

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій
Кафедра Конструювання верстатів, інструментів та машин
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Напрямок підготовки _____
(шифр і назва)
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. зав. кафедри ВІ
к.т.н., доц. Крупа В.В.

«16» листопада 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Нікітюку Павлу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження параметрів свердла збірної конструкції

Керівник роботи ст. викл. каф. ВІ, к.т.н. Гагалюк А.В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом по університету № 4/7-1063 від «16» листопада 2023 р.

2. Термін здачі студентом закінченої роботи «22» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення свердла

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, 1. Аналітичний розділ. 2. Дослідно-проектний розділ.

3. Науково-дослідна частина 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки. Перелік посилань

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

Тема і мета дослідження – 1фА1, Інформаційний пошук – ___фА1,

Дослідно-проектний розділ – фА1, Науково-дослідна частина – ___фА1

Висновки – 1фА1

6. Консультанти роботи, із зазначенням розділів, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Сеник А.А., к.т.н., ст. викл. каф. ВІ</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Клепчик В.М., проректор з АГРБ</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Кобельник В.Р., к.т.н., доц. каф. ВІ</i>		

7. Дата видачі завдання 16 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ, Аналітичний розділ</i>	<i>24.11.2023 р.</i>	
2.	<i>Дослідно-проектний розділ</i>	<i>27.11.2023 р.</i>	
3.	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>4.12.2023 р.</i>	
4.	<i>Охорона праці</i>	<i>7.12.2023 р.</i>	
5.	<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>7.12.2023 р.</i>	
6.	<i>Загальні висновки</i>	<i>11.12.2023 р.</i>	
7.	<i>Перелік посилань</i>	<i>15.12.2023 р.</i>	
8.	<i>Додатки, креслення та плакати</i>	<i>21.12.2023 р.</i>	

Студент _____
(підпис)

Нікітюк П.С.

(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи _____
(підпис)

ст. викл. каф. ВІ, к.т.н. Гагалюк А.В.

(вчений ступінь, посада, прізвище, ім'я, по батькові)

АНОТАЦІЯ

Тема «Дослідження параметрів свердла збірної конструкції». 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2023 р.

Мета і завдання магістерської роботи – дослідити параметри конструкції корпусу свердла збірної конструкції з подальшим теоретичним описом його міцності, жорсткості та протидії крученню і напружено-деформованого стану 3D моделі корпусу свердла.

Завдання дослідження:

- виконати аналіз конструкцій свердл;
- провести огляд змінних твердосплавних пластин для свердл;
- виконати аналітичний розрахунок свердл на кручення;
- виконати дослідження напружено-деформованого стану 3D моделі свердла.

Об'єкт дослідження – корпус свердла збірної конструкції.

Предмет дослідження – конструктивні параметри свердла.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень ґрунтується на МСЕ, використання модуля генеративного проектування, морфологічного аналізу.

Загальні висновки:

- 1) використання спіральних свердл із швидкорізальної сталі дозволяють отримувати отвори, 10 - 9 квалітети, що дозволяє не застосовувати додаткові технологічні операції, як розсвердлювання, зенкерування, розвертання, що робить отримання отвору відповідної точності достатньо трудомістким процесом;
- 2) суцільні свердла більше схильні до відводу, через форму різальних кромки, а затуплення, викришування, поломка зумовлюють провести заміну усього інструменту на відміну від заміни твердосплавної пластинки.

- 3) Вагомою перевагою твердосплавних пластин є широкий спектр з різними геометричними характеристиками, що значно розширює технологічні можливості корпусу свердла і виконувати їх швидку заміну
- 4) Застосування свердл збірної конструкції на токарних верстатах дозволяє використовувати периферійну пластину у якості розточувального різця, що дозволяє розширювати технологічні можливості верстата.

Nikityuk P.S. "Investigation of the parameters of an assembled drill structure". 133 – Industrial engineering; Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University; Ternopil, 2023

The purpose and task of the master's work is to investigate the design parameters of the drill body of a prefabricated structure with a further theoretical description of its strength, rigidity and resistance to torsion and the stress-strain state of the 3D model of the drill body.

Objectives of the study:

- to perform an analysis of the drills' constructions;
- conduct an inspection of replaceable carbide plates for drills;
- perform analytical calculation of drills for torsion;
- perform a study of the stress-strain state of the 3D model of the drill.

The object of the study is a prefab drill body.

The subject of the study is the design parameters of the drill.

Research methods. Conducting theoretical research is based on MSE, the use of the generative design module, and morphological analysis.

General conclusions:

- 1) the use of spiral drills made of high-speed steel allows obtaining holes of 10 - 9 quality, which allows not to apply additional technological operations, such as drilling, countersinking, reaming, which makes obtaining a hole of the appropriate accuracy a rather time-consuming process;

- 2) solid drills are more prone to chipping, due to the shape of the cutting edges, and blunting, chipping, and breakage make it necessary to replace the entire tool, in contrast to replacing a carbide plate.
- 3) A significant advantage of carbide plates is a wide range with different geometric characteristics, which significantly expands the technological capabilities of the drill body and allows for their quick replacement
- 4) The use of prefab drills on lathes allows you to use the peripheral plate as a boring cutter, which allows you to expand the technological capabilities of the machine.

ВСТУП

Машинобудування є критерієм розвинутості держави. А основою кожної промислово розвинутої країни є задоволення потреб народного господарства і населення у високоякісній продукції, забезпечення технічної та технологічної модернізації всіх галузей. У воєнний час це особливо актуально. Якісне виконання цих завдань повинно супроводжуватися інтенсивним впровадженням у виробництво найкращих досягнень науки, техніки, організації виробництва. Це забезпечить зростання ефективності праці.

Значна кількість внутрішніх поверхонь деталей машин містить отвори, отримані в процесі виготовлення деталі або на пізніших технологічних операціях. Отвори отримують за допомогою осьових інструментів – свердла, зенкера, розвертки, протяжки. Іноді їх отримують формувальними методами на стадії отримання заготованки.

Свердління отворів є основним методом і попри, на перший погляд простоту, є надзвичайно складним фізичним процесом. Свердло працює у важких умовах із поганим охолодженням та іншими факторами, проте альтернативи свердлінню немає.

Такі деталі, як кришки, маточини, кріплення яких виконується болтами або шпильками обов'язково потребують свердління кріпильних отворів. Для збільшення продуктивності праці розроблено багато пристосувань. Для одночасного свердління отворів служать різноманітні технологічні пристосування – свердлильні головки, котрі роблять процес просвердлювання значно ефективнішим, а використання кондукторів – точним. Через конструктивні особливості просвердлені отвори для більшої точності потребують оброблення та виконання додаткових технологічних операцій, що робить процес свердління достатньо трудомістким.

Використання спіральних сверدل має переваги та недоліки. Світові виробники все менше використовують суцільні твердосплавні свердла та свердла із швидкорізальної сталі. Натомість інтегрують твердосплавні пластини у

спеціальні осьові державки із вуглецевої сталі, подібно до токарних різців. Це забезпечує значну економію матеріалу – твердого сплаву та ефективність процесу свердління завдяки осьовій жорсткості державки, розширює технологічні можливості. Такий підхід дозволяє використовувати універсальну осьову державку. Свердла із механічним кріпленням твердосплавних пластин конструктивно виконані асиметрично – одна пластина периферійна, інша – центральна. Вони також мають недоліки, проте дослідження показують, що точність та форма отриманих отворів виконані на рівні 9 – 8 квалітетів, що для більшості вимог є прийнятним результатом і підтверджує актуальність теми і вибраний напрямок досліджень.

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Аналіз проблематики процесу свердління та конструкцій свердл

Отвори в деталях машин складають вагому частину поверхонь різноманітного цільового призначення. Їх кількість складає від 6% до 20% в серійному та до 30% у масовому виробництвах [3]. У залежності від методу обробки існують такі типи отворів (Рисунок 1.1):

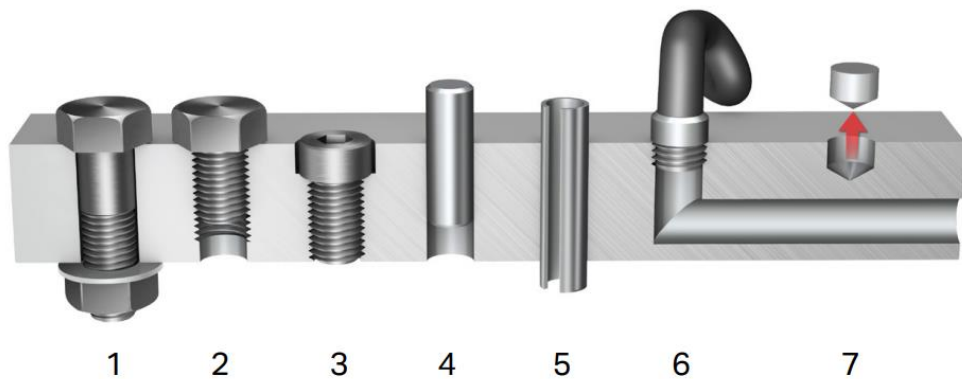


Рисунок 1.1 – Найпоширеніші види отворів: 1 – під болтове з'єднання, 2 – з гвинтовою різзю, 3 – з цеківкою, 4 – точний отвір (для з'єднань з натягом), 5 – з вільною посадкою, 6 – для каналів, 7 –отвори для балансірів

- *кріпильні отвори* призначені для точного монтажу та кріплення деталей. Їх точність оброблення відповідає 11 – 12 квалітету. Зазвичай виготовляються свердлінням на одно- або багатошпиндельних свердлильних верстатах;
- *ступінчасті або гладкі отвори в обертових деталях* виготовляють на токарних верстатах за допомогою свердління, розточування, зенкерування та розвертання.
- *Відповідальні отвори в корпусних деталях.* Точність обробки від 7 квалітету і вище. Виготовляються на різних універсальних або спеціальних верстатах.
- *Глибокі отвори.* Мають співвідношення довжини до діаметра більше 5, наприклад, отвори шпинделів металорізальних верстатів тощо.
- *Конічні та фасонні отвори.* Їх виготовляють інструментом з конічними

або криволінійними різальними кромками або розточуванням методом копіювання.

- *Профільні отвори* (не круглого перерізу). Виготовляють методом протягування, прошивання або довбання.

Загалом свердління є основним технологічним методом отримання наскрізних або глухих отворів у заготовках діаметрами від 0,25 мм до 80 мм. У якості інструменту, як правило, використовують стандартні спіральні свердла з 2-ма різальними кромками (Рисунок 1.1). Для свердління отворів із додатковими конструктивними елементами (фаски, площини) або ступінчастих використовують спеціалізовані комбіновані свердла (свердла-зенківки, свердла-цеківки, свердла-зенкери).

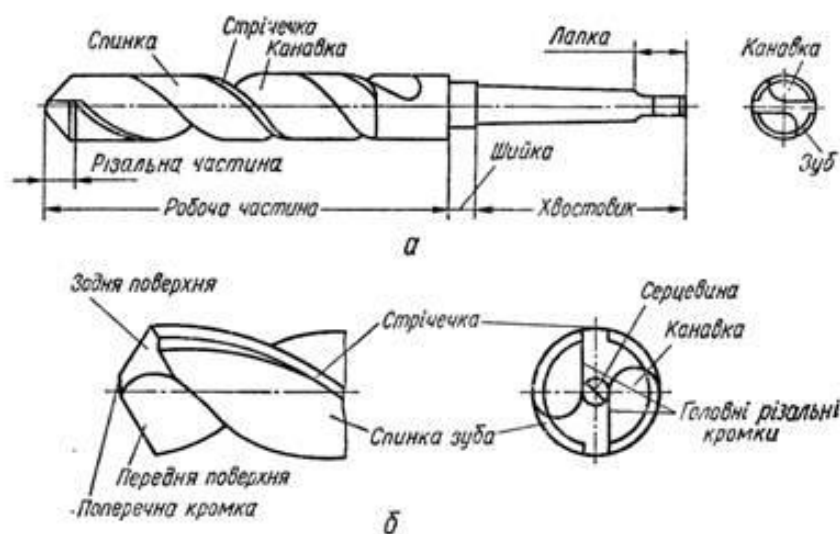


Рисунок 1.2 – Конструктивні та геометричні елементи спірального свердла:

а – з конічним хвостовиком; б – елементи свердла;

Необхідно зауважити, що бажану точність отворів важче отримати, ніж для відкритих поверхнях, оскільки обмежений простір дає не дуже багато варіантів оброблення (свердління, розсвердлювання, розфрезерування). Останній спосіб є достатньо дорогим і не виправданим економічно. Тому величина допуску значно менша, ніж для оброблення зовнішніх поверхонь [1]. Оскільки максимальна досяжна точність свердління обмежується 11 квалітетом, то для отримання отворів вищої точності необхідно виконати додаткові технологічні операції, котрі

передбачають попереднє свердління отвору значно меншого діаметру із поступовим його збільшенням до необхідного.

У залежності від призначення отвору (Рисунок 1.1) технологія оброблення передбачає виконання певних технологічних операцій у визначеній послідовності, а саме:

- 1) свердління (14 – 11 квалітети, Ra 12,5...6,3 мкм);
- 2) розсвердлювання
- 3) зенкерування (9 – 8 квалітети, Ra 6,3...3,2 мкм);
- 4) розвертання (9 – 6 квалітети, Ra 1,25...0,32 мкм) або внутрішнє шліфування (7 – 6 квалітети, Ra 0,2 мкм).

Розсвердлювання полягає у збільшенні діаметру попередньо просвердленого отвору за допомогою свердла більшого діаметра. Його часто застосовують для отримання отворів діаметром більше 25 мм. Під час розсвердлювання перемичка свердла не приймає участі у роботі, що полегшує процес різання, а менша кількість відводу свердла дозволяє збільшити подачу у 1,5 рази у порівнянні із подачею свердла такого ж діаметру при свердлінні [13]. Швидкість різання залишається такою ж.

Зенкерування – це метод обробки попередньо просвердлених або виготовлених отворів литтям чи штампуванням. Точність отворів після зенкерування становить зазвичай в межах 8 – 11 квалітетів і Ra (1,0...2,5) мкм. Зенкер має від 3-ох до 12-ти зубів [1]. Його призначення – підвищення форми отвору. Зенкер прибирає овальність і забезпечує круглість отвору.

Розвертання – це технологічний метод остаточної обробки розсвердлених і зенкерованих отворів для отримання точних (9 – 6 квалітети) за формою і діаметром циліндричних або конічних отворів з низькою шорсткістю Ra(1,25...0,32) мкм. Розвертка завжди має парну кількість різальних кромки, що зумовлено конструктивними особливостями – кутовою нерівномірністю.

Щодо шліфування отворів, то при однакових можливостях застосування процесу шліфування або розвертання перевагу віддають останньому.

Такий набір технологічних операцій для отримання умовного отвору

створює трудомісткість процесу, які у першу чергу спричинені певними конструктивними особливостями саме спіральних свердл. Як відомо, спіральні свердла мають серцевину, котра на кожні 100 мм довжини у напрямку до хвостовика потовщується від 1,4 мм до 1,8 мм. Таким конструктивом прагнуть збільшити поперечну жорсткість свердла, проте загалом цього недостатньо. Спіральні свердла відомі відводом осі свердла від осі отвору через понижено жорсткість. Чим свердло довше, тим вищий ризик ефекту відводу. Причиною цього, зокрема вважають також раптові коливання і перевантаження на різальних кромках свердла, нерівномірність зрізуваного шару та зворотну конусність. Спіральне свердло містить так звану спіральну стрічку, призначенням якого є забезпечення чіткого спрямування свердла в отворі, а зворотна конусність для зменшення тертя стрічки до стінок отвору і складає приблизно 0,02 мм на 100 мм довжини свердла. З фізичної точки зору такий конструктив виправданий, проте свердло втрачає додаткову напрямну.

Ми схильні вважати, що відвід від осі отвору може бути спричинений надмірною подачею, котра спричиняє вигин спірального свердла та пружні деформації, як описано в [12]. Через їх безальтернативність вони є основним інструментом отримання отворів, що супроводжується такими небажаними наслідками, які необхідно виправляти. Для малих діаметрів до 6 мм вони все ще будуть основним інструментом.

1.2. Інформаційно-патентний пошук

Sandvik Coromant [23] виділяє усього 4 методи свердління отворів (Рисунок 1.3). Усі інші типи отворів є частковими випадками із наведених.

Є декілька важливих параметрів для свердління отвору, які необхідно враховувати:

- 1) отвір (форма, його точність тощо);
- 2) деталь (матеріал, форма деталі, кількість отворів);
- 3) металорізальний верстат;
- 4) інструментальне спорядження

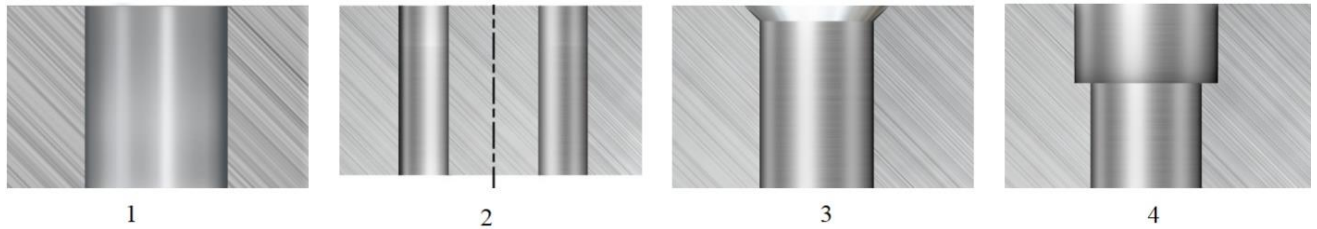


Рисунок 1.3 – Методи свердління отворів: 1 – звичайне свердління; 2 – трепанування (свердління корончастим свердлом); 3 – з фаскою; 4 – ступінчасте свердління

Отвір має три важливих параметри – глибина, діаметр та якість поверхні. Якісні параметри характеризуються точністю геометричної форми та шорсткістю. Вибір інструменту залежить від типу отвору та точності, а також враховує фактори, такі як нахил або криволінійний профіль поверхні і наявність перехресних отворів. Тому потрібно враховувати типи отворів (Рисунок 1.1):

Деталь. Після аналізу параметрів отвору важливо звернути увагу на матеріал заготовки, форму деталі та кількість отворів.

Верстат. Розуміння принципів безпечного та продуктивного свердління на конкретному верстаті є ключовим. Параметри верстату впливають на вибір типу операції та кріплення / патрона. Тому необхідно зважати на наступні параметри верстату:

- 1) стабільність верстату та шпинделя;
- 2) оберти шпинделя для обробки малих діаметрів;
- 3) підведення змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР) (обсяг та тиск);
- 4) закріплення заготовки;
- 5) розташування шпинделя (горизонтальний чи вертикальний). З горизонтальним шпинделем краще відводиться стружка;
- 6) потужність приводу та момент свердління.

Інструментальне оснащення: Не лише сплав та геометрія, але й інструментальне оснащення впливають на продуктивність. Загалом

рекомендують використовувати коротке свердло та виліт.

Правильний вибір свердла гарантує отримання якісних отворів за мінімальною собівартістю. Різні типи отворів вимагають різних параметрів інструменту.

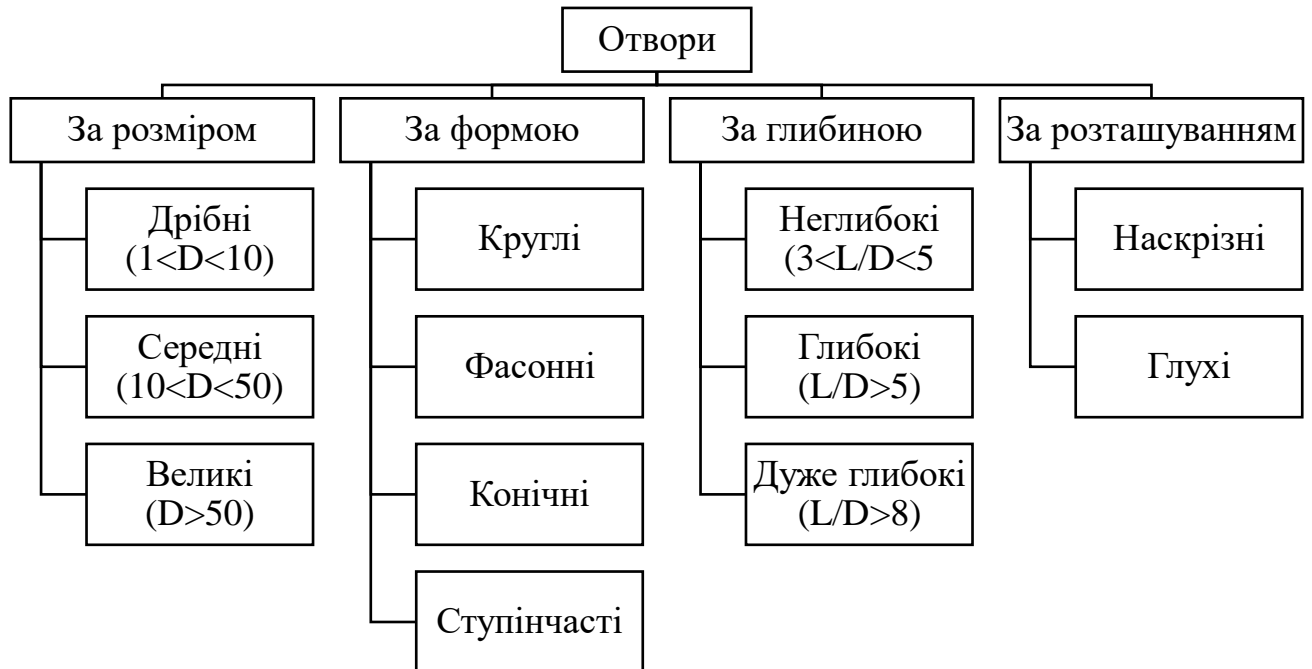


Рисунок 1.4 – Класифікація отворів

При свердлінні дрібних отворів важливий тиск подавання ЗОР, який рекомендують підтримувати величиною 40 – 70 бар, що забезпечує стійкість інструменту. Для свердління отворів малого та середнього діаметру вибір постає між суцільно твердосплавними свердлами, свердлами зі змінними головками. Для свердління великих отворів однозначно використовують ЗТП, проте при обмеженій потужності верстату рекомендують використовувати корончасті свердла (метод трепанування), розточувальні інструменти або фрезерування методом гвинтової інтерполяції.

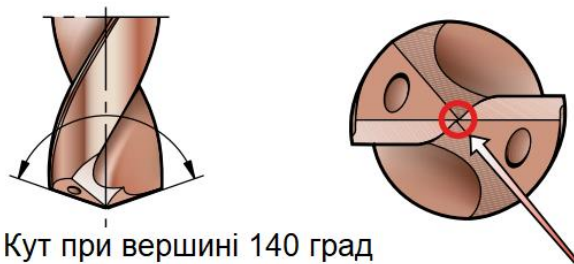
Для глибоких отворів використовують пілотні свердла для забезпечення точності та мінімального биття. Швидкість та подача коригуються для оптимальних результатів.

Свердла виготовляють із швидкорізальної сталі і твердого сплаву. За

конструкцією різальної частини свердла їх поділяють на спіральні або з прямими канавками, для глибоких отворів (гарматні).

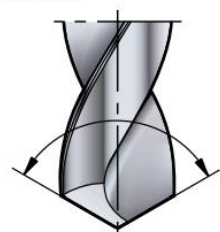
Суцільні твердосплавні спіральні свердла мають ряд переваг перед свердлами із швидкорізальної сталі. Перетинка на твердосплавних свердлах значно менша [23], що позитивно впливає на меншу осьову силу P_0 , як результат краще центрування і стабільне різання поблизу центру. Відповідно, для суцільних твердосплавних свердл немає необхідності виконувати центрувальну операцію.

Суцільні твердосплавні свердла



Кут при вершині 140 град

Свердла із швидкорізальної сталі



Кут при вершині 118 град

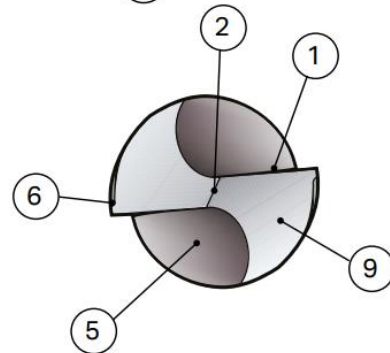
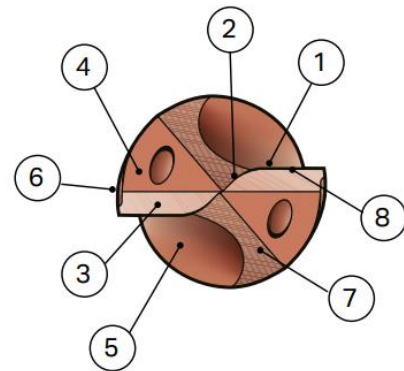


Рисунок 1.5 – Порівняння перетинок в свердлах із твердого сплаву та швидкорізальної сталі: 1 – головна різальна кромка, 2 – перетинка, 3 – задня поверхня, 4 - допоміжна задня поверхня, 5 – стружкова канавка, 6 – стрічка, 7 – додаткова задня поверхня, 8 – від’ємна фаска, 9 – задня поверхня

Твердосплавне свердло має ряд переваг, зокрема в ньому перетинка практично відсутня, головна різальна кромка досягає центру інструменту, має вищу стійкість та продуктивність, що впливає на вищу точність отворів.

Попри такі параметри свердління, як швидкість різання $V_{різ}$ (v_c), частота обертання n , подача на оберт s або s_n продуктивність свердління залежить саме від хвилинної подачі $s_{хв}$. (v_f) (Рисунок 1.6). При порівнянні двох схем різання

зрозуміло, що суцільні свердла працюють в кращих умовах, оскільки різальні кромки однакові, розташовані на однаковій відстані від центру, що врівноважує сили та крутні моменти прикладені до свердла. Швидкість різання v_c для свердл зі змінними пластинами змінюється від 100% на периферії до нуля у центрі. Центральна пластина працює зі швидкістю від 0 до 50% від $v_{c\max}$. Швидкість різання для периферійної пластини змінюється від 50% $v_{c\max}$ до 100% $v_{c\max}$. І одна ефективна ріжуча кромка (z_c).

Суцільні свердла мають 2 ефективні ріжучі кромки. Швидкість різання v_c для таких свердл змінюється від 100% на периферії до 0 у центрі та мінімальних значень у районі перетинки свердла

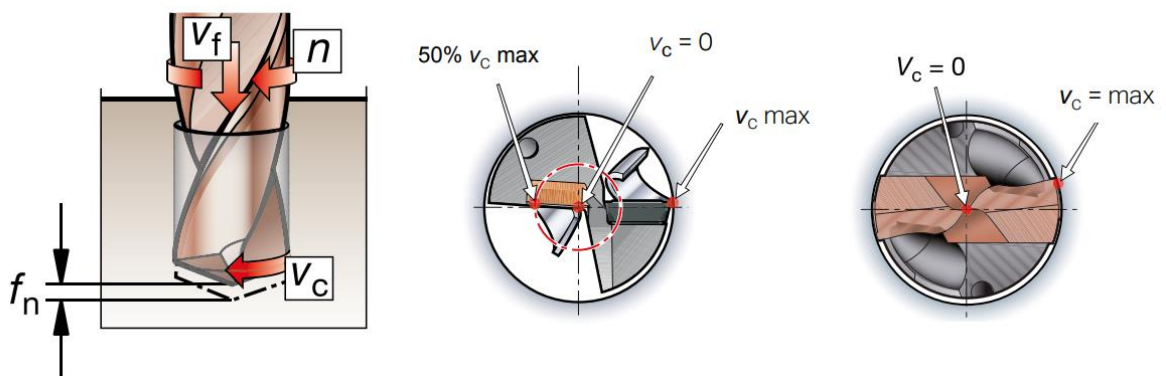


Рисунок 1.6 – Схема швидкості різання для свердл зі ЗТП і суцільних твердосплавних свердл і зі вставними головками: n – частота обертання шпинделя, мм/об.; s або f_n – подача на оберт, мм/об.; $s_{хв.} (v_f)$ - хвилинна подача, мм/хв.;

Швидкість різання важливий параметр, що визначає стійкість інструменту. Він впливає на величину потужності різання P_z та крутний момент $M_{кр.}$.

Підвищена швидкість різання генерує високу температуру в зоні обробки та призводить до прискореного зношування по задній поверхні, особливо на периферії (у куточках), але разом з тим й покращує процес формування стружки при обробці довгостружкових та м'яких матеріалів, наприклад низьковуглецевої сталі. Зменшує рівень шуму.

Занадто висока швидкість різання призводить до посиленого зношування по

задній поверхні і до пластичної деформації ріжучих кромки, що погіршує якість обробки та точність (одержання отвору поза полем допуску).

Занадто низька швидкість різання призводить до утворення наросту на ріжучих кромках, погіршення евакуації стружки, збільшення часу на оброблення, підвищення ризику поломки свердла, погіршення якості отвору.

Впливу подачі на якість отворів присвячені наукові статті викладачів кафедри ВІ, зокрема В.Р. Кобельника, В.В.Крупи, І.В.Луціва [6-18]. Вплив подачі на оберт s (f_n) впливає на зусилля подачі F_f (Н), споживану потужність P_c (кВт) та крутний момент $M_{кр.}$ (Нм). Контролює стружкоутворення, впливає на точність отвору, визначає якість обробленої поверхні і є причиною виникнення зносу та термотріщин. Висока подача викликає стійке дроблення стружки і скорочує час оброблення, а низька подача призводить до утворення тонкої стружки, покращення якості оброблення, прискореного зношування інструменту й збільшення часу оброблення.

За даними TaeguTec [**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**] н айбільш доцільним методом отримання отворів діаметром від 12,5 до 80 мм і глибиною до 4 – 5 діаметрів є обробка збірними свердлами зі змінними непереточуваними пластинами серії T-Drill. Вони забезпечують найменші інструментальні витрати порівняно з іншими системами.

Серія T-Drill – це високопродуктивні свердла з механічним кріпленням квадратних пластин, які мають по 4 ефективні різальні кромки. Типорозмір пластин T-Drill представлений в діапазоні від 5 до 14 мм, залежно від габаритів корпусу свердла. Різні тверді сплави та види стружколомаючих геометрій дають можливість обробляти практично весь спектр матеріалів ().

Сплави: TT9030 – обробка всіх типів матеріалів, оптимальний опір механічному удару; TT8020 – міцний сплав при обробці нестійких поверхонь або пакетної обробки; TT6030 – сплав для обробки чавунів; TT7400 – сплав для периферійних пластин при обробці вуглецевої та легованої сталей; K10 – твердий сплав для обробки алюмінієвих матеріалів.

Свердла серії T-Drill є високопродуктивними та працюють на високих

швидкостях різання (табл. 1.1).

Для економічного свердління отворів великих діаметрів (більше 50 мм), компанія TaeguTec рекомендує використовувати свердла серії T-Drill з двома картриджами (рис. 4). можливістю регулювання діаметра свердління за рахунок комплекту настановних пластин. Ці пластини поміщаються між корпусом свердла та периферійним картриджем. Таким чином, маючи один корпус свердла, наприклад, TDR 2567-73-50T2-11CA, ми можемо виконувати обробку отворів від діаметра 67 мм до 80 мм включно.

Таблиця 1.1 – Режими різання T – Drill

Оброблювальний матеріал	Швидкість різання $V_{\text{різ}}$ (v_c), м/хв	Подача s або f_n , мм/об
Сталь	130 – 250	0,05 – 0,25
Нержавіюча сталь	170 – 240	0,05 – 0,19
Чавун	130 – 250	0,06 – 0,3
Титановий сплав	30 – 60	0,05 – 0,24
Алюміній	330 – 380	0,06 – 0,26

Для більш стабільного свердління TaeguTec пропонує периферійні картриджі фіксованого розміру без настановних пластин або свердла з монолітним корпусом без картриджів.



Рисунок 1.7 – Корпус свердла TDR 2567-73-50T2-11CA для отворів Ø67 – Ø80 мм включно

При обробці отворів велике значення має жорсткість свердла. При обробці

свердлами TaeguTec серії T-Drill на глибину 5 діаметрів забезпечується жорсткість більша, ніж при роботі подібним інструментом інших виробників. Цей результат досягається завдяки розміщенню пластини під певним кутом (кут «атаки») на корпусі свердла, що сприяє утворенню мінімальних вібрацій у процесі свердління.

На всі корпуси свердл серії T-Drill нанесено зносостійке покриття NickoTec, яке запобігає налипанню стружки. У процесі свердління метал, що зрізається (стружка) постійно контактує з корпусом свердла і сприяє його швидкому зносу. Тому додатковою перевагою корпусу T-Drill є спеціальна загартована область у зоні контакту стружки і корпусу (рис. 3). На окрему увагу заслуговує конструкція каналів для подачі СОЖ (рис. 5). При виготовленні свердл T-Drill компанія TaeguTec використовує унікальну технологію отримання гвинтових каналів для СОЖ у корпусах. Завдяки розташуванню каналів для СОЖ в перах свердла поблизу периферії корпусу вдається зменшити товщину серцевини і, відповідно, збільшити пропускну здатність стружкових канавок. Ця конструкція дає результати не тільки у вигляді кращого стружковидалення та збільшеного ресурсу свердла, але й значно знижує навантаження на обладнання в процесі різання.

Щоб усунути необхідність використання дорогих свердел спеціального діаметру, TaeguTec пропонує використовувати патрони з регульованим діаметром свердління серії FITBORE для свердл з механічним кріпленням пластин. Діапазон регулювання діаметра становить від $-0,30$ до $1,30$ мм. Допуск на діаметр отвору не більше $\pm 0,02$ мм.

Світові лідери інструментального ринку такі як Sandvik Coromant (Швеція), TaeguTec (Південна Корея), Guehring (Німеччина) чи Dormer&Pramet (Велика Британія) все більше переходять на осьовий інструмент із змінними твердосплавними пластинами (ЗТП) [23, 23, 24, 25, 26]. Нові конструкції дозволяють просвердлювати отвори від 6 мм і більше. Зокрема, компанія виготовляє навіть розвертки із змінними твердосплавними пластинами (ЗТП).

Свердла із твердосплавними пластинами (ЗТП) мають ряд вагомих переваг, а саме:

- період стійкості значно вищий у порівнянні із суцільними свердлами;
- при затупленні однієї кромки можна пластину переставити, що суттєво дозволяє скоротити час на переналагодження;
- універсальність використання однієї і тієї ж осьової державки розширює технологічні можливості, скорочує час на виробництво інструменту;

Враховуючи перелік описаних проблем та завдань щодо напрямків мого дослідження вважаю необхідним продовжити дослідження моєї магістерської роботи в наступному алгоритмі:

- виконати інформаційно-патентний пошук з даної проблематики;
- проаналізувати конструктивні особливості свердл і пластин;
- на основі компонування побудувати 3D - модель свердла і виконати його статистичний аналіз;
- сформулювати висновки і рекомендації.

1.3. Висновки, постановка мети та задач дослідження

Підсумовуючи вищеописане можна зробити декілька коротких висновків, котрі дозволять сформулювати перелік завдань та напрямків дослідження, а саме:

1. використання спіральних свердл із швидкорізальної сталі дозволяють отримувати отвори, 10 - 9 квалітети, що дозволяє не застосовувати додаткові технологічні операції, як розсвердлювання, зенкерування, розвертання, що робить отримання отвору відповідної точності достатньо трудомістким процесом;
2. суцільні свердла більше схильні до відводу, через форму різальних кромки, а затуплення, викришування, поломка зумовлюють провести заміну усього інструменту на відміну від заміни твердосплавної пластинки.
3. Вагомою перевагою твердосплавних пластин є широкий спектр з різними геометричними характеристиками, що значно розширює технологічні можливості корпусу свердла і виконувати їх швидко заміну
4. Застосування свердл збірної конструкції на токарних верстатах дозволяє

використовувати периферійну пластину у якості розточувального різця, що дозволяє розширювати технологічні можливості верстата.

Виходячи з вищеописаних переваг, недоліків та висновків метою роботи є дослідження параметрів конструкції корпусу свердла збірної конструкції з подальшим теоретичним описом його міцності, жорсткості та протидії крученню і напружено-деформованого стану 3D моделі корпусу свердла. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання :

- виконати аналіз конструкцій свердл;
- виконати огляд змінних твердосплавних пластин для свердл;
- виконати аналітичний розрахунок свердл на кручення;
- виконати дослідження напружено-деформованого стану 3D моделі свердла.

Об'єктом дослідження – корпус свердла збірної конструкції.

Предмет дослідження – конструктивні параметри свердла.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень ґрунтується на МСЕ, використання модуля генеративного проектування, морфологічного аналізу.

2. ДОСЛІДНО-ПРОЕКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Методика проектування збірних свердл із змінними твердосплавними пластинами

Для оброблення нових матеріалів застосування інструменту з швидкорізальної сталі недоцільно (через його низьку стійкість), а часто й просто неможливо. Найбільш ефективним з точки зору стійкості та продуктивності є застосування збірного інструменту (збірні свердла, зенкери, розгортки, фрези тощо) з механічним кріпленням твердосплавних змінних багатогранних пластин (ЗТП).

Незважаючи на це, питання проектування такого типу інструменту є надзвичайно актуальним для інструментальних підприємств у зв'язку зі специфічною особливістю його конструкції: спосіб орієнтації ЗБП заданої форми в корпусі інструменту визначає геометричні параметри кожної точки ріжучої кромки.

Аналіз геометричних параметрів ускладнений у зв'язку з тим, що чим ближче розглядувана точка різальної кромки до осі інструменту, тим сильніше змінюється положення статичної основної площини P_{vc} і, відповідно, статичної площини різання P_{nc} .

Статичні геометричні параметри у довільній точці леза збірних свердл визначаються за заданою формою ЗТП з урахуванням її орієнтації в корпусі. За початок відліку приймають вершина (рис.1.а), у якій швидкість різання максимальна. Осі верстатної системи координат хуз мають такі напрями щодо інструменту: O_x – вздовж осі свердла; O_y – за радіусом; O_z – щодо діаметра. Розташування ЗТП в корпусі свердла визначається двома кутами: осьовим γ_x і радіальним γ_y , позитивні значення яких показані на рис.2.1. На відміну від γ_x , який має однакове значення кожної точки головної ріжучої кромки, величина γ_y залежить від радіуса, у якому розташована поточна т.А.

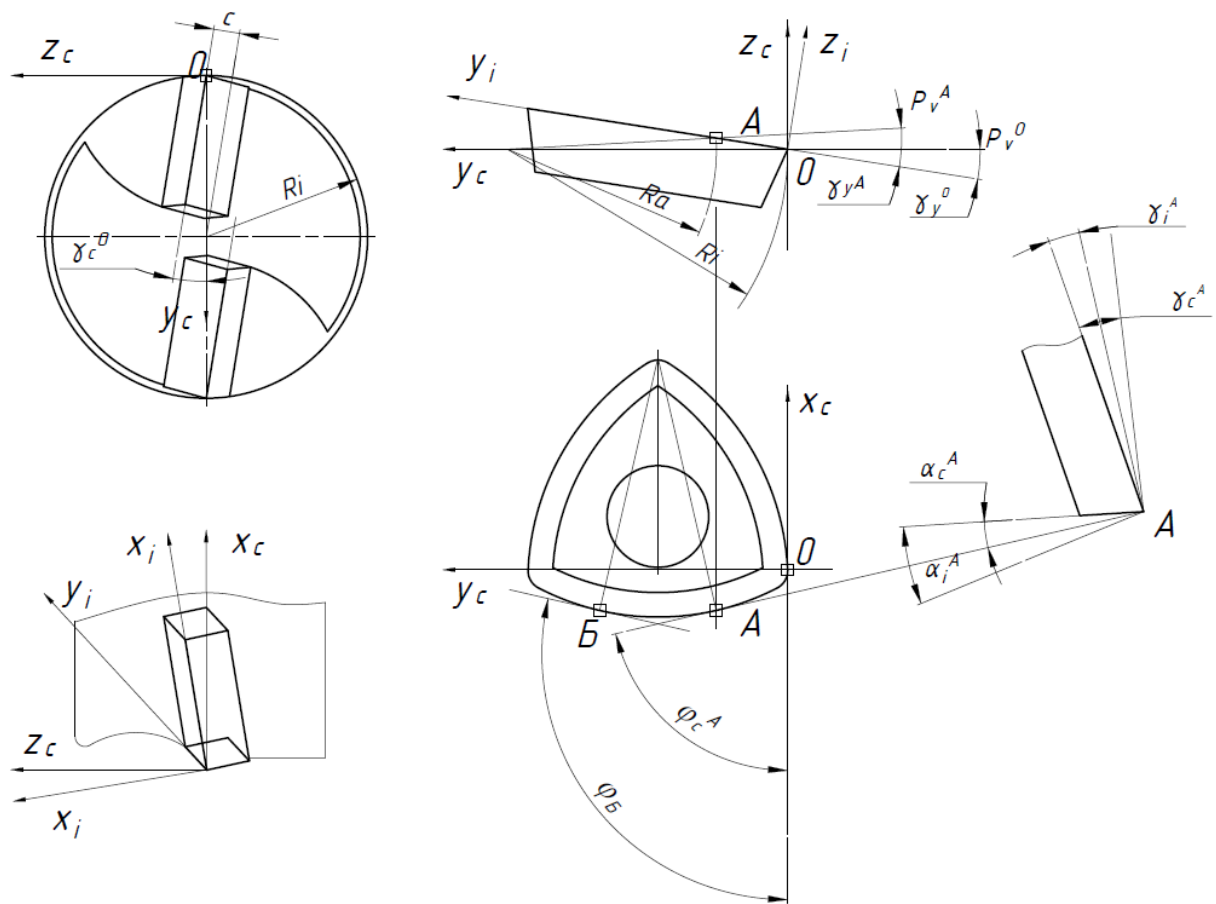


Рисунок 2.1 - Розрахункові схеми для збірного свердла: а – кути орієнтації ЗТП у корпусі свердла; б – статичні геометричні параметри

Інструментальна система координат $X_i Y_i Z_i$ центр якої розташований у т.О. жорстко пов'язана з ЗТП, причому її площина $X_i O Y_i$ завжди паралельна опорній поверхні гнізда корпусу під ріжучу пластину. Кут γ_y часто на робочих кресленнях кінцевих інструментів задається відстанню від вершини ЗТП до діаметральної площини, паралельної до обох пластин (див. рис. 2.1). Тоді точку О визначають за формулою (2.1):

$$\sin \gamma_y^0 = \frac{c}{r_i}, \quad (2.1)$$

де r_i – радіус інструменту.

Візьмемо на робочій ділянці ріжучої кромки ЗТП довільну точку А (рис.1.б).

Паралельне перенесення верстатної системи координат з т.О. в т.А. дає статичну систему координат. Положення статичної основної площини у цій точці P_{vc}^A зміниться порівняно з т. О і фронтальний кут орієнтації ЗТП для неї визначиться із співвідношення:

$$\sin \gamma_y^A = \frac{r_i}{r_A} \cdot \sin \gamma_y^O, \quad (2.2)$$

де r_A – величина радіуса точки А.

Статичні геометричні параметри для т.А ріжучої кромки визначаються із співвідношень:

$$\operatorname{tg}(\varphi_c^A) = - \frac{\sin \gamma_x \cdot \sin \gamma_y^A + \operatorname{tg}(\varphi_i^A) \cdot \cos \gamma_y^A}{\cos \gamma_x} \quad (2.2)$$

$$\sin \lambda_c^A = \sin \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_y^A - \cos \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_y^A \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \sin \lambda_c^A = & - \cos \gamma_{\Pi}^A (\cos \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_y^A + \sin \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_y^A) + \\ & + \sin \gamma_{\Pi}^A \cdot [\sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_x \cdot \sin \gamma_y^A \cdot (\sin \varphi_i^A \cdot \cos \varphi_i^A - \cos^2 \varphi_i^A) - \\ & - \cos \gamma_x \cdot \cos \gamma_y^A \cdot (\sin \varphi_i^A \cdot \cos \varphi_i^A + \cos^2 \varphi_i^A)] \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha_c^A = & \cos \alpha_{\Pi}^A \cdot (\sin \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_x \cdot \cos \gamma_y^A + \cos \varphi_i^A \cdot \sin \gamma_y^A) + \\ & + \sin \alpha_{\Pi}^A \cdot \cos \gamma_x \cdot \cos \gamma_y^A \end{aligned} \quad (2.5)$$

де φ_c^A – статичний кут у плані для т.А;

λ_y^A – статичний кут нахилу ріжучої кромки т.А;

λ_c^A – статичний передній кут т.А;

α_c^A – статичний задній кут т.А;

γ_x – фронтальний кут орієнтації ЗТП у корпусі свердла;

φ_i^A – інструментальний кут у плані для точки А.

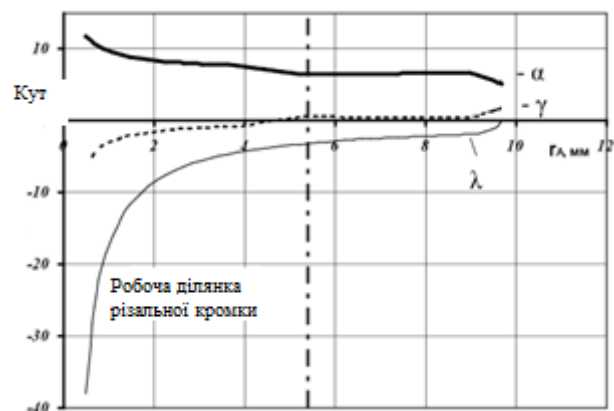
γ_{Π}^A - передній кут на пластині в т.А;

α_{Π}^A – задній кут на пластині т.А;

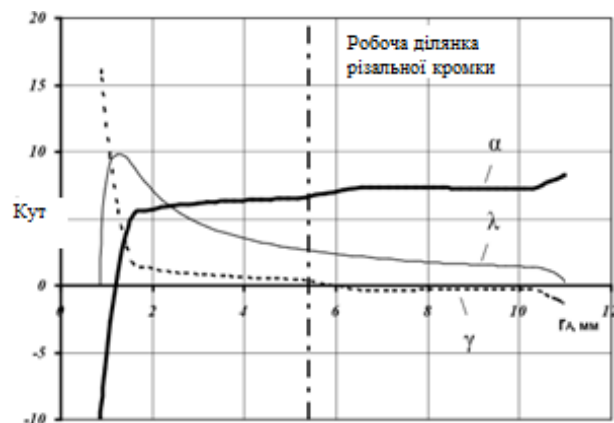
Залежно зміни статичних геометричних параметрів збірного свердла з ЗТП (рис.2) від кутів орієнтації пластини в корпусі представлені на рис.2.3.



Рисунок 2.2 - Загальний вид свердла із ЗТП



а



б

Рисунок 2.3 – Зміна статичних геометричних параметрів по довжині ріжучої кромки: а) центральна пластина; б) периферійна пластина.

Поряд зі статичними геометричними параметрами важливу роль на процес свердління надає кінематика процесу, а саме вплив вектора подачі на напрямок результуючого вектора швидкості. Кінематична основна площина P_{vk} проводиться через досліджувану точку ріжучої кромки пластини перпендикулярно до напрямку швидкості результуючого руху різання V_e . Це аналогічно повороту верстатної системи координат XYZ навколо осі OY на кут $\psi = \arctg(V_s/V)$ проти годинникової стрілки, який у всіх точках ріжучої кромки ЗТП визначається аналогічно куту орієнтації пластини в корпусі інструменту x .

Кінематична складова має найбільший вплив на геометричні параметри в області, розташованій найближче до осі інструменту. Її вплив тим більше, що менше величина z (див. рис.2.1.a).

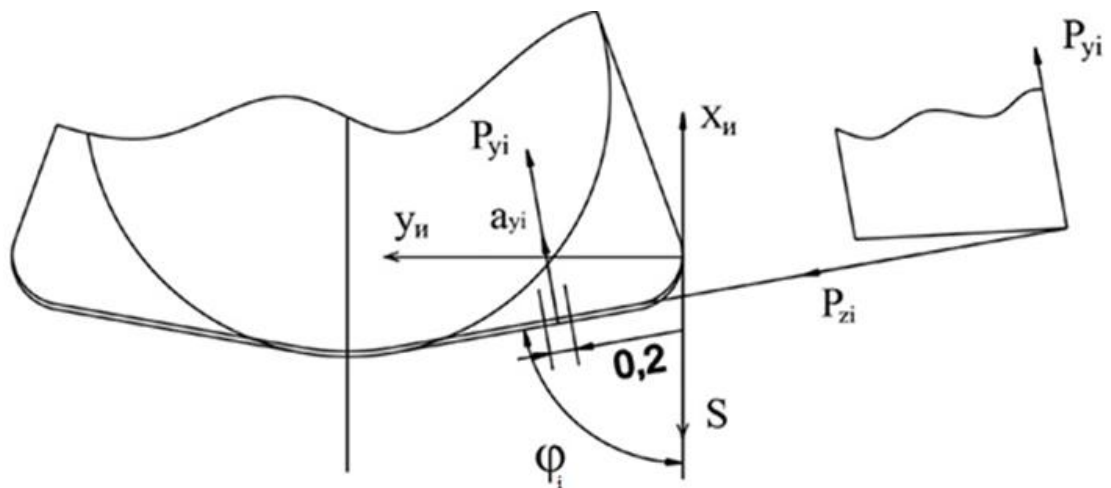


Рисунок 2.4 – Схем розбиття ріжучої кромки ЗТП для визначення елементарних складових сили різання.

Для з'ясування причин низької стійкості збірних свердлів із ЗТП необхідно визначити величину та напрямок сил, що діють у процесі свердління. Для розрахунку складових сили різання було використано методика, засновану на підсумовуванні питомих сил, які діють на одиницю довжини ріжучих кромки свердла. Дані про питомі сили беруться з експериментів з точіння відповідних матеріалів інструментом з геометрією, знайденою при геометричному аналізі

різальних пластин свердла. Відповідно до цієї методики ріжучі кромки пластин розбиваються на елементи рівної довжини (рис.3) і для кожного елемента з урахуванням статичних геометричних параметрів визначаються величина та напрямок дії складових сили різання.

Сумарні складові сили різання на всій довжині кромки визначаються за формулами:

$$P_z = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cos \varphi_{yi} \cdot \sin \gamma_{yi} - P_{zi} \cdot \cos \gamma_{yi}; \quad (2.6)$$

$$P_y = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cos \varphi_{yi} \cdot \sin \gamma_{yi} - P_{zi} \cdot \sin \gamma_{yi}; \quad (2.7)$$

де P_{yi} , P_{zi} – відповідно радіальна та тангенціальна складова сили різання в інструментальній системі координат, що припадає на одиницю довжини ріжучої кромки;

φ_{yi} – кут у плані в інструментальній системі координат;

γ_{yi} – фронтальний кут орієнтації ЗТП.

У зв'язку з тим, що в кожній точці ріжучої кромки геометричні параметри і швидкість різання різні, для визначення P_{yi} і P_{zi} необхідно знати значення складових сили різання з урахуванням цих параметрів і швидкості різання, тобто мати залежність $P_{yi} = f(\alpha_c, \gamma_c, \lambda_c, v)$ і $P_{zi} = f(\alpha_c, \gamma_c, \lambda_c, v)$. Для встановлення цих залежностей було проведено ряд експериментів з точіння загартованої сталі 40Х твердістю 368 НВ інструментом з геометричними параметрами, що відповідають параметрам збірного свердла.

З використанням результатів цих експериментів розрахунком встановлено, що при свердлінні свердлами розглянутої конструкції виникає значна невірноважена радіальна сила (епюри розподілу P_y і напрямок дії представлені на рис. 2.5), яка в умовах низької жорсткості технологічної системи рейково-

свердлильної машинки викликає коливання свердла і підвищене зношування пластин. Очевидно, що для підвищення працездатності свердла необхідно прагнути до того, щоб неврівноважена радіальна складова сили різання дорівнювала нулю.

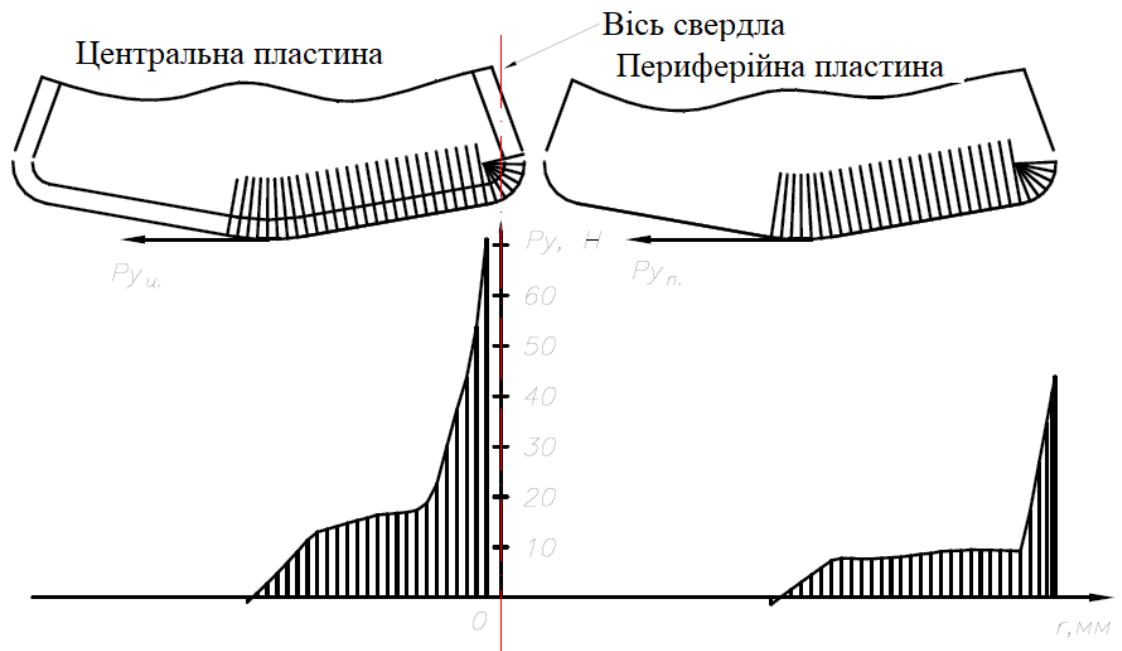


Рисунок 2.5 - Епюри розподілу складової сили різання P_y по довжині робочих ділянок ріжучих кромки ЗТП свердла

За результатами геометричного та силового аналізу запропоновано нові конструкції збірних сверدل із ЗТП. Одним із способів підвищення працездатності є взаємний розворот пластин на кут для двохперового свердла (рис.2.6.а) і кути α і δ для трьохперового (рис.2.6.б) таким чином, щоб сумарна неврівноважена радіальна складова сили різання P_{yz}^Σ була мінімальною:

- для двоперового свердла:

$$P_{yz}^\Sigma = \sqrt{(P_y^\Pi)^2 + (P_z^\Pi)^2 + (P_y^\Pi)^2 + (P_y^\Pi)^2} + \sqrt{2(P_y^\Pi \cdot P_y^\Pi - P_z^\Pi \cdot P_z^\Pi)} \cdot \cos \psi - \sqrt{2(P_z^\Pi \cdot P_y^\Pi - P_y^\Pi \cdot P_z^\Pi)} \cdot \sin \psi \quad (2.8)$$

де P_{py} , P_{pz} – радіальна складова сили різання, що припадає на периферійну

та центральну пластину відповідно;

P_{pz} , P_{pz} – тангенціальна складова сили різання, що припадає на периферійну та центральну пластину відповідно.

- для триперого свердла:

$$P_{yz}^{\Sigma} = \sqrt{(P_{z3} - P_{z1} \cdot \sin \alpha + P_{y1} \cdot \cos \alpha - P_{z2} \cdot \sin \delta + P_{y2} \cdot \cos \delta)^2 + (P_{y3} + P_{z1} \cdot \cos \alpha + P_{y1} \cdot \sin \alpha - P_{z2} \cdot \cos \delta + P_{y2} \cdot \sin \delta)^2} \quad (2.9)$$

де P_{y1} , P_{y2} , P_{y3} – радіальна складова сили різання, що припадають на першу, другу і третю пластину відповідно;

P_{z1} , P_{z2} , P_{z3} – тангенціальна складова сили різання, що припадає на 1-у, 2-ю та 3-ю пластину відповідно.

При цьому припуск, що зрізається свердлом за один оборот визначається величиною подачі S і ділиться між пластинами тільки по довжині кромки різальної кожної з них, що бере участь у різанні.

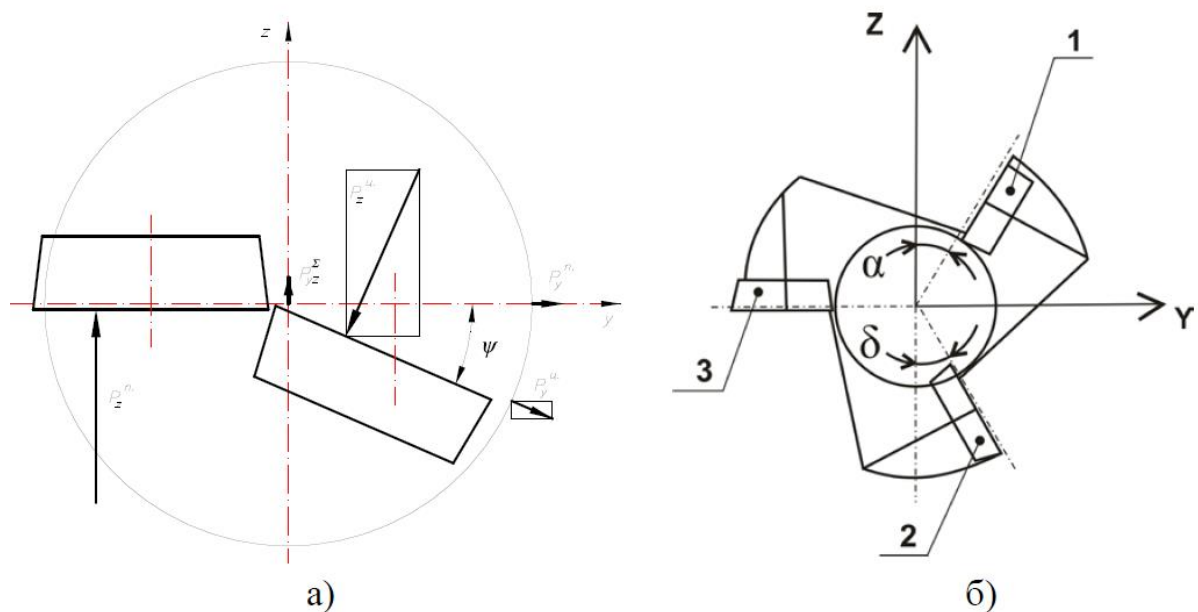


Рисунок 2.6 – Взаємний розворот пластин на збірному свердлі з СМП для зрівноваження сумарної радіальної складової сили різання P_y

Якщо профіль ріжучих кромок пластин та їх взаємне розташування буде таким, що припуск буде ділитися між пластинами не за довжиною, а за товщиною (як і у звичайного спірального свердла), необхідно визначити, яка частка буде припадати на кожну пластину. При цьому, у зв'язку з тим, що у спірального свердла ріжучі кромки розташовані симетрично, товщина шару, що зрізається, між ними ділиться пропорційно. Це ж справедливо й у випадку, коли кут взаємного розвороту пластин $\psi = 0^\circ$. Але у разі взаємного розвороту пластин на кут ψ (рис. 2.6, а) на пластини припадатиме наступна частина загального припуску $S = S_p + S_c$, що зрізається за один оберт:

- для периферійної пластини:

$$S_n = \frac{180^\circ - \psi}{360^\circ} \cdot S \quad (2.10)$$

- для центральної пластини:

$$S_n = \frac{180^\circ + \psi}{360^\circ} \cdot S \quad (2.11)$$

Аналогічно визначається частка загального припуску $S = S_1 + S_2 + S_3$, що припадає на кожну пластину для збірного свердла, що має три несиметрично розташовані ЗТП (рис.2.6, б):

- для пластини №1:

$$S_1 = \frac{90^\circ + \alpha}{360^\circ} \cdot S \quad (2.12)$$

- для пластини №2:

$$S_2 = \frac{180^\circ - \alpha + \delta}{360^\circ} \cdot S \quad (2.12)$$

- для пластини №3:

$$S_3 = \frac{90^\circ + \delta}{360^\circ} \cdot S \quad (2.13)$$

У випадку, якщо шар, що зрізається, ділиться між пластинами не по ширині, а по товщині, то вищезазначені формули дозволять визначити частку загального припуску (знаючи подачу S , з якою працює інструмент), що припадає на кожну пластину, незалежно від взаємного розвороту пластин для свердла, що має як дві, так і три пера.

Аналогічним чином визначається частка загального припуску, що припадає на кожну з пластин для інструментів (і не тільки збірних свердл), що мають кількість несиметрично розташованих ЗТП більше трьох.

Таким чином, дана методика геометричного та силового аналізу дозволяє проектувати збірні свердла з ЗТП з мінімальною неврівноваженою складовою сили різання, тим самим, забезпечуючи максимальну стійкість інструменту і точність отворів, що отримуються як при роботі на верстатах з високою, так і невисокою жорсткістю технологічної системи.

2.2. Порівняльний розрахунок силових параметрів свердел із ЗТП і суцільних

Корпус свердла із ЗТП розраховують на міцність на кручення подібно до валу за формулою 2.14:

$$d = \sqrt[3]{\frac{T \cdot 10^3}{0,2 \cdot [\tau]_{кр}}}, \text{ мм} \quad (2.14)$$

де $T = M_{кр}$ – крутний момент на валу, він же на шпинделі верстата;

$[\tau]_{кр} = (10 \dots 20) \text{ Н/мм}^2$ – допустимі напруження на кручення;

Оскільки свердло може використовуватися на різних верстатах, то виконую зворотний розрахунок, а саме визначаю максимальний крутний момент, який свердло зможе витримати виходячи з умови міцності. Тоді формула 2.14 отримає вигляд:

$$T = \frac{d^3 \cdot 0,2 \cdot [\tau]_{кр}}{10^3};$$

$$T_1 = \frac{0,05^3 \cdot 0,2 \cdot 10}{10^3} = 250 \text{ N} \cdot \text{m}; \quad (2.14)$$

$$T_2 = \frac{0,05^3 \cdot 0,2 \cdot 20}{10^3} = 500 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Досліджуване свердло в зоні кріплення має діаметр 50 мм, проте межа міцності матеріалу на кручення $[\tau]_{кр}$ дуже занижена. Тому реальний крутний момент буде в межах (250...500) Нм.

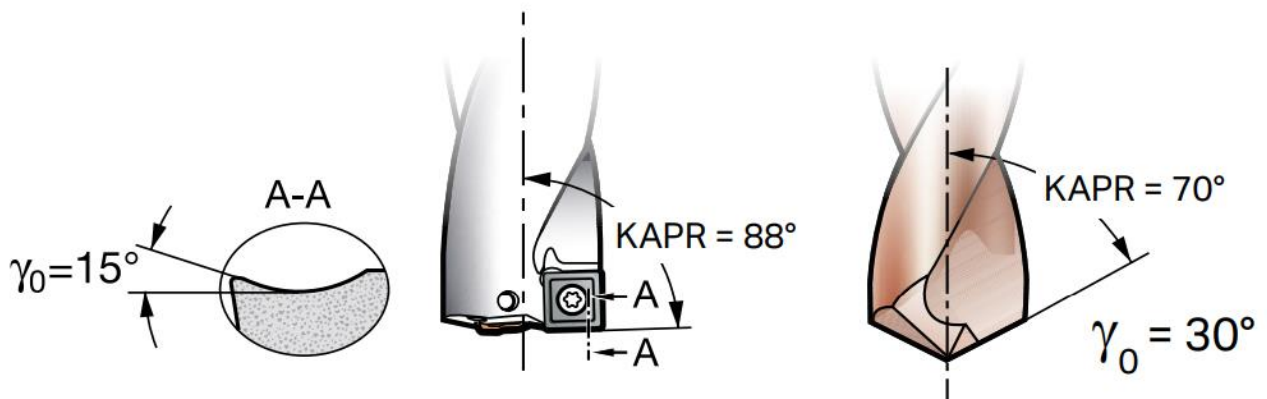


Рисунок 2.7 – Схема головного кута в плані

Виконаю точний порівняльний розрахунок необхідної потужності за формулою рекомендованою Sandvik Coromant:

$$P_c = \frac{f_n \times v_c \times D \times k_c}{240 \cdot 10^3}, \text{ кВт} \quad (2.15)$$

де $k_c = k_{c1} \times (f_z \times \sin KARP)^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$ – коефіцієнт, що залежить від питомої сили різання, котрий вибираємо з таблиці внизу.

Розрахунок виконаємо з використанням вбудованих таблиць Excel. Результат інтегровано в довідкову таблицю. Як бачимо із розрахунків для збірного свердла потрібно менше потужності.

Визначаємо момент та зусилля подачі для значень поданих в табл.2.1. Решта розрахунків зводимо в таблицю 2.1.

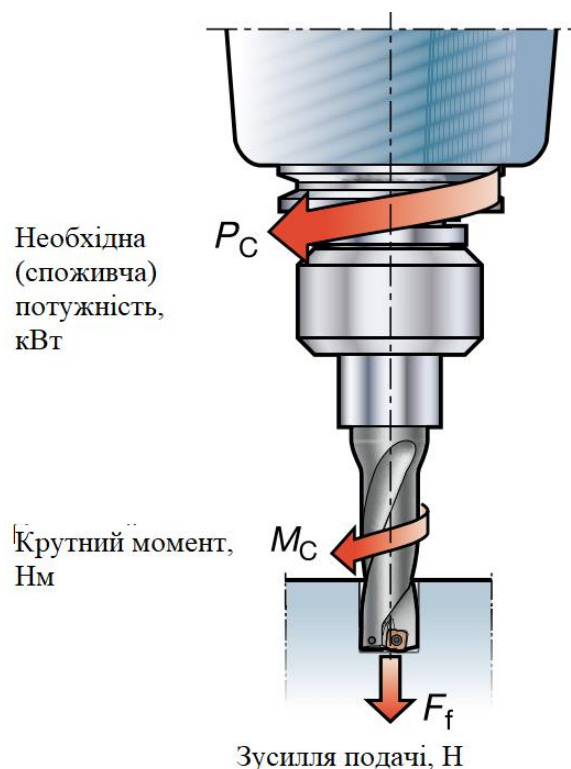


Рисунок 2.8 – Схема прикладання силових факторів для розрахунку

Зусилля подачі розраховуємо за формулою:

$$F_t = 0,5 \times k_c \times \frac{D}{2} f_n \times \sin KARP, \text{кВт} \quad (2.15)$$

А крутний момент за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_c \times 30 \times 10^3}{\pi \times n} \text{ Нм} \quad (2.16)$$

Таблиця 2.1 – розрахунок потужності різання для свердл із ЗТП і суцільного твердосплавного

Оброблюваний матеріал	Питома сила різання K_{cl} , Н/мм ²	Твердість за Брінеллем, НВ	mс	Подача на зуб fz	для свердл із ЗТП		для суцільних твердоспл. свердл					
					кс	Потужність Pс, кВт	Зусилля подачі Ft	Крутний момент Мкр	кс	Потужність Pс, кВт	Зусилля подачі Ft	Крутний момент Мкр
Нелегована сталь												
C= (0,1 – 0,25) %	1500,00	125,00	0,25	0,50	1779,41	88,83	29786,99	721030593,38	2039,02	101,79	17095,53	721030593,38
C= (0,25 – 0,55) %	1600,00	150,00	0,25	0,50	1898,04	94,75	31772,79	769099299,61	2174,95	108,58	18235,23	769099299,61
C= (0,55 – 0,8) %	1700,00	170,00	0,25	0,50	2016,67	100,67	33758,59	817168005,83	2310,89	115,36	19374,93	817168005,83
Високовуглецева, відпущена	1800,00	210,00	0,25	0,50	2135,29	106,60	35744,39	865236712,06	2446,82	122,15	20514,64	865236712,06
Загартована і відпущена	2000,00	300,00	0,25	0,50	2372,55	118,44	39715,99	961374124,51	2718,69	135,72	22794,04	961374124,51
Низьколегована сталь (легуючих елементів <5%)												
Незагартована сталь	1700,00	175,00	0,25	0,50	2016,67	100,67	33758,59	817168005,83	2310,89	115,36	19374,93	817168005,83
Загартована і відпущена	1900,00	300,00	0,25	0,50	2253,92	112,52	37730,19	913305418,28	2582,76	128,93	21654,34	913305418,28

3. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Методика та план проведення наукових досліджень

Теоретичні аналізи напружено-деформованого стану конструкції, зокрема статичний аналіз, проводяться з метою визначення внутрішніх напружень, прогину та коефіцієнта запасу міцності. Основна мета полягає в ідентифікації зон прикладення сил та векторів їх поширення, а також визначенні впливу на інші елементи конструкції. Аналітично провести цей процес практично неможливо.

Після статичного аналізу важливим є модальний аналіз для визначення власних частот і форм коливань конструкції. Це виконується за допомогою вбудованого модуля в САПР Autodesk Inventor 2023.

Використання програмних модулів на основі методу скінченних елементів особливо актуальне для дослідження об'єктів, які теоретично дослідити неможливо.

У контексті збірних свердел, дослідження напружено-деформованого стану може фокусуватися на оптимізації конструкції для максимально ефективного відводу навантаження під час свердління. Статичний аналіз дозволяє визначити, як конструкція реагує на прикладені сили та які внутрішні напруження виникають в результаті цього процесу.

3.2. Дослідження 3D – моделі свердла

Для проведення статичного аналізу необхідно створити 3D модель корпусу свердла, згідно із завданнями описаними на початку. Особливістю цього дослідження є те, що статичному аналізу піддається уся збірка.

Статичний аналіз конструкції виконується з метою визначення внутрішніх напружень та деформацій, які виникають під впливом прикладених сил або моментів. Основні цілі проведення статичного аналізу полягають:

- у визначенні напружень: Статичний аналіз дозволяє визначити розподіл напружень в різних частинах конструкції. Це важливо для забезпечення того, щоб напруження в конструкції не перевищували матеріальну

міцність матеріалу, тим самим гарантуючи безпеку та надійність конструкції.

- Прогин конструкції: Статичний аналіз допомагає визначити прогин частини чи всієї конструкції під впливом силових навантажень. Це важливо для уникнення неправильного функціонування конструкції та забезпечення її стійкості.
- Визначенні коефіцієнта запасу міцності: Цей коефіцієнт вказує, наскільки конструкція має запас міцності в порівнянні з прикладеними силами. Велике значення коефіцієнта запасу міцності вказує на те, що конструкція має достатню міцність для безпечної експлуатації.
- Оптимізація конструкції: Результати статичного аналізу можуть стати основою для оптимізації конструкції. Це включає в себе зміни форми, розмірів або матеріалів з метою покращення ефективності та вартості конструкції.

Статичний аналіз дозволяє зрозуміти поведінку конструкції під впливом зовнішніх навантажень та приймати обґрунтовані рішення щодо її конструкції та підсилення, забезпечуючи безпеку та ефективність використання.

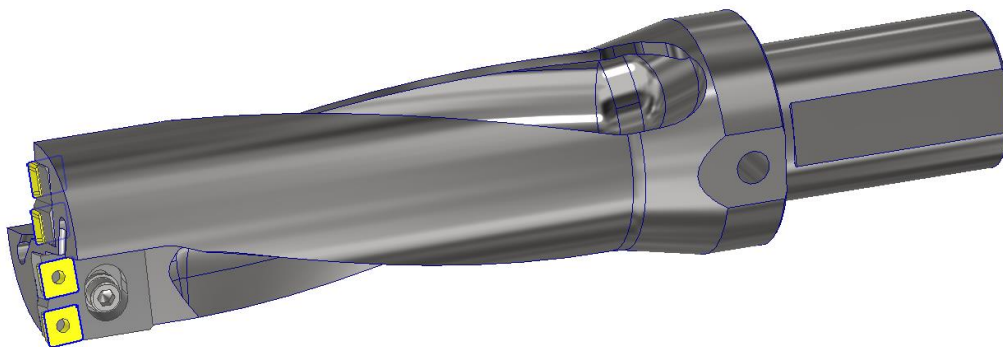


Рисунок 3.1 – 3D модель збірки свердла

Виконання статичного аналізу збірки особливо важливе, оскільки дозволяє побачити, як саме взаємодіють деталі.

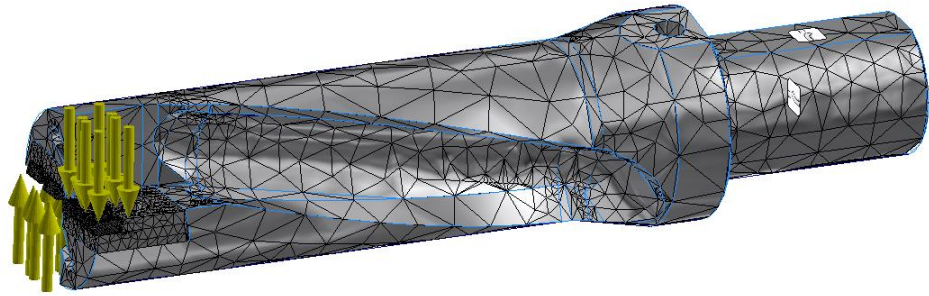


Рисунок 3.2 – Сітчаста модель і прикладені силові фактори

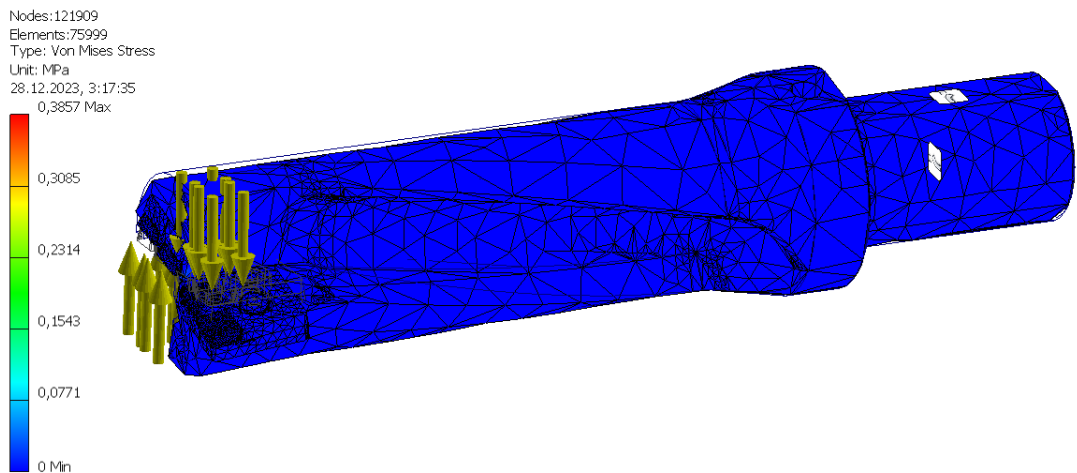


Рисунок 3.3 – Напруження за Мізесом

Мізесове напруження (або також відоме як еквівалентне напруження Мізеса) враховує ефективність напружень, що викликають пластичну деформацію в матеріалі. У випадках пластичної деформації матеріали можуть втратити свою форму без повернення в початковий стан. Мізесове напруження враховує деформаційні компоненти та орієнтовано на визначення критичних умов для початку пластичної деформації.

Мізесове напруження дозволяє оцінити критичні умови для пластичної деформації, не звертаючи уваги на конкретні напрямки головних напружень, і є корисним для визначення межі міцності матеріалу за умови пластичної деформації.

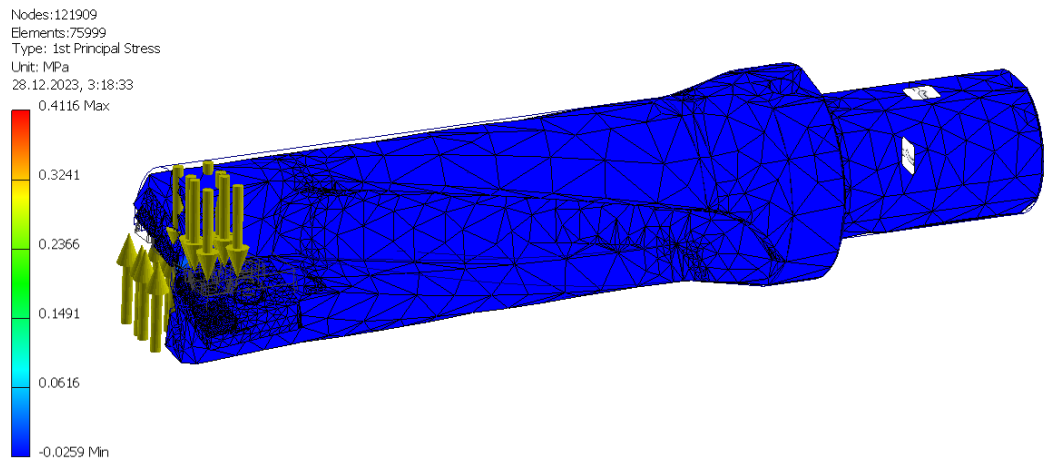


Рисунок 3.4 – діаграма 1-го напруження

У контексті механіки матеріалів і теорії пружності розглядаються головні напруження, які визначаються за допомогою тензору напружень.

Головні напруження - це три максимальні інтенсивності напружень в певній точці тіла, орієнтовані вздовж головних напрямів. Вони позначаються як σ_1 , σ_2 та σ_3 . Перше напруження (σ_1) є максимальним серед цих головних напружень. Воно вказує на максимальне розтягнення або стискання в матеріалі в даній точці. Головні напруження грають важливу роль у визначенні міцності матеріалу та в прогнозуванні його поведінки під навантаженням.

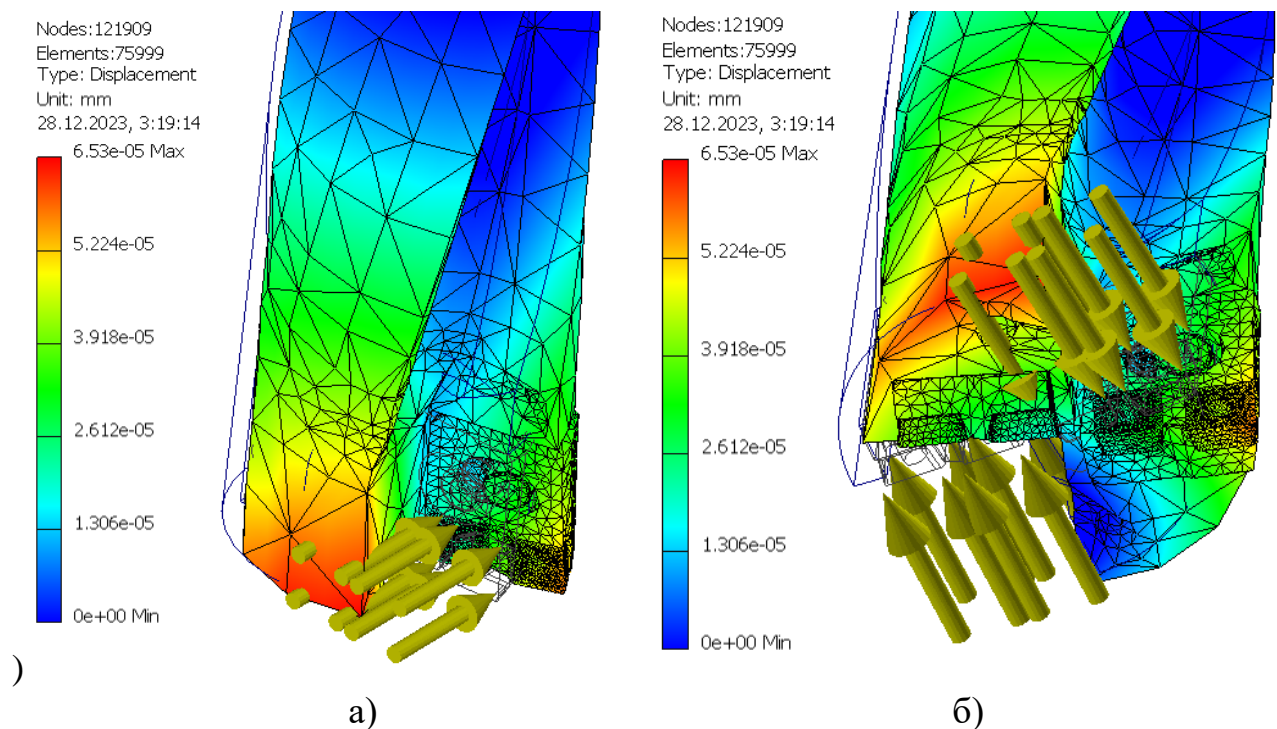


Рисунок 3.5 – Діаграм зміщення корпусу свердла в зоні різання

Важливим параметром при виконанні статичного аналізу є коефіцієнт запасу міцності. Проте він, як правило завжди «зашкалює» тобто при мінімальних вимогах рівним 2 – він може бути рівним близько 20 і вище. Це означає 20 кратний запас міцності.

Іншим цікавим параметром є зміщення. Це важливий параметр, котрий для нас інженерів-верстатників може свідчити про причину виникнення похибок, якості оброблювальної поверхні та форми отвору.

Виконуємо модальний аналіз для визначення частот власних коливань. Він є важливим етапом інженерного дослідження конструкцій та механізмів. Проводиться він після статичного аналізу та орієнтований на вивчення динамічної поведінки системи. Основною метою модального аналізу є визначення власних частот і форм коливань конструкції.

Власні частоти:

Визначення частот коливань: Модальний аналіз дозволяє визначити ті частоти, при яких конструкція приймає коливання від власних внутрішніх енергетичних резонансів. Це дозволяє уникнути роботи конструкції при цих частотах, що може призвести до небажаних наслідків.

Форми Коливань:

Визначення Шаблонів Коливань: Модальний аналіз також вказує на форми або шаблони, в яких конструкція коливається при різних частотах. Це інформація корисна для визначення впливу окремих частин конструкції на загальну динамічну стійкість.

Розрахунок Амплітуд і Фаз:

Оцінка Амплітуд Коливань: Модальний аналіз може вказати на амплітуди коливань для кожної форми коливань та їх взаємодії. Це дозволяє інженерам оцінити потенційний вплив динамічних навантажень.

Взаємодія з окремими модами:

Вивчення взаємодії модів коливань: Деякі конструкції можуть мати складні форми коливань, які взаємодіють між собою. Модальний аналіз дозволяє вивчати цю взаємодію, що важливо при проектуванні складних систем.

Визначення динамічних зон послаблення:

Оцінка зон, які піддаються коливанням: Знання про форми коливань і власні частоти дозволяє визначити частини конструкції, які можуть бути особливо вразливими до динамічних навантажень.

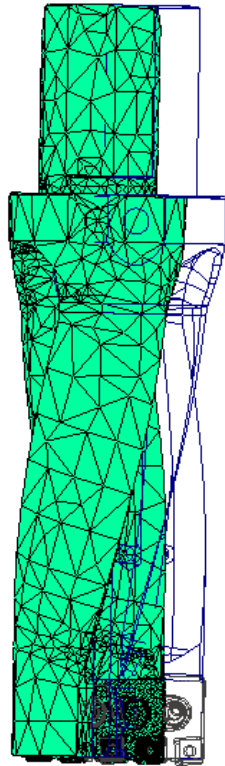
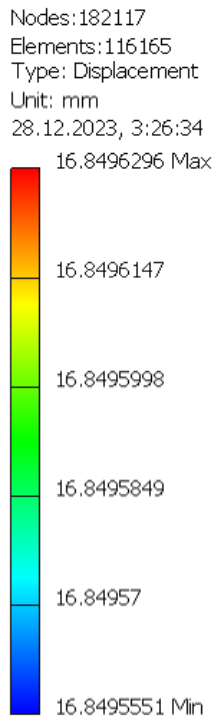


Рисунок 3.5 - 1-а частота

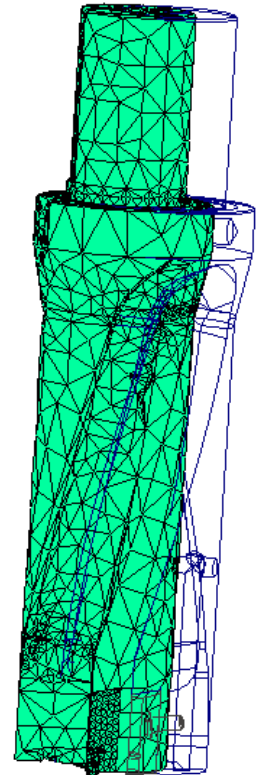
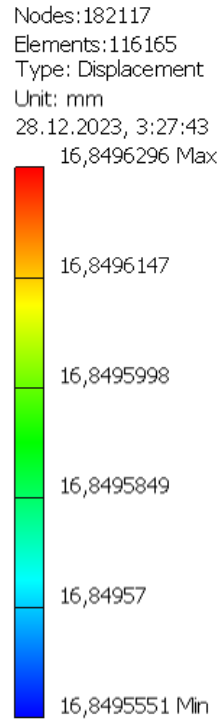


Рисунок 3.6 - 2-га частота

Модальний аналіз є ключовим для розуміння динамічної поведінки конструкції та забезпечення її оптимальної працездатності та довговічності під динамічними умовами експлуатації. Результати цього аналізу дозволяють інженерам уникати небезпечних режимів коливань і оптимізувати конструкцію для досягнення найкращих динамічних характеристик

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:28:25
16,8496296 Max

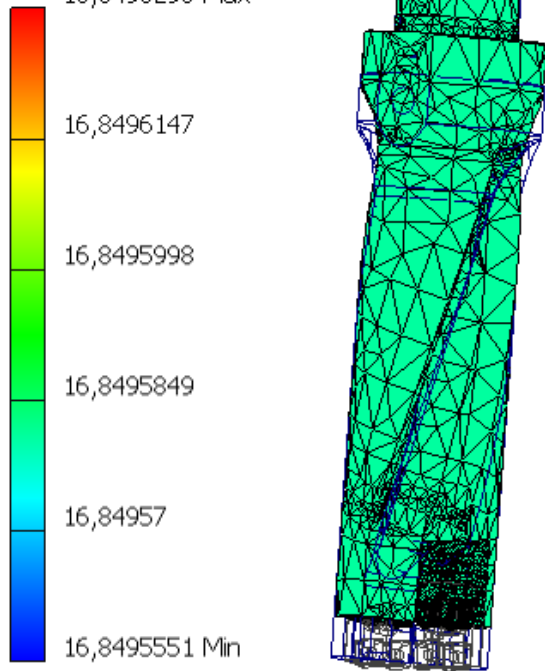


Рисунок 3.7 – 3-тя частота

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:29:30
16,85 Max

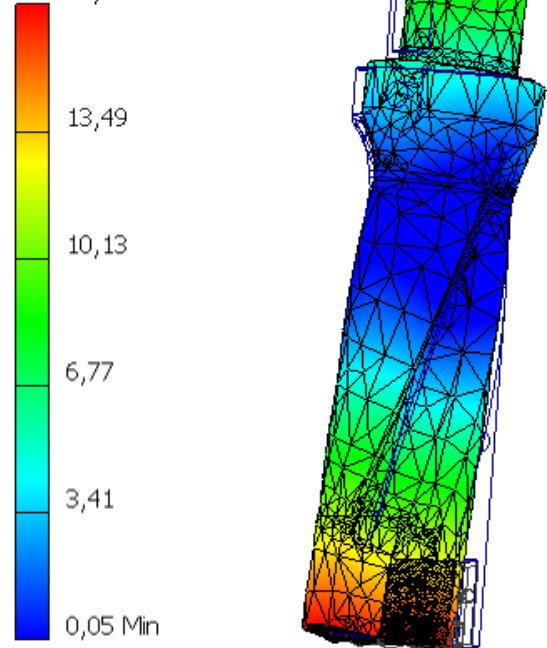


Рисунок 3.8 – 4-та- частота

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:30:12
16,85 Max

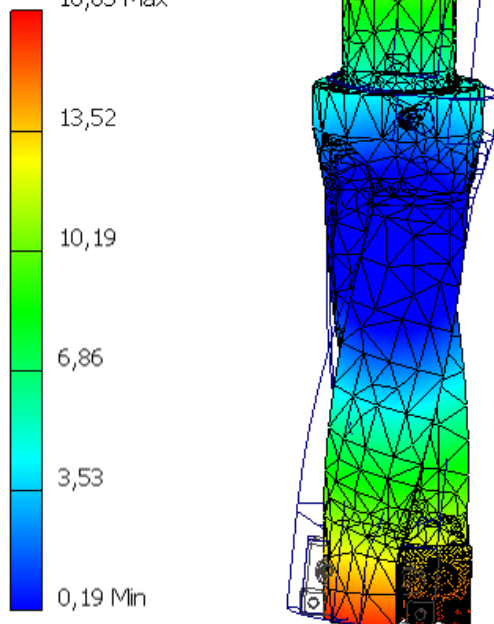


Рисунок 3.9 – 5-та частота

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:30:33
16,85 Max

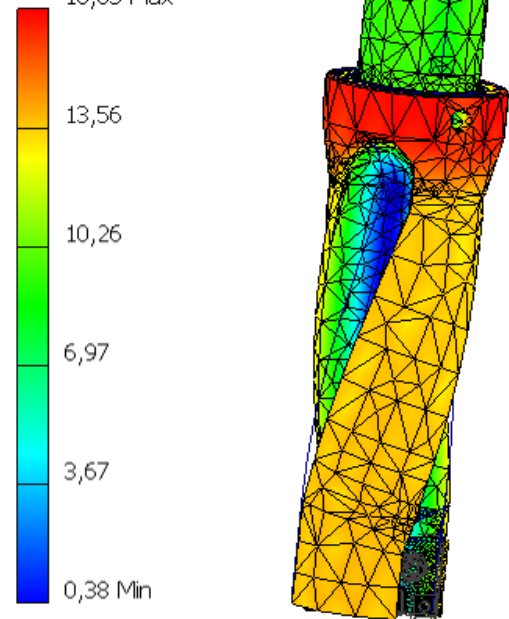


Рисунок 3.10 – 6-та частота

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:31:00
16,85 Max

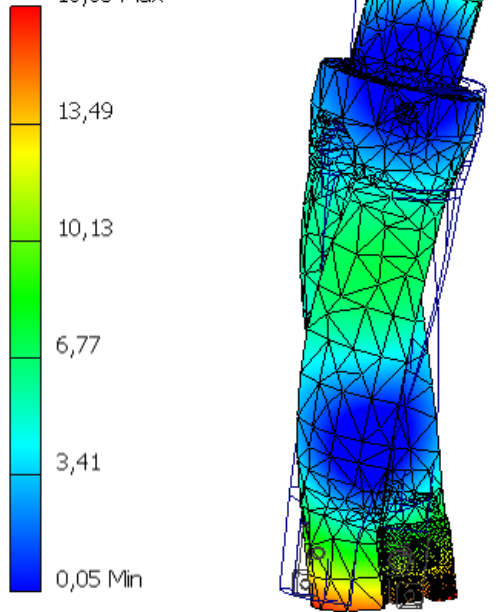


Рисунок 3.11 – 7 – ма частота
складає $F=1859,04$ Hz

Nodes:182117
Elements:116165
Type: Displacement
Unit: mm
28.12.2023, 3:31:27
16,85 Max

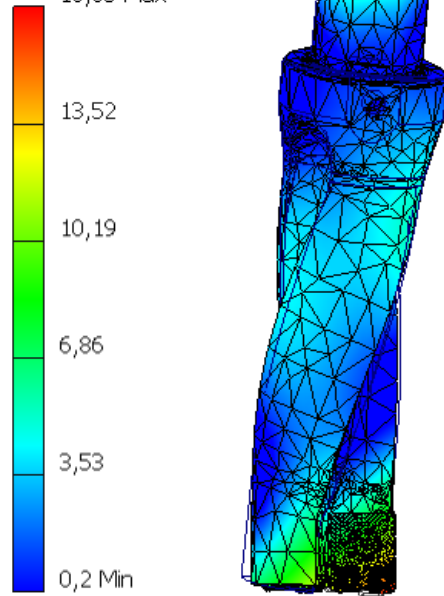


Рисунок 3.12 – 8-ма частота
складає $F=2650,51$ Hz

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

В процесі виконання магістерського дослідження і проведених інформаційно-патентних пошуків, які передбачали вивчення перспектив використання технологій генеративного проектування та можливості впровадження їх у виробництві деталей верстатів було опубліковано тези [22]:

П.С. Нікітюк, А.В. Гагалюк. Дослідження параметрів свердла збірної конструкції. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року – Тернопіль: ТНТУ. – С. 84.

3.4. Висновки за результатами наукового дослідження

На основі проведеного моделювання можна зробити наступні висновки та

дати рекомендації:

1. Свердла із ЗТП є чудовим інструментом, який має значно ширші технологічні можливості, ніж звичайні двох перові спіральні свердла. Збірні свердла можуть мати різні конфігурації пластин, які дозволяють їм пристосовуватися до конкретних умов свердління. Наприклад, пластини можуть бути розташовані в специфічному порядку для забезпечення кращої стійкості і зносостійкості.
2. Збірні свердла із пластинами із твердого сплаву можуть застосовуватися в різноманітних матеріалах, від м'яких до дуже твердих. Залежно від конкретного типу твердосплавного матеріалу і конструкції свердла, вони можуть бути ефективними для свердління отворів різного діаметру і глибини. Довговічність і вартість: Через високу твердість твердосплавних матеріалів, збірні свердла можуть бути довговічними. Однак вони можуть бути дорожчими порівняно зі звичайними свердлами, і їх вартість може залежати від використаного твердосплавного матеріалу та конструкції.
3. Збірні суцільні свердла можуть мати покриття, які забезпечують стійкість до зносу, що особливо важливо при обробці твердих і абразивних матеріалів. Проте Для задоволення високих вимог до точності і контролю глибини свердління, суцільні свердла можуть бути використані для створення отворів з високою точністю.
4. У деяких випадках суцільні збірні свердла можуть бути більш економічно вигідними порівняно зі збірними свердлами із пластинками із твердого сплаву, особливо якщо необхідна велика кількість однотипних отворів. Загалом, вибір між збірними суцільними свердлами із пластинками із твердого сплаву залежить від конкретних вимог завдання та умов обробки матеріалу. У багатьох випадках обидва типи свердел можуть знаходити своє застосування в різних областях металообробки.

Рекомендації:

1. Використання збірних свердл може бути ефективним, якщо дотримуватися правильних технік та рекомендацій. Опрацювавши літературу можна ствердно зауважити, що свердлі із ЗТП мають недоліки, проте їх необхідно використовувати згідно інструкції. Вони не терплять «самодіяльності». Забезпечте ефективне охолодження і змащення під час свердління. Використовуйте відповідні рідини для змащення, щоб зменшити тертя і видалити тепло, яке виникає під час процесу.
2. встановлюйте оптимальну швидкість обертання і подачу відповідно до типу матеріалу і розміру свердла. Неправильні налаштування можуть призвести до перегріву і зносу інструмента.
3. Використання стійких до зносу матеріалів: Збірні свердла із спеціальними покриттями або виготовлені зі стійких до зносу матеріалів можуть бути корисними для подовження терміну служби і підвищення продуктивності.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці при роботі на свердлильних верстатах.

Дія інструкції з охорони праці при роботі на свердлильному верстаті поширюється на всіх працівників навчального закладу, які при виконанні своїх посадових обов'язків використовують свердлильний верстат (інструкторів з праці, вчителів технології, педагогів додаткової освіти, робітників та ін.).

До роботи на свердлильних верстатах допускаються особи:

- які досягли 18 років, пройшли обов'язковий періодичний медичний огляд та не мають медичних протипоказань для роботи на свердлильних верстатах;
- отримали спеціальне навчання або мають відповідний досвід роботи;
- пройшли вступний інструктаж з електробезпеки з присвоєнням III групи допуску;
- ознайомлені з даною інструкцією, з вимогами інструкції з охорони праці у відповідному приміщенні (місці установки верстата).

Працюючий на свердлильному верстаті зобов'язаний суворо дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку та режиму роботи загальноосвітнього навчального закладу.

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

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

Працюючий на верстаті зобов'язаний знати місце розташування аптечки та вміти надавати першу долікарську допомогу потерпілому. В процесі виконання роботи працівник зобов'язаний дотримуватися правил носіння спецодягу, користування засобами індивідуального і колективного захисту, дотримуватися правил особистої гігієни, утримувати в чистоті своє робоче місце. Свердлильний

верстат повинен бути обладнаний захисним огородженням, спеціальним склом або корпусом. Корпус свердлильного верстата повинен бути заземлений. Робоче місце і робоча зона повинні мати хороше освітлення. Світло не має бути занадто яскравим, щоб не сліпити очі співробітнику, який виконує роботу. Для зміни свердл, очищення верстата, прибирання робочого місця необхідно використовувати допоміжні інструменти (ключ, гачок, щітка, совок, скребок тощо). Про всі несправності свердлильного верстата працівник зобов'язаний негайно повідомити черговому адміністратору установи, зробити запис у журналі. У разі отримання травми працівник зобов'язаний негайно проінформувати про те, що трапилося, чергового адміністратора та шкільну медичну сестру, при необхідності – самостійно надати долікарську допомогу. За невиконання правил інструкції з охорони праці при роботі на свердлильному верстаті вчитель технології несе персональну відповідальність згідно з чинним законодавством.

Вимоги охорони праці перед початком роботи на свердлильному верстаті

Перед початком роботи на свердлильному верстаті необхідно надіти спецодяг, ретельно заправити волосся під головний убір та перевірити справність засобів індивідуального захисту (захисні окуляри; діелектричні килимки). Добре оглянути робоче місце, позбутися зайвих предметів, що заважають, переконатися у справності роботи системи вентиляції. Провести зовнішній огляд верстата і переконатися:

- у вільному доступі до пускового пристрою;
- працездатності гальмівного пристрою і блокувань (блокування має забезпечувати неприпустимість самостійного включення верстата при відкритій дверці огорожі);
- у справності педального механізму і маслосистеми (потрібної кількості масла в насосі, перевірити, чи немає витоку мастила);
- у правильній освітлення свого робочого місця.

Короткочасним включенням перевірити справність роботи свердлильного верстата. Якщо була виявлена несправність верстата або робочої системи вентиляції, працівник зобов'язаний негайно сповістити інженера з охорони праці, заступника директора з АГР, а за їх відсутності на робочому місці – директора школи або чергового адміністратора та зробити відповідний запис у журналі реєстрації заявок. Перед підключенням верстата до електромережі, при необхідності, стати на діелектричний килимок (якщо покриття підлоги виконане із струмопровідного матеріалу). Забороняється включати верстат в електричну мережу мокрими і вологими руками.

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

Вимоги охорони праці під час роботи на свердлильному верстаті

Під час роботи на свердлильному верстаті необхідно суворо дотримуватися справжньої інструкції з охорони праці при виконанні робіт на свердлильному верстаті.

Наявність напруги в електромережі перевіряти тільки спеціальним покажчиком напруги. Стежити за справною роботою верстата, системи вентиляції, цілісністю ізоляції та наявності неушкодженого заземлення.

Працюючий на свердлильному верстаті зобов'язаний:

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

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

Під час виконання роботи на свердлильному верстаті забороняється:

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

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

Використання іонізаторів повітря допускається в приміщенні майстерні тільки під час перерв у роботі та за відсутності людей.

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

Вимоги охорони праці після закінчення роботи на свердлильному верстаті

Після закінчення роботи на свердлильному верстаті працівник зобов'язаний:

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

Перекрити крани з водою, щільно закрити всі вікна, вимкнути освітлення.

При виявленні несправності обладнання, порушення цілісності вікон, негайно поставити до відома заступника директора з АГР, за його відсутності на робочому місці - чергового адміністратора школи та зробити відповідний запис у журналі заявок.

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

До небезпечних факторів при роботі на свердлильному верстаті відносяться:

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

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

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

При появі різного стуку, вібрації, або зміни характерного шуму, перегріві робочого інструменту (свердла, підшипників), появі запаху горілого або диму, поломки свердла, а також при несправності заземлення корпусу верстата, негайно припинити роботу, відвести свердло від заготовки і відразу вимкнути свердлильний верстат. Повідомити про несправності заступнику директора з АГР, а в разі його відсутності – черговому адміністратору або директору школи. Роботу дозволяється продовжувати тільки після усунення несправності.

Працівник зобов'язаний вміти надавати долікарську допомогу. Така допомога надається негайно, на місці події у правильній послідовності. На початку необхідно усунути джерело травмування (вимкнути двигун, зупинити механізм тощо). Надання першої допомоги треба починати з самого головного, що загрожує здоров'ю або життю людини (при сильній кровотечі накласти джгут, вкласти записку із зазначенням часу накладення джгута, а потім перев'язати рану; при наявності закритого перелому – накласти шину; при відкритих переломах спочатку слід перев'язати рану, накласти шину; при опіках – накласти суху

пов'язку), потім викликати швидку допомогу. При підозрі на ушкодження хребта, покласти потерпілого на тверду поверхню та, якомога швидше, транспортувати до найближчого медичного закладу для надання допомоги.

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання спіральних свердл із швидкорізальної сталі дозволяють отримувати отвори, 10 - 9 квалітети, що дозволяє не застосовувати додаткові технологічні операції, як розсвердлювання, зенкерування, розвертання, що робить отримання отвору відповідної точності достатньо трудомістким процесом; суцільні свердла більше схильні до відводу, через форму різальних кромek, а затуплення, викришування, поломка зумовлюють провести заміну усього інструменту на відміну від заміни твердосплавної пластинки.
2. Вагомою перевагою твердосплавних пластин є широкий спектр з різними геометричними характеристиками, що значно розширює технологічні можливості корпусу свердла і виконувати їх швидко заміну. Застосування свердл збірної конструкції на токарних верстатах дозволяє використовувати периферійну пластину у якості розточувального різця, що дозволяє розширювати технологічні можливості верстата.
3. Свердла із ЗТП є чудовим інструментом, який має значно ширші технологічні можливості, ніж звичайні двох перові спіральні свердла. Збірні свердла можуть мати різні конфігурації пластин, які дозволяють їм пристосовуватися до конкретних умов свердління. Наприклад, пластини можуть бути розташовані в специфічному порядку для забезпечення кращої стійкості і зносостійкості.
4. Збірні свердла із пластинами із твердого сплаву можуть застосовуватися в різноманітних матеріалах, від м'яких до дуже твердих. Залежно від конкретного типу твердосплавного матеріалу і конструкції свердла, вони можуть бути ефективними для свердління отворів різного діаметру і глибини. Довговічність і вартість: Через високу твердість твердосплавних матеріалів, збірні свердла можуть бути довговічними. Однак вони можуть бути дорожчими порівняно зі звичайними свердлами, і їх вартість може залежати від використаного

твердосплавного матеріалу та конструкції.

5. Збірні суцільні свердла можуть мати покриття, які забезпечують стійкість до зносу, що особливо важливо при обробці твердих і абразивних матеріалів. Проте Для задоволення високих вимог до точності і контролю глибини свердління, суцільні свердла можуть бути використані для створення отворів з високою точністю.
6. У деяких випадках суцільні збірні свердла можуть бути більш економічно вигідними порівняно зі збірними свердлами із пластинками із твердого сплаву, особливо якщо необхідна велика кількість однотипних отворів. Загалом, вибір між збірними суцільними свердлами із пластинками із твердого сплаву залежить від конкретних вимог завдання та умов обробки матеріалу. У багатьох випадках обидва типи свердел можуть знаходити своє застосування в різних областях металообробки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологічне оснащення для високоефективної обробки деталей на токарних верстатах: монографія/ [Кузнєцов Ю.М., Луців І.В., Шевченко О.В., Волошин В.Н.]. – К.: – Тернопіль: Тернограф, 2011. – 692 с.
2. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці: Навчальний посібник/ Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук. – Ж.: ЖІТІ, 2000. – 332с.
3. Щигельський Д.П. Дослідження використання саморегульованих свердел для роботи на багатошпиндельному свердлильному верстаті : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю "133 — галузеве машинобудування“ / Д.П. Щищельський. — Тернопіль: ТНТУ, 2022. — 94 с.
4. Доля В.М. Технологія обробки типових деталей: Конспект лекцій для студентів спеціальності 7.090.202 «Технологія машинобудування» усіх форм навчання. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – 64 с.
5. Substantiation of parameters for three-cutter boring head with allowance and feed distribution and asymmetric cutter position / Petro Kryvyi, Volodymyr Krupa, Volodymyr Kobelnyk, Yaroslav Kosiv. // Scientific Journal of TNTU. — Ternopil : TNTU, 2019. — Vol 96. — No 4. — P. 57–69.
6. V. Krupa, N. Tymoshenko, V. Kobelnyk, I. Petrechko, Probability-statistical estimation method of feed influence on the tangential cutting force under turning, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering 114/1 (2022) 22-31.
7. Кобельник В.Р. Використання методу ітерацій для дослідження точності подач металорізальних верстатів/Кобельник В.Р, Крупа В.В., Тимошенко Н.М. // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво: тези допов. – Краматорськ:

ДДМА, 2018. С. 78-80.

8. Кобельник В.Р. Ефективність керованого процесу свердління наскрізних отворів шляхом забезпечення зміни подачі / В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2012. – Вип. № 31. – С. 47–56.
9. Кобельник В.Р. Жорсткість вертикально-свердлильних верстатів / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2007. – Вип. № 1 (40). – С. 34–40.
10. Кобельник В.Р. Методика дослідження кінематичної точності механізму подач вертикально-свердлильних верстатів на прикладі верстата моделі 2Н118 / В.Р. Кобельник, П.Д. Кривий // Процеси механічної обробки в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2010. – Вип. 8. – С. 99–108.
11. 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.
12. Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.
13. Кривий П.Д. Вплив головного заднього кута спірального свердла на осьове зусилля і крутний момент при свердлінні // П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ – Київ, 2006. – Вип. № 19. – С. 58–64.
14. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення зменшення задирок при наскрізному свердлінні / П.Д. Кривий, В.Р.

- Кобельник // Всеукраїнська молодіжна конференція «Машинобудування України очима молодих : прогресивні ідеї – наука – виробництво, 22 – 25 жовтня 2012 р. : тези допов. – К. : КПІ, 2012. – Том 1. – С. 71–73.
15. Кривий П.Д. Конструкторсько-технологічне забезпечення процесу свердління наскрізних отворів / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – Вип. № 28. – С. 77–85.
 16. Кривий П.Д. Методи вимірювання головного заднього кута спірального свердла / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, В.І. Продан, В.Г. Яковлев // Науковий вісник ХДМА : Науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 2 (7). – С. 145–155.
 17. Кривий П.Д. Про характер зміни подачі при виході інструменту із тіла заготовки в процесі свердління наскрізних отворів / П.Д. Кривий, В.Р. Кобельник, М.І. Кузьмін // Вісник ТНТУ: Науковий журнал. – Тернопіль : ТНТУ, 2012. – № 4 (68). – С. 114–127.
 18. Уточнений метод апріорно-емпіричних функцій визначення закону розподілу та його характеристик на основі малої вибірки / П.Д. Кривий, Н.М. Тимошенко, В.О. Дзюра, В.Р. Кобельник // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 132–133.
 19. Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / В.В. Шанайда. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
 20. G.G.Lakić, D.Kramar, J.Kopač. Metal Cutting. Theory and Applications. Banja Luka and Ljubljana, 2014. 215 p.

21. Я.О. Танавський, А. В. Гагалюк. Дослідження параметрів конструкції багатошпindelної свердлильної головки. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року. С. 83.
22. .С. Нікітюк, А.В. Гагалюк. Дослідження параметрів свердла збірної конструкції. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 6-7 грудня 2023 року – Тернопіль: ТНТУ. – С. 84.
23. Каталог Sandvik-Coromant. Свердління. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/Свердління-Sandvik-Coromant.pdf>
24. Каталог Guehring. Свердління. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/02 Свердління -Guehring.pdf>
25. Каталог Dormer&Pramet.. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/02 Свердління-dormer.pdf>
26. Каталог NIKA-Winstar-2021-Indexable-Drills. URL: <https://www.nikas.com.ua/skachaty-katalog/NIKA-Winstar-2021-Indexable-Drills.pdf>
27. Решения TaeguTec в области обработки отверстий. URL: <https://taegutec.com.ua/resheniya-taegutec-v-oblasti-obrabotki-otverstij/>

ДОДАТКИ