд впливу параметрів процесу різання при свердлінні на осьову силу, та крутний момент в процесі різання.....	18
1.5 Огляд та аналіз існуючих досліджень щодо формування задирок в процесі свердління наскрізних отворів.....	23
1.6 Огляд та аналіз конструкції спеціального оснащення для зміни подачі свердла в процесі свердління наскрізних отворів.	28
1.7 Огляд конструкцій деталей з отворами, що перетинаються.	35
1.8 Висновок до аналітичного розділу, постановка мети.	42
2 РОЗРАХУНКОВО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	43
2.1 Схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються з забезпеченням регульованої подачі.....	43
2.2 Розробка удосконалених конструкцій механізму подач свердлильного верстату для свердління декількох конструктивних отворів, що перетинаються...	47
2.3 Удосконалення конструкції пристрою для свердління наскрізних отворів, особливості та принцип роботи.....	52
2.4 Особливості розрахунку та підбір пружних елементів пристроїв для свердління.....	56

2.5	Висновок до проєктного розділу.....	61
3	ДОСЛІДНО – ПРОЕКТНИЙ.....	63
3.1	Методика визначення впливу подачі та діаметру свердла в величину задирок при свердління наскрізних отворів. Планування та методика проведення експерименту	63
3.2	Ефективність процесу свердління наскрізних отворів.	68
3.3	Висновок до дослідницько конструкторського розділу.....	78
4	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	80
4.1	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: загальні принципи забезпечення безпеки на виробництві.	80
4.2	Загальні вимоги нормативних актів щодо управління охороною праці та безпекою у надзвичайних ситуаціях	81
4.3	Постановка завдання щодо досліджень з питань охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	83
4.3.1	Аналітично-розрахункова частина з питань охорони праці на виробництві.....	83
4.3.2	. Аналіз пожежонебезпечних факторів і розрахунок вогнегасників ...	85
4.3.3	. Дії у разі пожежі та організація евакуації	88
4.4	Висновки до розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.	89
	ВИСНОВОК.....	91
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	93
	ДОДАТОК А	101
	ДОДАТОК Б.....	102

ВСТУП

Машинобудування є однією з найважливіших та складних сфер сучасного промислового виробництва, адже воно охоплює створення широкого спектра продукції – від машин та верстатів до приладів, агрегатів та спеціалізованих механізмів: промислового, побутового й оборонного призначення. Крім того, галузь машинобудування є відкритою для наукових досліджень, що дозволяє здійснювати проривні відкриття та сприяти розвитку науково-технічного прогресу. Машинобудування формує основу сучасної економіки, визначаючи рівень розвитку інших галузей промисловості. Вона створює матеріально технічну базу для ефективного функціонування економіки. Продукує конкурентоспроможність країни на світовому ринку.

Для України машинобудування має особливе місце у функціонуванні держави, оскільки воно є базовою ланкою індустріального комплексу та прямо визначає стабільність роботи суміжних галузей. Витоки розвитку машинобудування на Українських землях сягають XIX століття. Цьому сприяли багаті родовища металів, стратегічно та економічно вигідне географічне положення.

Машинобудування є стратегічно важливою галуззю, яка впливає на всі аспекти економічного та суспільного життя. Воно виступає потужним двигуном інновацій, джерелом технологічного прогресу та фактором підвищення рівня життя населення. Машинобудування не обмежується лише створенням матеріальних цінностей – воно формує інтелектуальний і промисловий потенціал країни, визначаючи її позицію у світі як технологічно розвиненої держави.

Робота виконується по вимогам [25,29].

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд та аналіз особливостей процесу різання при свердління.

Свердління – це найпоширеніший процесів механічної обробки матеріалів, який полягає у створенні отворів за допомогою осьового різального інструменту – свердла. Операція виконується шляхом обертання свердла з одночасною подачею його в глиб оброблюваної деталі внаслідок чого знімається припуск матеріалу, і формується циліндричний отвір, відповідного до різального інструменту, діаметру. Свердління застосовують у різних галузях – від машинобудування до будівництва – оскільки воно дозволяє швидко й точно отримувати отвори для подальшої механічної обробки, кріплення деталей, чи монтажу конструкції. Простота методу поєднується з універсальністю, адже свердління можна виконувати як на верстатах, так і вручну, що робить його одним з ключових технологічних процесів у різних виробництвах.[21]

Свердління як технологічний процес, полягає у створенні наскрізних або глухих отворів у заготовках за допомогою ріжучого інструменту, що обертається.

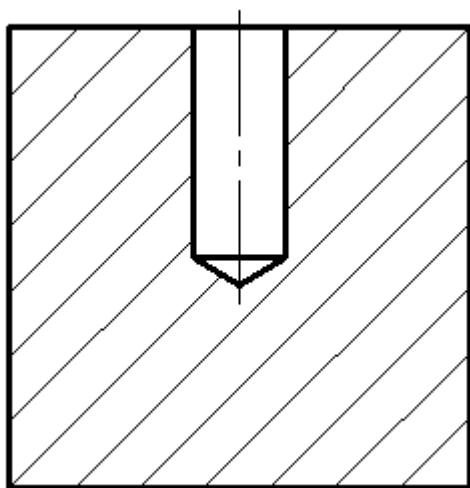


Рисунок 1.1 – Глухий отвір

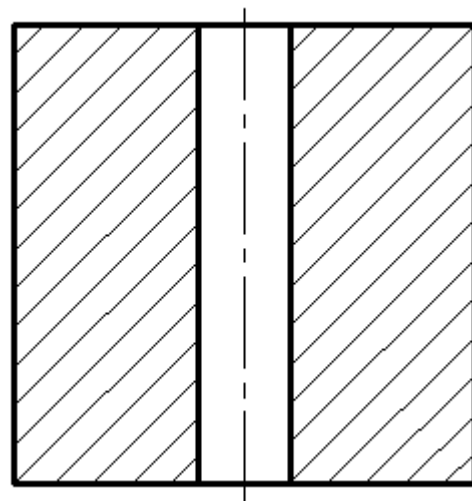


Рисунок 1.2 – Наскрізний отвір

Отвори отримані в результаті свердління, можуть бути кінцевим методом обробки поверхні, так і проміжним етапом для отримання необхідної поверхні.

Наступними операціями після свердління можуть застосовуватися: зенкерування, розгортання, різенарізання. [21]

1.2 Аналіз, особливості конструктивних та геометричних параметрів спіральних сверدل.

Історія розвитку свердел тісно пов'язана з еволюцією знарядь праці людини та формуванням технологій обробки матеріалів. Найдавніші прототипи свердлильних інструментів з'явилися приблизно 30–35 тисяч років тому і виготовлялися з каменю або кістки. Їх застосовували для утворення отворів у кремені, кісткових тканинах, деревині та інших природних матеріалах. Конструктивно такі інструменти мали вигляд загострених стрижнів, обертання яких здійснювалося вручну або за допомогою найпростіших пристроїв типу лукового механізму. Незважаючи на низьку продуктивність і обмежену точність, вони стали основою формування свердління як окремого технологічного процесу.

Подальший етап розвитку припадає на бронзову та залізну добу, коли освоєння металургії дало змогу виготовляти інструменти з підвищеними міцнісними характеристиками. Використання металевих свердел розширило можливості обробки твердих матеріалів і сприяло розвитку ремісничого виробництва, виготовленню більш складних виробів та елементів конструкцій. У цей період відбувається вдосконалення способів обертання інструмента, поширюються ручні свердлильні пристрої типу коловороту, а також з'являються свердла зі спіральними канавками, що забезпечували ефективніше відведення стружки.

Суттєвий прогрес у конструюванні свердел відбувся в період промислової революції, коли були створені приводні механізми для безперервного обертання інструмента. У XIX столітті сформувалися класичні конструктивні схеми спіральних свердел, які стали основою сучасних рішень. Визначальним досягненням цього етапу стало науково обґрунтоване формування геометрії різальної частини [44] та оптимізація форми й параметрів канавок, що забезпечило

поєднання високої продуктивності процесу з ефективним видаленням стружки. Це сприяло значному підвищенню якості механічної обробки та відіграло важливу роль у розвитку машинобудування, суднобудування й авіаційної промисловості [21],[51].

Сьогодні розвиток свердла як інструмента триває у напрямі підвищення стійкості, автоматизації процесів свердління та оптимізації геометрії ріжучих крайок за допомогою комп'ютерного моделювання. Використання нано покриттів, адитивних технологій та адаптивних систем охолодження інструменту, що відкриває нові можливості у сфері високоточної обробки. Свердло, що колись було простим ручним інструментом, перетворилось на високотехнологічний елемент виробничих комплексів, від ефективності якого залежить якість і продуктивність сучасного машинобудування та металообробки.[21]

По даним [59] Конструкція класичного спірального свердла складається з трьох основних частин.

- Робоча частина – містить 5 ріжучих кромок : Перемичка, дві ріжучі кромки, та дві спіральні стрічки.
- Шийка – з'єднує робочу частину з хвостовиком. Має спеціальні канавки для маркування та балансування свердла.
- Хвостовик – слугує для закріплення свердла в патроні або шпинделі верстату. Хвостовики можуть бути як циліндричні, так і конусні (конус Морзе, конус ISO)

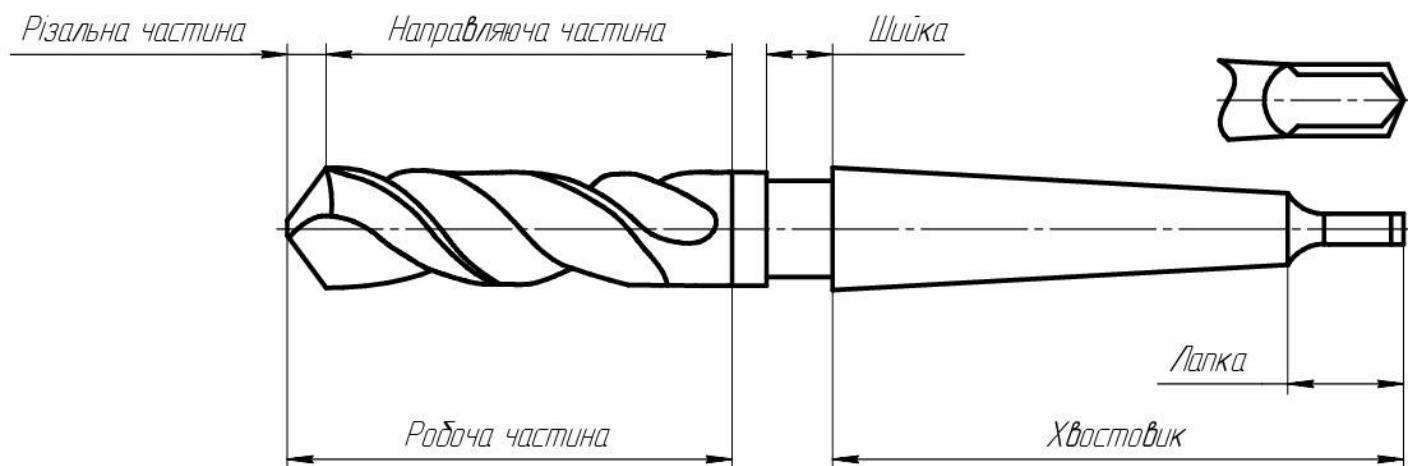


Рисунок 1.3 – Будова свердла

Спіральні канавки виконують одразу дві функції: забезпечують формування необхідних передніх кутів та відведення стружки з зони різання[51]. Їхня форма, кут підйому λ та глибина впливають на стійкість свердла, жорсткість конструкції та продуктивність процесу свердління. Оптимальний кут підйому спіралі вибирається залежно від властивостей матеріалу обробки: для пластичних матеріалів доцільні більші значення кутів, що сприяють інтенсивнішому відведенню стружки, тоді як для крихких матеріалів застосовують менші значення кутів для збереження жорсткості інструменту.

Кут загострення свердла φ визначає форму вершини та впливає на зусилля врізання, тепловиділення та точність формування отвору. Для забезпечення оптимального режиму різання важливою особливістю заднього кута α є те що його значення змінне від діаметру D . Задній кут зменшує тертя інструмента об поверхню отвору та покращує відведення тепла.

Довжина робочої частини l , діаметр серцевини d та радіуси переходів між елементами конструкції визначають загальну жорсткість свердла. Зі збільшенням діаметра серцевини підвищується міцність інструмента, однак зменшуються канали для стружковідведення, що може спричинити її ущільнення та погіршення якості обробки. Тому формування серцевини вимагає усередненого значення для конкретних вимог обробки [51].

Поверхнева якість спіральних канавок та точність шліфування різальних крайок безпосередньо впливають на стійкість інструмента, рівномірність навантажень під час різання та можливість роботи з підвищеними швидкостями. Додаткові конструктивні модифікації, такі як ступінчасті вершини, фаски на головних лезах або зміна форми поперечного леза, застосовуються для зменшення осьового зусилля, покращення самоцентрування інструмента та підвищення точності формування отворів. Геометричні параметри свердл описані у [42]

По передніх гвинтових поверхнях сходять стружка, а задні поверхні свердла обернені до поверхні різання. Перетин передніх і задніх поверхонь утворює різальні кромки. Перетин задніх поверхонь утворює поперечну кромку. Різальна частина характеризується переднім кутом γ та заднім кутом α , кутом біля вершини свердла

2ϕ , кутом нахилу поперечної різальної кромки ψ та кутом нахилу гвинтової лінії свердла ω

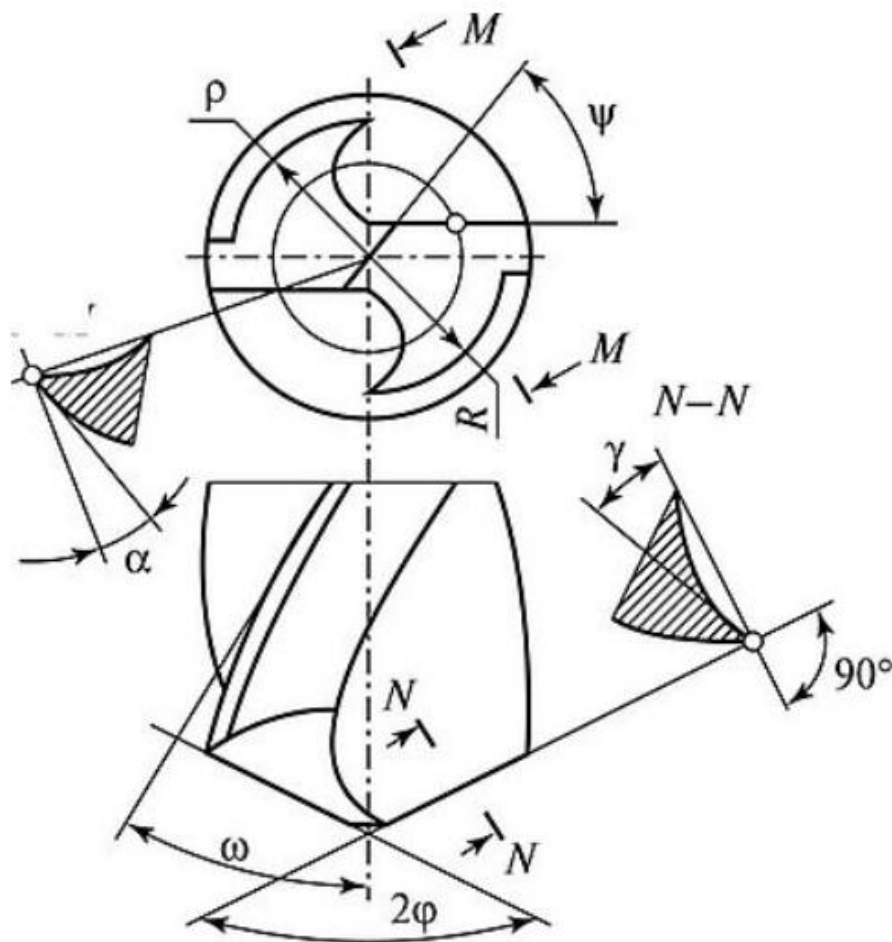


Рисунок 1.4 – Елементи та геометричні параметри спірального свердла.

Передній кут γ в точці K вимірюють у головній січній площині. Він утворюється дотичною, проведеною через точку K до передньої поверхні, та лінією, що проходить через цю точку перпендикулярно до площини різання. Величина переднього кута зменшується при наближенні до осі свердла. На серцевині свердла $\gamma = 0$ при нормальній формі заточування, а при підточуванні поперечної кромки кут γ з наближенням до серцевини стає від'ємним. На поперечній кромці свердла передній кут має великі від'ємні значення (до -60°)[60,63]. Тому поперечна кромка метал не ріже, а витискує його під різальні кромки. На це витрачається 50–65 % осьової сили та до 15 % крутного моменту. Довжина поперечної кромки визначається діаметром серцевини d_c . Зі зменшенням

діаметра серцевини зменшується довжина поперечної кромки, але при цьому знижується міцність свердла. Для швидкорізальних сверدل $d_c = (0,12-0,2)D$, для твердосплавних сверدل $d_c = 0,25D$. У свердл малого діаметра, призначених для обробки важко-оброблюваних матеріалів, товщину серцевини збільшують до $(0,32-0,35)D$.

Задній кут α також вимірюється у головній січній площині. Кут α утворюється дотичною до задньої поверхні, проведеною через точку K , і площиною різання. Значення заднього кута при наближенні до осі свердла збільшується. В залежності від діаметра свердла $\alpha = 8-14^\circ$ на периферії і $\alpha = 20-25^\circ$ біля серцевини свердла. [51]

Перетин різальних кромок утворює кут біля вершини свердла 2ϕ . Кут 2ϕ впливає на величину складових сили різання, довжину різальної кромки і елементи перерізу стружки. При збільшенні кута 2ϕ зменшується довжина різальної кромки, зростають сили різання, що діють на одиницю довжини різальної кромки, тому свердло швидше спрацьовується, але при цьому збільшується товщина стружки, яка буде легше сходити по гвинтових канавках, вона менше деформується, що обумовлює зниження моменту опору обертанню свердла. Досліди [42] показують, що при зменшенні кута 2ϕ з 140 до 90 осьова сила зменшується на $40-50\%$, а момент опору збільшується на $25-30\%$. Значення цього кута вибирається з врахуванням властивостей матеріалу заготовки. Для обробки конструкційних сталей та чавунів $2\phi = 116-118^\circ$. При обробці жаростійких сталей, алюмінієвих сплавів і твердих чавунів кут 2ϕ збільшується до $125-150^\circ$. При обробці твердих бронз, пластмас кут 2ϕ зменшується до $80-110^\circ$. Кут нахилу поперечної кромки ψ лежить в площині, перпендикулярній до осі свердла, і утворюється проекціями різальної кромки та поперечної кромки на цю площину. Величина кута ψ знаходиться в межах $50-55^\circ$. Напрямна частина має гвинтові направляючі стрічки, які забезпечують точний напрям руху свердла і знижують шорсткість стінок отвору. Кут нахилу гвинтової лінії стрічок ω знаходиться між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії стрічки. Величина цього кута впливає на міцність і жорсткість свердла та на вихід стружки. Зі збільшенням кута ω збільшується передній кут γ , тому стружка легше зрізується і легше відводиться, зростає жорсткість свердла на

скручування, але знижується жорсткість в осьовому напрямі. Зменшення осьової сили і моменту опору відбувається при зростанні кута ω до $25\text{--}35^\circ$. При подальшому збільшенні кута ω сили різання не зменшуються, але знижується міцність леза біля периферії. Свердла діаметром до 10 мм мають кут $\omega = 25\text{--}28^\circ$, а для більших діаметрів $\omega = 30\text{--}35^\circ$. Для обробки в'язких матеріалів (алюмінієві сплави, мідь) рекомендуються свердла з $\omega = 35\text{--}45^\circ$. Ширина направляючих стрічок f вибирається в залежності від діаметра свердла. З метою зниження тертя між стрічками і стінкою отвору, використовують зворотну конусність свердла де: діаметр направляючої частини зменшується в напрямі до хвостовика (0,03–0,12 мм на 100 мм довжини).

1.3 Аналіз впливу параметрів процесу різання при свердлінні, на формування стружки.

У роботах [1-10, 14, 21, 51] Процес стружкоутворення є незамінним елементом механічної обробки матеріалів різанням і полягає у відділенні частини поверхневого шару заготовки під дією ріжучого інструмента. Під час контакту різальної кромки з матеріалом у зоні різання формується локальна область підвищених напружень і температур, у якій відбувається пластична деформація металу. У міру просування інструмента пластично деформований шар відокремлюється від масиву заготовки у вигляді стружки, а характер її утворення визначається властивостями матеріалу, кутами різання та режимами обробки.

Під дією стискальних і зсувних напружень частинки матеріалу переміщуються вздовж площини ковзання, утворюючи безперервну або сегментовану стружку залежно від пластичності металу та теплових умов. Тертя між стружкою і передньою поверхнею інструмента спричиняє додаткове виділення тепла, що впливає на морфологію стружки та знос ріжучої частини інструмента.

При різанні різальна кромка інструменту тисне на верхній шар металу заготовки і відриває його від заготовки. Зсувні деформації викликають ковзання окремих частин зерен по кристалографічним площинам у певних напрямках.

Площини ковзання, що виникають внаслідок необоротного переміщення атомів, дроблять зерна на окремі частини (пластини), які в процесі деформації повертаються в певному напрямку відносно діючої сили. Зерна витягуються, розташовуються ланцюжками; крім того, зміцнюється метал

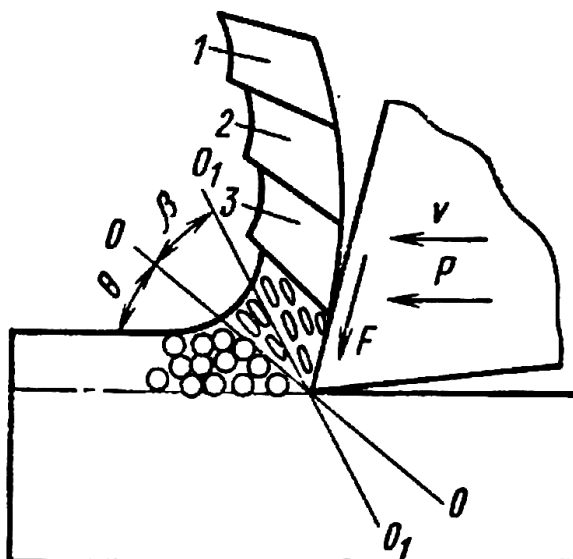


Рисунок 1.5 – Схема процесу стружкоутворення

У момент, коли пластичні деформації досягнуть найбільшої величини, а напруги перевищать сили внутрішнього зчеплення зерен металу, зерна зміщаються відносно один одного й сколюється елементарний об'єм металу 1. Далі процес деформування повторюється, сколюються наступні елементарні об'єми металу 2, 3 і наступних. Зрізуваний шар металу переходить в стружку. Вид стружки залежить від властивостей металу заготовки та режиму різання.[51]

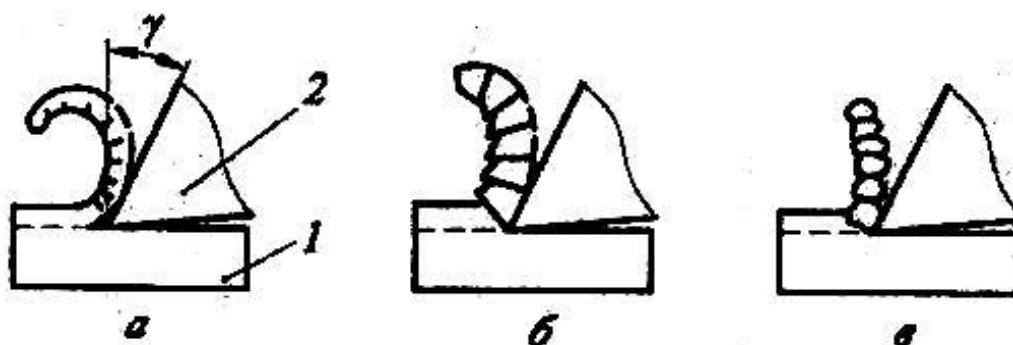


Рисунок 1.6 – Види стружки: зливна (а); сколювання (б); надлому (в)

1 - заготовка; 2 – різець.

Зливна стружка (суцільна стрічка з гладкою поверхнею) утворюється при обробці пластичних металів

Стружка сколювання (суцільна стрічка з розмежованих елементів) утворюється при обробці металів середньої пластичності

Стружка надлому (складається з незв'язаних між собою окремих елементів) утворюється при обробці крихких металів .

При різанні на різці у місці контакту із заготовкою утворюється наріст з сильно деформованих частинок металу заготовки через великий тиск і високу температуру [51]. Наріст двояко впливає на процес різання і якість обробки. Для чорнової обробки наріст впливає позитивно, оскільки якість поверхні не є важливою, то наріст переносить різальний клин з вершини інструменту на наріст. При цьому інструмент не зношується. Для чистової обробки наріст є вкрай негативним явищем оскільки при його утворення неможливо контролювати і зрізуваний шар не має сталої величини. Що негативно впливає на розмір оброблюваної деталі. Засоби для попередження утворення наростів: застосування мастильно-охолоджувальних рідин, полірування передньої поверхні інструменту.

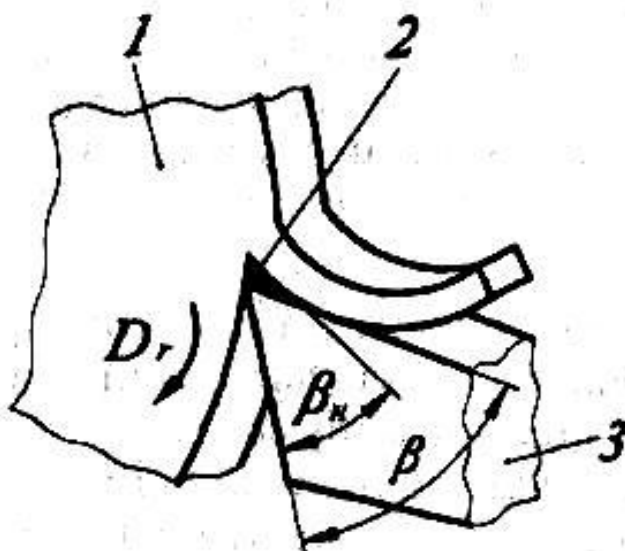


Рисунок 1.7 – Схема утворення наросту:

1 - заготовка; 2 - наріст; 3 – різець.

В пункті 1.2 описано те що головний задній кут спірального свердла має характерну особливість, що полягає у його змінності вздовж різальної кромки. Його величина не залишається сталою, а змінюється залежно від радіального положення

точки на кромці, що зумовлено просторовою геометрією гвинтових канавок та особливостями формоутворення задньої поверхні.

У центральній частині свердла задній кут має мінімальні значення через низьку окружну швидкість і переважання процесу продавлювання матеріалу над власне різанням. У напрямку до периферії величина кута поступово збільшується, що забезпечує кращі умови зрізування шару матеріалу, зменшує тертя задньої поверхні об заготовку та сприяє стабільному формуванню стружки.

Змінність заднього кута є конструктивно необхідною, оскільки гвинтова форма канавок та просторове розташування різальних лез перетворюють геометрію заточування у складну просторову поверхню. Така геометрія підвищує ефективність процесу свердління, забезпечує рівномірність навантаження вздовж кромки та сприяє збільшенню стійкості інструмента. Ця особливість конструкції спірального свердла, є причиною завивання стружки в процесі свердління. Зображення роботи свердла, по спіралям з відведенням продуктів різання.



Рис. 1.8 – Відведення стружки при свердлінні

Відведення стружки під час свердління є одним із ключових аспектів забезпечення стабільності процесу різання та довговічності інструменту, особливо

при обробці глибоких отворів [42]. Накопичення стружки у зоні різання призводить до утворення надлишкового тиску, що ускладнює рух інструмента і різко підвищує температуру в контакті між різальною кромкою та матеріалом заготовки. Це створює передумови для прискореного зношування або навіть раптового руйнування свердла, а також викликає пошкодження поверхні отвору у вигляді задирок і мікротріщин. Для запобігання таким явищам застосовуються спеціальні технічні рішення. Найпоширенішим методом є використання гвинтових канавок свердла, які сприяють виведенню стружки з робочої зони завдяки їхній спіралеподібній формі. Значного ефекту досягають також за рахунок інжекційної подачі мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ безпосередньо в зону різання, що забезпечує зменшення температури та покращує транспортування відходів різання. У випадках особливо глибоких свердлень застосовують періодичне циклічне виймання інструмента для видалення накопиченої стружки та запобігання заклинюванню.

1.4 Огляд впливу параметрів процесу різання при свердлінні на осьову силу, та крутний момент в процесі різання.

У працях [21, 27, 66] для забезпечення процесу свердління, необхідно забезпечити обертовий головний рух різання, та поступальний допоміжний рух подачі. Взаємодія цих рухів формує циліндричний отвір в товщі матеріалу. При автоматизованій обробці додаються допоміжні рухи – зміна положення деталі або інструменту, а також цикл поступового виймання свердла для видалення накопиченої стружки.

Під час свердління одним із ключових чинників є сили різання, які необхідно враховувати при конструюванні інструментів і верстатного обладнання, особливо осьову складову. Основне навантаження зосереджується на перемичці свердла, що становить приблизно 60% від усієї осьової сили. Близько 40% діє на головну ріжучу кромку, а найменша частина припадає на допоміжну кромку. Осьова сила чинить опір руху подачі й використовується для розрахунку міцності елементів механізму

подач верстата. У випадках, коли співвідношення довжини свердла до його діаметра є значним, ця сила може спричинити прогин інструмента, який працює подібно до жорстко закріпленого стрижня.

При свердлінні в зрізанні стружки беруть участь два головних леза і перемичка. На кожному з головних лез діє сила різання, умовно прикладена до точки ріжучої кромки, що лежить на радіусі $D/4$.

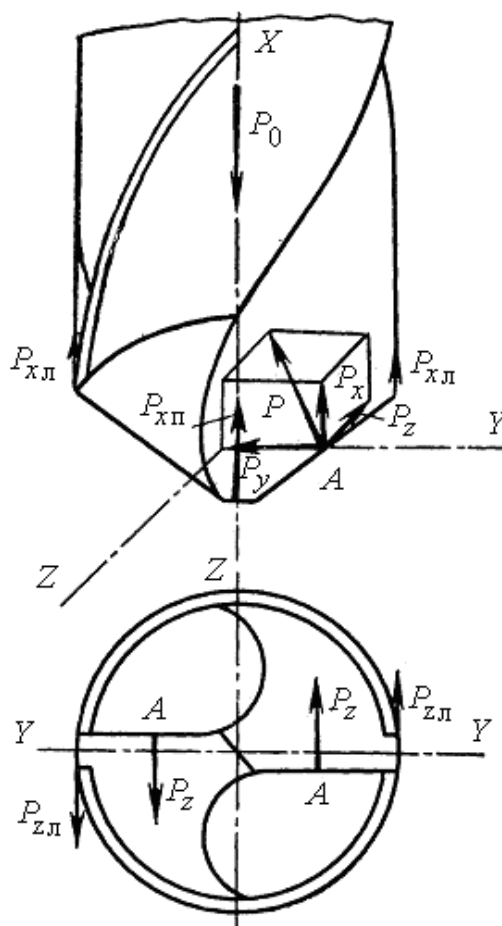


Рис. 1.9 – Сили, що діють на свердло

Цю силу різання розкладають на:

P_z – дотична сила, дотична до кола, на якому лежить точка прикладання рівнодіючої сили різання;

P_y – радіальна сила, що проходить через вісь свердла;

P_x – осьова сила, паралельна осі свердла.

На іншому головному лезі діє аналогічна система сил. Сили різання, що діють на перемичці, представляють тільки осьовою силою P_{xp} (дві інші сили, що лежать

у площині, перпендикулярній осі свердла, до уваги не беруть, оскільки їх вплив на силові характеристики при різанні невеликий).

На кожну стрічку (допоміжну кромку) діють сила P_{zl} , спрямована по дотичній до кола діаметром D , і осьова P_{xl} , спрямована вздовж осі свердла (обидві ці сили за своїм характером – сили тертя).

Сума проекцій сил, що діють уздовж осі свердла, на вісь X буде рівною

$$\sum X = 2P_x + P_{xp} + 2P_{xl} = P_0 \quad (1.1)$$

Це осьова сила свердління. За нею розраховують міцність деталі механізму подачі верстата. Сили опору проникненню свердла $2P_x$, що виникають на головних ріжучих кромках, становлять $\sim 40\%$ осьової сили P_0 ; сили опору, що виникають на поперечній кромці P_{xp} , становлять 57% і сили тертя $2P_{xl}$ – 3% від сили P_0 .

Сума моментів діючих сил відносно осі X складе

$$\sum M_x = 2P_{zx} \frac{D}{2} + 2P_z \frac{D}{4} = M_{кр} \quad (1.2)$$

Зазначену суму моментів називають крутним моментом опору різанню (крутним моментом різання). Вимірювання показують, що 80% загального моменту різання припадає на частку головних ріжучих кромок, 8% – на поперечну кромку і 12% – на тертя стружки про свердло і стрічки об оброблену поверхню

Діаметр свердла і подача чим більше діаметр свердла і величина подачі, тим більше площа поперечного перерізу зрізуваного шару, більше об'єм деформованого матеріалу і опір стружко утворенню, тим більше осьова сила і крутний момент від сил опору різанню [50,51]. Але якщо подача впливає на параметри P_0 і $M_{кр}$ приблизно однаково, то діаметр свердла впливає на крутний момент більше, ніж на осьову силу. Останнє пояснюється тим, що при збільшенні діаметра збільшується і плече, на якому діють тангенціальні сили. Різний вплив діаметра свердла і подачі

враховується показниками ступеня у формулах для розрахунку осьової сили P_o і моменту $M_{кр}$.

У джерелі [51], геометричні параметри свердла суттєво впливають на P_o і $M_{кр}$. Так, зі зростанням кута нахилу гвинтової канавки ω збільшується передній кут γ , а з нахилу, полегшується процес стружки утворення, і зменшуються P_o і $M_{кр}$.

Кут 2φ впливає на P_o і $M_{кр}$ аналогічно куту в плані токарного різця, змінюючи співвідношення між шириною і товщиною зрізаного шару. Зі збільшення φ , $M_{кр}$ зменшується, а P_o - зростає.

Довжина поперечної кромки K впливає на P_o сильніше, чим на $M_{кр}$. Для зменшення P_o виконують спеціальне підгострювання перемички.

Чим вище границя міцності R_m або твердість HB оброблюваного матеріалу, тим більше осьова сила і крутний момент [51]. Ці залежності можуть бути виражені наступними рівняннями:

-при обробці сталі свердлами зі швидкорізальної сталі:

$$P_o = C_1 \cdot R^{0.75}_m \quad (1.3)$$

$$M_{кр} = C_2 \cdot R^{0.75}_m \quad (1.4)$$

при обробці сірих чавунів свердлами, оснащеними твердим сплавом:

$$P_o = C_3 \cdot HB^{0.6} \quad (1.5)$$

$$M_{кр} = C_4 \cdot HB^{0.6}_m \quad (1.6)$$

Мастильно-охолоджуючі технологічні середовища (МОТС) Застосування при свердлінні, рекомендується і викликає у порівнянні з обробленням насухо зменшення осьової сили і крутного моменту на 10-30% при обробці сталей, на 10-18% при обробці чавунів і на 30-40% при обробці алюмінієвих сплавів[51].

Коли збільшується глибина свердління умови різання погіршуються. Відвід стружки і підведення свіжої охолоджувальної рідини утруднюються, тепловиділення збільшується [51]. Все це призводить як до зниження стійкості свердла, так і до підвищення осьової сили та крутного моменту.

Зношування свердла. Зі збільшенням зношування свердла по заданій поверхні сила P_o і момент $M_{кр}$ збільшуються; затуплене свердло у порівнянні з гострим підвищує ці параметри на 10-16% [51].

Показано залежності геометричних параметрів свердла до сил та моментів

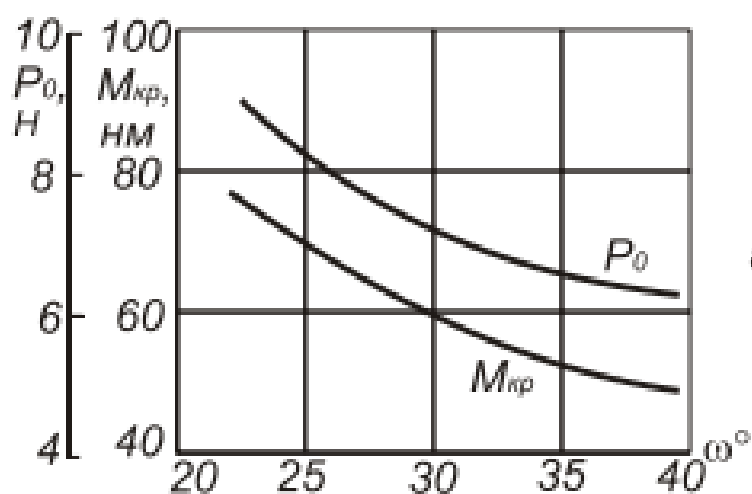


Рисунок 1.10 – залежність P_o і $M_{кр}$ від кута нахилу гвинтової канавки ω

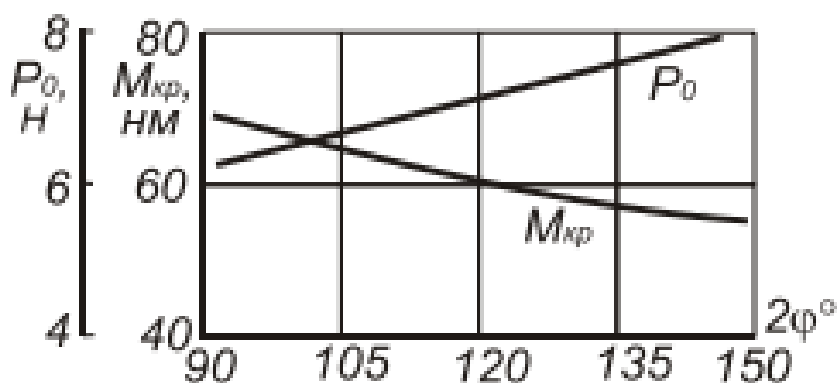


Рисунок 1.11 – Залежність P_o і $M_{кр}$ від подвійного кута в плані 2φ

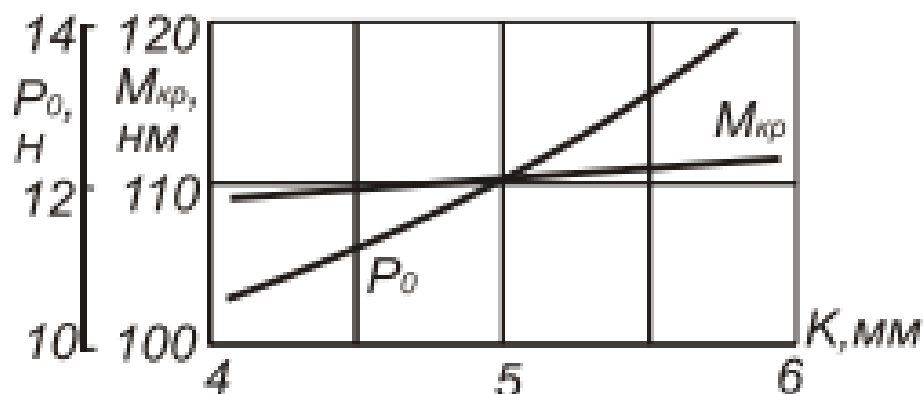


Рисунок 1.12 – Залежність P_0 і $M_{кр}$ від довжини перемички K

1.5 Огляд та аналіз існуючих досліджень щодо формування задирок в процесі свердління наскрізних отворів.

Дослідження утворення задирок у свердлінні наскрізних отворів висвітлювалося як вітчизняних працях [30-35,39-44], так і у закордонних роботах [1-16]. Вимоги до характеристик і функціональності деталей постійно зростають, що висуває підвищені очікування до якості їхніх крайових зон. Хоча геометрія деталей, задана в CAD-системах або на кресленнях, є точною, фактична форма крайок значною мірою залежить від утворення задирок у завершальних стадіях обробки. У багатьох випадках для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей потрібне додаткове, трудомістке й витратне зачищення крайніх зон від задирок. [11]

Дослідження підтверджують значний негативний економічний вплив від утворення задирок під час механічної обробки деталей. Процес їх видалення не створює доданої вартості, водночас потребує додаткових витрат часу, трудових ресурсів та енергії для зняття задирок. Крім того, наявність задирок ускладнює подальші технологічні операції, знижує точність складання та може призводити до погіршення експлуатаційних характеристик деталей, особливо в умовах підвищених вимог до надійності та довговічності машин і механізмів.

Навіть якщо задирки не впливають безпосередньо на функціонування деталі, вони становлять небезпеку. По-перше, гострі краї можуть спричинити травмування персоналу під час складання. По-друге, задирки, що залишаються на деталі, можуть відриватися в процесі експлуатації і викликати пошкодження механізмів з середини. Характерним прикладом є задирки, що утворюються під час свердління головок циліндрів двигуна: потрапляючи в канали системи охолодження, вони відриваються під час роботи, переміщуються разом з охолоджувальною рідиною та здатні спричинити серйозні несправності.

Перші опубліковані дослідження, присвячені задиркам, стосувалися процесів штампування. Формування задирок під час різання металів почали розглядати паралельно з вивченням механізмів утворення стружки, оскільки ці явища є тісно пов'язаними. У роботі [8] наведено результати дослідження процесу стружкоутворення, які фактично стали першими спробами пояснення природи виникнення задирок. Пізніше було представлено перше фундаментальне дослідження механізмів їх утворення [9], де запропоновано аналітичну модель для прогнозування властивостей задирок і перевірено її коректність шляхом зіставлення з експериментальними даними.

Коли основні закономірності утворення задирок були встановлені, дослідницький інтерес змістився у напрямі їх видалення. Операції зачищення залишаються трудомісткими, коштовними та у значній мірі ручними. Нині існує велика кількість методів, інструментів і машин для зачищення, задирок. Проте в промисловості значна частина таких операцій усе ще й досі виконується вручну.

У працях [2,3,4] зазначається, що задирки виникають практично в усіх видах механічної обробки, при вході та виході інструмента із матеріалу. Це дозволяє дійти таких висновків: збільшення пластичності заготовки, як правило, сприяє формуванню більших задирок; обмеження деформації матеріалу у напрямку дії сили — завдяки геометрії заготовки чи режимам обробки — зменшує інтенсивність їх утворення.

У моделі процесу формування задирок, розробленій у [39], описано, що при проникненні ріжучої кромки в матеріал формується тривимірний конус стискання.

У разі перевищення межі пружних деформацій відбувається пластичне зміщення матеріалу у напрямку найменшого опору, що спричиняє появу виступу за межами зони контакту інструмента з деталлю. Присутня схожість процесу як з процесом прошивання металу.

У [6] виділяються шість основних фізичних процесів формування задирок: бічне витіснення матеріалу під час стискання; згинання матеріальних шарів; відрив стружки; перерозподіл матеріалу; неповне відділення; витікання матеріалу в тріщини. Перші три процеси пов'язані з пластичною деформацією, тоді як шостий характерний для лиття та первинного формування. Здійснивши симуляції показано та виміряно характер задирок, їх геометрична складова що подано у зображенні поверхні задирки після свердління [10] У сфері свердління значний внесок належить дослідженню [12], де встановлено, що співвідношення між висотою задирки та товщиною недеформованої стружки може бути сталою характеристикою матеріалу для певної геометрії свердла.

У праці [10] показано модель формування задирок при свердлінні, засновану на понятті кута взаємодії між ріжучою кромкою та вихідною поверхнею.

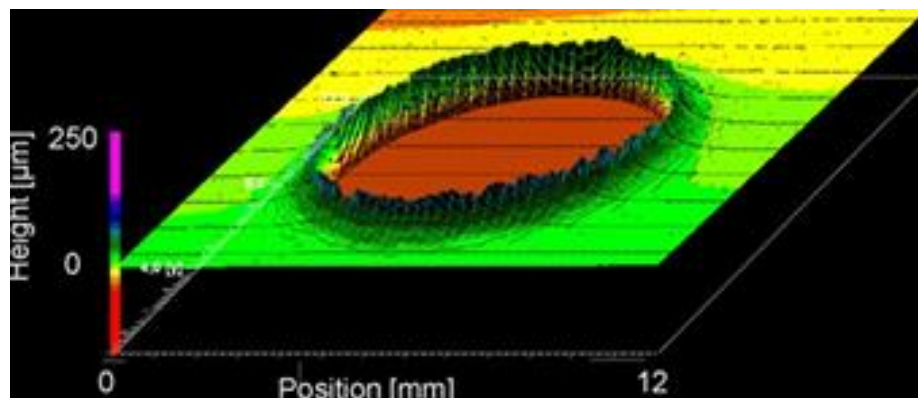
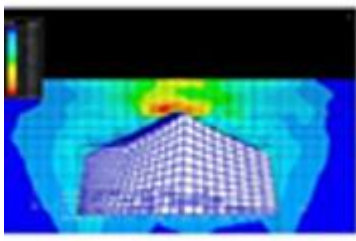
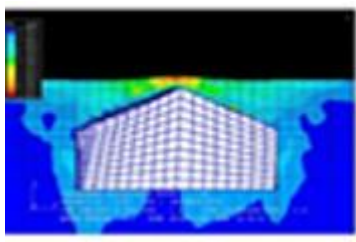
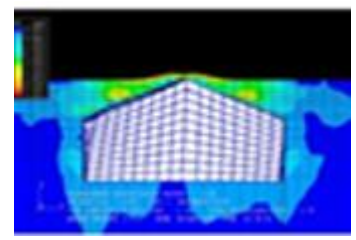
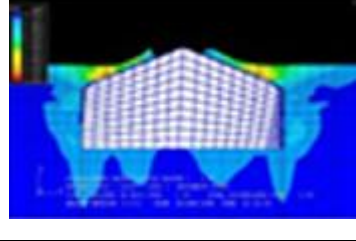
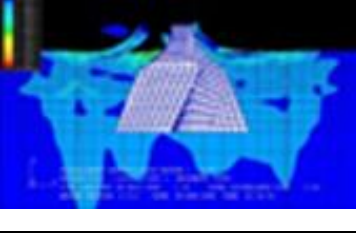


Рисунок 1.13 – Симуляція поверхні після свердління

Позитивний кут вказує на вихід інструмента із матеріалу та визначає зону формування задирок. Показано, що збільшення подачі, зменшення швидкості та зменшення кута вихідної поверхні приводить до розширення цієї зони. Запроваджене поняття ефективного кута вихідної поверхні враховує зміни геометрії, спричинені пластичною деформацією наприкінці різання. Негативне значення такого кута сприяє ранньому згинанню матеріалу й появі великих задирок.

Дослідження [15] запропонувало дві кінематичні моделі, що описують умови входу та виходу інструмента при свердлінні наскрізних отворів, а також дозволяють прогнозувати кількість залишкового матеріалу та положення задирок залежно від конфігурації перетину, що узгоджується з результатами роботи [7].

Таблиця 1.1 Симуляція процесу утворення задирки [10].

Формування задирки	Схема утворення задирки	FEM моделювання	Високо швидкісна камера
Стабільне різання			
Початок випучування			
Розвиток випучування			
Початок виходу свердла			
Повний вихід свердла			

У праці [1]. Встановлено, що під час формування наскрізних отворів у момент виходу свердла з тіла заготовки присутні наступні ефекти та механіки. Під дією осьового зусилля виникають пружні деформації у механізмах вертикально свердлильних верстатів. Оскільки жодна система не може бути ідеально жорсткою, то маємо що крутні моменти на валах – скручують вали, моменти на зубах – зминають зуби. Під час виходу інструменту з деталі, коли частина різальних кромek втрачає контакт із матеріалом, а стружкоутворення відбувається несиметрично. Напружена система віддає накопичену енергію, що призводить до різкого збільшення подачі, та крутного моменту. Ці явища призводять до підвищеної ймовірності руйнування інструмента, утворення задирок на поверхні виходу свердла та погіршення геометричної точності сформованої поверхні.. Один з методів мінімізації впливу цих явищ полягає у зниженні подачі як протягом усього процесу свердління, так і безпосередньо на етапі виходу ріжучого інструмента із матеріалу заготовки [1].

Зменшення подачі дозволяє знизити осьове зусилля, зменшити інтенсивність утворення задирок та зменшити навантаження на ріжучі кромки, що підвищує стійкість свердла. У Для запобігання таким явищам у промисловій практиці, особливо в умовах автоматизованого режиму обробки та серійного виробництва, застосовують регульоване зменшення подачі на завершальному етапі свердління.

У наведених дослідженнях [24] згадується про метод обернений до попереднього, а саме навпаки різко збільшувати подачу при виході свердла з оброблюваної деталі.

Аналіз конструктивних рішень і принципів роботи існуючих пристроїв, призначених для автоматичного зменшення подачі під час виходу свердла із заготовки, свідчить про наявність низки суттєвих недоліків. Зокрема, використання таких механізмів, з одного боку, звужує технологічні можливості вертикально-свердлильних верстатів, оскільки зменшується їхня ефективна робоча зона, а частина ходу шпинделя витрачається на роботу додаткових регулювальних елементів. З іншого боку, наявність додаткових механічних вузлів призводить до підвищених навантажень на деталі коробок швидкостей і подач, що викликає їхнє

прискорене зношування та збільшує ризик виникнення відмов обладнання. Це не лише знижує загальну надійність верстата, але й у ряді випадків потребує використання вертикально-свердлильних верстатів більших типорозмірів і потужності для компенсації додаткових втрат продуктивності. Така необхідність є економічно необґрунтованою та нераціональною, оскільки збільшує вартість обладнання, енергоспоживання та експлуатаційні витрати. Тому питання удосконалення технічних рішень, спрямованих на стабілізацію режимів виходу свердла з матеріалу, залишається актуальним та потребує подальших досліджень і розробки ефективніших конструкцій.

1.6 Огляд та аналіз конструкції спеціального оснащення для зміни подачі свердла в процесі свердління наскрізних отворів.

Проблематика свердління наскрізних отворів із забезпеченням контрольованого зменшення подачі на етапі виходу інструмента з тіла заготовки розглядається переважно у контексті побудови кінематичних схем процесу та відповідного технологічного оснащення. Однак такі підходи не охоплюють усього комплексу завдань, пов'язаних із регулюванням подачі при даному виді обробки. У цьому зв'язку дослідження особливостей свердління наскрізних отворів з урахуванням зниження подачі на заключному етапі руху інструмента з метою підвищення ефективності процесу набуває особливої актуальності.

У наукових працях В. Р. Кобельника [30,35,61,65], на основі аналізу технологій свердління наскрізних отворів, систематизовано способи та пристрої регулювання подачі. Автор запропонував класифікацію за ознаками силового впливу на інструмент та особливостями кінематики, виділивши механічні, електромеханічні, гідравлічні, пневматичні та комбіновані системи. Додатково ці види диференційовано на підкласи відповідно до типу кінематичного зв'язку (рис. 1.14).

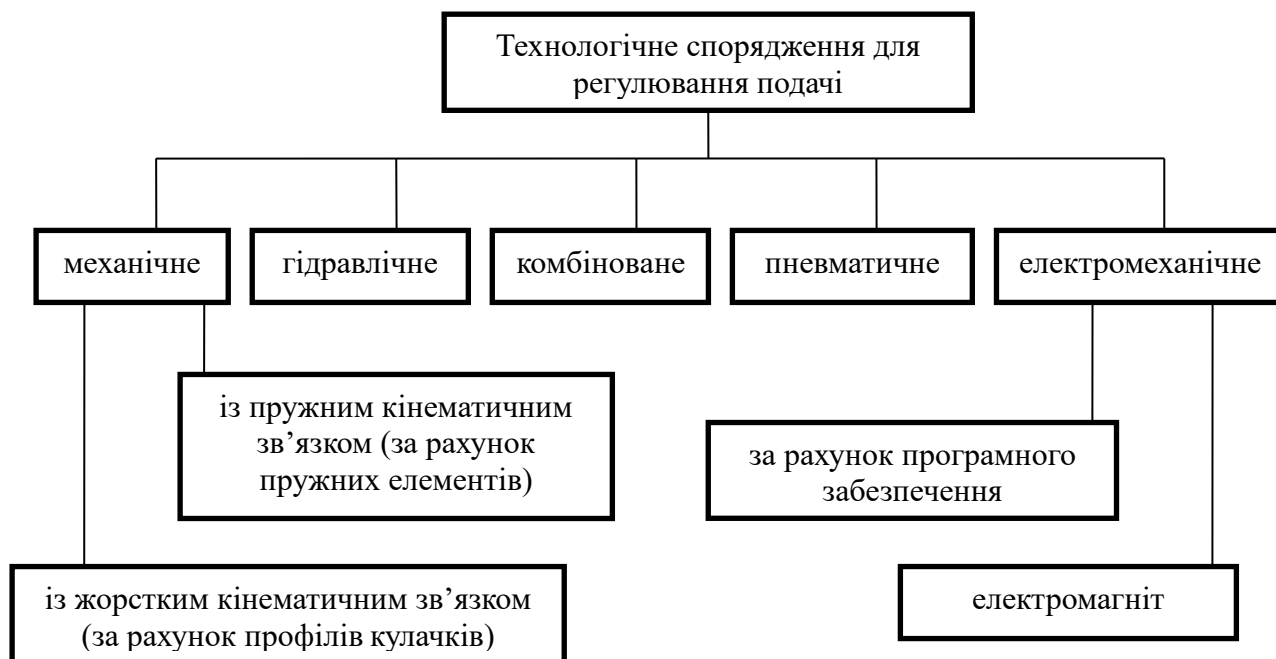
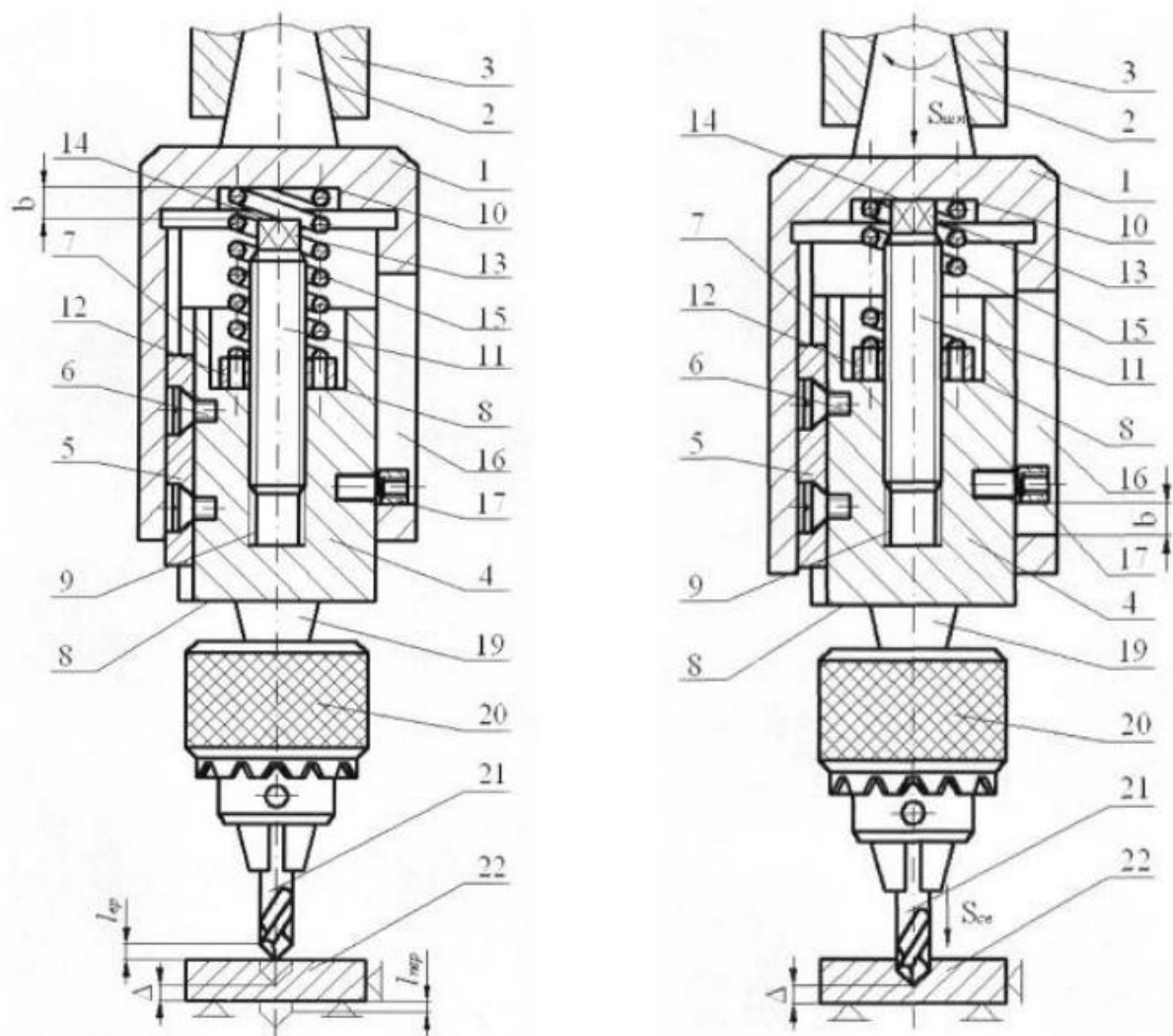


Рисунок 1.14 – Класифікація технологічного спорядження, що забезпечує регулювання подачі при свердлінні наскрізних отворів

У працях [65,39] наведено виконання пристроїв для свердління наскрізних отворів різних конструкцій та принципів дії. Принцип роботи пристроїв ґрунтується на акумулюванні потенційної енергії в пружині під час руху подачі та подальшому її вивільненні у момент виходу інструмента з тіла заготовки. У процесі завершальної стадії свердління подача поступово зменшується від робочого значення до нуля, що дозволяє уникнути утворення задирок і знижує навантаження на вузли системи верстат пристосування інструмент деталь (ВПД).



а) Початкове положення

б) Робоче положення

Рис.1.15 – пристрій для свердління наскрізних отворів.

Пристрій для виконання свердління наскрізних отворів включає чашкоподібний циліндричний корпус 1, на верхньому торці якого розташований конус 2, жорстко спряжений зі шпинделем 3 свердильного верстата (на фіг. 1 та фіг. 2 верстат умовно не показано). Внутрішня циліндрична поверхня чашкоподібного корпуса 1 взаємодіє з повзуном 4, який з'єднаний із корпусом 1 за допомогою шпонки 5, закріпленої на повзуні 4 гвинтами 6.

У верхній зоні повзуна 4 виконана циліндрична виточка 7, у дні 8 якої сформовано різбовий отвір 9. У зазначений отвір з можливістю регулювання положення відносно дна 10 чашкоподібного циліндричного корпуса 1 загвинчений

шток 11, зафіксований стопорною гайкою 12. Верхня частина штока 11 виконана у формі багатогранної призми 13, при цьому його верхній торець 14 розташований на відстані b від дна 10 корпусу 1. Пружний елемент 15 змонтований на штоку 11 із забезпеченням зазору та стиснутий між верхнім торцем стопорної гайки 12 і дном 10 чашкоподібного циліндричного корпусу 1. Механізм обмеження крайнього нижнього положення повзуна 4 відносно корпусу 1 реалізований у вигляді наскрізного паза 16, виконаного в циліндричній стінці чашкоподібного циліндричного корпусу 1. У межах цього паза розміщений циліндричний палець 17, який різьбовою частиною з'єднаний із радіальним різьбовим отвором повзуна 4.

На нижньому торці 18 повзуна 4 сформовано конус 19, на якому встановлено свердлильний патрон 20 із закріпленням у ньому свердлом 21, що взаємодіє з оброблюваною заготовкою 22.

Функціонування пристрою для свердління наскрізних отворів здійснюється таким чином. Конструктивне виконання забезпечує фіксацію крайнього нижнього положення повзуна 4 відносно чашкоподібного циліндричного корпусу 1 за рахунок контакту циліндричного пальця 17 з нижньою граничною ділянкою наскрізного паза 16, утвореного в циліндричній стінці корпусу 1. За цих умов відбувається початкове попереднє стискання пружного елемента 15. Енергія стиску пружини, що отримана під час врзання, перетворюється у переміщення свердла з подачею від $S_{\text{номінальне}}$ до 0. Під час зупинки пінолі на величині (дельта) до виходу інструменту. Це забезпечує плавний вихід свердла з деталі при досвердлюванні наскрізного отвору.

Особливість іншого пристрою [70] для свердління наскрізних отворів показано, що при виході інструменту з тіла деталі присутнє явище збільшення осьової подачі, при збереженні осьового зусилля на шпинделі, що в свою чергу дозволяє скачкоподібно обрізати задирку. Різні компоновання напрямних, дозволяють змінювати характер роботи пристрою.

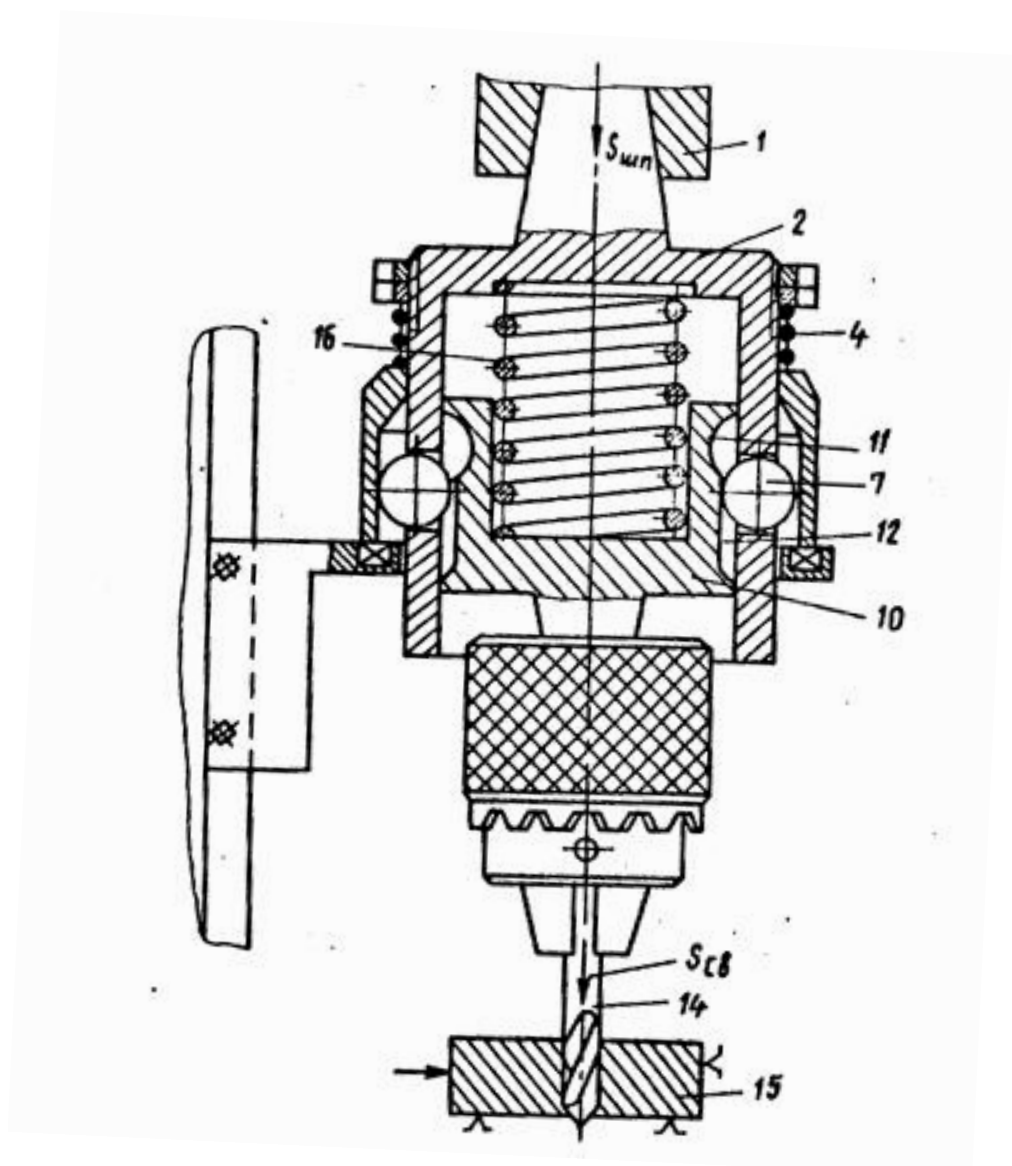


Рисунок. 1.16 – Пристрій для свердління наскрізних отворів.

Передача крутного моменту здійснюється від шпинделя 1, через корпус 2, та кульки 7, які знаходяться у постійному натягу завдяку пружині 4. Від корпусу 11 через пази 12. До свердла. Під навантаженням кульки потрапляють у лунки 11, та під час виходу інструменту з деталі величина осьового зусилля зменшується та кульки виходять з лунок. І завдяки пазам 12 А) відбувається різке збільшення подачі. Завдяки пазу 12 Б) ще відбувається доворот свердла.

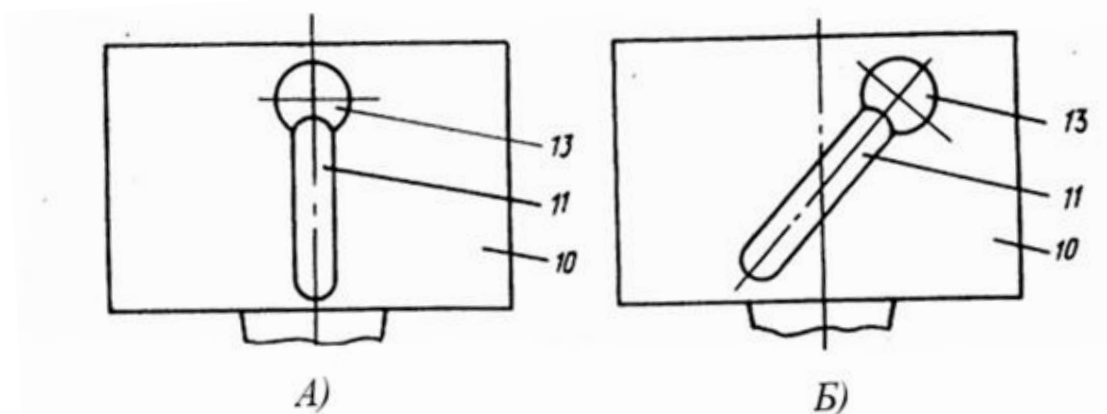


Рисунок 1.17 – Напрямні для пристрою для свердління наскрізних отворів.

На А) показано корпус напрямна якого забезпечує лише осьову подачу під час роботи пристрою. На Б) показану корпус напрямна якого окрім збільшення подачі, ще забезпечує докручування свердла, короткотривало збільшуючи швидкість різання, що в поєднанні з збільшенням подачі дозволяє зрізати задирку досягти кращої якості поверхні. Недоліком такої конструкції є високе навантаження на інструмент. Зменшення габаритних розмірів робочого поля верстату.

У пристроях для свердління наскрізних отворів з використанням підпального упору [70] принцип якого полягає у збереженні Осьового зусилля P_o шляхом підпружинення свердла від сторони шпинделя, так і від сторони виходу свердла. Під час процесу випучування шар матеріалу що потрапляє в пружно-пластичну зону стримується підпружиненим упором. Загальна система пристрою дозволяє зменшити величину пружно – пластичної зони деталі, не залежно від матеріалу деталі. Приклад виконання такого пристрою подано на рисунку

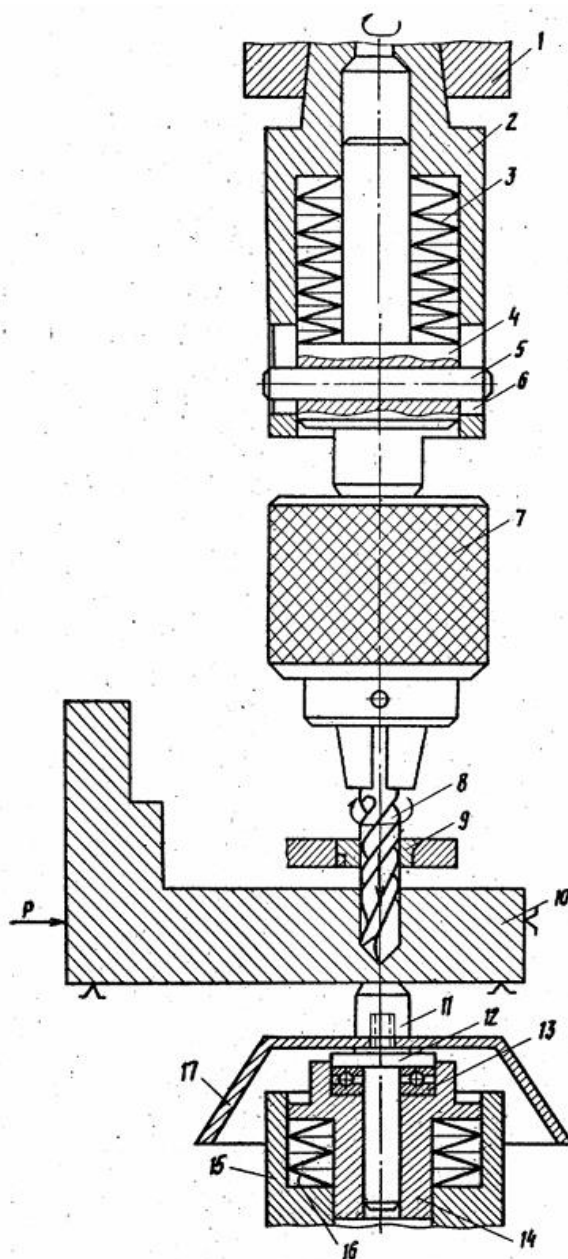


Рисунок 1.18 – Пристрій для свердління наскрізних отворів з використанням підпору.

Перевага цього пристрою, є те що з використанням системи пружин забезпечується усталена подача свердла, впродовж усього процесу різання. Повністю виключається різке збільшення подачі інструменту при наскрізному свердлінні. Недолік конструкції полягає у великих габаритних розмірах та неспіввісності пристрою та свердла. Не співпадіння вісі негативно виявляється на якості обробленого отвору, утворюючи ексцентриситет та призводить до поломки свердла.

1.7 Огляд конструкцій деталей з отворами, що перетинаються.

У [17,37,52] наведено, що з тенденціями сучасного машинобудування машини та агрегати стають більш технологічними. Наприклад у вилкових навантажувачів збільшилась кількість рухомих елементів, що керуються гідравлікою. Це вимагає використання гідравлічних розподільників з більшою кількістю плунжерів. Для забезпечення цієї технологічності постає завдання свердління наскрізних отворів що перетинаються. Ці отвори вимагають чистої поверхні на виході отвору. Оскільки операції зняття задирок є неможливим, або конструктивно складним. При свердлінні відкритого наскрізного отвору, фактор задирки не критично впливає на технологічний процес виготовлення деталі. Усунення задирки дешевий і не трудоемний процес. Та при свердлінні наскрізного отвору що перетинається, виникає аспект того, що усунення задирки утруднене, а у деяких випадках – неможливе. Умовна схема деталі з такою конструкцією подана на Рис.

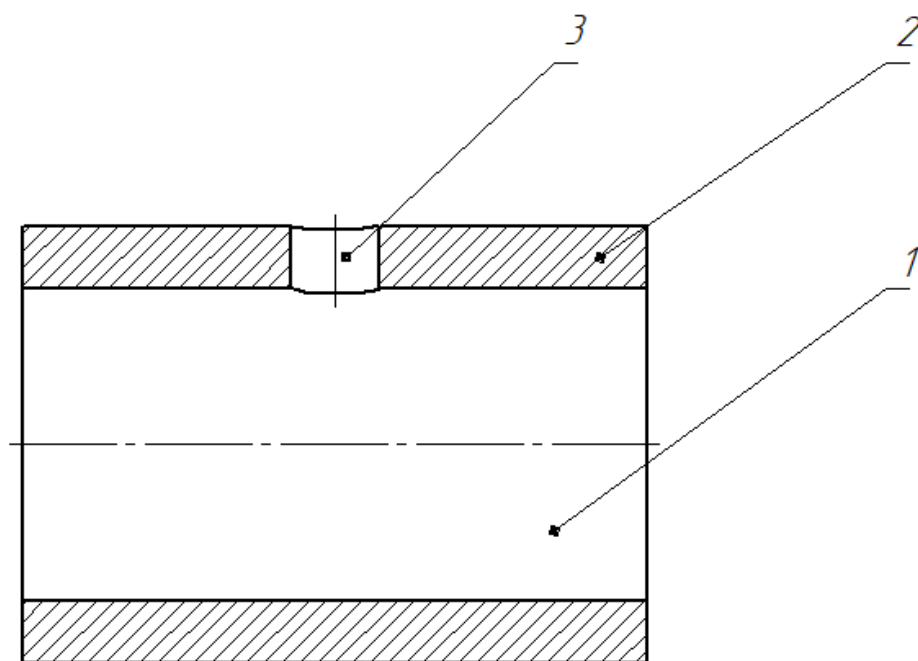


Рис. 1.19 – Конструктивна схема отвору що перетинається.

1 - Внутрішня порожнина деталі, 2 – Деталь, 3 – Отвір що перетинається

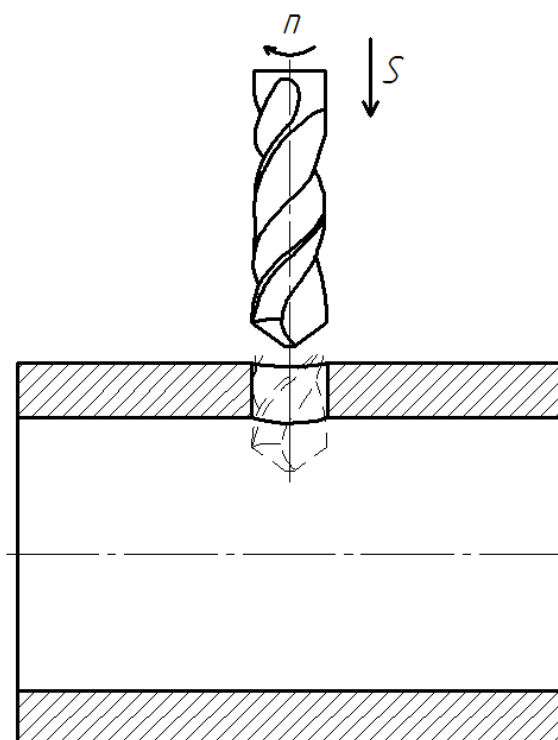


Рис 1.20 – Технологічна схема свердління такого отвору.

Після операції наскрізного свердління отримуємо вище описані негативні явища з поверхнею виходу свердла з отвору. Такі як задирки, та викришування. Також має місце додаткове навантаження свердла, при свердлінні одного за іншим отвору.

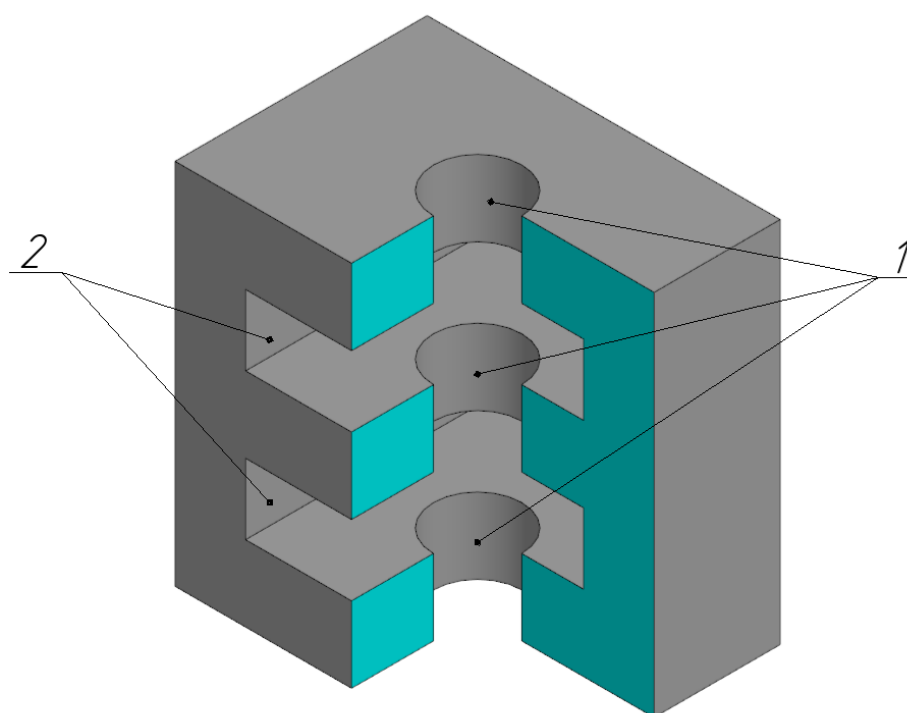


Рисунок 1.21 – Тривимірна модель деталі з отворами що перетинаються.

Результат свердління наскрізних отворів без використання засобів зміни подачі у в'язких матеріалах має місце утворенню задирки на кожному виході свердла з товщі деталі. В іншому випадку, при свердлінні крихкого матеріалу, ми спостерігаємо утворення викришування, що також є негативним ефектом свердління

По [52, 57] Наведемо приклади таких деталей, в яких виділимо отвори що перетинаються виділено:

- Гідро\пневмо розподільник – корпуси в яких канали пересікаються.

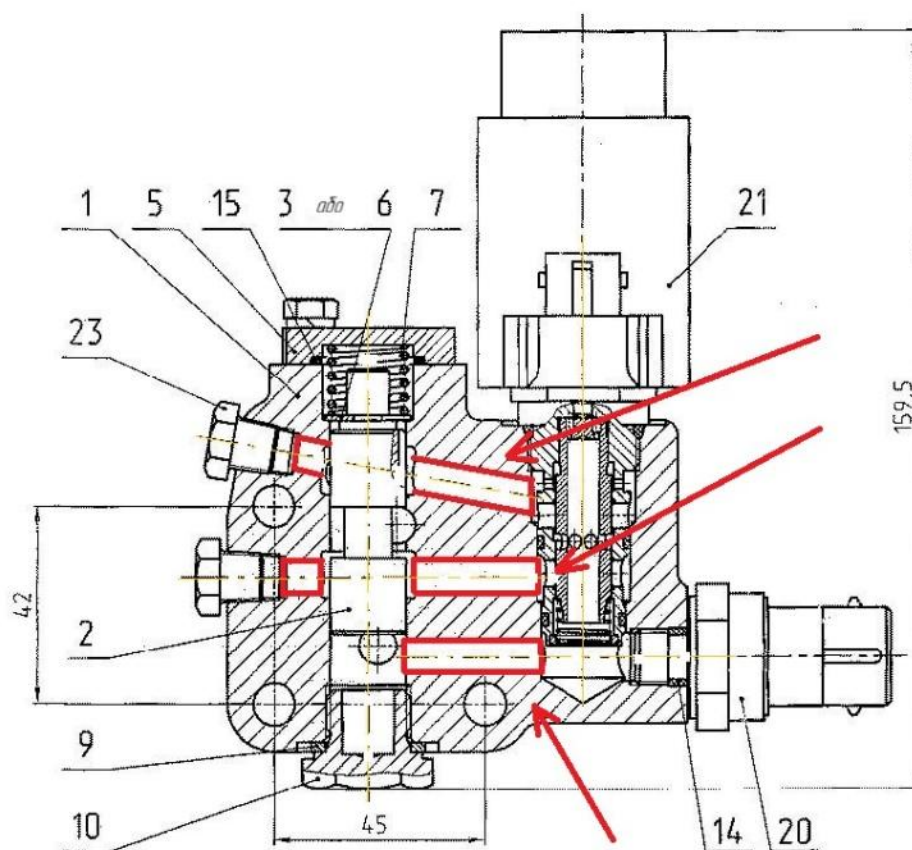


Рисунок. 1.22 – Пневморегулятор гальм трактора ЮМЗ.

Блоки двигунів внутрішнього згорання. Головки двигунів внутрішнього згорання [10]. Масляні канали пересікаються у блоці двигуна, доступ для усунення задирок у яких утруднений.

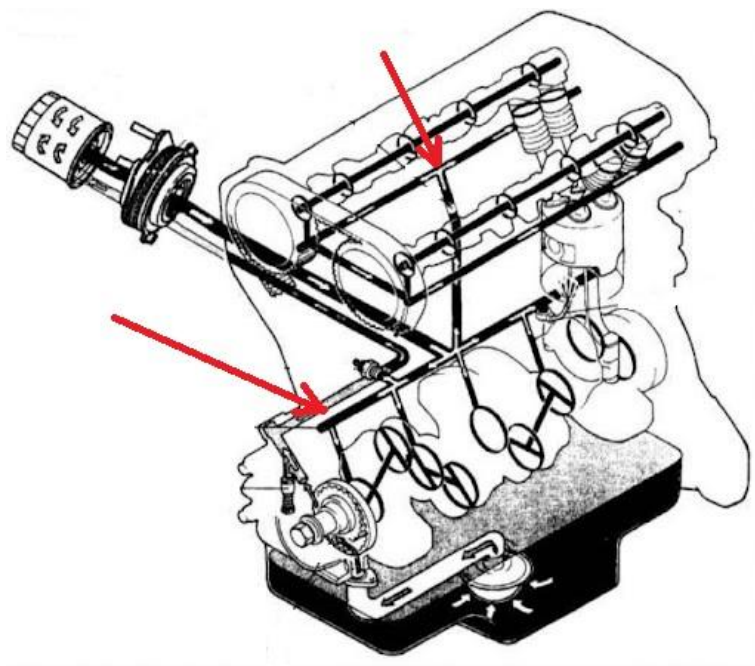
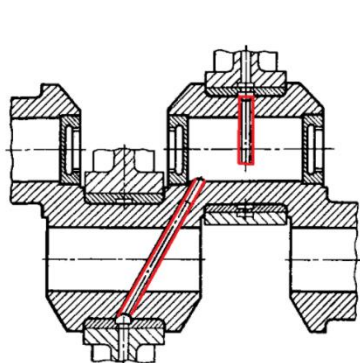
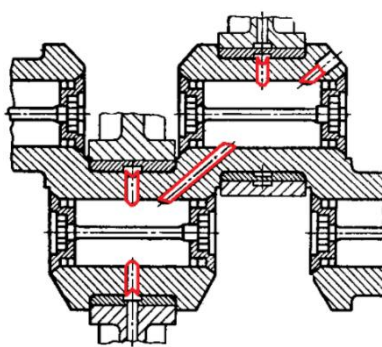


Рисунок. 1.23 – Двигун внутрішнього згорання автомобіля.

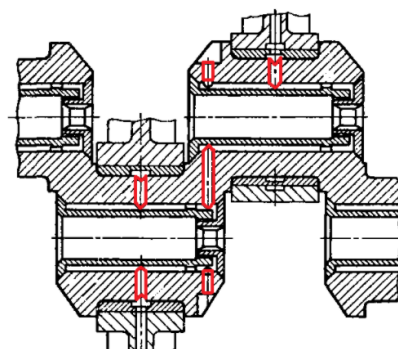
Колінчаті вали двигунів внутрішнього згорання, Компресорів та різних машин . Колінчаті вали є складними та важливими деталями машин, до яких призначені високі вимоги точності, чистоти поверхонь та характеристик балансування [21].



Косе свердління



Косе свердління з
радіальним отвором



Радіальні отвори

Рисунок 1.24 – Приклади виконання свердління масляних каналів у колінчатих валах

Форсунки та паливна апаратура двигунів внутрішнього згорання. У паливних системах вимоги до чистоти пального найвищі, якості поверхонь високі та точні припасування [21]. Тому утворення задрик є неприпустимим

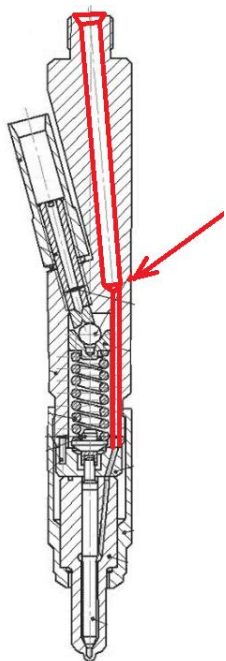


Рисунок 1.25 – Дизельна форсунка

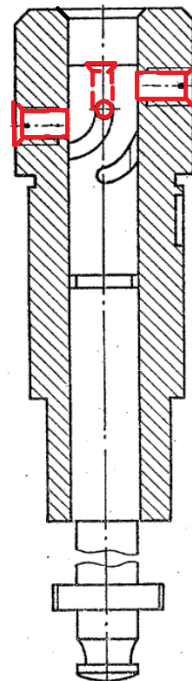


Рисунок 1.26 – Плунжерна пара паливного насоса високого тиску

Вогнепальна зброя\ствольна артилерія – виготовлення елементів дульних пристроїв вогнепальної зброї, зокрема глушників, дульних гальм та полум'ягасників. Від точності формування цих каналів залежать ефективність відведення порохових газів, стабільність роботи зброї, зменшення імпульсу віддачі, рівень демаскувальних факторів, а також довговічність і надійність виробу в цілому. Технологічні похибки при свердлінні можуть призводити до нерівномірного розподілу газових потоків, підвищених локальних напружень, інтенсивного ерозійного зношування та зниження функціональних характеристик дульних пристроїв.

Глушники вогнепальної зброї та дульні гальма характеризуються наявністю системи каналів і отворів малого діаметра, що розташовуються з високими вимогами до співвісності, геометричної точності та якості обробленої поверхні.

Особливу складність становить свердління отворів у високоміцних сталях та жаростійких сплавах, які застосовуються у виробах військово-промислового комплексу та працюють в умовах високих температур, тисків і динамічних навантажень. За таких умов технологія свердління повинна забезпечувати стабільність процесу, мінімальні відхилення розмірів і форми, а також відсутність задирок і мікротріщин, що можуть стати осередками руйнування.

Нижче наведено зображення розрізу автоматичної гвинтівки АКМ-74 У де виділено канал у стволі для відходу порохових газів у газову камеру для автоматичного ведення вогню.

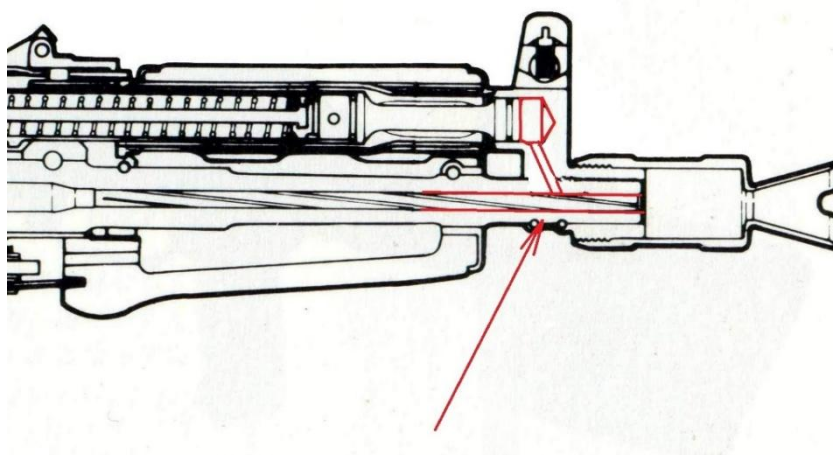


Рисунок 1.27 – Канал перепуску порохових газів для автоматичного ведення вогню автоматичної гвинтівки АКМ-74У

Дульні гальма, та полум'ягасники необхідні для зменшення віддачі та маскуванні світлового відблиску в момент пострілу. Ці пристрої використовуються як для дрібнокаліберної зброї, так і для крупнокаліберних гармат.

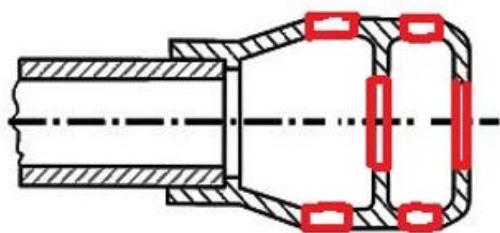


Рисунок 1.28 – Пулм'ягасник

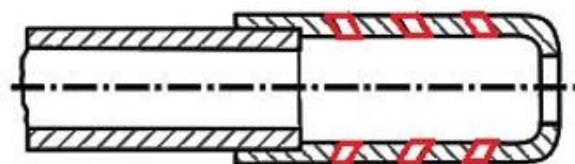


Рисунок 1.29 – Дульне гальмо

У хвостовику 120мм міни свердяться отвори для виходу газів головного піропатрону, задири у цих отворах знизять якість і ТТХ снарядів, та унеможливлять встановлення стартового патрону для міни що не є припустимим.

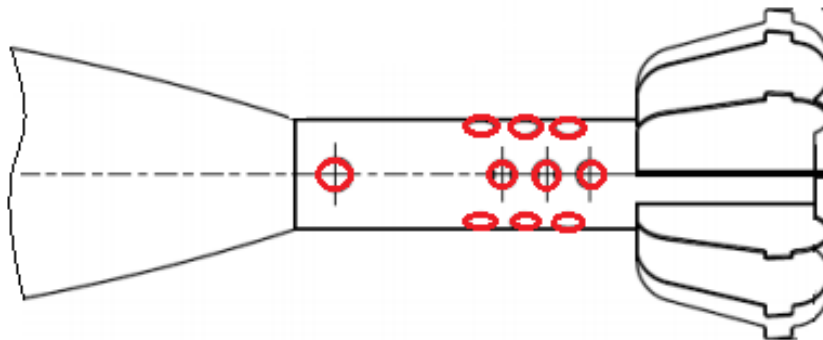


Рисунок. 1.30 – Хвостова частина мінометної міни калібру 120 мм.

Несучі конструкції, шарніри, точки кріплення розпорок, корпусні деталі. Наведено приклад деталі з великою кількістю наскрізних отворів. Це платформи для теплообмінників. До яких приварюються трубки по яких протікає робоча речовина і віддає своє тепло [69]. Виготовлення цих деталей вимагається з інертного металу який не вступає у реакції. Таким металом слугують різноманітні нержавійки, які мають високу в'язкість що в свою чергу актуалізує проблему утворення задирок. Зоображено будову теплообмінника та виділено отвори що цікавлять нас.

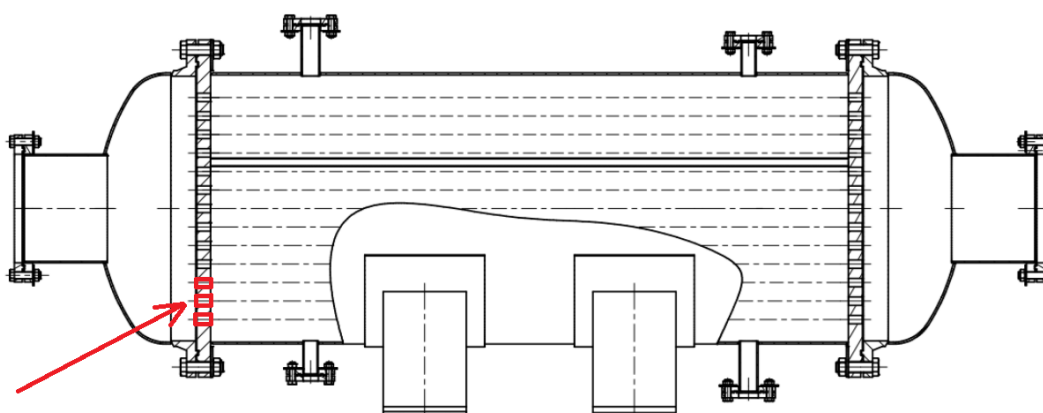


Рисунок 1.31 Теплообмінник.

1.8 Висновок до аналітичного розділу, постановка мети.

Провівши огляд та аналіз особливостей процесу різання при свердлінні. Отримали те, що свердління є досить складним процесом що характеризується складною кінематикою з по'єднанням як і різання так і пластичної деформації. Конструктивні та геометричні параметри спіральних свердл прямо визначають умови різання, характер стружкоутворення, теплові процеси та стійкість інструменту. Розклали процес свердління на сили які беруть участь при обробці, розклали їх на складові та проаналізували які елементи свердла створюють відповідні сили. Розібравши існуючі дослідження ми проаналізували процес утворення задирок, наслідки та першопричини цього явища. Дослідили кінематику наскрізного свердління, процес зміни подачі в різних етапах операції. Охарактеризували напрям зменшення негативного впливу задирок на кінцеву якість деталі. Розглянули запропоновані методи запобігання задирок при свердлінні наскрізних отворів, та розглянуто механічні пристрої. Розібравши їх конструкцію та принцип роботи показали переваги та недоліки цих пристроїв. Деталі в яких конструктивно виконані наскрізні отвори, отвори що перетинаються, зустрічаються дуже часто. І для забезпечення якості та економічної доцільності свердління наскрізних отворів на вертикально свердлильних верстатах з використанням відповідних пристроїв. Є актуальною задачею для сучасних тенденцій машинобудування.

Метою подальшої роботи є удосконалення конструктиву пристроїв, та дослідження методів свердління наскрізних отворів, що перетинаються.

2 РОЗРАХУНКОВО – КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

2.1 Схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються з забезпеченням регульованої подачі.

У працях [22,58,67] наведено що схеми різання при свердлінні визначають кінематичну та силову взаємодію різального інструмента з заготовкою і є базою для аналізу процесів стружкоутворення, навантаження на свердло, формування точності отвору та закономірностей зносу ріжучих крайок. Саме від обраної схеми різання залежать характер розподілу контактних напружень у зоні різання, напрямки дії складових сил різання, умови тертя між стружкою та поверхнями свердла, а також рівень тепловиділення в оброблюваному матеріалі. У загальному вигляді схема різання під час свердління формується поєднанням двох основних рухів: обертального руху свердла навколо власної осі та поступального руху подачі вздовж осі отвору. Взаємодія цих рухів зумовлює особливу кінематику процесу, за якої швидкість різання змінюється по радіусу інструмента, зростаючи від нульового значення в центральній зоні до максимального на периферії. Внаслідок цього кожна точка головних різальних кромок описує гвинтову просторову траєкторію рис. 2.1

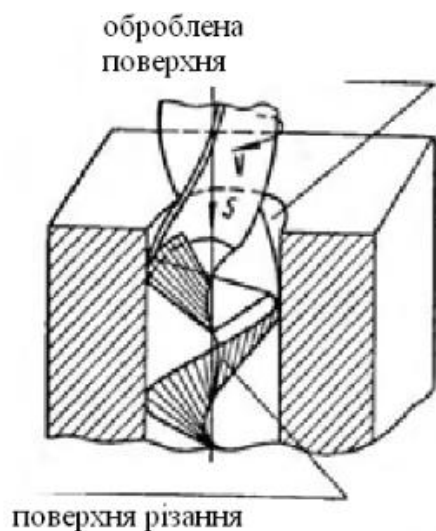


Рисунок 2.1 – Гвинтова просторова траєкторія

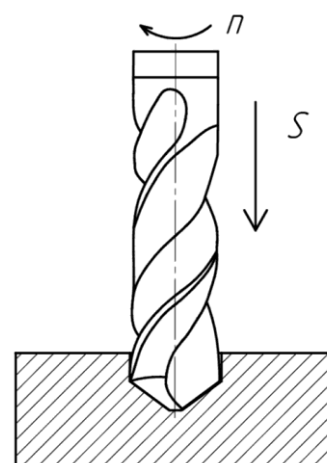


Рисунок 2.2 – Класична схема різання

що поєднує обертання та осьове переміщення, а сам процес різання набуває вираженого просторового, нестаціонарного характеру з постійною зміною умов контакту інструмента з матеріалом заготовки. Це зумовлює нерівномірність силових і теплових навантажень уздовж різальних кромek та визначає специфіку роботи свердла порівняно з іншими видами лезової обробки.

За допомогою пристрою [66] отримано схему різання при свердлінні наскрізних отворів з регулюванням подачі ґрунтуються на цілеспрямованій зміні кінематичних і силових параметрів процесу різання з метою стабілізації навантаження на інструмент, підвищення точності отвору та зниження ймовірності утворення дефектів у вихідній зоні. На відміну від класичної схеми зі сталою подачею, регульоване свердління передбачає зміну величини подачі залежно від поточного етапу формування отвору, що дає змогу адаптувати процес до змінних умов різання вздовж осі свердла.

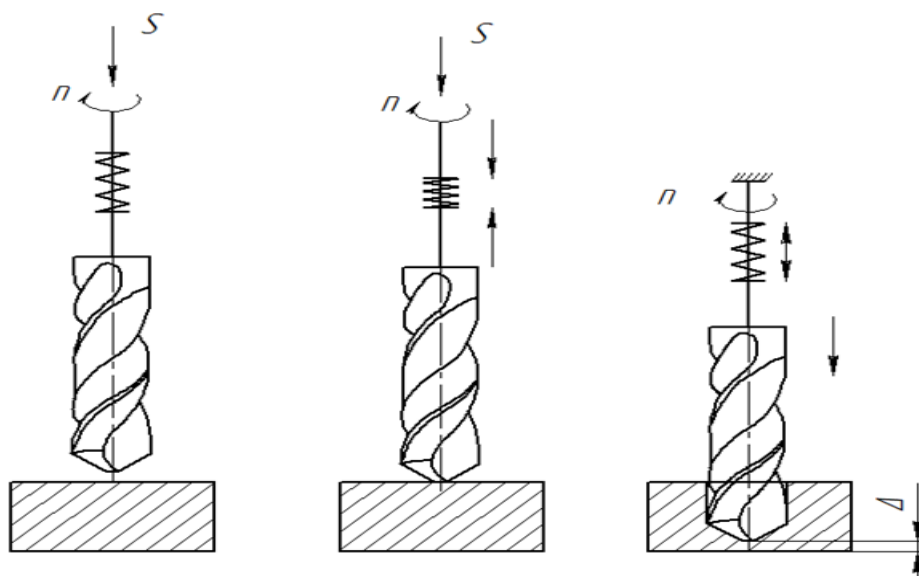


Рисунок 2.3 – Схема роботи пристрою для свердління наскрізних отворів

Принцип роботи пристрою зображеного на Рис. 2.3 Полягає у процесі досвердлювання наскрізного отвору зусилля, створюване пружним елементом, зменшується, що призводить до зниження подачі відносно її номінального значення під час основного свердління. Це дозволяє уникнути перевантажень свердла та приводу подачі верстата при виході інструмента з тіла заготовки. Такий ефект

сприяє зменшенню утворення задирок при обробці пластичних матеріалів і зниженню кількості сколів на краях отворів у крихких матеріалах.

Після повного виходу свердла із заготовки пружний елемент повертається у вихідне положення, залишаючись у попередньо деформованому стані. Повзун займає крайнє нижнє положення відносно корпусу, а відстань між робочими елементами відновлює початкову величину. Піноль зі шпинделем і пристроєм відводиться у вихідне положення, після чого процес свердління наступних отворів відбувається за аналогічною схемою.

У дослідженні [36,39] Найбільша ефективність регулювання подачі досягається на стадіях входу та виходу інструмента з матеріалу. При врізанні зменшена подача знижує ударні навантаження, підвищує стабільність осьового напрямку свердла та зменшує ризик відхилення осі отвору. У зоні виходу з заготовки зменшення подачі дозволяє уникнути різкого зниження опору різанню, яке є основною причиною утворення задирок, розшарування матеріалу та поломок різальних кромek. Таким чином, схема різання набуває керованого характеру з прогнозованими силовими параметрами. Наведено нижче схему різання та зміни подачі для свердління наскрізного отвору [30]

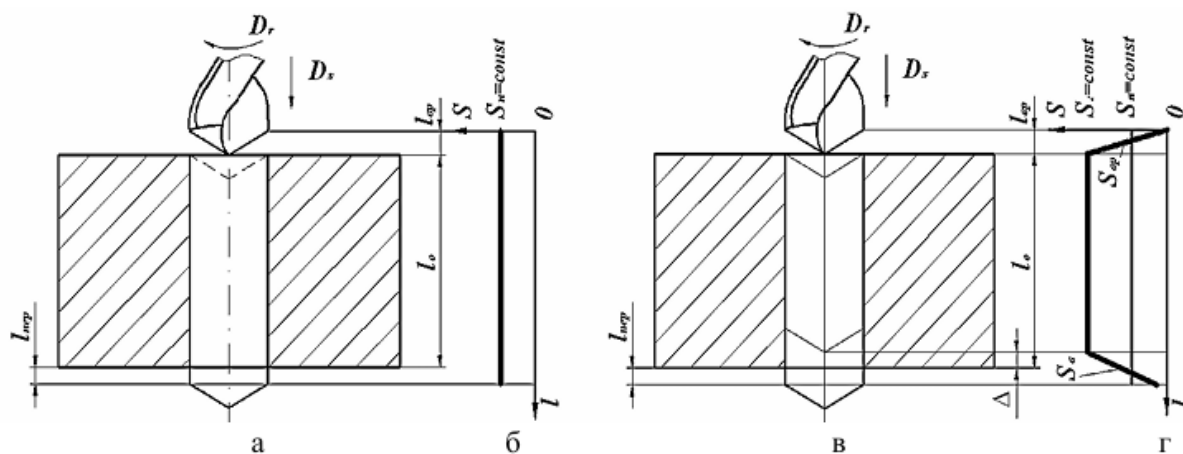


Рисунок 2.4 – Схеми різання та зміни подач при свердлінні наскрізних отворів: а , б – за традиційною технологією; в , г , – за технологією

Схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються, з забезпеченням регульованої подачі характеризуються підвищеною складністю силової взаємодії інструмента з заготовкою через різку зміну умов різання в зоні перетину [56]. У

момент входу свердла в порожнину раніше сформованого отвору різко зменшується опір різанню, що призводить до стрибкоподібного зростання осьової подачі, втрати стійкості процесу та збільшення ймовірності відколів, задирок і викришування різальних крайок. Регульована подача в таких схемах виконує функцію активного демпфування кінематичних і силових збурень, забезпечуючи адаптацію режиму різання до змінної жорсткості технологічної системи.

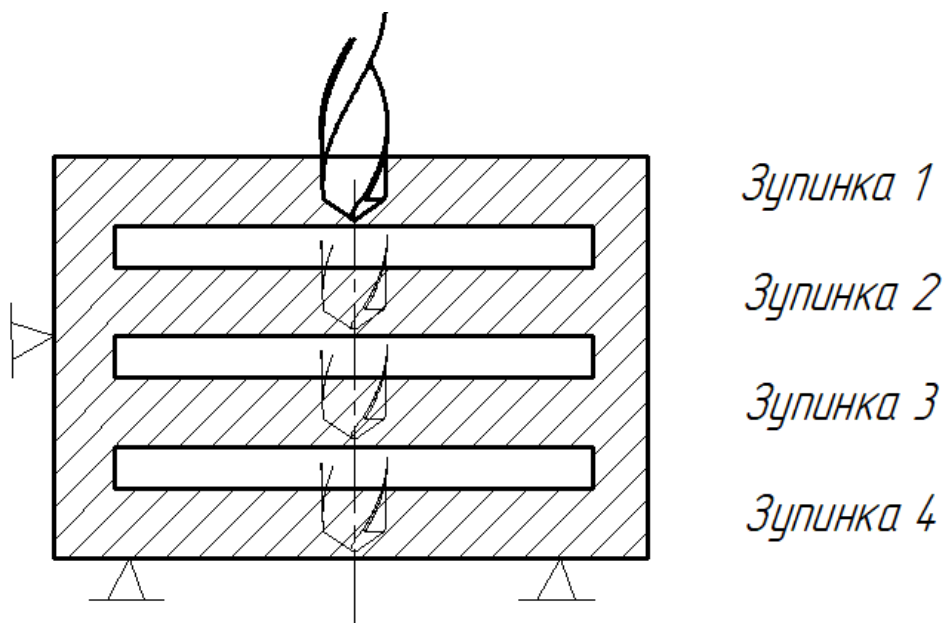


Рисунок 2.5 – Схема свердління наскрізних отворів, що перетинаються.

На етапі підходу до зони перетину реалізується процес наскрізного свердління та зниження подачі, що сприяє стабілізації осьової сили та зменшенню динамічних навантажень на поперечну та головні різальні кромки. При завершенні наскрізного свердління вмикається максимальна подача під час переходу свердла через порожнисту ділянку, що економить основний час на обробку. Пристрій з пружиною запобігає ударному врзанню в стінку другого отвору. Через поглинання кінетичної енергії подачі у потенціальну енергію стиску пружини в пристрої. Після виходу з зони перетину подача поступово відновлюється до номінального значення, забезпечуючи сталі умови різання. Повторюється другий процес наскрізного свердління.

2.2 Розробка удосконалених конструкцій механізму подач свердлильного верстату для свердління декількох конструктивних отворів, що перетинаються.

У [61] показано механізм подачі вертикально свердлильних верстатів в компоновці з пристроєм для свердління наскрізних отворів [51]. В основу запропонованої корисної моделі покладено задачу підвищення надійності приводу подачі свердлильного верстата шляхом усунення перевантажень та автоматичного повернення пінолі у вихідне положення. Це досягається використанням коробки подач із циліндричною зубчастою та черв'ячною передачами, а також керуючого пристрою у вигляді кінцевого вимикача, встановленого з можливістю осьового переміщення вздовж пінолі [38]. Рухомий штир вимикача розташований на відстані, що відповідає положенню початку передвихідної зони свердління, яка знаходиться на віддалі 0,2–0,5 діаметра свердла від вихідного торця деталі. Циліндрична зубчаста передача встановлена перед коробкою подач, її ведене колесо через електромагнітну муфту з'єднане з вхідним валом коробки подач. Черв'як жорстко закріплений на вихідному валу коробки подач, а черв'ячне колесо через електромагнітну муфту з'єднане з валом рейкової шестерні, яка приводить у рух піноль.

Механізм подачі складається зі шпинделя, з'єданого через коробку швидкостей з електродвигуном, та свердлильного пристрою з пружним елементом. У середині циліндричного корпусу розміщена оправка з установленою між нею і дном корпусу пружиною стиску. Обмеження осьового зміщення оправки здійснюється за допомогою підшипників, а радіальна стабільність забезпечується втулкою. Із нижнім конічним кінцем оправки з'єднаний свердлильний патрон зі свердлом. Піноль має можливість осьового переміщення разом зі шпинделем.

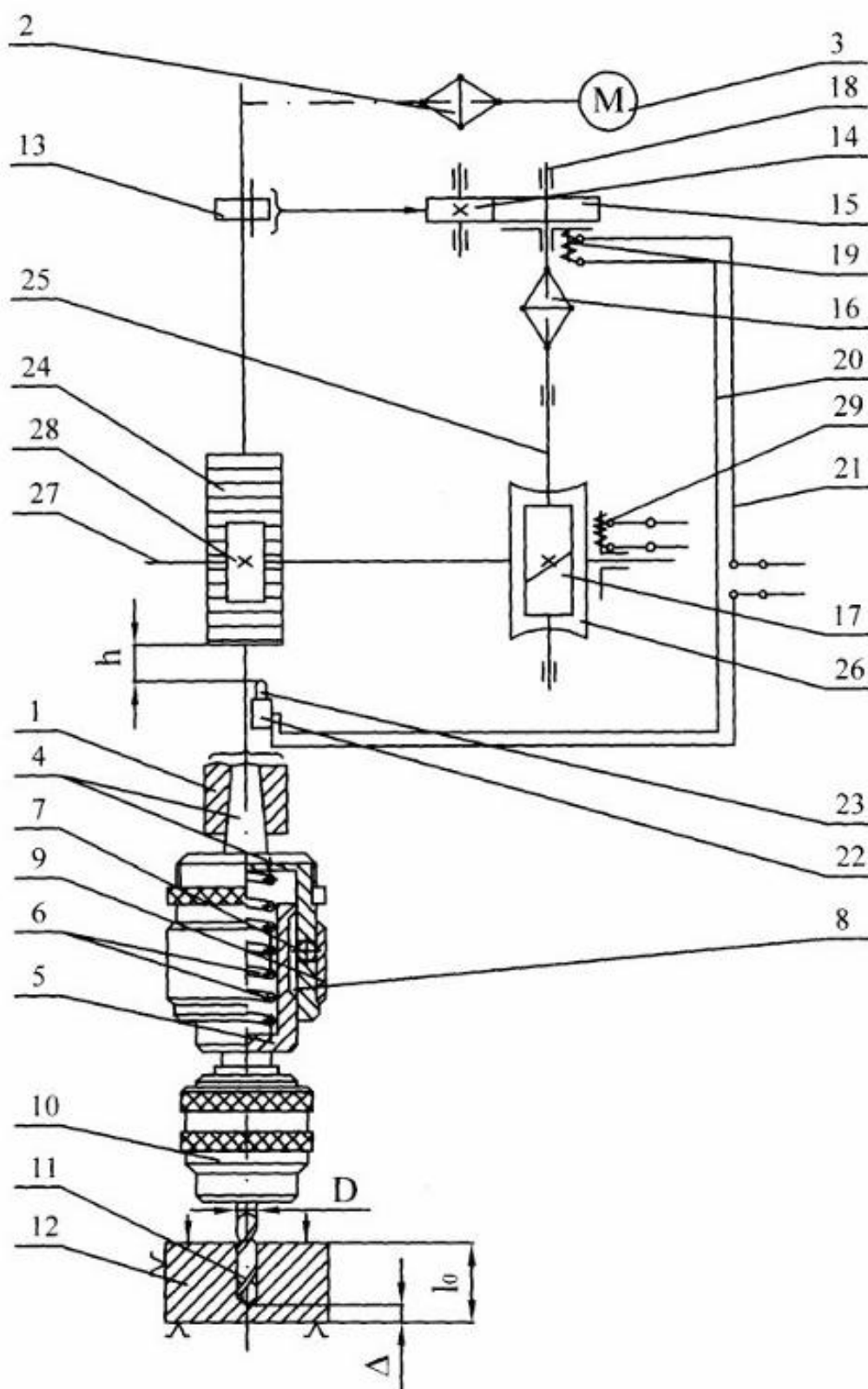


Рисунок 2.6 – Схема свердління наскрізних отворів, що перетинаються.

Під час врізання свердла в заготовку зусилля різання спричиняє стиснення пружини, унаслідок чого подача свердла на початковому етапі поступово зростає

від нульового значення до номінального. Після завершення етапу врізання рухи оправки та корпусу синхронізуються, а подача стає сталою. У встановленому режимі всі елементи приводу подачі працюють у кінематичному зв'язку, забезпечуючи рівномірне осьове переміщення шпинделя і пінолі.

При наближенні свердла до передвихідної зони піноль діє на штир кінцевого вимикача, внаслідок чого відбувається розмикання електричного кола і вимикання електромагнітної муфти. При цьому подача шпинделя зупиняється, а черв'ячна передача фіксує положення пінолі. У подальшому осьовий рух свердла здійснюється лише за рахунок розтискання попередньо стиснутої пружини, що забезпечує поступове зменшення подачі в зоні виходу інструмента з деталі.

Зменшення подачі в заключній фазі свердління усуває перевантаження свердла та елементів приводу, а також сприяє зупинці утворення задирок на вихідній кромці отвору, що підвищує якість обробки. Після завершення свердління здійснюється розблокування кінематичного ланцюга, піноль зі шпинделем відводиться у вихідне положення, а електромагнітні муфти знову вмикаються, відновлюючи роботу приводу подач у початковому режимі.

Ця схема є недостатньою для завдання свердління наскрізних отворів що перетинаються. Оскільки працює лише для свердління одного наскрізного отвору. У пристрої [56] запропоновано наступну конструкцію механізму подач Вертикально свердлильного верстату

Для забезпечення свердління багатьох наскрізних отворів вирішено модернізувати цю схему встановивши декілька кінцевих вимикачів, що працюватимуть разом з керуючим пристроєм. Та пристрій для свердління наскрізних отворів зміненої конструкції [55] пристрій для свердління наскрізних отворів запобігає перевантаженню свердла і приводу подач свердлильного верстата, сприяє зменшенню величин задирок на виході із отвору при обробці пластичних матеріалів і сколів країв отворів при обробці крихких матеріалів, Зміна конструкції дозволила зменшити масу пристрою та скоротити нуменклатуру деталей. Та наявність шліцевого з'єднання дає запас міцності на крутний момент $M_{кр}$

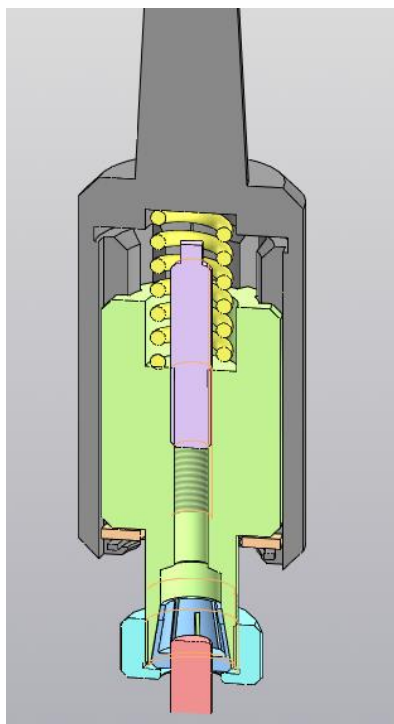


Рисунок 2.7 – Пристрій для свердління наскрізних отворів 3D модель .

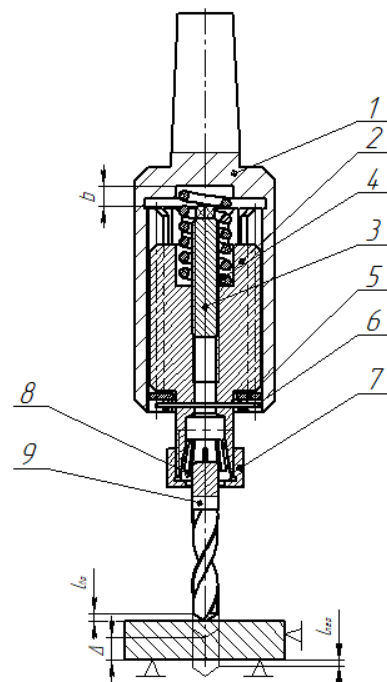


Рисунок 2.8 – Пристрій для свердління наскрізних отворів .

Це дозволить свердлити від 1 до n наскрізних отворів. На рис. 1 наведено схему перервної подачі при послідовних свердлінні наскрізних отворів. На рис. 1 наведено схему свердління з чотирма зупинками та кінцевиком 5, що при виході інструменту з робочої зони вмикає реверс подачі. На схемі показана деталь 1, пристрій для свердління наскрізних отворів 2, рейка кінцевих вимикачів 3 по якій вимикачі розміщуються та переміщуються відносно корпусу верстату кінцеві вимикачі 4, фланець 6, що натискає на кінцеві вимикачі 4, електромуфта 7 ввімкнення подачі. Керуючий пристрій при замиканні одного з вимикачів 4 вмикає реле часу та вмикає подачу верстату. Тоді пристрій для свердління досвердлює отвір зі зміненою подачею, та мінімізує величину задирки. По проходженню часу на реле подача вмикається повторно. Цикли повторюються аж до активації вимикача 5, що вмикає реверс подачі і виводить інструмент з робочої зони. Запропонований механізм подачі дозволить збільшити ефективність свердління пакету наскрізних отворів. При використанні змінної подачі зменшується

навантаження на свердло та привід подачі. Зростають технологічні та економічні показники технологічного процесу.

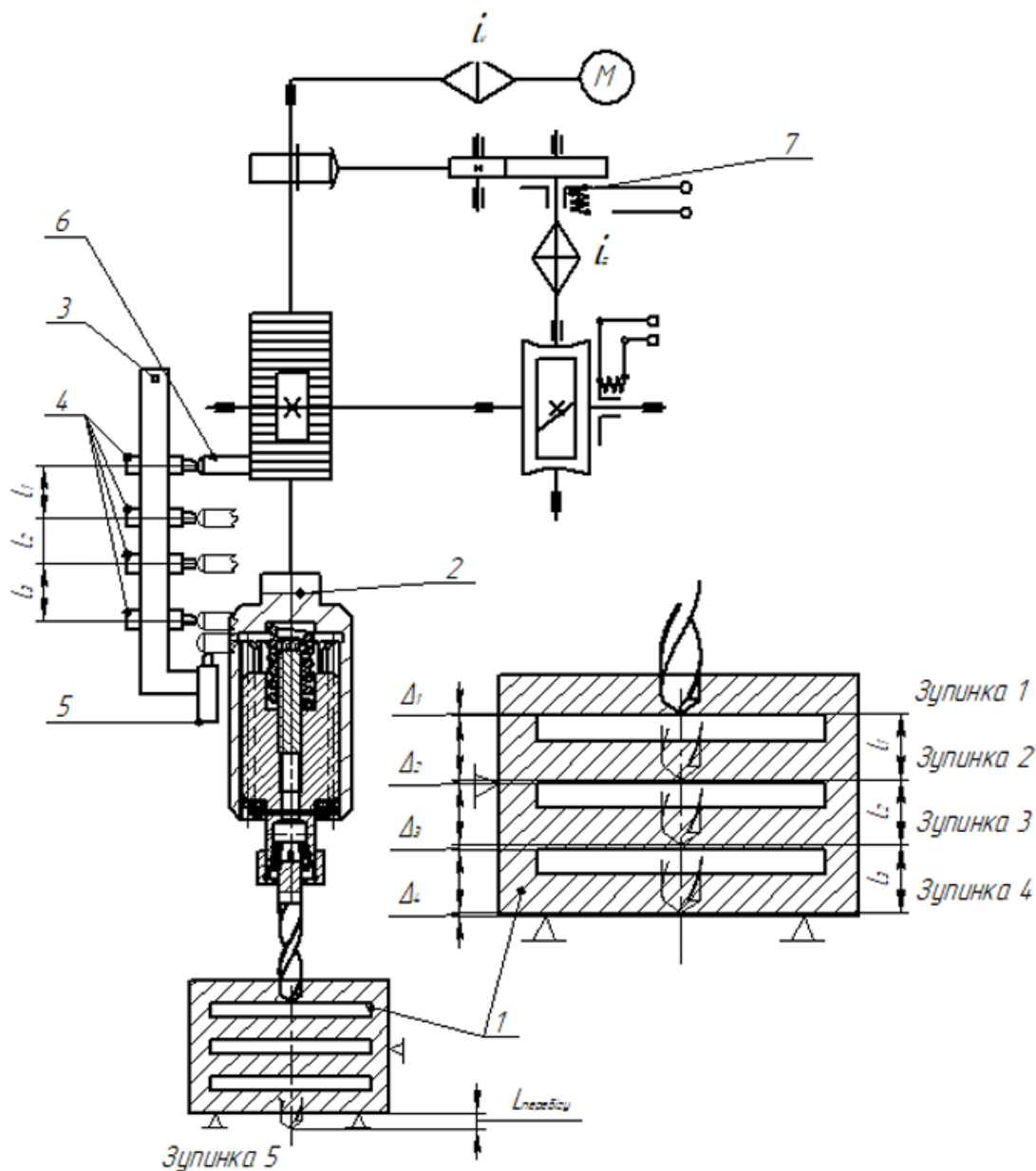


Рисунок 2.9 – Конструкція приводу подач для свердління наскрізних отворів, що перетинаються

Принцип роботи системи полягає у тому що: зберігається постійна максимальна подача [45] при свердлінні першого отворі, тоді до початку зони Δ_1 замикається вимикач 4.1 що свідчить про зупинку 1. Тоді пристрій для свердління наскрізних отворів досвердлює отвір на подачі що зменшується. При завершенні всієї послідовності свердління вимикач розмикається і подача продовжується. Цей

процес повторюється до n отворів. Дійшовши до вимикача 5 вмикається реверс подачі та система повертається в початковий стан.

2.3 Удосконалення конструкції пристрою для свердління наскрізних отворів, особливості та принцип роботи.

Відомий пристрій для свердління наскрізних отворів з підпорною п'яткою [18] забезпечує зменшення різкого зростання подачі під час виходу свердла шляхом підтримання осьової сили різання після виходу інструменту з деталі.

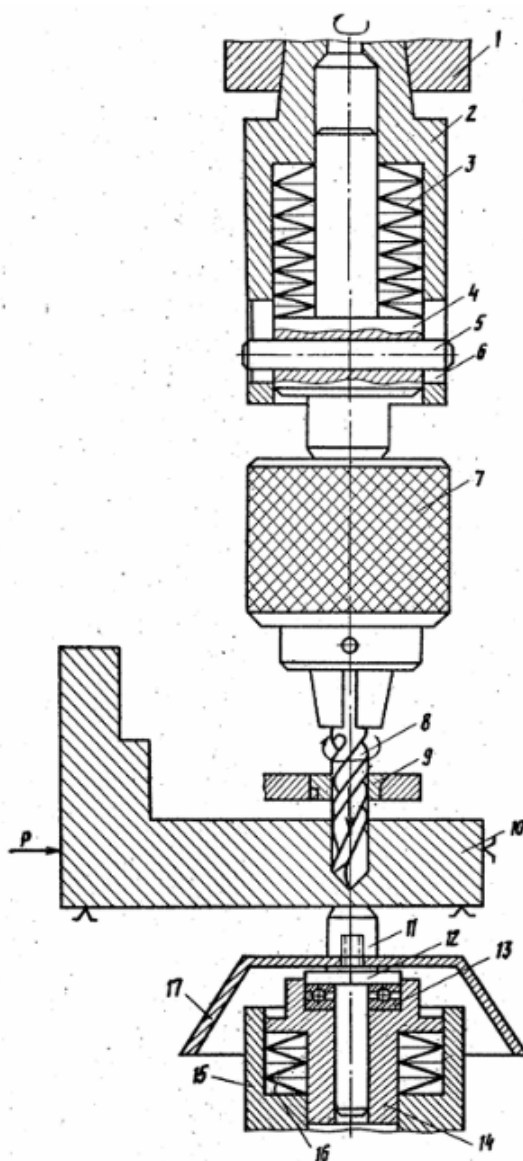


Рисунок 2.10 – Пристрій для свердління наскрізних отворів з підпорною п'яткою

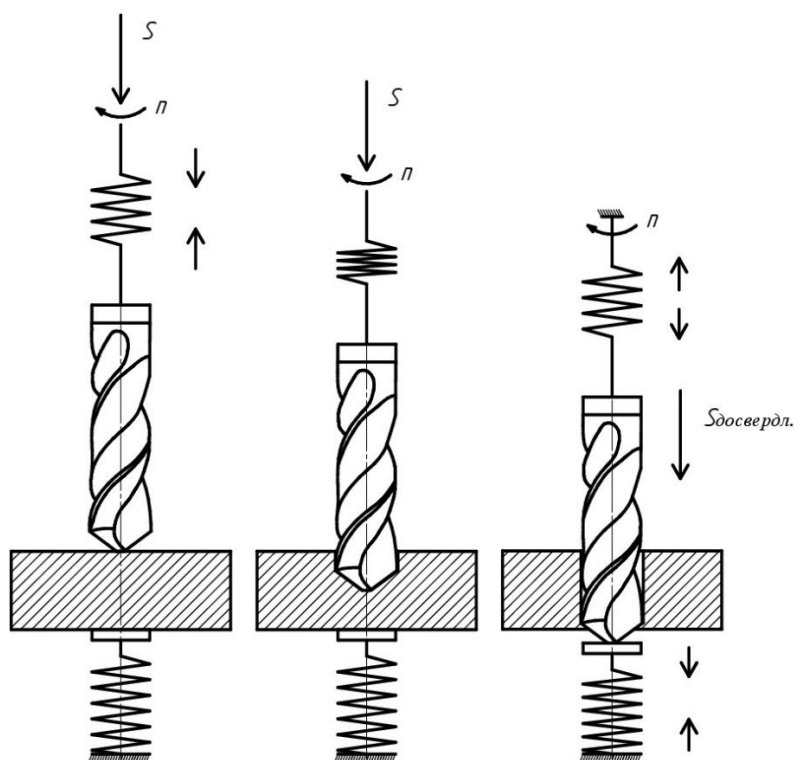


Рисунок 2.11 – Схема роботи пристрою для свердління наскрізного отвору з підпорною п'яткою

Принцип роботи пристрою полягає у зниженні навантаження на свердло що покращує якість обробленої поверхні. Однак його суттєвим недоліком є неможливість точної співвісної установки підпорної п'ятки відносно осі шпинделя, що спричиняє інтенсивне зношування перемички свердла та виникнення ексцентриситету під час виходу інструмента. Похибки базування унеможливають стабільну та точну роботу пристрою.

Удосконалена конструкція передбачає використання плаваючого упору, який має можливість зміщення в радіальних напрямках. Це забезпечує самовстановлення упору відносно осі обертання свердла та автоматичне дублювання його осі, що усуває негативний вплив не співвісності. Обертання свердла передається через систему елементів на упор, який у момент контакту починає обертатися синхронно зі свердлом, зберігаючи осьове зусилля різання.

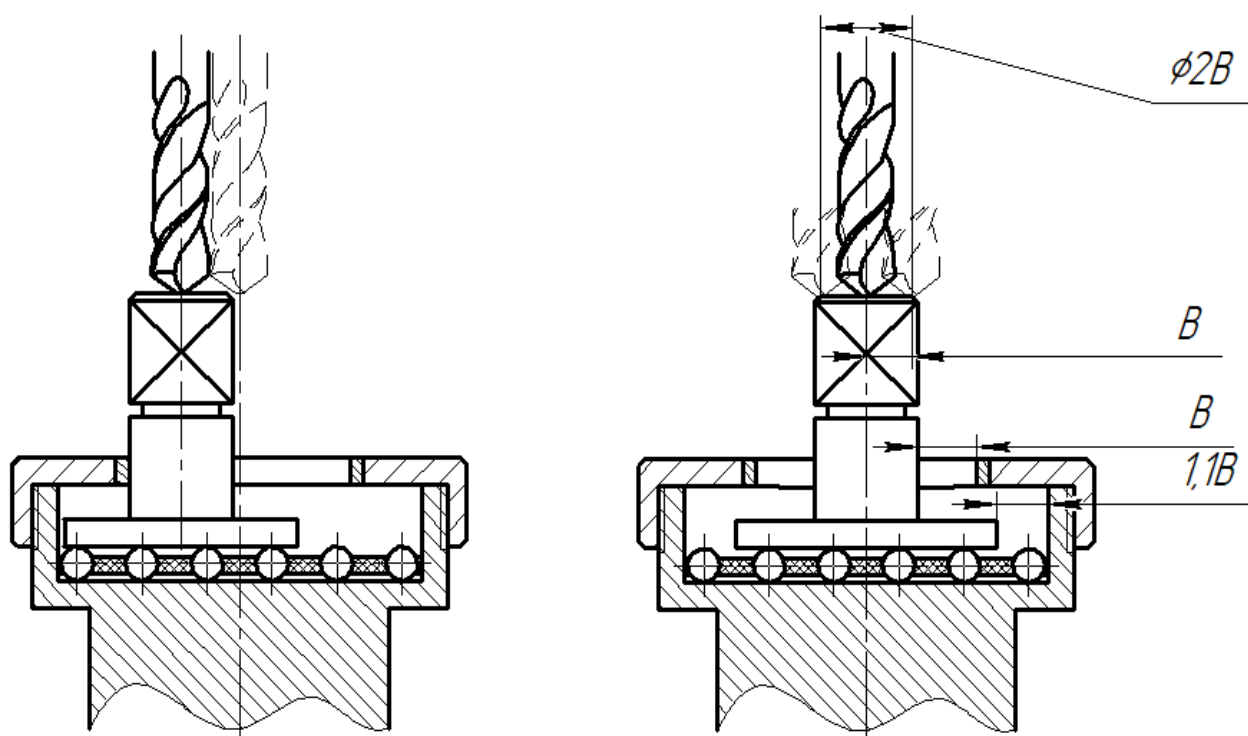


Рисунок 2.12 – Конструкція плаваючої підпорної п'ятки.

Величина максимального розкиду осі $2B$ визначається конструктивно зазначенням B . Свердління наступного отвору не вимагає повторного центрування. Адже пристрій дозволяє підпирати свердло з будь якою віссю в межі поля $2B$. Зусилля, що виникають у зоні виходу свердла, сприймаються упором та передаються через кульки на пружини, які стискаються та виконують функцію силового демпфування. Величина допустимого зміщення осі обмежується спеціальною втулкою. При досягненні крайнього значення відхилення осі, яке може компенсувати пристрій, упор 7 впирається у втулку 12. Для запобігання передчасному зносу, нижня частина упору 7, та верхня частина корпусу 8 гартується. При складанні пристрою в зону кульок вноситься консистентна змазка. Загальний вигляд пристрою з удосконаленням конструкції подано на рис. 2.12

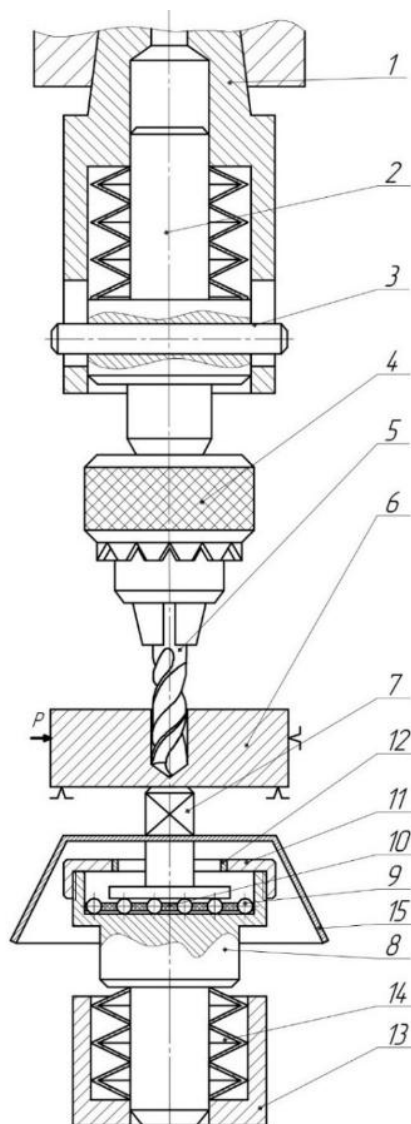


Рисунок 2.13 – Пристрій для свердління наскрізних отворів з плаваючою підпорною п'яткою

Запропонована конструкція забезпечує компенсацію відхилень від співвісності між свердлом і упором, істотно спрощує налагодження та розширює можливості застосування пристрою як на вертикально-свердлильних, так і на радіально-свердлильних верстатах, підвищуючи стабільність процесу та якість свердління наскрізних отворів. Цей пристрій добре підходить для свердління відкритих наскрізних отворів, та не підходить для свердління наскрізних отворів що перетинаються. Через необхідність прямого контакту упору з свердлом. Що реалізувати в порожнинах деталі неможливо.

2.4 Особливості розрахунку та підбір пружних елементів пристроїв для свердління.

По літературі [49] описано що пружини є елементами машин і механізмів, що накопичують потенціальну енергію внаслідок пружної деформації матеріалу та віддають її після зняття навантаження.

Пружини поділяються на наступні принципові групи:

- Стиску;
- Розтягу
- Кручення
- Згинання

Основними властивостями пружин є пружність, міцність, втомна довговічність, стабільність пружних характеристик та корозійна стійкість. Пружність визначає здатність елемента відновлювати початкову форму після припинення дії навантаження. Міцність характеризує допустимий рівень напружень, при якому не відбувається пластична деформація чи руйнування. Втомна довговічність визначає стійкість до багаторазових циклічних навантажень, що є критично важливим для пружин, які працюють у повторюваних або динамічних режимах. Важливою властивістю також є стабільність характеристик у часі, що забезпечує постійність жорсткості та сили пружини протягом тривалого періоду експлуатації.

Розглянемо пружини які використовуються у пристроях розділу 2.

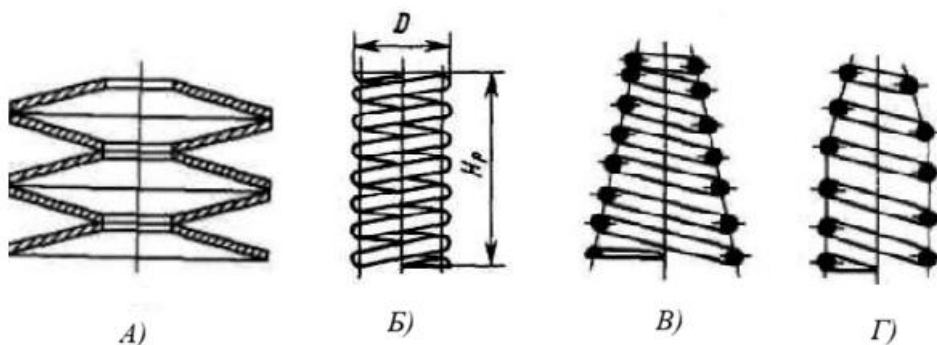


Рисунок 2.14 – Види пружин стиску. А) тарілчасті, Б) спіральна циліндрична, В) спіральна конічна, Г) спіральна комбінованого профілю.

Найпоширенішими є циліндричні гвинтові пружини стиску. Пружини стиску працюють на сприйняття осьових стискальних навантажень та широко застосовуються у машинах загального призначення. До спеціальних видів належать тарілчасті (конічні) пружини, які забезпечують значні сили при малих переміщеннях. Типологія пружин визначається не лише конструкцією, а й характером навантаження, умовами експлуатації та вимогами до жорсткості.

Основною експлуатаційною характеристикою спіральної пружини стиску є її жорсткість, що визначає співвідношення між прикладеною осьовою силою та відповідною деформацією. Жорсткість пружини визначається залежністю

$$k = \frac{G \cdot d^4}{(8 \cdot D^3 \cdot n)} \quad (2.1)$$

де k – жорсткість пружини, Н/мм; G – модуль зсуву матеріалу, МПа; d – діаметр дроту, мм; D – середній діаметр витка, мм; n – кількість робочих витків.

Із наведеної формули випливає, що збільшення діаметра дроту істотно підвищує жорсткість пружини, тоді як зростання середнього діаметра витка та кількості робочих витків призводить до її зменшення.

Силова характеристика пружини в межах пружної деформації описується лінійною залежністю між силою та осьовим переміщенням, яка має вигляд

$$F = k \cdot f \quad (2.2)$$

де F – осьова сила, що розвивається пружиною, Н;

k – жорсткість пружини, Н/мм; f – величина осьової деформації (стиску), мм.

Напружений стан спіральної пружини стиску визначається дотичними напруженнями, які виникають у дроті внаслідок його кручення. Максимальне дотичне напруження визначається за формулою

$$\tau = \left(\frac{8 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^3} \right) \cdot K, \quad (2.3)$$

де τ – максимальне дотичне напруження в дроті, МПа. Для підвищення точності розрахунку, особливо у випадку пружин із малим індексом, ураховується концентрація напружень, зумовлена кривизною витків. K – коефіцієнт концентрації напружень.

Розрахунок тарілчастих пружин базується на положеннях теорії пружності та враховує особливості просторової роботи конічного кільцевого елемента під дією осьового навантаження. Тарілчаста пружина являє собою тонкий конічний диск з отвором у центральній частині, який при навантаженні деформується за рахунок вигину та часткового розтягу матеріалу. Такий характер деформації забезпечує можливість отримання значних сил при відносно малих осьових переміщеннях.

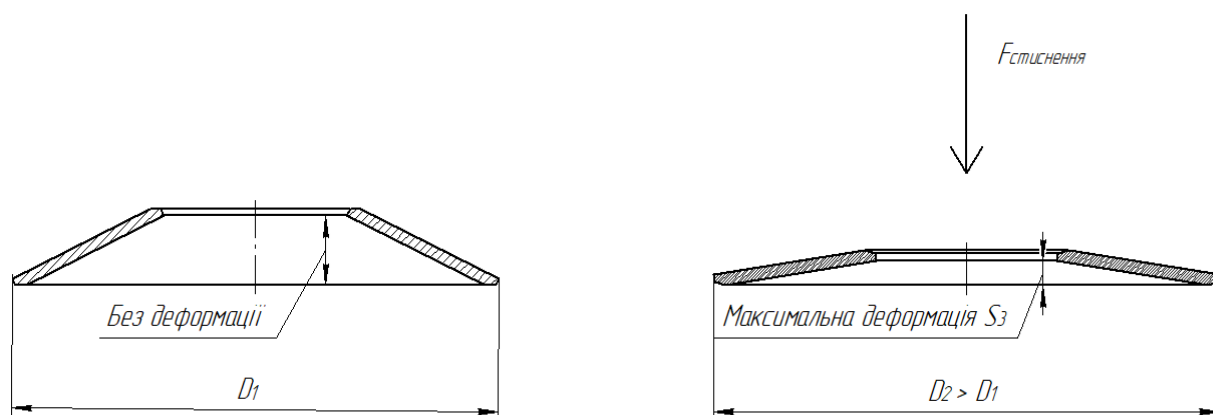


Рисунок 2.15 – Деформація тарілчастої пружини

Основними геометричними параметрами тарілчастої пружини є зовнішній діаметр D , внутрішній діаметр d , товщина t та початкова висота конуса h_0 . Для розрахунків часто використовують середній діаметр, який визначається як

$$D_m = \frac{(D + d)}{2} \quad (2.4)$$

Силова характеристика тарілчастої пружини визначає залежність між прикладеною осьюовою силою та величиною осьового прогину.

Для одиночної тарілчастої пружини осьова сила визначається залежністю

$$F = \left(\frac{4 \cdot E \cdot t^4}{3 \cdot D_m^2} \right) \cdot \left(\frac{h_o}{t} \right) \cdot \left(\frac{f}{h_o} \right) \cdot \left(1 - \frac{f}{h_o} \right) \quad (2.5)$$

де F – осьова сила, Н; E – модуль пружності матеріалу, МПа; t – товщина пружини, мм; D_m – середній діаметр, мм; h_o – початкова висота конуса, мм; f – осьовий прогин, мм. Дана формула описує нелінійну характеристику тарілчастої пружини, що є її принциповою відмінністю від гвинтових пружин стиску.

Жорсткість тарілчастої пружини не є сталою величиною і визначається як похідна сили за прогином. У практичних інженерних розрахунках використовується наближене визначення жорсткості на окремій ділянці робочого ходу, яке може бути подане у вигляді

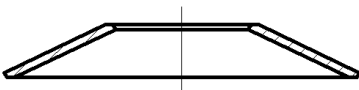
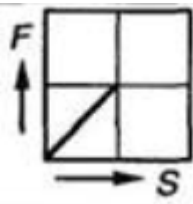
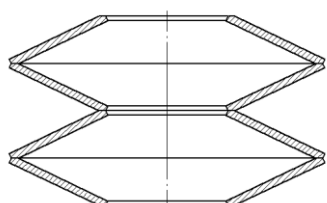
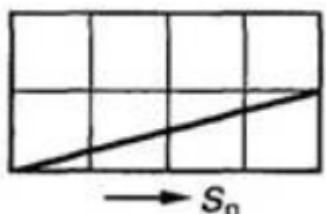
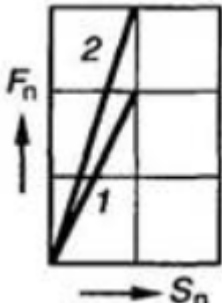
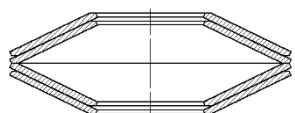
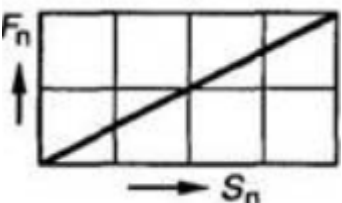
$$k = \frac{dF}{df} \quad (2.6)$$

У багатьох практичних випадках тарілчасті пружини застосовуються у вигляді пакетів, які можуть бути зібрані послідовно, паралельно або за комбінованими схемами. При послідовному з'єднанні збільшується загальний хід пакета, тоді як сила залишається рівною силі однієї пружини. При паралельному з'єднанні сумарна сила пакета визначається як

$$\sum F = n \cdot F \quad (2.7)$$

де n – кількість тарілчастих пружин у пакеті. Жорсткість пакета відповідно змінюється залежно від схеми складання. Способи комбінації тарілчастих пружин подано у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Комбінації тарілчастих пружин

 Одна пружина	F S k	
 Послідовно з'єднані	$F = \sum F$ $S = \sum n \cdot S$ $k = \sum \frac{k}{n}$	
 Паралельно з'єднані	$F = \sum n \cdot F$ $S = \sum S$ $k = \sum n \cdot k$	
 Комбіновано з'єднані	$F = \sum m \cdot F$ $S = \sum n \cdot S$ $k = \sum \left(\frac{m}{n}\right) \cdot k$	

Проведено дослідження процесу стиску та визначення жорсткості пакету з двох тарілчастих пружин, з'єднаних послідовно, із використанням програмного комплексу SolidWorks Simulation. Моделювання виконувалося в умовах

прикладання осьового навантаження величиною 500 Н, що відповідає робочому навантаженню при свердлінні отвору діаметром 20 мм. В матеріалі Алюмінієвий лист ДСТУ EN 14121:2022 У процесі розрахунку враховано геометричні параметри пружин, характер контакту між елементами пакету, а також пружно-деформаційні властивості матеріалу. За результатами моделювання отримано залежність осьового переміщення від прикладеного зусилля, на основі якої визначено еквівалентну жорсткість послідовно з'єднаного пакету тарілчастих пружин. Аналіз напружено-деформованого стану підтвердив коректність роботи пружин у заданому діапазоні навантажень та відсутність перевищення допустимих напружень, що свідчить про працездатність досліджуваної конструкції. Подаємо візуальні результати досліджень в системі Solidworks Simulation

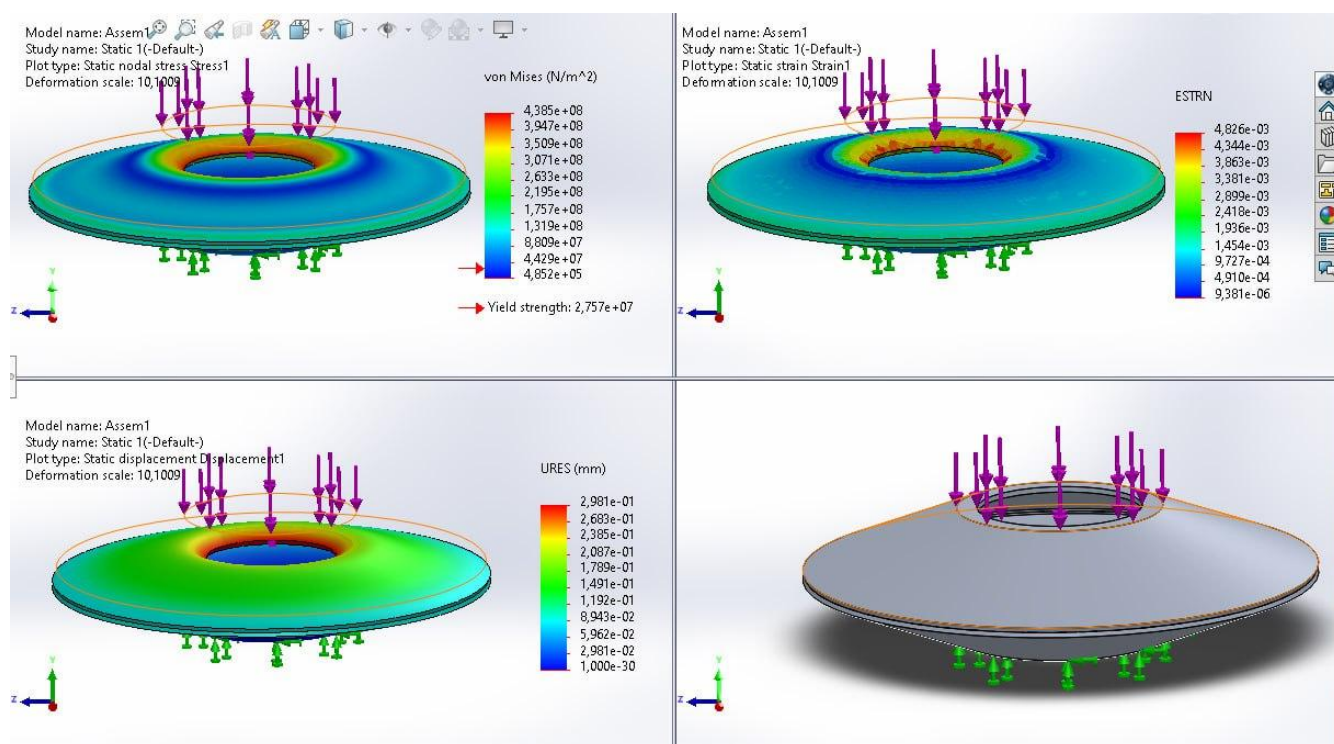


Рисунок 2.16 – Дослідження пакету тарілчастих пружин в системі Solidworks Simulation

2.5 Висновок до проєктного розділу.

У проєктному розділі виконано комплексне обґрунтування та розробку технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності процесу свердління

отворів, що перетинаються. Розглянуті схеми різання при свердлінні з регулюванням подачі дозволили врахувати особливості навантаження різального інструмента на різних етапах формування отворів, зокрема в зонах входу та виходу свердла, а також у момент перетину отворів, що є критичним з точки зору стабільності процесу та якості обробленої поверхні.

У ході роботи здійснено розробку удосконалених конструкцій механізму подач свердлильного верстату, призначених для свердління декількох конструктивних отворів, що перетинаються. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують автоматизовану зміну подачі залежно від умов різання, що сприяє зниженню динамічних навантажень, підвищенню надійності роботи інструмента та розширенню технологічних можливостей обладнання.

Удосконалення конструкції пристрою для свердління наскрізних отворів дозволило реалізувати принцип керованого зменшення подачі на вихідній ділянці свердла з заготовки. Розглянуті особливості та принцип роботи пристрою підтвердили доцільність застосування пружних і механічних елементів для стабілізації процесу різання, зменшення утворення задирок та підвищення якості крайок отворів.

Окрему увагу приділено особливостям розрахунку та підбору пружних елементів пристроїв для свердління наскрізних отворів. Запропонований підхід до визначення жорсткості, деформації та сумарного зусилля пружин забезпечує узгодження характеристик пристрою з режимами різання та конструктивними параметрами верстату. Це створює передумови для стабільної роботи механізму подачі та підвищення довговічності як інструмента, так і елементів пристрою в цілому.

3 ДОСЛІДНО – ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ.

3.1 Методика визначення впливу подачі та діаметру свердла в величину задирок при свердлінні наскрізних отворів. Планування та методика проведення експерименту

Запропоновано методика, розроблено дослідну установку на базі вертикально-свердлильного верстата моделі 2Н125 для проведення експериментальних досліджень величини утвореної задирки при свердлінні наскрізних отворів. Величина утвореної задирки δ_z визначається віддаллю від найвищої точки задирки до нижнього торця деталі в якій просвердлено наскрізний отвір. Процес свердління здійснюється до повного виходу свердла з тіла оброблюваної та повного формування утворюваної задирки.

Суть запропонованої методики полягає в наступному. Свердління наскрізного отвору здійснюється у відповідній заготовці (зразку) із зазначеною товщиною (довжиною наскрізного отвору) мінімальне значення якої рівне:

$$l_{min} = l_{вр} + \Delta_{пп} = 0,5 \cdot D \cdot ctg\varphi + \Delta_{пп}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де D – діаметр отвору (діаметр свердла), мм; $\Delta_{пп}$ - величина пружно-пластичної зони під вершиною свердла, коли вже матеріал не може струмувати накопичену потенціальну енергію системою вертикально-свердлильного верстата за [30, 39]

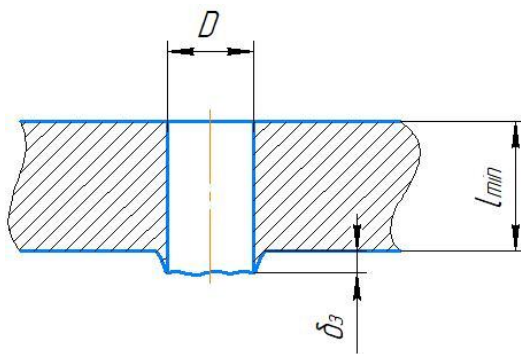


Рисунок 3.1 – Наскрізний отвір із утвореною задиркою

Свердління наскрізного здійснюється при постійній швидкості різання на периферії свердла (постійна швидкість різання є обов'язковою умовою даної методики) на відповідних подачах та діаметрах свердл відповідно до планування та методики проведення експерименту. Свердління отвору завершується тоді коли візуально видно, що свердло повністю вийшло із тіла оброблюваного зразка, а також із тіла задирки, що утворилася при виході свердла із заготовки. В цьому випадку подача свердла призупиняється та інструмент відводиться в початкове положення. Далі здійснюється ряд вимірювальних дій щодо встановлення саме висоти утвореної задирки. А процес свердління інших наскрізних отворів на інших елементах режиму різання відповідно до плану здійснюється аналогічно.

Щодо самого визначення величини (висоти) δ_z задирки. За допомогою, наприклад, глибиноміра вимірювали довжину всього утвореного отвору разом із задиркою. Надалі, від отриманих результатів віднімали товщину зразка, в якому свердлили отвір (або довжину отвору який потрібно було просвердити, позаяк товщина зразка та довжина отвору є рівними, тому, що отвір - наскрізний). І як результат отримували величину задирки, що утворилася в процесі свердління наскрізного отвору при відповідних значення подачі та діаметра.

Метою запропонованої методики та проведення даного експериментального дослідження є отримання математичної залежності, так званого рівняння регресії, величини (висоти) задирки утвореної на виході свердла з тіла оброблюваної заготовки в процесі свердління наскрізних отворів залежно від подачі та діаметра свердління.

Для цього пропонуємо використати методику повнофакторного експерименту другого порядку для двох факторів, так званий дворівневий експеримент за [46,48,53,54]. З метою підвищення точності опису шуканої нами математичної моделі (рівняння регресії) рекомендується використовувати моделі вищого порядку. Нами складено ортогонально-центральному композиційний план експерименту, що дає змогу використовувати результати повнофакторного експерименту та проведення досліджень в додаткових «зіркових» точках, які саме відповідають ортогональному плану експерименту.

В табл. 3.1 та табл. 3.2 складено та наведено ортогонально-центральный композиційний план другого порядку для двох складових: z_1 – подача S мм/об, z_2 – діаметр свердла D , мм, та Матриця для розрахунку коефіцієнтів двохфакторної математичної моделі відповідно.

Таблиця 3.1

Ортогонально-центральный композиційний план другого порядку для двох складових: λ_1 – подача S , мм/об; λ_2 – діаметр свердла D , мм.

Номер досліджу	Фактори в натуральному масштабі		Фактори в умовних одиницях		δ_3 , мм
	λ_1	λ_2	x_1	x_2	
1	$\lambda_{1\min}$	$\lambda_{2\min}$	-1	-1	$\delta_{31}=1,2$
2	$\lambda_{1\max}$	$\lambda_{2\min}$	+1	-1	$\delta_{32}=4,8$
3	$\lambda_{1\min}$	$\lambda_{2\max}$	-1	+1	$\delta_{33}=3,8$
4	$\lambda_{1\max}$	$\lambda_{2\max}$	+1	+1	$\delta_{34}=7,0$
5	λ_1^0	λ_2^0	0	0	$\delta_{35}=3,2$
6	$\lambda_1^{+\alpha}$	λ_2^0	+1	0	$\delta_{36}=6,0$
7	$\lambda_1^{-\alpha}$	λ_2^0	-1	0	$\delta_{37}=2$
8	λ_1^0	$\lambda_2^{+\alpha}$	0	+1	$\delta_{38}=4,5$
9	λ_1^0	$\lambda_2^{-\alpha}$	0	-1	$\delta_{39}=2,6$

Таблиця 3.2

Матриця для розрахунку коефіцієнтів двохфакторної математичної моделі

Номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	x_1x_2	δ_3 , мм
1	+1	-1	-1	+0,333	+0,333	+1	$\delta_{31}=1,2$
2	+1	+1	-1	+0,333	+0,333	-1	$\delta_{32}=4,8$
3	+1	-1	+1	+0,333	+0,333	-1	$\delta_{33}=3,8$
4	+1	+1	+1	+0,333	+0,333	+1	$\delta_{34}=7,0$

Продовження таблиці 3.2

5	+1	0	0	-0,667	-0,667	0	$\delta_{35}=3,2$
6	+1	+1	0	+0,333	-0,667	0	$\delta_{36}=6,0$
7	+1	-1	0	+0,333	-0,667	0	$\delta_{37}=2$
8	+1	0	+1	-0,667	+0,333	0	$\delta_{38}=4,5$
9	+1	0	-1	-0,667	+0,333	0	$\delta_{39}=2,6$
Σ	9	6	6	2	2	4	

$$a_1 = \frac{1}{6} \cdot (-\delta_{31} + \delta_{32} - \delta_{33} + \delta_{34} - \delta_{35} + \delta_{36} - \delta_{37}) \quad (3.2)$$

$$a_2 = \frac{1}{6} \cdot (-\delta_{31} - \delta_{32} + \delta_{33} + \delta_{34} - \delta_{38} - \delta_{39}) \quad (3.3)$$

$$a_{11} = \frac{1}{2} \cdot (0,333 \cdot \delta_{31} + 0,333 \cdot \delta_{32} + 0,333 \cdot \delta_{33} + 0,333 \cdot \delta_{34} - \\ - 0,667 \cdot \delta_{35} + 0,333 \cdot \delta_{36} + 0,333 \cdot \delta_{37} - 0,667 \cdot \delta_{38} - 0,667 \cdot \delta_{39}) \quad (3.4)$$

$$a_{22} = \frac{1}{2} \cdot (0,333 \cdot \delta_{31} + 0,333 \cdot \delta_{32} + 0,333 \cdot \delta_{33} + 0,333 \cdot \delta_{34} - \\ - 0,667 \cdot \delta_{35} - 0,667 \cdot \delta_{36} - 0,667 \cdot \delta_{37} + 0,333 \cdot \delta_{38} + 0,333 \cdot \delta_{39}) \quad (3.5)$$

$$a_{12} = \frac{1}{4} \cdot (\delta_{31} - \delta_{32} - \delta_{33} + \delta_{34}) \quad (3.6)$$

$$a_0 = \frac{1}{9} \cdot (\delta_{31} + \delta_{32} + \delta_{33} + \delta_{34} + \delta_{35} + \delta_{36} + \delta_{37} + \delta_{38} + \delta_{39}) - \\ - 0,667 \cdot a_{11} - 0,667 \cdot a_{22} \quad (3.7)$$

На основі (3.3 – 3.7) отримаємо рівняння регресії виду:

$$\delta_3(S, D) = a_0 + a_1 \cdot S + a_2 \cdot D + a_{11} \cdot S^2 + a_{22} \cdot D^2 + a_{12} \cdot S \cdot D \quad (3.8)$$

Експериментальні дослідження проводилися у відповідних точках згідно плану експерименту на вертикально свердлильному верстаті. Матеріал заготовки – алюмінієвий лист за ДСТУ EN 14121:2022 в умовах поставки. Матеріал інструменту Р6М5. Діаметри свердл: $D_1=10$ мм; $D_2=14,1$ мм; $D_3=19,9$ мм. Значення подач: $S_1=0,2$ мм/об; $S_2=0,4$ мм/об; $S_3=0,8$ мм/об. Діаметри свердл підібрані так, щоб при існуючих на верстаті частотах обертання шпинделя забезпечити практично постійну швидкість різання (похибка складає близько 8 – 10%).

Отримані заміри величини утворених задирок внесли до табл. 3.1 та табл. 3.2.

В середовищі Mathcad створено програму для розрахунку коефіцієнтів математичної моделі (рівняння регресії) при описаному плануванні експерименту. Фрагмент програми наведений на слайдах.

Відповідно до вимог встановлення адекватності шуканої моделі необхідно встановлювати значущість впливу величини отриманих. Для ми скористалися критеріями Стюдента та Фішера, що допомогло нам встановити значущість коефіцієнтів та адекватність отриманої регресії. Слід зазначити, що всі коефіцієнти є значущими та підтверджують адекватність регресії.

В кінцевому результаті отримали математичну модель величини задирки зони у вигляді полінома другого порядку, яка подана функцією виду:

$$\Delta_{п.п.}(S, D) = 0,3 + 1,8 \cdot S + 0,168 \cdot D + 12,3 \cdot S^2 + 0,479 \cdot S \cdot D \quad (3.9)$$

Поверхня відгуку вищезазначеної функції наведена на рис. 3.2:

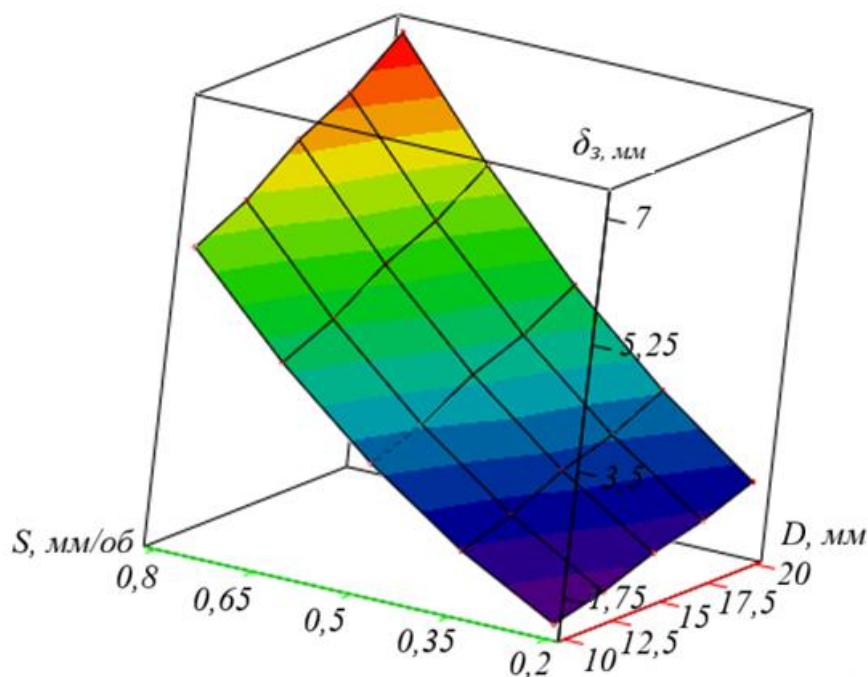


Рисунок 3.2 – Поверхня відгуку залежності δ_z від подачі та діаметра свердла

Отримані результати показують, що подача при свердлінні наскрізних отворів має досить суттєвий вплив на формування величини задирки, що утворюється на етапі вигоду свердла з тіла оброблюваної заготовки.

3.2 Ефективність процесу свердління наскрізних отворів.

Що таке ефективність?

Ефективність – це здатність приносити ефект, результативність процесу, проекту тощо, які визначаються як відношення ефекту, результату до витрат, які забезпечили цей результат [68].

Що таке економічний ефект?

Економічний ефект – результативність економічної діяльності, реалізації економічних програм та заходів, що характеризується відношенням отриманого економічного ефекту(результату) до витрат ресурсів, які зумовили отримання цього результату [20].

Згідно [32,47,56] відомо, що трудомісткість механічної обробки визначається також значною часткою свердлильних операцій. Близько 6...7% у одиночному та

дрібносерійному виробництві, 10...12% — у середньосерійному та досягає 20...30% у масовому виробництві. Це дає підстави стверджувати, що витрати на виконання свердлильних операцій суттєво впливають на загальну собівартість виготовлення продукції.

Аналіз літературних джерел свідчить, що під час формоутворення наскрізних отворів під дією осьового зусилля у механізмах подач вертикально-свердлильних верстатів виникають пружні деформації, внаслідок чого акумулюється потенціальна енергія. Під час виходу свердла з матеріалу заготовки ця енергія може реалізуватися у вигляді раптового збільшення подачі. Такий стрибок подачі спричиняє відповідне зростання крутного моменту приблизно у 1,75–1,85, що створює ризик руйнування ріжучого інструмента. З огляду на це під час свердління наскрізних отворів рекомендується зменшувати подачу на 20...25%, у деяких випадках — у 1,35...1,45 рази або навіть удвічі порівняно з подачею, яка використовується при свердлінні так званих глухих отворів, коли різальний інструмент не виходить з тіла заготовки.

Але слід зазначити, що зниження подачі глибини отвору призводить до збільшення довжини різання, і як наслідок до зниження загальної ефективності процесу. З метою мінімізації цих негативних наслідків запропоновано низку конструктивних рішень [32-39, 58,59] що забезпечують зміну подачі вертикально-свердлильних верстатів на перехідних етапах, а при усталеному різанні використовувати максимально допустимі значення подач. Реалізація запропонованих технологій різання може використовуватися не тільки на вертикально-свердлильних верстатах, коли потрібно створювати додаткове технологічне оснащення, а й в процесах різання в автоматичному режимі за програмою керування.

Застосування таких пристроїв дозволяє забезпечити протікання основної частини процесу свердління наскрізних отворів при максимально допустимих подачах, характерних для обробки глухих отворів, що сприяє зростанню продуктивності за рахунок скорочення основного часу. Однак, як показує аналіз

джерел, питання підвищення ефективності свердління наскрізних отворів шляхом регульованої зміни подачі на критичних етапах процесу практично не висвітлене.

Хотіли б відзначити, результати експериментальних досліджень Кобельник В.Р., свідчать, що зменшення подачі на етапі виходу інструмента з матеріалу суттєво знижує висоту задирок, особливо під час свердління пластичних матеріалів (мідь, алюміній, нержавіючі сталі). Зменшення задирок, у свою чергу, істотно скорочує основний час на наступній операції — видалення задирок.

Тому маємо право стверджувати, отримання залежностей для визначення складових ефективності при реалізації запропонованих у [39, 58, 59, 64-69] технічних рішень, спрямованих на зменшення основного часу обробки, безперечно є актуальною задачею у контексті підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів, що перетинаються. Позаяк відсутність задирок у важкодоступних місцях знімає багато складних питань для машинобудівників щодо їх усунення.

Для реалізації цієї задачі встановимо для нас ряд припущень, а саме: на етапах врзання та виходу свердла з тіла деталі в процесі свердління наскрізного отвору за пропонованою технологією величина подачі змінюється від 0 до максимально допустимого значення яке використовується при свердлінні глухих отворів; при свердлінні за класичною технологією використовується подача рівна $S_n \approx 0,5S_r$, де S_r - подача, що використовується при свердлінні глухих отворів, мм/об.; величина виходу свердла з тіла заготовки складається з величини пружно-пластичної зони Δ_{np} , та величини перебігу $l_{пер}$; в обох випадках період стійкості свердл однаковий та при проходженні внутрішніх пустотілих ділянок (а саме отворів з якими перетинається отвір, що свердлиться) використовується максимально допустима подача S_r .

Нашим завданням є визначення основних часів $t_{ок}$ та $t_{он}$ процесу свердління однакової групи отворів що перетинаються за класичною та новою технологіями відповідно. Ефективність ми досягнемо в тому випадку коли виконається умова $t_{он}/t_{ок} < 1$.

На рис. 3.3 наведено схему свердління групи наскрізних отворів, що

перетинають за класичною технологією у випадку коли подача зменшена по всій довжині свердління та складає $S_H \approx 0,5S_r$.

На рис. 3.4 наведено схему свердління групи наскрізних отворів, що перетинають за новою технологією коли на усталених ділянках різання та при проходженні пустотілих зон у вже попередньо сформованих отворах використовується подача $S_H \approx S_r$, а зміна подачі відбувається тільки на етапах вривання та виходу інструменту з тіла оброблюваної деталі.

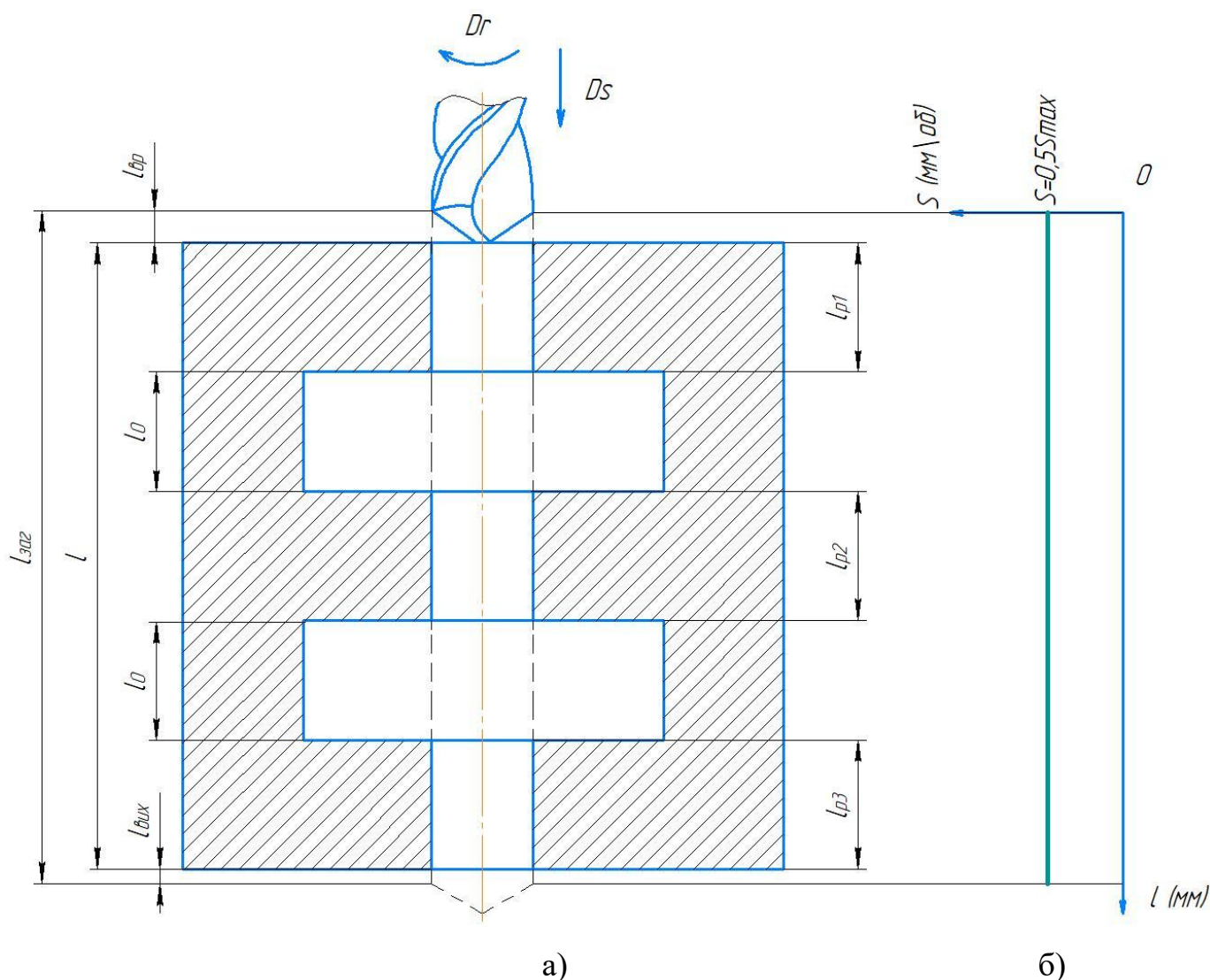


Рисунок 3.3 – Схема різання (а) та зміна подачі (б) при свердлінні наскрізних отворів, що перетинаються відповідно до класичної технології

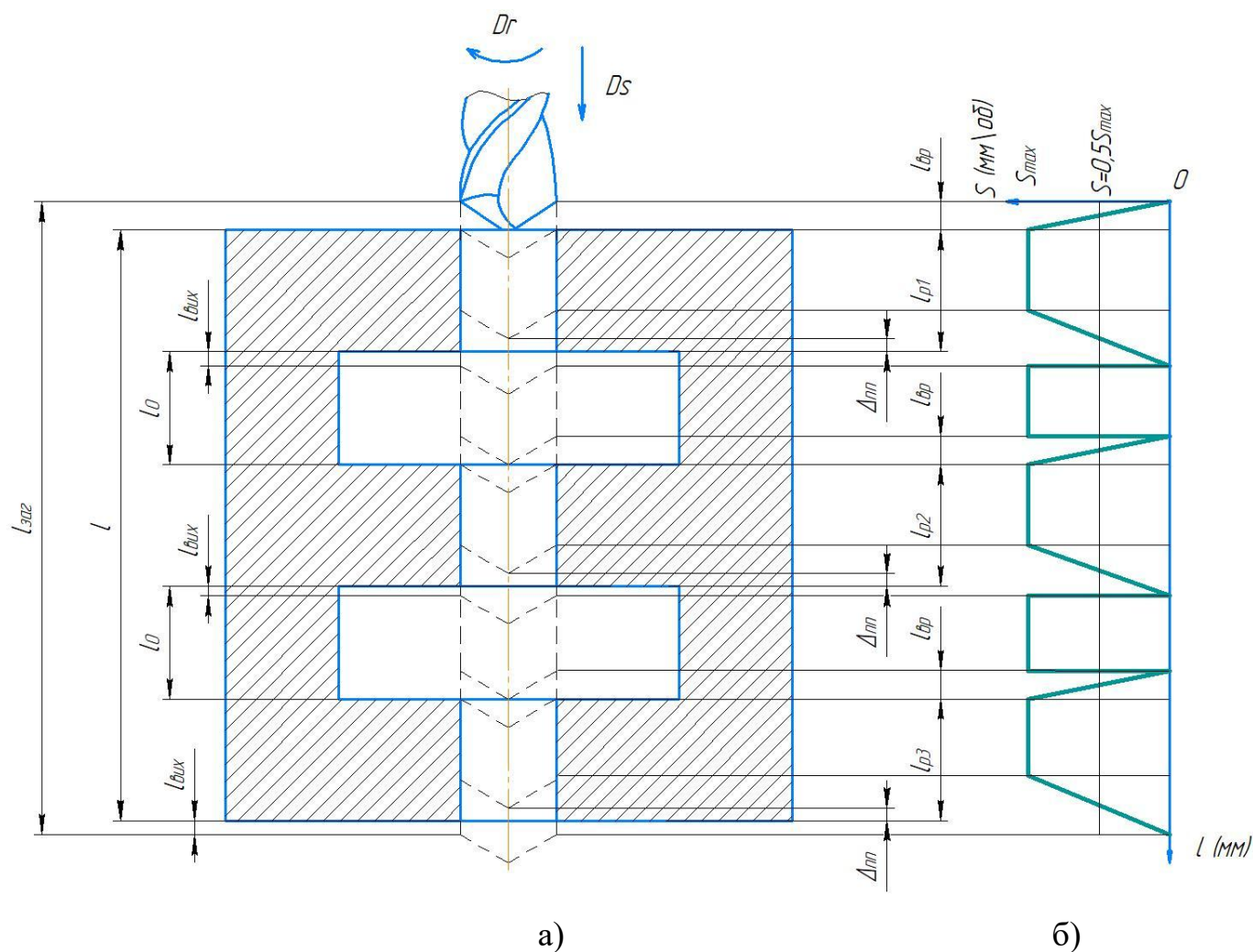


Рисунок 3.4 – Схема різання (а) та зміна подачі (б) при свердлінні наскрізних отворів, що перетинаються відповідно до нової технології

Відповідно до рис. 3.3. основний час при свердлінні за класичною технологією визначимо із залежності:

$$t_{ок} = \frac{l_{вр} + l + l_{пер}}{0,5 \cdot S_{п} \cdot n_{шп}}; \text{ Де: } l = l_{р1} + l_o + l_{р2} + l_o + l_{р3} \quad (3.10)$$

Відповідно до рис. 3.3. основний час при свердлінні за новою технологією визначимо із залежності:

$$\begin{aligned}
t_{\text{он}} = & \frac{l_{\text{вр}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_{\text{р1}} - l_{\text{вр}} - \Delta_{\text{пп}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{\Delta_{\text{пп}} + l_{\text{пер}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_o - l_{\text{пер}} - l_{\text{вр}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \\
& + \frac{l_{\text{вр}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_{\text{р2}} - l_{\text{вр}} - \Delta_{\text{пп}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{\Delta_{\text{пп}} + l_{\text{пер}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_o - l_{\text{пер}} - l_{\text{вр}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \\
& + \frac{l_{\text{вр}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_{\text{р3}} - l_{\text{вр}} - \Delta_{\text{пп}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{\Delta_{\text{пп}} + l_{\text{пер}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}}
\end{aligned} \quad (3.11)$$

$$\begin{aligned}
t_{\text{он}} = & \frac{3 \cdot l_{\text{вр}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}} - 3l_{\text{вр}} - 3\Delta_{\text{пп}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \frac{3\Delta_{\text{пп}} + 3l_{\text{пер}}}{0,5 \cdot S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} + \\
& + \frac{2l_o - 2l_{\text{пер}} - 2l_{\text{вр}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}}
\end{aligned} \quad (3.12)$$

$$t_{\text{он}} = \frac{6l_{\text{вр}} + l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}} - 3l_{\text{вр}} - 3\Delta_{\text{пп}} + 6\Delta_{\text{пп}} + 6l_{\text{пер}} + 2l_o - 2l_{\text{пер}} - 2l_{\text{вр}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} \quad (3.13)$$

$$t_{\text{он}} = \frac{l_{\text{вр}} + l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}} + 2l_o + 3\Delta_{\text{пп}} + 4l_{\text{пер}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} \quad (3.14)$$

$$t_{\text{он}} = \frac{l_{\text{вр}} + l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}} + 2l_o + 3\Delta_{\text{пп}} + 4l_{\text{пер}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} \quad (3.15)$$

$$t_{\text{он}} = \frac{l_{\text{вр}} + l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}} + 2l_o + 3\Delta_{\text{пп}} + 4l_{\text{пер}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} \quad (3.16)$$

$$t_{\text{он}} = \frac{l_{\text{вр}} + l + 3\Delta_{\text{пп}} + 4l_{\text{пер}}}{S_{\Pi} \cdot n_{\text{шп}}} \quad (3.17)$$

Де: $l_{\text{вр}}$ – довжина врізання, мм ; $l = l_{\text{р1}} + l_{\text{р2}} + l_{\text{р3}}$ – довжина врізання, мм; $\Delta_{\text{пп}}$ – довжина пружно пластичної зони, мм; l_o – довжина порожнин, мм; S_{Π} – повна подачі (максимальна для свердління даного отвору), мм/об; $n_{\text{шп}}$ – частота обертання шпинделя, об/хв.

Аналізуючи схеми різання наведені на рис. 3.3. та рис. 3.4, а також отримані залежності для визначення основних часів за класичною та новою технологіями спрямовує нас до твердження, що ефективність буде присутня за певної довжини отвору чи системи отворів.

Визначально ефективність буде залежати від величини подачі. Величина подачі залежить та обмежується параметрами зазначеними в [42].

Враховавши відповідні значення подач для зазначених технологій та всіх складових для визначення основних часів спробуємо записати залежність зміни основного часу та побудуємо схеми зміни основних часів та величин подач в процесі свердління наскрізних отворів (рис. 3.5)

$$\Delta t_o = t_{ок} - t_{он} \quad (3.18)$$

$$\Delta t_o = \frac{l_{вр} + l - 2l_{пер} - 3\Delta_{пп}}{S_{п} \cdot n_{шп}} \quad (3.19)$$

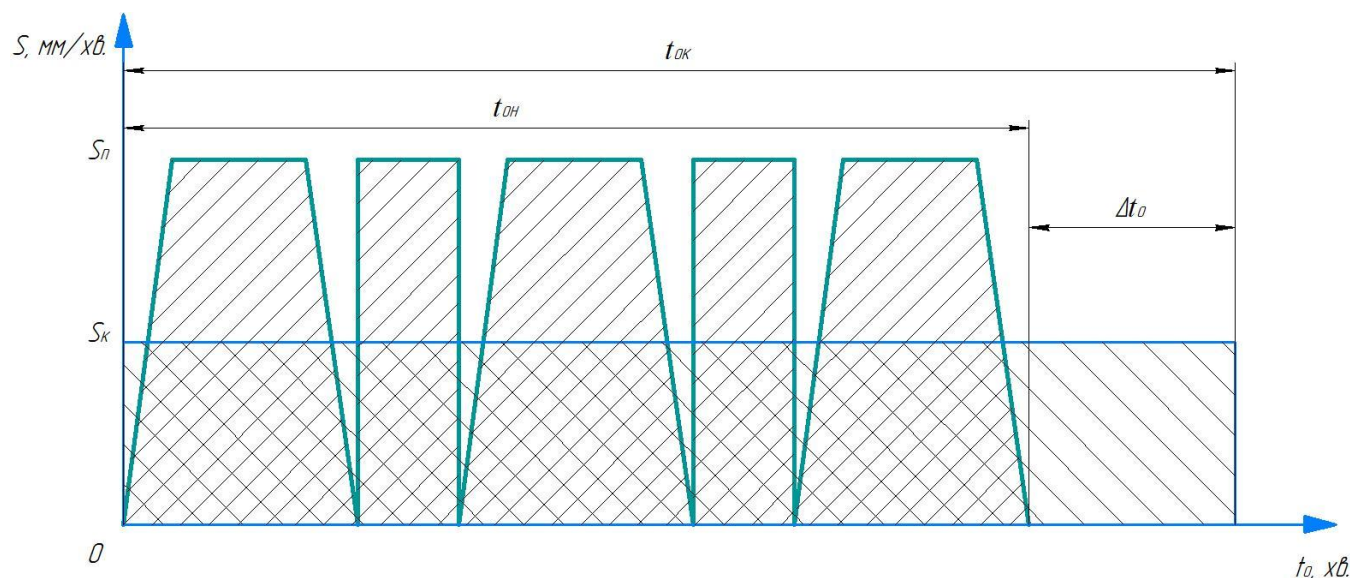


Рисунок 3.5 – Зміна основних часів та подач при свердлінні групи наскрізних отворів за класичною та новою технологіями

Задавшись умовою, як вже згадувалося, що швидкість різання є величиною постійною то для різних діаметрів свердл отримаємо різні частоти обертання

свердла (шпинделя свердлильного верстату). Використано систему MathCAD[71]

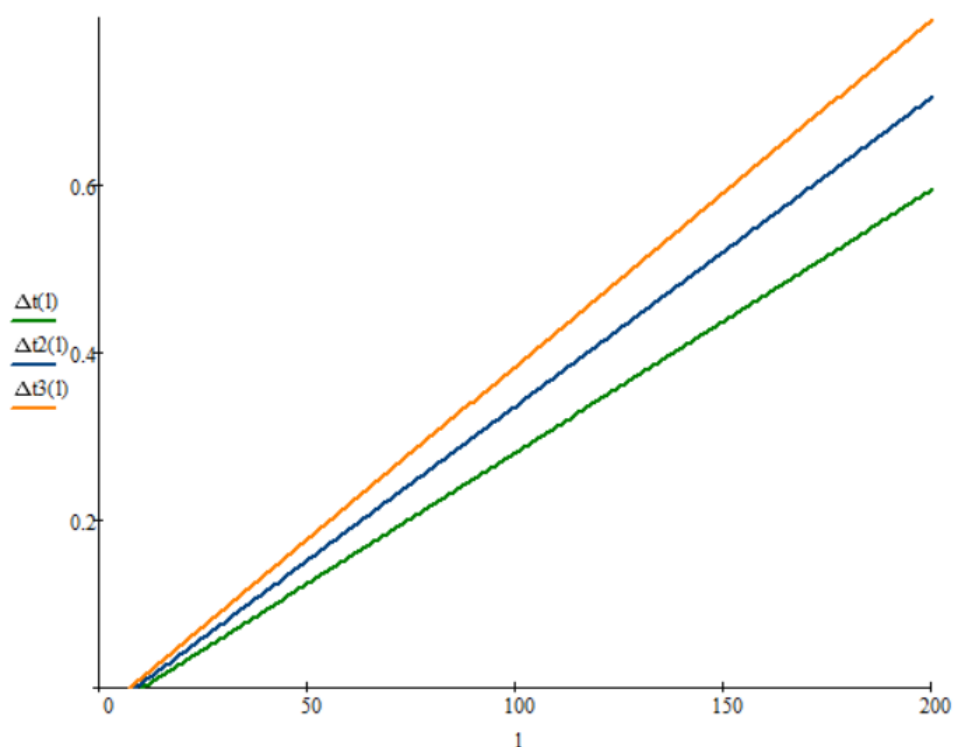


Рисунок 3.6. Зміна основного часу залежно від довжини групи наскрізних отворів при свердлінні свердлами з діаметрами: 10; 15; 20мм.

Також врахувавши величину періоду стійкості різального інструменту T , а в нашому випадку свердл, спробуємо визначити кількість можливих просвердлених наскрізних отворів чи групи отворів за період стійкості інструменту відповідно за класичною та новою технологіями m_k та m_n відповідно

$$m_k = \frac{T}{t_{ок}}; \quad (3.20)$$

$$m_n = \frac{T}{t_{он}} \quad (3.21)$$

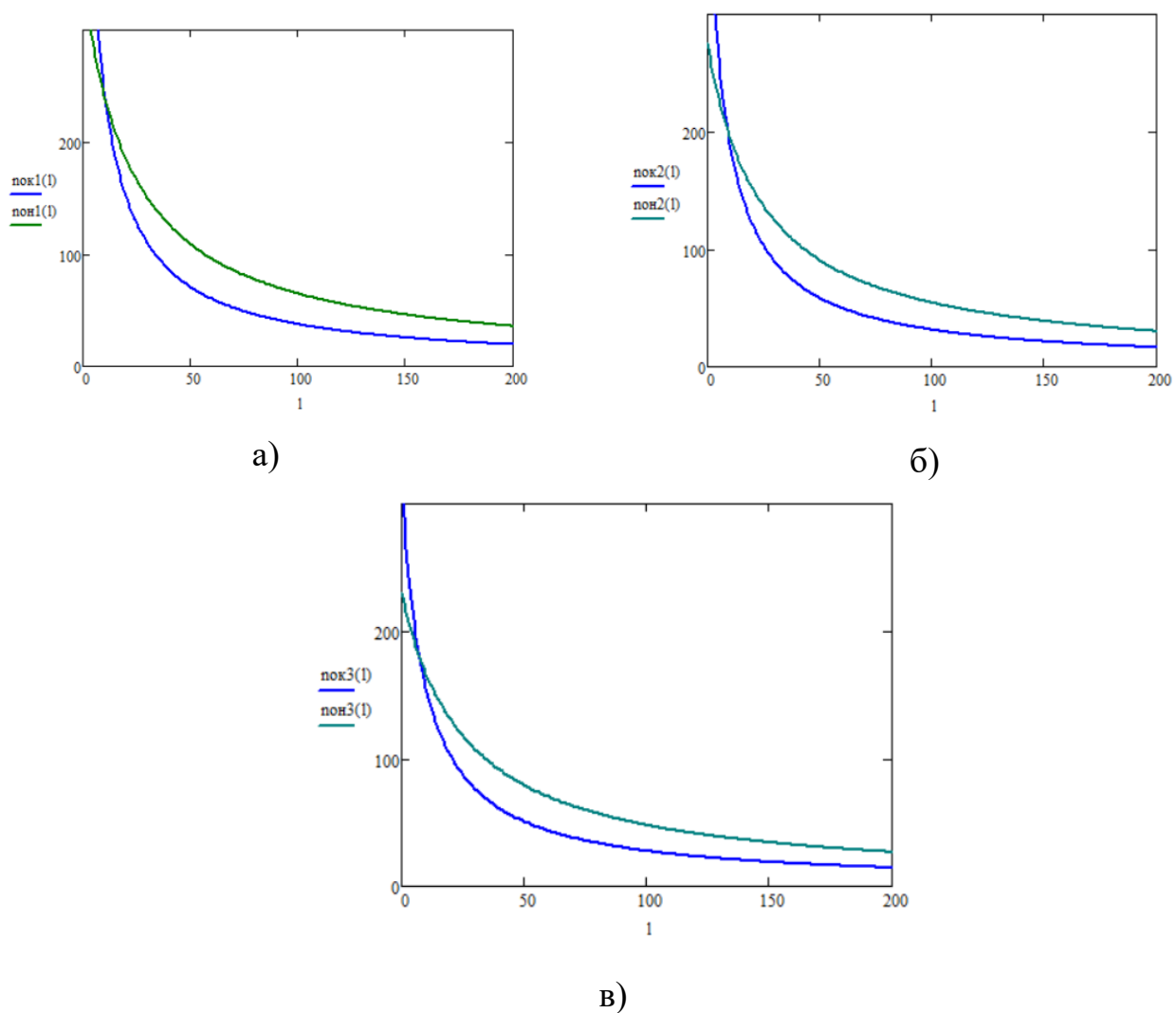


Рисунок 3.7. Залежності можливої кількості просвердлених наскрізних отворів (групи отворів) за період стійкості свердла T
 а) – діаметр свердла 10 мм; б) – діаметр свердла 15 мм;
 в) – діаметр свердла 20 мм.

Слід зазначити, що ріст продуктивності можна подавати як збільшення кількості просвердлених отворів, це можна виразити як

$$\Delta m = m_{\text{к}} - m_{\text{н}} \quad (3.22)$$

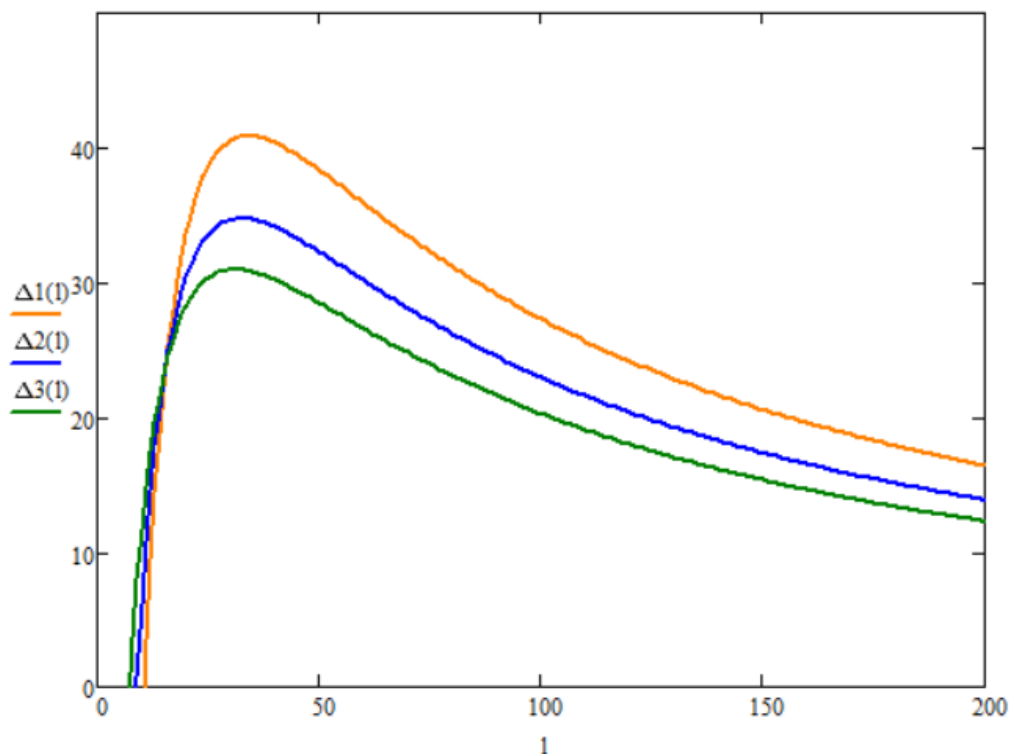


Рисунок 3.8 – Залежності зміни кількості просвердлених отворів від довжини групи наскрізних отворів за період стійкості свердл за технологіями, що порівнюються при діаметрах: 10; 15; 20мм.

Як ми спостерігаємо з вищенаведеного що при новій технології при суттєвому зменшенні основного часу на свердління, що в свою чергу збільшує кількість отриманих отворів за той самий ресурс інструменту.

А якщо є зменшення часу це і є основна ефективність. Якщо час спроектувати на заробітну плату працівників, на вартість інструменту, на вартість електроенергії та інші види виробничих витрат то можемо сміло стверджувати про наявний економічний ефект при використанні цієї технології свердління.



Рисунок 3.9 - Світлини отриманих отворів та задирок при проведенні досліджень для кваліфікаційної роботи магістра

3.3 Висновок до дослідницько конструкторського розділу

У проектному розділі розроблено та обґрунтовано методику визначення впливу подачі та діаметра свердла на величину утворення задирок при свердлінні наскрізних отворів. Запропонований підхід дозволяє комплексно врахувати

взаємодію геометричних параметрів інструмента та режимів різання на завершальному етапі формування отвору, що є визначальним для якості крайок і подальшої експлуатаційної придатності деталей.

Виконане планування експерименту забезпечило системний характер досліджень та можливість кількісної оцінки впливу основних факторів на процес утворення задирок. Обрана схема експериментальних досліджень та методи обробки результатів дозволили отримати репрезентативні дані, придатні для аналізу закономірностей процесу та формування практичних рекомендацій щодо вибору раціональних режимів свердління.

Оцінка ефективності процесу свердління наскрізних отворів показала, що оптимізація подачі та вибір діаметра свердла з урахуванням умов виходу інструмента із заготовки сприяють суттєвому зменшенню величини задирок, підвищенню якості оброблених поверхонь та зниженню потреби у додаткових операціях доведення. Це, у свою чергу, позитивно впливає на продуктивність обробки та економічні показники технологічного процесу.

Таким чином, результати проєктного розділу підтверджують доцільність використання розробленої методики та експериментального підходу для підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів і забезпечення стабільної якості обробки в умовах серійного та масового виробництва.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: загальні принципи забезпечення безпеки на виробництві.

Охорона праці-це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і нешкідливих умов для працівників [23]. Закон України «Про охорону праці» [28] визначає охорону праці як «систему правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини». Згідно з державними принципами, пріоритет життя і здоров'я працівників є головним, а роботодавець несе повну відповідальність за створення безпечних умов праці. Тому на виробництві мають реалізовуватися суцільні заходи з контролю виробничих процесів, обладнання та технологій з метою запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням. Для металообробного підприємства, на якому експлуатуються універсальні вертикально свердлильні верстати та радіально свердлильні верстати, охорона праці є критичним компонентом управління виробництвом.

Безпека в надзвичайних ситуаціях включає комплекс заходів із запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного, природного та іншого характеру, лікування їх наслідків надзвичайні ситуації можуть виникнути внаслідок пожеж, аварій устаткування, вибухів, виходів з ладу систем життєзабезпечення, технологічних аварій та евакуаційних ситуацій [26].

Належна організація роботи включає інструктажі працівників атестацію робочих місць, проведення медичних оглядів і забезпечення засобами індивідуального захисту. Всі верстати і обладнання повинні відповідати державним стандартам безпеки: зокрема, металообробні верстати повинні задовольняти вимоги НПАОП 12.2.009-80 «ССБТ. верстати металообробні. Загальні вимоги». Це означає наявність надійних огорожень, електричних захистів, аварійних вимикачів

тощо. При експлуатації верстатів необхідно дотримуватися спеціальних правил: наприклад, заборонено працювати зі свердлильним верстатом у рукавицях, очищувати інструмент під час обертання шпинделя, використовувати забиті або зношені свердла. Всі ці вимоги забезпечують мінімізацію ризиків виробничого травматизму та підтримують загальний принцип профілактики нещасних випадків на виробництві. Основна мета розділу - провести аналітично-розрахункову оцінку шкідливих виробничих факторів на металообробному підприємстві, з особливою увагою до шуму як домінуючого актору при роботі з універсальними вертикально свердлильними та радіально свердлильними верстатами, та розробити відповідні заходи цивільного захисту у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

4.2 Загальні вимоги нормативних актів щодо управління охороною праці та безпекою у надзвичайних ситуаціях

Забезпечення безпеки праці на підприємстві регулюється низкою нормативно-правових актів, що формують цілісну систему правових, організаційних і технічних вимог. Їх дотримання є обов'язковою умовою функціонування виробництва та спрямоване на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності. Основоположним документом у цій сфері є Закон України «Про охорону праці» (№2694-XII від 14.10.1992), який закріплює конституційне право працівника на безпечні та здорові умови праці, визначає обов'язки роботодавця щодо створення належного виробничого середовища, а також встановлює відповідальність держави за формування та реалізацію політики у сфері охорони праці. Кодекс законів про працю України, зокрема глава «Охорона праці», регламентує трудові відносини, визначає права і гарантії працівників та механізми контролю за дотриманням вимог безпеки праці на підприємствах. Кодекс цивільного захисту України (№5403-VI від 02.10.2012) регулює питання захисту населення, територій і майна від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, встановлює принципи функціонування єдиної державної

системи цивільного захисту, а також порядок оповіщення і реагування на надзвичайні ситуації.

Важливу роль у системі нормативного забезпечення відіграють також Закони України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», який визначає санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці, та «Про пожежну безпеку» (№3745-ХІІ від 17.12.1993), що встановлює правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на підприємствах, а також обов'язки посадових осіб щодо запобігання пожежам і мінімізації їх наслідків. Ці нормативні акти спрямовані на попередження професійних захворювань, виробничого травматизму та аварійних ситуацій.

Деталізацію загальних законодавчих вимог здійснюють нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), державні стандарти України (ДСТУ), будівельні норми (ДБН) та державні санітарні норми (ДСН), які встановлюють конкретні технічні та організаційні вимоги до обладнання, технологічних процесів і робочих місць. Зокрема, НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» регламентують вимоги безпечної експлуатації ручного і механізованого інструменту, а також заходи щодо запобігання травмуванню працівників. Загальні вимоги до безпеки обладнання, у тому числі обмеження рівнів шуму та вібрації, відображені в НПАОП 18.3-1.01-12, що підкреслює необхідність створення безпечного акустичного середовища на робочих місцях. Санітарні норми ДСН 3.3.6.037-99 «Шум, ультразвук та інфразвук» визначають гранично допустимі рівні шуму, зокрема 80 дБА для постійних робочих місць, перевищення яких може призводити до професійних захворювань та зниження працездатності персоналу.

Узагальнюючи, ефективне забезпечення безпеки праці на підприємстві можливе лише за умови комплексного дотримання законодавчих і нормативних вимог та їх практичної реалізації через систему організаційних і технічних заходів. До таких заходів належать розроблення та впровадження внутрішніх нормативних документів, проведення інструктажів і навчання з охорони праці, атестація робочих місць за умовами праці, виробничий контроль рівнів шкідливих і небезпечних

факторів, а також забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту. Системний підхід до управління охороною праці дозволяє мінімізувати виробничі ризики, підвищити рівень безпеки та забезпечити стабільне функціонування підприємства.

4.3 Постановка завдання щодо досліджень з питань охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях на підприємстві.

Завданнями дослідження є комплексна оцінка пожежної безпеки на виробничому металообробному підприємстві з урахуванням категорії «В» (наявність горючих матеріалів). Необхідно проаналізувати потенційні джерела займання та запобігти виникненню пожежі. Важливим є розрахунок мінімальної кількості і правильне розміщення первинних засобів пожежогасіння (вогнегасників) відповідно до норм. Крім того, слід розробити порядок оповіщення про пожежу та евакуацію персоналу. Зокрема, досягнути належного рівня пожежної безпеки допоможе: Аналіз небезпечних факторів: виявити місця з підвищеною пожежною небезпекою (зони з іскроутворенням, накопиченням пилю, зберіганням легкозаймистих рідин). Розрахунок і розміщення вогнегасників: визначити число вогнегасників та місця їх встановлення за нормативами (кабінети, проходи, біля виходів). Організація евакуації: розробити план аварійної евакуації працівників, встановити оглядові шляхи та позначити їх відповідними табличками (згідно з нормативами ДСТУ ISO 6309 та правилами пожежної безпеки)

Сукупне виконання цих завдань дозволить мінімізувати ризик пожежі й забезпечити безпечну евакуацію персоналу.

4.3.1 Аналітично-розрахункова частина з питань охорони праці на виробництві

Особливості експлуатації свердлильних верстатів. Вертикальний свердлильний верстат складається зі станини, стовпа, консолі і шпинделя, який

рухається по вертикалі для свердління отворів. Радіальний (або горизонтально-радіальний) свердлильний верстат має поворотну стрілу, що дозволяє переміщувати шпиндель уздовж стовпа та в радіальному напрямку, що зручно для обробки великих заготовок. Під час роботи свердлильного верстата обов'язково повинне бути надійно закріплене свердло і з заготівлю, щоб уникнути прокручування чи викидання деталей [28].

Механічні травми - контакт з обертовими частинами (поворотний шпиндель, патрон), що може спричинити різані або затискні травми. Виробничі правила категорично забороняють очищати інструмент чи тримати руки біля обертових частин верстата під час його роботи. Також не допускається робота у рукавицях або з забинтованими руками, адже ганчірка чи рукавиця може затягнутися і призвести до травми. Летючі матеріали - металеві стружки і частки, що вилітають із зони свердління, можуть пошкодити очі та відкриті ділянки тіла. Працівник повинен користуватися захисними окулярами, екраном або щитком та спеціальним одягом.

Шум - свердління металу супроводжується інтенсивним шумом через роботу електродвигуна і вібрацію інструмента [19]. За результатами вимірювань, рівень звукового тиску від роботи агрегату можна оцінити в діапазоні близько 85-90 дБ(А). За державними санітарними нормами, максимальний допустимий рівень шуму на робочому місці становить 80 дБА. Тому при вимірюванні, наприклад, 90 дБА необхідно обмежити час безперервної експозиції співробітника до ~2,5 годин (за формулою $8 \cdot 2^{((85-L)/3)}$), оскільки при 85 дБА допустима тривалість зміни - 8 год. Підвищений шум вимагає застосування навушників або інших засобів захисту органів слуху.

Вібрація - передається на корпус верстата і робоче місце при контакті ріжучого інструменту з матеріалом. Від довготривалої дії вібрації можуть уражатися кістково-м'язова та нервова системи. Тому обладнання має бути оснащене віброізолюючими опорами, відповідно до вимог ДСТУ НПАОП 12.1.012-2008 та ДСН 3.3.6.039-99.

Електробезпека - верстати під'єднані до електромережі, тому можливий ризик ураження струмом при порушенні ізоляції або вологи. Обов'язково дотримуватися

правил електробезпеки (заземлення верстата, установка захисних вимикачів), проводити огляди і ремонти електропроводки [25].

Потенційно шкідливі фактори та вимоги до захисту. Зазначені небезпеки мають бути враховані у заходах безпеки. Так, правила Держпраці категорично забороняють виконувати свердлильні роботи на несправних верстатах та зі зношеним інструментом. При роботі працівник повинен дотримуватися інструкції, використовувати необхідні індивідуальні (окуляри, рукавички (поза робочим процесом), захисне взуття) та колективні засоби захисту. Окремо відзначено: не допускається засовувати руки ближче ніж безпечна відстань до свердла під час його обертання, а також зволікати з охолодженням свердла мокрою ганчіркою - це також вважається порушенням техніки безпеки [23].

Вимірювання шуму і обґрунтування безпечної тривалості впливу. Припустимо, що під час роботи вертикального свердлильного верстата вимірний еквівалентний рівень шуму складає 85 дБА, а від радіального- 90 дБА. Санітарна норма для тривалого впливу становить 80 дБА. Для випадку 90 дБА безпечний час знижується майже вчетверо порівняно з 8-годинною зміною (розрахункове значення ~2,5 год). Таким чином, перебування в такому шумному середовищі треба чергувати з відпочинком, а на тих ділянках, де шум перевищує 85 дБА, застосовувати індивідуальний захист слуху.

4.3.2 . Аналіз пожежонебезпечних факторів і розрахунок вогнегасників

У виробничій зоні металообробного цеху найбільш ймовірними джерелами займання є іскри та розпечені частини верстатів (від зварювання, різання металу), електрообладнання під напругою до 1000 В, а також контакт горючих рідин чи мастил з нагрітими поверхнями. Несправна електропроводка чи зношені дроти також можуть спричинити займання. Аналіз свідчить, що в цеху існують ділянки з підвищеною температурою та іскроутворенням, а зберігаються легкозаймисті матеріали. Отже, умовою безпеки є суворе дотримання протипожежних заходів

(вентиляція пилу, ізоляція електрики, безпечне зберігання хімічних речовин тощо) [28].

Для забезпечення первинного пожежогасіння розрахуємо число переносних вогнегасників за площею. Згідно з «Правилами експлуатації та типовими нормами належності вогнегасників» (наказ МВС № 25 від 15.01.2018),



Рисунок 4.1 – Міжнародний символ “Вогнегасник” (ISO ISO 7010 F001)

Нормативні відстані між вогнегасниками визначаються категорією будівлі. Для категорії А, Б, В (з горючими газами/рідинами) максимальна відстань від будь-якої точки приміщення до найближчого вогнегасника не повинна перевищувати 15. Вогнегасники розміщують на видноті, біля входів/виходів та уздовж шляхів евакуації. Згідно з ДСТУ ISO 6309:2007 і правилами пожежної безпеки, місця зберігання вогнегасників мають мати відповідні вказівні знаки.

Рекомендовано використовувати порошкові та вуглекислотні вогнегасники. Порошкові ефективні на горючих твердих і рідких речовинах (А, В, Е класи пожеж) і можуть гасити навіть на початковій стадії металургійні та електроприлади. Вуглекислотні (CO_2) - незамінні для електрообладнання (клас Е) через відсутність залишкового нальоту та миттєве гасіння без ураження струмом. Вибір цих типів виправданий також суворими температурними умовами цеху (CO_2 і порошок діють до $-40\text{ }^\circ\text{C}$).

Використано формулу

$$K = \frac{Q}{S} \quad (4.1)$$

для визначення необхідної кількості вогнегасників, зокрема для порошкових та CO₂ вогнегасників.

$$K = \frac{Q}{S} = \frac{300}{25} = 12 \text{ кг}$$

де $S=300 \text{ м}^2$, $Q=25 \text{ м}^2/\text{кг}$ (для порошку). Отже, мінімум 3 шт. порошкових вогнегасників ВП-5 (по 5 кг) або їх еквівалент наприклад. 2 вогнегасники по 8 кг забезпечать безпеку з запасом. Усі розрахунки узгоджені з нормами Нормативи: відстань не більше 15 м між вогнегасниками для категорії «В»; формула розрахунку витрати речовини і кількості ВП-25 $\text{м}^2/\text{кг}$

Пожежні гідранти в будівлях є елементами внутрішнього протипожежного водопроводу, призначеними для оперативного подавання води з метою локалізації та ліквідації пожеж на початковій стадії їх розвитку, що забезпечує зниження матеріальних збитків і ризиків для життя людей. Вони розміщуються у спеціальних пожежних шафах у зонах загального користування, на шляхах евакуації або поблизу потенційно пожежонебезпечних приміщень, що гарантує швидкий доступ та зручність використання. Конструктивно пожежний гідрант складається із запірного вентиля, рукава та пожежного ствола, а його параметри визначаються вимогами нормативних документів щодо робочого тиску, витрати води та дальності струменя. Ефективність роботи внутрішніх пожежних гідрантів залежить від правильності проектування, регулярного технічного обслуговування та справного стану всіх елементів системи, що є обов'язковою умовою забезпечення пожежної безпеки будівель різного функціонального призначення.



Рисунок 4.2 – Пожежний гідрант та вогнегасники в приміщенні

4.3.3 Дії у разі пожежі та організація евакуації

У разі пожежі персонал діє за чіткою інструкцією [23]. Послідовність:

Оповіщення: одразу повідомити про пожежу керівництво або чергового зміни, сповістити службу ДСНС телефоном 101 [28]. Системи сповіщення (сигнали тривоги) мають бути у робочому стані.

Електропостачання: за можливості від'єднати електроживлення (вимкнути рубильник) у зоні пожежі, щоб уникнути електричного ураження і поширення іскор. Аналогічно перекрити подачу горючих рідин/газу (якщо є).

Початкове гасіння: за умови безпеки спробувати загасити полум'я переносним вогнегасником – використати найближчий, відповідний класу горіння (порошковий/CO₂). Але це лише на початковій стадії та якщо площа пожежі обмежена.

Евакуація: організовано вивести людей за заздалегідь встановленим планом. Працівники повинні рухатися до найближчих евакуаційних виходів без паніки, послідовно та тишком. На збірних майданчиках (цифрові вказівники на плані) провести перекличку та переконатися, що нікого не залишилось. Відповідальні особи координують евакуацію і перевіряють офіси (спеціально призначені працівники).

Вимоги до евакуаційних шляхів, виходів, знаків і освітлення:

Кількість виходів: відповідно до ДБН, приміщення з одночасним перебуванням до 50 осіб можуть мати один евакуаційний вихід шириною $\geq 0,9$ м (якщо віддаленість від найвіддаленішої точки ≤ 25 м); при більшій кількості людей передбачають не менше двох виходів [28].

Розосередженість: усі евакуаційні виходи повинні бути розміщені по різних сторонах приміщення (розосереджені), щоб уникнути скупчень і забезпечити альтернативні шляхи евакуації.

Ширина проходів і дверей: шляхи евакуації (проходи, коридори) повинні залишатися вільними (мінімальна ширина проходу $\approx 1,2-1,5$ м). Двері евакуаційних виходів слід облаштовувати двостулковими або одностулковими з відкриванням за напрямом евакуації (у бік виходу). У додатку А наведено схему евакуації з цеху.

Позначення знаками: всі евакуаційні шляхи та виходи мають бути чітко позначені світлові табличками «ВИХІД», «Напрямок евакуації» відповідно до ДСТУ ISO 6309 та правил пожежної безпеки. Евакуаційні світильники (аварійне освітлення) повинні гарантувати видимість шляхів при відключенні електроенергії.



Рисунок 4.3 – Символ аварійний вихід

4.4 Висновки до розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Проведений аналіз показав, що безпека праці при роботі зі свердлильними верстатами залежить від суворого дотримання нормативних вимог та

організаційних заходів. Головними принципами є пріоритет життя і здоров'я працівника та повна відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці. Для свердлильних верстатів необхідно забезпечити справність обладнання, наявність огорожень і засобів захисту (індивідуального та колективного), а також чітке виконання правил експлуатації (заборона роботи в рукавицях тощо). Вимірювання рівнів шуму підтвердили необхідність контролю фізичних факторів і дотримання граничних норм (80 дБА при 8-годинній зміні). При виявленні надзвичайної ситуації (пожежа, вибух, аварія) персонал має діяти згідно з відпрацьованими інструкціями: негайно повідомляти екстрені служби (сигнал 101 при пожежі), організовувати евакуацію та виключати роботу обладнання. Система оповіщення і заздалегідь узгоджений план реагування згідно з кодексом цивільного захисту гарантують злагоджені дії в умовах небезпеки.

Таким чином, забезпечення охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях на підприємстві ґрунтується на поєднанні технічних засобів (безпечні верстати, автоматичні системи оповіщення), організаційних заходів (інструктаж, тренування, плани евакуації) і нормативного контролю (виконання вимог законів та стандартів). Державні нормативи встановлюють єдині підходи до цих питань: зокрема, Державна політика щодо охорони праці «спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням». Реалізація цього принципу на метало заготівельному підприємстві забезпечується через організацію безпечних технологічних процесів свердління, постійний моніторинг дотримання норм (шум, вібрація, електробезпека) і підготовку персоналу до дій у НС. Виконання вищезазначених заходів дозволить суттєво знизити ризики травматизму й аварійності, а також оперативно реагувати у разі виникнення надзвичайних подій.

ВИСНОВОК

По ходу виконання кваліфікаційної роботи магістра було досліджено процес свердління наскрізних отворів, зокрема в деталях зі складною геометрією та отворами, що перетинаються, з урахуванням технологічних, конструктивних і силових факторів, які визначають якість обробки та ефективність даного процесу. В аналітичному розділі здійснено ґрунтовний огляд і узагальнення сучасних наукових досліджень процесу різання при свердлінні, висвітлено фізичну сторону формування стружки та впливу геометричних параметрів спіральних свердел, режимів різання на характер навантаження інструменту та осьову силу і крутний момент під час свердління. Досліджено проблему утворення задирок під час виходу свердла з матеріалу, що є одним із ключових факторів зниження якості поверхні та експлуатаційних властивостей деталі. Проведено аналіз існуючих досліджень і конструкцій спеціального оснащення показано їх позитивні властивості, та негативні аспекти використання оснащення.

У проєктному розділі розроблено та обґрунтовано принципові схеми різання при свердлінні отворів, що перетинаються, з використанням регульованої подачі, що дозволяє зменшити інтенсивність утворення задирок і стабілізувати силові параметри процесу різання. Запропоновано удосконалені конструкції механізмів подачі свердлильного верстату, для свердління наскрізних отворів що перетинаються. Розроблено та вдосконалено конструкцію спеціального пристрою для свердління наскрізних отворів, визначено його принцип роботи та функціональні особливості. Обґрунтовано методику розрахунку і підбору пружних елементів пристрою з використанням сучасних CAD-засобів, що забезпечує необхідну кінематику, силові характеристики та працездатність механізму подачі

У дослідницько-конструкторському розділі розроблено методику експериментального визначення впливу подачі на величину задирок при свердлінні наскрізних отворів що перетинаються, здійснено планування експерименту та визначено основні критерії оцінювання результатів. Отримані результати

підтвердили ефективність запропонованих конструктивно-технологічних рішень і підтвердили істотне зниження задирок за рахунок зміни подачею на завершальному етапі свердління. Показано доцільність впровадження розробленої технології у реальне виробництво для підвищення якості деталей та підвищення економічної ефективності за рахунок зменшення основного часу на обробку.

У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях систематизовано загальні принципи забезпечення безпеки на виробництві, проаналізовано вимоги чинних нормативно-правових актів щодо управління охороною праці та діями в умовах надзвичайних ситуацій. Виконано аналітично-розрахункову частину з питань охорони праці, проведено аналіз пожежонебезпечних факторів, обґрунтовано вибір і кількість первинних засобів пожежогасіння, а також розроблено заходи щодо організації дій персоналу та план евакуації у разі пожежі. Запропоновані рішення спрямовані на зниження виробничих ризиків і забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації свердлильного обладнання.

Виконана робота має науково-практичний напрямок, а отримані результати можуть бути використані при проєктуванні технологічних процесів свердління, удосконалення пристроїв для свердління наскрізних отворів та приводів вертикально свердлильних верстатів і підвищенні якості обробки деталей з наскрізними отворами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. . Gillespie L.K., Blotter P.T. The formation and properties of machining burrs // *Transactions of ASME. Journal of Engineers for Industry*. 1976. Vol. 98. P. 66–74.
2. .Thilow A., Berger K., Prüller H., Maier R., Przyklenk K., Schäfer F., Pießlinger-Schweiger S. *Entgrat-Technik. Entwicklungsstand und Problemlösungen*. Renningen: Expert Verlag, 2005.
3. Altintas Y. *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*/Y.Altintas: Cambridge University Press, 2012. 380p.
4. Beddoes J. *Principles of metal manufacturing processes* /Beddoes, Jonathan.: Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003. 326 p.
5. Beier H.M. *Handbuch Entgrattechnik: Wegweiser zur Gratminimierung und Gratabseitigung für Konstruktion und Fertigung*. München: Hanser Verlag, 1999.
6. Creese, R. *Introduction to manufacturing processes and materials* /Creese, Robert C: New York : Marcel Dekker, 1999. 395 p.
7. Gillespie L.K. *Deburring and Edge Finishing Handbook*. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 1999.
8. *Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbautechnik* hrsg. von Alfred Böge, 2019.
9. Hashimura M., Hassamontri J., Dornfeld D.A. Effect of in-plane exit angle and rake angles on burr height and thickness in face milling operation // *Transactions of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 1999. Vol. 121, No. 1. P. 13–19.
10. Klocke F. *Manufacturing Processes, Cutting*/ Fritz Klocke.: New York : Springer, 2011. 504 p
11. Leitz L., Franke V., Aurich J. Burr formation in drilling intersecting holes // *Proceedings of the CIRP Sponsored International Conference on Burrs: Analysis, Control & Removal*. Kaiserslautern, Germany, 2009. P. 99–105.

12. Min S., Dornfeld D.A., Nakao Y. Influence of exit surface angle on drilling burr formation // *Transactions of the ASME. Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2003. Vol. 125, No. 4. P. 637–644.
13. Pekelharing A.J. Why and how does the chip curl and break // *CIRP Annals*. 1964. Vol. 12, No. 3. P. 144–147.
14. Schäfer F. *Entgraten*. Mainz: Krausskopf Verlag, 1975.
15. Stein J., Dornfeld D.A. Burr formation in drilling miniature holes // *CIRP Annals*. 1997. Vol. 46. P. 63–66.
16. V. Krupa et al. Improved Method for Determining the Feed Influence on the Tangential Cutting Force During Re-drilling, Countersinking and Boring Based on the Small Sample Theory. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2024. URL: <https://doi.org/10.3311/ppme.29952> (date of access: 22.05.2024).
17. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок.: Львів: Світ, 1996. 368 с.
18. Бочков В. М., Сілін Р. І., Гаврильченко О. В. Металорізальні верстати : навч. посіб.: Львів Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. 268 с.
19. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: підручник. Львів: Бескид Біт, 2008. 448 с.
20. Вікіпедія. Економічний ефект. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Економічний_ефект (дата звернення: 16.12.2025).
21. Гагалюк А. В., Паливода Ю. Є. Процеси виготовлення машин. Частина 1: технологічні основи машинобудування: навчальний посібник. Тернопіль: Осадца Ю. В., 2025. 308 с..
22. Гейчук В.М. Функціональне проектування верстатів, роботів та машин в Autodesk Inventor (Частина I): навч. посіб. Навчальне мережне електронне видання. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 394 с.
23. Голінько В. І. Охорона праці : підручник. Київ : Алерта, 2014. 264 с.

24. Данильченко Ю.М., Шевченко О.В., Ковальов В.А., Волошин В.Н. Металообробне обладнання. Кінематичний аналіз металорізальних верстатів: навч. посіб.: К.: НТУУ «КПІ», 2007. 60 с.
25. Дячун А. Є., Капаціла Ю. Б, Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г. Методичний посібник з виконання курсового проекту з дисципліни «Технологія обробки типових деталей та складання машин».:Тернопіль: ТНТУ, 2016. 75 с
26. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці: навчальний посібник.: Львів: Афіша, 2000. 350 с.
27. Залога В. О. Розрахунок режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні : навчальний посібник. Київ : ІСІ, 1994. 176 с.
28. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2009. 264 с. Кальченко В. І. ,Кологойда А. В, О. С. Следнікова.
29. Кваліфікаційна робота магістра: структура, вимоги до виконання та захист. Методичні рекомендації для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування» зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування галузі знань 13 Механічна інженерія для здобувачів всіх форм здобуття освіти / уклад.: В. Р. Кобельник, В. В. Крупа, Р. Я. Лещук, А. А. Сеник, Р. А. Склярів, В. В. Шанайда, А. В. Гагалюк, В. М. Буховець. – Тернопіль : ТНТУ, 2023. 66 с.
30. Кобельник В. Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01. Тернопіль : [б. в.], 2013. 21 с.
31. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів. *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* : Житомир : ЖДТУ, 2007. Вип. № 1 (40). С. 34–40.
32. Кобельник В.Р, Кривий П.Д. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць.* : Житомир : ЖДТУ, 2010. Вип. 8. С. 99–108.

33. Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів. *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї : наука : виробництво*: тези допов. : Краматорськ: ДДМА, 2018. С. 78-80.

34. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.*: Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. С. 47–56.

35. Кобельник В.Р. Підвищення ефективності процесу свердління наскрізних отворів регулюванням подачі: дис. канд. техн. наук: 05.03.01: / Кобельник Володимир Романович; Терноп. нац. техн. ун-т ім. Івана Пулюя. - Т., 2013. - 21 с.

36. Кобельник О.С. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Пристрій для забезпечення зміни подачі при свердлінні наскрізних отворів. Матеріали XIV Міжнародна науково-практична конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (11–12 грудня 2025 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2025. С. 278 – 279.

37. Ковбашин В. І., Пік А. І. Інженерна графіка : навч. посіб. м. Тернопіль : Підруч. і посіб., 2023. 240 с.

38. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Крупа В. В., Тимошенко Н. М. Метод оцінювання статичної точності кінематичних ланцюгів подач консольних фрезерних верстатів // Прогресивні технології в машинобудуванні : зб. наук. пр. Львів : Львів-Політехніка, 2020. С. 103–105.

39. Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М.І. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів. *Вісник ТНТУ : Науковий журнал.*: Тернопіль : ТНТУ, 2012. № 4 (68). С. 114–127.

40. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць.* : Краматорськ, 2011. Вип. № 28. С. 77–85.

41. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. : Краматорськ, Київ, 2006. Вип. № 19. С. 58–64.*

42. Кривий П.Д., Кобельник В.Р. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні. *Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. : К. : КПП, 2012. Том 1. С. 71–73.*

43. Кривий П.Д., Кобельник В.Р., Продан В.І., Яковлев В.Г. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла. *Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. : Херсон : ХДМА, 2012. № 2 (7). С. 145–155.*

44. Кривий П.Д., Тимошенко Н.М., Дзюра В.О., Кобельник В.Р. Уточнений метод апіорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. : ТНТУ, 2020. С. 132–133.*

45. Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Скларов Р. А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ.: Кіровоград, 2004. 449 с..

46. Крупа В.В. Теорія технічних систем: особливості побудови, створення та розвитку : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Осадця, 2023. 308 с.

47. Крупа В.В., Кобельник В.Р. Призначення режимів різання при точінні табличним методом : Навчальний посібник - практикум. Тернопіль : ФОП ПАЛЯНИЦЯ, 2025. 144 с

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

49. Кухарський О. М., Кушак І .В. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з предмету: «Технологія машинобудування». Тернопіль, 2001. 280 с.
50. Кухарський О.М., Кузьмін М.І. Визначення припусків табличним методом.: Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2004. 135 с.
51. Мазур М. П. та ін. Основи теорії різання матеріалів. Львів : Новий Світ–2000, 2010.
52. Мархель І. І. Деталі машин : навчальний посібник. Київ : Алерта, 2005. 368 с.
53. Момот О. І., Демченко А. О. Про сутність понять «ефективність» та «результативність» в економіці. Економічний вісник Донбасу. 2013. № 3 (33).
54. Нечаєв В. П., Берідзе Т. М., Кононенко В. В. Теорія планування експерименту : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2005. 232 с.
55. Оліховський В., Кобельник В. Пристрої для свердління наскрізних отворів. Матеріали VII Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (25–26 квітня 2024 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2024. С. 278 – 279.
56. Оліховський В.І., Кобельник В.Р. Механізм для забезпечення перервної подачі шпинделя верстата. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (27–28 квітня 2023 р.). Тернопіль: ТНТУ, 2023. С. 242 – 243.
57. Павлище В.Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин. К.: «Вища школа», 1993. 560 с.
58. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки: навчальний посібник.: Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. 240 с.
59. Паливода Ю.Є., Кухарський О.М. Визначення припусків розрахунково аналітичним методом: Тернопіль, 2003. 81 с.
60. Пат. 16398 Україна, МПК (2006) G 01 B 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р.,

Шарик М. В.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u200600061; заявл. 03.01.2006; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

61. Пат. 33445 Україна, МПК В 23 В 47/00. Механізм подач свердлильного верстату / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявник та патентовласник Терн. нац. техн. універ. ім. І. Пулюя. – № 200801364; заявл. 04.02.2008; опубл. 25.06.2008, Бюл. № 8.

62. Пат. 51906 UA, МПК В23В 49/00. Переналагоджувальний свердлильний кондуктор [Текст] / Гупка Андрій Богданович, Гупка Богдан Васильович, Брощак Іван Іванович, Гевко Ігор Богданович, Ляшук Олег Леонтійович, Дячун Андрій Євгенович, Гагалюк Андрій Валерійович (Україна) - опубл. 10.08.2010.

63. Пат. 67685 Україна, МПК (2006.01) G 01 В 5/24. Спосіб вимірювання головного заднього кута спірального свердла / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Продан В. І.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u201109411; заявл. 27.07.2011; опубл. 27.02.2012, Бюл. №4.

64. Пат. 76433 Україна, МПК (2006.01) В 23 В 51/02. Спіральне свердло / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Продан В. І., Топольницький В. І.; заявник і патентовласник Терноп. нац. техн. унів. ім. І. Пулюя. № u201205420; заявл. 03.05.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

65. Пат. 77698 Україна, МПК (2013.01) В 23 В 47/00. Пристрій для свердління наскрізних отворів / Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І.; заявники і патентовласники Кривий П. Д., Кобельник В. Р., Кузьмін М. І. № u201209347; заявл. 30.07.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. № 4.

66. Равська Н. С. та ін. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: навчальний посібник.: Житомир: ЖІТІ, 2000. 332 с.

67. Розрахунок та конструювання коробок швидкостей металорізальних верстатів. Методичні вказівки до виконання практичних та розрахунково-графічної робіт : Чернігів: ЧНТУ, 2016. 111 с.

68. Склярів Р. А., Шанайда В. В., Савчук М. А. Дослідження перехідних процесів електропривода металорізального верстата з використанням інформаційних технологій. Вісник ТНТУ. 2011. Том 16. № 1. С.117-125.
69. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням. Львів: Видавництво “Оріяна Нова”, 2002. 208 с.
70. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / Крижанівський В. А., Кузнєцов Ю. М., Валявський І. А., Склярів Р. А. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
71. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках. Тернопіль : Вид-во ТДТУ, 2001.