

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Обґрунтування параметрів розвертки для формування
поверхневого шару посадкових отворів головки клапанів автомобілів KIA**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи МВм-61
напряму підготовки (спеціальності)

133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<u>Смалій О.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Гагалюк А.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Кобельник В.Р.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Зав. кафедри	<u>Крупа В.В.</u> (підпис) (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u></u> (підпис) (прізвище та ініціали)

Факультет

Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра

Конструювання верстатів, інструментів та машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри ВІ

к.т.н., доц. Крупа В.В.

«16»

листопада

2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Смалію Олександрові Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи:

Обґрунтування параметрів розвертки для формування поверхневого шару посадкових отворів головки клапанів автомобілів KIA

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 № 4/7-1066 від

«08»

листопада

2024 р.

2. Термін подання студентом завершеної роботи

«28» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

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

Вступ, 1. Аналітичний розділ. 2. Проектний розділ. 3. Дослідний розділ

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки. Перелік посилань

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

Тема і мета дослідження – 1 фА1, Інформаційно-патентний пошук – фА1,

Проектний розділ – фА1, Дослідний розділ – фА1

Загальні висновки – 1 фА1

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 10 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ, Аналітичний розділ</i>	<i>24.11.2024 р.</i>	
2.	<i>Проектний розділ</i>	<i>27.11.2024 р.</i>	
3.	<i>Дослідний розділ</i>	<i>4.12.2024 р.</i>	
4.	<i>Охорона праці</i>	<i>7.12.2024 р.</i>	
5.	<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>7.12.2024 р.</i>	
6.	<i>Загальні висновки</i>	<i>11.12.2024 р.</i>	
7.	<i>Перелік посилань</i>	<i>15.12.2024 р.</i>	
8.	<i>Додатки, креслення та плакати</i>	<i>21.12.2024 р.</i>	

Студент

(підпис)

Смалій О.В.

(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)

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи	11
1.1.1 Передумови виникнення несправностей двигунів КІА	11
1.1.2 Класифікація отворів і методи їх отримання	13
1.2 Інформаційно-патентний пошук	17
1.2.1 Огляд конструкцій розверток	17
1.2.2 Технологічні аспекти процесу розвертання	23
1.3 Висновки, постановка мети та задач дослідження	29
2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ	30
2.1 Методика проектування розвертки	30
2.2 Розрахунок можливості проектування різально-вигладжувальної розвертки	32
3 ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	40
3.1 Методика та план проведення наукових досліджень	40
3.2 Дослідження 3D – моделі розвертки	41
3.3 Обговорення та аналіз отриманих результатів* (*оприлюднені результати досліджень подаються в додатках)	49
3.4 Висновки за результатами наукового дослідження	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
4.1 Охорона праці при роботі на свердлильних верстатах.	51
4.2 Безпека при надзвичайних ситуаціях стосовно роботи на свердлильних верстатах та відповідні заходи для її забезпечення	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	60
ДОДАТКИ	61

АНОТАЦІЯ

Смалій О.В. «Обґрунтування параметрів розвертки для формування поверхневого шару посадкових отворів головки клапанів автомобілів KIA». 133 – Галузеве машинобудування; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя; м. Тернопіль, 2024 р.

Мета і завдання кваліфікаційно роботи – дослідити параметри конструкції розвертки та її вплив на формування поверхневого шару посадкових отворів головки клапанів.

Завдання дослідження:

- аналіз передчасних поломок двигунів;
- проаналізувати отвори та їх методи отримання;
- виконати аналіз конструкцій розверток;
- виконати інформаційно-патентний пошук;
- методику проектування розвертки ;
- виконати розрахунки щодо можливості проектування різально-вигладжувальної розвертки.
- спроектувати 3D-модель різально-вигладжувальної розвертки
- дослідити напружено-деформований стан 3D-моделі та провести її модальний аналіз.

Об’єкт дослідження – процес розвертання напрямних втулок клапанів.

Предмет дослідження – конструктивні та геометричні параметри розвертки.

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

Загальні висновки:

1. Використання розверток є одним із найдоступніших і відносно дешевих методів для отримання точних отворів по 6-7 квалітетах; зафіксовано можливість досягнення 5 квалітету точності, проте через значне зростання в ціні він економічно не вигідний;

2. встановлено, що на якість розвертання отворів має прямий вплив попередні види обробки, як свердління і зенкерування;
3. Прагнення зменшити навантаження на розвертку призводять до того, що через занадто малий припуск розвертка не виконує процес різання, а відбувається процес пластичного деформування поверхневих шарів. Це суперечить очікуваним результатам;
4. Дослідження показали, що використання екстремальної кутової нерівномірності створюють кращий ефект на забезпечення круглості профілю отвору;
5. Використання зрізувально-згладжувальних розверток потребує детального аналізу і подальшого дослідження, адже ідея давно відома, проте на виробництві не набула широкого вжитку.
6. Розрахунки в науковій роботі виконані на основі досліджень [25] показали, що кути зминання можуть бути меншими від зазначених. Твердість взаємних матеріалів значно більше впливає, а ніж режими різання.
7. Моделювання виконане нами не може врахувати усієї багатфакторності експериментальних досліджень, проте є підтвердженням теоретичної підготовки виконаної раніше. Ці дослідження, принаймні можуть спрямувати нас в напрямку розроблення багатоваріантності конструкцій розверток. Тому для отримання більш адекватних результатів досліджень необхідно більш детально підходити до задавання вхідних умов моделі.
8. Для теоретично-наукових пошуків дослідження представляє інтерес, проте на практиці краще буде використовувати 2 окремих інструменти, адже чим простіше тим краще. Це пояснюється не лише науковою новизною, практичною доцільністю, а й вартістю експлуатації. Цей інструмент у першу чергу орієнтований на масове виробництво.
9. Як наслідок з попередніх пунктів, подібні технічні проблеми є рушієм для пошуку чогось нового, а в цьому випадку конструкцій розверток, адже у промисловості є приклади успішного використання комбінованого інструменту.

Smaliy O.V. “Justification of reamer parameters for forming the surface layer of seating holes in valve heads of KIA vehicles.”. 133 – Branch Mechanical Engineering; Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University; Ternopil, 2024.

The purpose and tasks of the qualification work are to investigate the design parameters of the reamer and its influence on the formation of the surface layer of the valve head landing holes.

Research tasks:

- analysis of premature engine failures;
- analyze the holes and their methods of obtaining;
- perform an analysis of the designs of reamers;
- perform an information and patent search;
- reamer design methodology;
- perform calculations on the possibility of designing a cutting-smoothing reamer.
- design a 3D model of a cutting-smoothing reamer
- investigate the stress-strain state of the 3D model and conduct its modal analysis.

The object of the study is the process of reaming valve guide bushings.

The subject of the study is the structural and geometric parameters of the reamer.

Research methods. Theoretical research is based on the MFE, the use of the generative design module, and morphological analysis.

General conclusions:

1. The use of reamers is one of the most accessible and relatively cheap methods for obtaining precise holes of 6-7 qualities; the possibility of achieving 5 quality of accuracy has been recorded, but due to a significant increase in price it is not economically profitable;
2. it has been established that the quality of reaming holes is directly influenced by previous types of processing, such as drilling and countersinking;
3. The desire to reduce the load on the reamer leads to the fact that due to too small an allowance, the reamer does not perform the cutting process, but the process of plastic

deformation of the surface layers occurs. This contradicts the expected results;

4. Studies have shown that the use of extreme angular unevenness creates a better effect on ensuring the roundness of the hole profile;
5. The use of cutting-smoothing reamers requires detailed analysis and further research, because the idea has been known for a long time, but has not become widely used in production.
6. Calculations in the scientific work performed on the basis of research [25] showed that the creasing angles can be smaller than those indicated. The hardness of the mutual materials has a much greater influence than the cutting modes.
7. The modeling performed by us cannot take into account the entire multifactoriality of experimental studies, but it is a confirmation of the theoretical preparation performed earlier. These studies, at least, can direct us in the direction of developing multivariate designs of reamers. Therefore, to obtain more adequate research results, it is necessary to approach the input conditions of the model in more detail.
8. For theoretical and scientific research, the study is of interest, but in practice it will be better to use 2 separate tools, because the simpler the better. This is explained not only by scientific novelty, practical feasibility, but also by the cost of operation. This tool is primarily focused on mass production.
9. As a consequence of the previous points, such technical problems are the driving force for the search for something new, and in this case, reamer designs, because there are examples of successful use of a combined tool in industry.

ВСТУП

Актуальність теми. Розвертання залишається єдиним фінішним видом оброблення отворів котрий здатний забезпечити 7-6 квалітети точності. Розвертання є однією з найважливіших операцій у машинобудуванні, яка визначає якість готових деталей і надійність механізмів. У сучасній промисловості отвори використовуються в різноманітних вузлах і агрегатах, виконуючи функції напрямних, кріпильних і транспортних елементів. Зокрема, у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ), де точність і якість отворів забезпечує точне взаємне базування вузлів та агрегатів. Однак навіть після свердління або лиття отвори рідко відповідають необхідним технічним параметрам. Тому розвертання є ключовим процесом для досягнення високої точності й чистоти поверхні, що сприяє довговічності й ефективності роботи механізмів.

Розвертання отворів виконується спеціальним інструментом — розверткою, яка дозволяє обробляти отвори з високою точністю, забезпечуючи оптимальні розміри, геометрію та якість поверхні. Розвертка знімає тонкий шар матеріалу, усуваючи дефекти, що залишилися після попередніх операцій, таких як свердління, зенкерування або лиття. Завдяки цьому розвертання є важливою складовою технологічного процесу виробництва деталей для широкого спектра застосувань — від дрібної точної механіки до важкої промисловості.

Мета і завдання кваліфікаційно роботи – дослідити параметри конструкції розвертки та її вплив на формування поверхневого шару посадкових отворів головки клапанів.

Завдання дослідження:

- аналіз передчасних поломок двигунів;
- проаналізувати отвори та їх методи отримання;
- виконати аналіз конструкцій розверток;
- виконати інформаційно-патентний пошук;
- методику проектування розвертки ;
- виконати розрахунки щодо можливості проектування різально-вигладжувальної розвертки.

Об'єкт дослідження – процес розвертання напрямних втулок клапанів.

Предмет дослідження – конструктивні та геометричні параметри розвертки.

Методи дослідження. Проведення теоретичних досліджень ґрунтується на математичному апараті, МСЕ, використання вбудованих модулів САПР для розрахунку статичного аналізу досліджуваних конструкцій.

Практичне значення одержаних результатів. Запропонована методика щодо розрахунку і підбору розверток з врахуванням поля допуску отвору, який враховує також розбиття отвору. Наведено методику розрахунку зрізувально-розгладжувальної розвертки

Публікації. За темою кваліфікаційної роботи опубліковано тези конференції:

Гагалюк А.В., Смалій Ю.С., Смалій О.В. Обґрунтування параметрів розвертки для формування поверхневого шару посадкових отворів. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»* : зб. тез доп., м.Тернопіль, 11–12 груд. 2024 р. Тернопіль, 2024. С. 96. URL: [https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001070/TNTU_Aktualni_zadachi_suchasnyh_technologiy_2024.pdf](https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001070/TNTU_Aktualni_zadachi_suchasnyh_tehnologiy_2024.pdf)

Структура роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків і переліку посилань із 40 джерел, додатків_____.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Огляд та аналіз проблематики кваліфікаційної роботи

1.1.1 Передумови виникнення несправностей двигунів KIA

Автомобілі KIA входять в двадцятку брендів, що продаються з перемінним успіхом в Україні, а Південна Корея займає 9 сходинку за ввезенням користованих автомобілів цієї марки після ЄС і США. Kia Motors Corporation – другий за величиною автовиробник Південної Кореї, що належить Hyundai. Вони разом утворюють конгломерат Hyundai Kia Automotive Group тому більшість автомобілів цих виробників максимально уніфіковані, використовують загальні деталі і значних відмінностей не мають. Бензинові та дизельні двигуни, що встановлюють на KIA аналогічні спорідненим Hyundai.

Найпоширенішим двигуном внутрішнього згорання для автомобілів KIA та Hyundai, представлених на ринку України, є бензинові двигуни об'ємом 1,6 л (G4FC), 2 л (G4KD) і 2,4 л (G4KE). З послабленням імпортного мита і ввезенням користованих автомобілів з Південної Кореї їх кількість тільки збільшилася. Особливу зацікавленість для ввезення мали KIA Optima і Hyundai Sonata із двигунами об'ємами 2,0 і 2,4 л із заводським газобалонним обладнанням або бензинові цих же об'ємів з метою подальшого переобладнання на ГБО, які поширено використовують в таксі. Гаму двигунів об'ємами від 1,4 л до 2,4 л почали випускати з 2007 року, котрі були створені інженерами одразу п'яти автомобільних компаній: Mitsubishi, KIA-Hyundai, Chrysler, Dodge і Jeep. Вони об'єдналися, щоб створити декілька спільних двигунів. Наприклад, нове покоління бензинового двигуна 2,4 л G4KE (з алюмінієвим блоком) замінило 4G69 Mitsubishi (із чавунним блоком). Mitsubishi назвала його сімейством 4B12, а Chrysler – World. Цей історичний факт має пряме відношення до розуміння причин і передумов виникнення несправностей.

Вихід з ладу масляного насосу є найпоширенішою причиною капітального ремонту двигуна, спричиненого масляним голодуванням і провертанням

шатунних вкладишів.

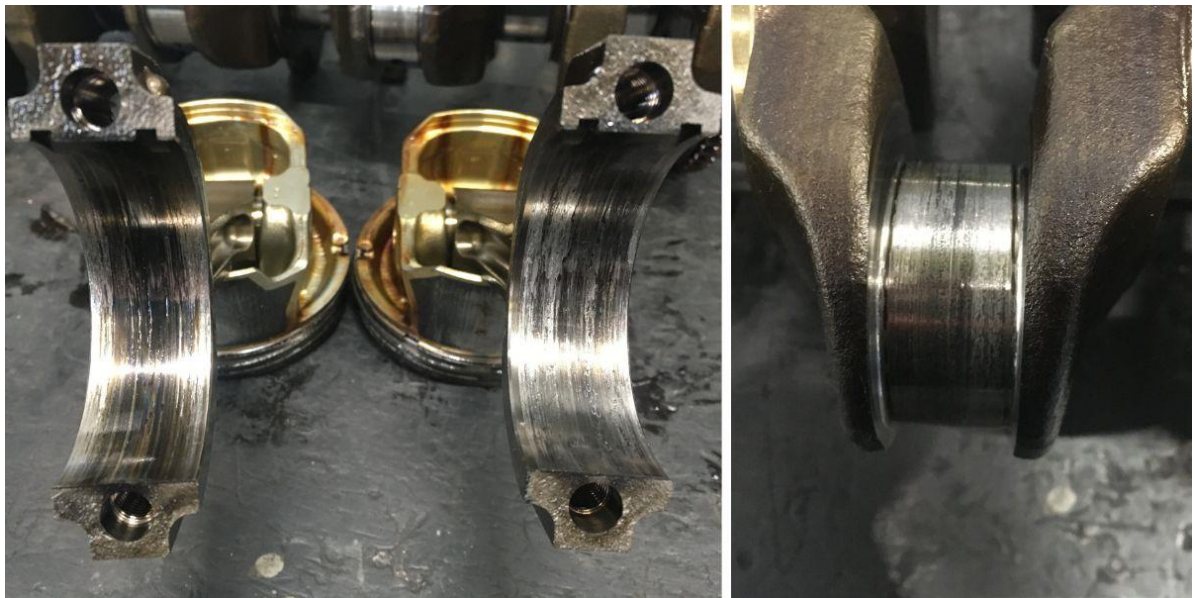


Рисунок 1.1 – Результат провертання вкладишів KIA Optima 2,4 л G4KE [26] внаслідок масляного голодування

При виявленні причин несправності двигуна, виходу його з ладу або призначенні капітального ремонту працівники автосервісу зобов'язані виконати перевірку інших агрегатів і вузлів, а саме посадкових отворів втулок клапанів і їх граничне зношування, прилягання клапанів до гнізд та величину зазорів між стрижнем клапанів та газорозподільчими валами тощо.

В процесі ремонту в головках блоків циліндрів виконують свердлильні і слюсарні операції з відновлення різьбових отворів, отворів під шпильки кріплення головки блоку циліндрів, розвертають отвори під свічки запалювання і нарізають ремонтну різь; після цього розвертками розвертають отвори направляючих втулок клапанів. Запресовують втулки і в них розвертають отвори під ремонтний або номінальний розміри. Наступною операцією є шліфування робочих фасок, сідел клапанів, після цього виконують фрезерування приєднувальної поверхні до блоку циліндрів. Заключними операціями є гідравлічне випробування головки циліндрів на можливі тріщини, протирання фасок сідел з клапанами і нижньої головки циліндрів.

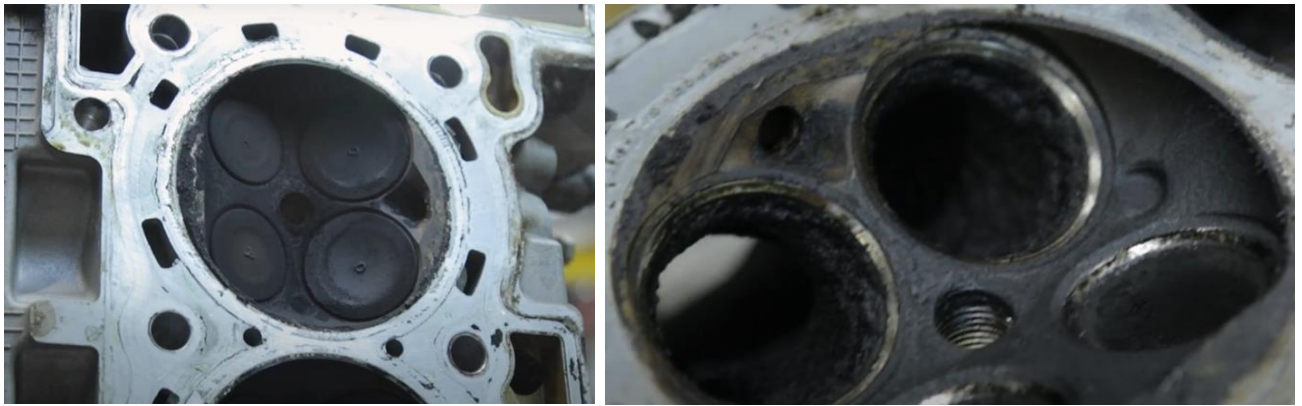


Рисунок 1.2 – Розбірка і дефектування ГБЦ KIA Optima 2,4 л G4KE [26]



Рисунок 1.3 – Відремонтована ГБЦ KIA Optima 2,4 л G4KE [26]

1.1.2 Класифікація отворів і методи їх отримання

Отвори, як конструктивний елемент деталей, дозволяють забезпечити їх монтаж, створення рухомих з'єднань, розміщення посадкових місць для монтажу валів, шпильок та інших кріпильних елементів. Їх також використовують як канали для подавання рідин, газів або мастила. Основні типи отворів зображено на рис.1.4.

Кількість отворів в різних деталях може бути від декількох штук до десятка, а у сучасному двигуні внутрішнього згорання їх може бути більше сотні, кожен із яких має функцію описану вище [3564]. Від точності оброблення отворів залежить надійність і довговічність механізмів. Наприклад, отвори для підшипників чи

поршневих пальців у двигунах внутрішнього згоряння повинні мати мінімальні відхилення від номінального розміру і відповідати щонайменше IT6 або IT7.

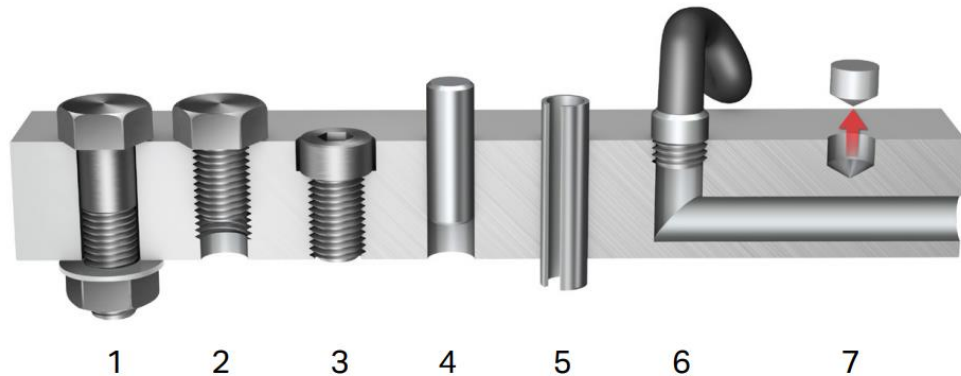


Рисунок 1.4 – Найпоширеніші види отворів: 1 – для простого болтового з’єднання (без вимог), 2 – отвір з різью для болта, 3 – з цеківкою під головку болта з внутрішнім шестигранником, 4 – точний отвір (для з’єднань з натягом), 5 – отвір із зазором (вільною посадкою), 6 – отвори каналу, 7 – глухі отвори для штифтів

Основним методом створення циліндричних отворів залишається *свердління*. Цей тип оброблення забезпечує високу продуктивність і прийнятну точність (IT12). У якості інструменту використовують свердла з швидкорізальної сталі [2-55], а від не давна і свердла із змінними твердосплавними пластинами [22, 26].

Ще один спосіб отримання отворів, на який відносять до окремого виду оброблення – це *фрезерування*. Цей метод дозволяє отримати отвори нестандартної форми, з плоским дном або з діаметрами, для яких велике свердло виготовляти недоцільно. Також отвори в великогабаритних деталях, виготовлених із чавуну, доцільно формувати у процесі литва із подальшим *розсвердлюванням*, *зенкеруванням* та *розвертанням*. Для отримання високоточних отворів у деталях виготовлених із твердих або важкооброблюваних матеріалів використовують *електроерозійне оброблення*. Таким способом, для прикладу, виготовляють отвори у форсунках паливної системи. Цих два методи є високопродуктивними з точки зору вибірки матеріалу за одиницю часу, так і отримання отворів на поверхнях, на яких їх попередньо не було. Решту ж методів, зазначених нижче,

можна віднести до методів покращення форми отворів і доведення до необхідної якості їх поверхні. *Розсвердлювання* використовують для збільшення діаметра отриманого отвору. Його мета зменшити сили різання, що діють на свердло. *Розточування* використовують для досягнення більшої точності та поліпшення якості поверхні здебільшого в корпусних деталях, для яких розсвердлювання нераціональне або неможливе. Розточування особливо актуальне для отворів у блоках циліндрів або валах. Для отримання круглості отвору після свердління або розсвердлювання використовують *зенкерування*, а розвертання застосовують для отримання потрібної геометрії та чистоти поверхні.

Для калібрування отворів або створення отворів із складним профілем використовують метод *протягування*. *Протяжки* часто застосовують у виробництві втулок або отворів під шпонки. Як метод для досягнення надвисокої точності (наприклад, у циліндрах для поршнів) застосовуються методи *шліфування* та *хонінгування*.

Залежно від вимог, які ставляться до точності отворів та функціонального призначення, зазначені методи дозволяють обробляти отвори на різних етапах технологічного процесу виготовлення. Враховуючи це, отвори можна класифікувати за наступним призначенням:

- кріпильні отвори – для болтів, шпильок, гвинтів;
- напрямні отвори – для розміщення осей, валів або штоків;
- отвори для транспортування рідин і газів – у гідравлічних і пневматичних системах;
- технологічні отвори – для складання, монтажу чи фіксації.

Для деталей, болтових з'єднань тощо у побутовому використанні цілком достатньо отворів отриманих свердлом по 12 квалітету (ІТ12), проте така точність абсолютно неприпустима для точних отворів, до яких ставляться вимоги по точності, формі і шорсткості. Для вирішення таких, технічно складних, завдань слугує багатоступінчаста технологія обробки отворів, у якій фінішним інструментом є *розвертка*. Від її геометричних параметрів та умов обробки

залежить точність отвору і результат трудомісткої технологічної операції. По суті, розвертання [25] є заміною шліфування, де не можна використати останнє.

Виходячи з останнього твердження, точне розвертання отворів є єдиною прийнятною технологічною операцією, проте результат оброблення по шорсткості та точності не завжди задовольняє технічні вимоги. За даними [25] зазначено, що перевагу варто віддавати обробленню розверткою, а не шліфуванням, оскільки внаслідок останнього можуть залишатися частинки абразиву. Щоправда не зрозуміло як і чому? Адже шліфування виконують із використанням ЗОР та й після нього завжди виконують промивання деталей.

Для більш детального аналізу проблематики процесу розвертання його необхідно поділити на три складових: сам процес розвертання, конструктивні особливості інструменту та досяжний результат (шорсткість і геометрія поверхні отвору). Всі перелічені категорії необхідно розглядати в комплексі, а не почергово.

З точки зору організації технологічного процесу переваги розвертання пояснюються значно дешевшою ціною при однаковому досяжному результаті. До переваг розвертання слід віднести [25]:

- універсальність (можливість використання в ручному та автоматичному режимі);
- висока жорсткість верстатно-інструментальної системи;
- відносна простота виготовлення розверток, їх компактність і як результат відсутня потреба у спеціалізованому обладнанні (шліфувальних і розточувальних верстатах).

У порівнянні із обробкою отворів однолезовим інструментом (розточуванням), розвертка має ряд переваг, а саме:

- висока точність базування різальних кромek в отворі за рахунок забірної частини;
- за рахунок кутової нерівномірності – компенсація радіальних сил;
- майже відсутнє копіювання мікрогеометрії різальних кромek на поверхні отвору за рахунок зрізання наступними різальними кромками.

Якщо не враховувати вище перелічені переваги і аналізувати виключно вхідні дані процесу розвертання то отвір є тим елементом, який не підлягає зміні, тому удосконалення процесу розвертання може відбуватися у двох напрямках:

- зміні оптимальних конструктивних елементів робочої частини розвертки, яка полягає у різній комбінації геометричних параметрів (кутів);
- в способі кріплення на верстаті (жорсткий або плаваючий) полягає у використанні можливості самовстановлення або жорсткому спрямуванні в отворі.

1.2 Інформаційно-патентний пошук

1.2.1 Огляд конструкцій розверток

У світі є безліч виробників металорізального інструменту, проте хотілося б виділити декількох, а саме це Sandvik Coromant [5], Seco [6], TaeguTec [27], Dormer&Pramet [2], Kennametal [37], Guehring [3, 4], Winstar [29]. Розвертки за останні 50 років суттєво конструкції не змінили, але є вагомими конструктивні нововведення є. Наприклад створено нові конструкції розверток з вставними пластинами, подібно до свердл із ЗТП [22], насадні розвертки подібно до насадних фрез і зенкерів. У виробництві це дуже суттєво економить час і зусилля на налаштування подібного інструменту. Тому загальноприйнята класифікація значно розширилась рис.1.5:

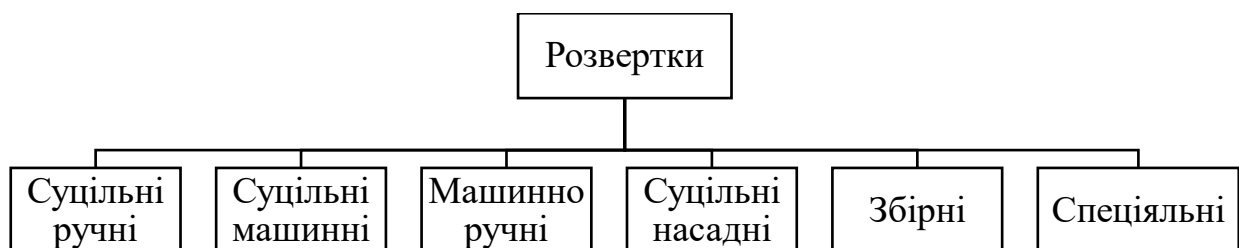


Рисунок 1.5 – Класифікація розверток

Розвертки суцільних конструкцій використовують застосовують тільки для оброблення отворів не менше $\varnothing 10$ мм, а згідно із старим стандартом, усі розвертки, що ≥ 8 мм можуть бути виконані з однаковим кутовим кроком (без кутоволі нерівномірності). Більші розвертки можуть бути виконані зварними – робоча частина із інструментальної сталі, а решта із сталі 40Х. Починаючи з ($\varnothing 25$ – $\varnothing 30$) мм розвертки можна виготовляти, а насадними, Насадні розвертки бувають як суцільними (рис. 1.6, в) – повністю виготовленні із інструментальної сталі), так і складаної конструкції (рис. 1.6, г). У складаних[розверток тільки леза виготовлені із інструментальних сталей, а корпус зазвичай із сталі 40Х/

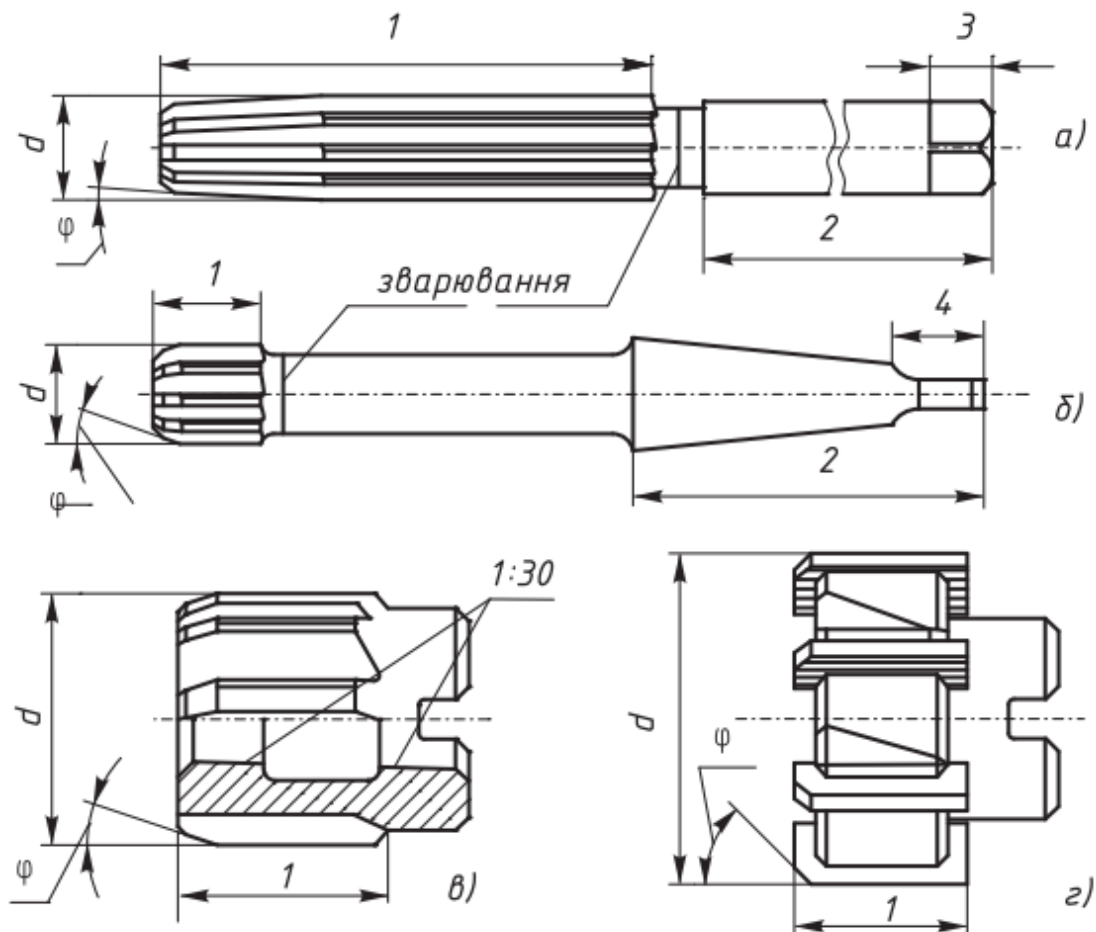


Рисунок 1.6 – Типи розверток і їх геометричні параметри: а) суцільна ручна розвертка; б) – суцільна машинна розвертка; в) – суцільна насадна розвертка; г) – збірна насадна розвертка; 1 – робоча частина; 2 – хвостовик; 3 – квадрат для ручного кріплення; 4 – конус Морзе і лапка машинної розвертки; φ – кут заборного конусу; d – діаметр розвертки..

Розглянемо розвертки компанії TaeguTec (рис.1.7). Їх номенклатура містить розвертки однолезові, насадні, суцільні та хвостовики до них.



Рисунок 1.7 – Розвертки компанії TaeguTec

Серія TBReam призначена для наскрізних отворів від ($\varnothing 8 - \varnothing 32$) мм кратністю 1 мм. Серія XmReam – змінні розвертки зі спіральною канавкою ($\varnothing 8 - \varnothing 12$) мм кратністю 1 мм призначені для розгортання наскрізних отворів H7. Серія TM-REAM – це швидкозмінні твердосплавні розширювальні головки з лівою канавкою для наскрізних отворів високошвидкісного розгортання. Призначені для матеріалів груп (P20-P40)(M20-M40) і (S20-S40). Покриття PVD з титаноалюмонітриду (TiAlN). TsReam твердосплавні розвертки із прямими канавками для глухих отворів і з лівою спіральною канавкою DIN1420 наскрізних отворів від ($\varnothing 3 - \varnothing 22$) мм кратністю 1 мм.

Winstar виготовляє аж 3 типи розверток (рис.1.8) для отворів ($\varnothing 3 - \varnothing 12$) мм з допуском H7. Це серії DRC – пряма канавка, внутрішнє охолодження, DRN з прямою і лівою спіральною канавками із зовнішнім охолодженням.

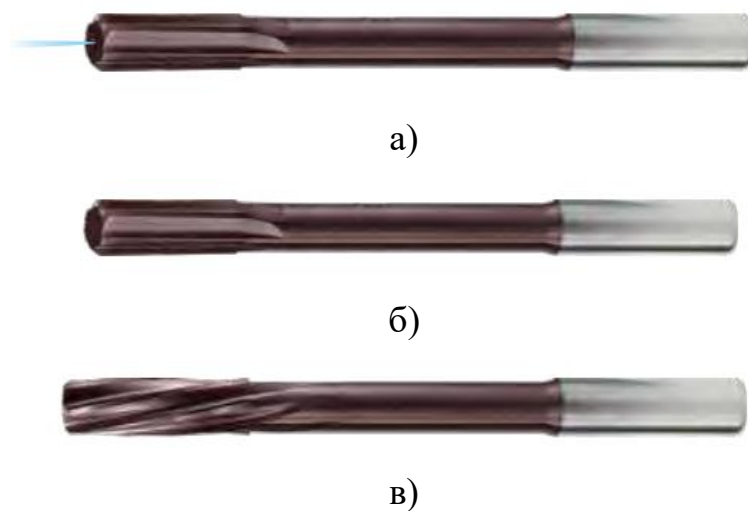


Рисунок 1.8 – розвертки Winstar



Рисунок 1.9 – Конструкції розверток Kennametal

RHM-E з прямими і спіральними канавками та внутрішнім охолодженням для наскрізних отворів від (Ø14 – Ø42) мм. Для груп металів P/M/K/S. Матеріал різальної частини карбід з покриттям TiN-PVD. Для отворів із допуском H6. Серія

RHR призначена для глухих отворів з допуском H7. Доступні проміжні розміри, шліфовані для досягнення класу допуску для отворів IT6 або IT7. Для отворів від (Ø14 – Ø42). Насадна головка RHM із гвинтовими канавками для отвору Ø19 мм. Серії KenReam™ S102, KenReam™ S103 для отворів від (Ø5 – Ø40) мм. Серія RMS з прямими і спіральними канавками та внутрішнім охолодженням для отворів по H7. KenReam™ S105 призначені для торцевого розвертання для отворів від (Ø5 – Ø40) мм.

Sandvik Coromant процес розвертання відносить до розточування. Це пов'язано із тим, що розвертання є обов'язковим етапом обробляння отворів. Розвертка 830 може обробляти отвори на глибину від 45 мм до 167 мм. Твердосплавна розвертка 452.R це ручний спецінструмент для обробки вуглепластика. Діапазон діаметрів від (Ø2,57 – Ø11,1) мм по H8. Розвертка CoroReamer 435 призначена для обробки Р/К/Н матеріалів і глухих отворів по H7 від (Ø6,0 – Ø20,0). Висока продуктивність завдяки високим режимам різання.

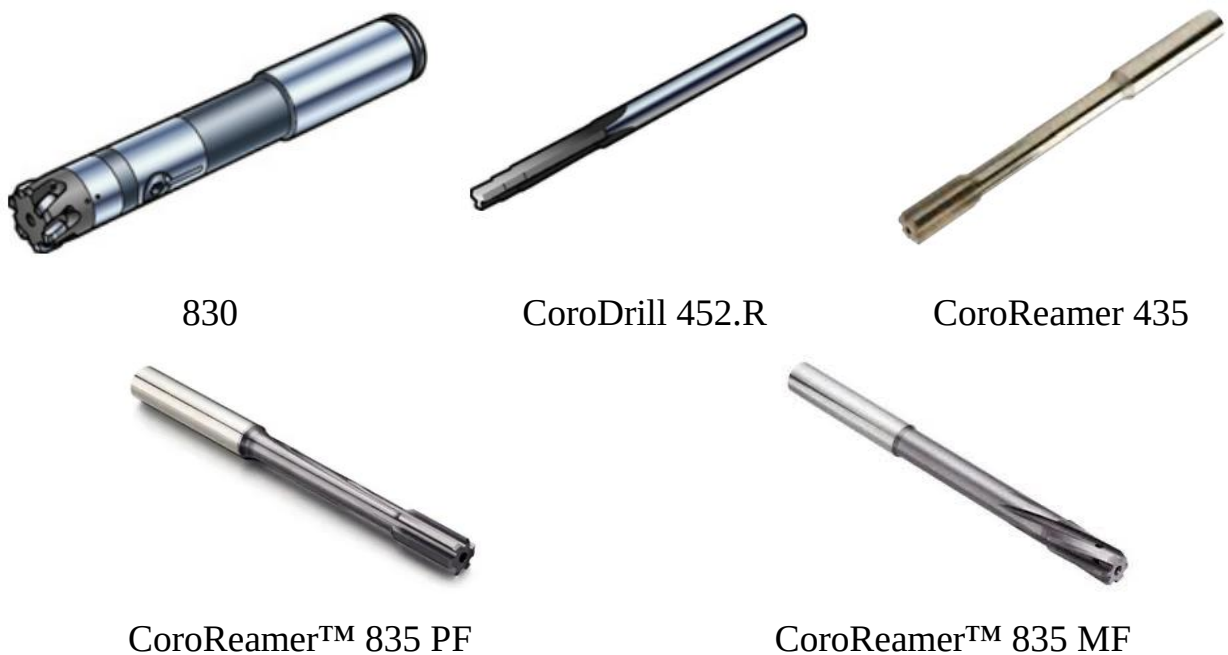


Рисунок 1.10 – Конструкції розверток Sandvik Coromant

Розвертка CoroReamer 835 призначена для обробки глухих отворів в сталі і чавуні. Вона має також 2 модифікації: CoroReamer™ 835 PF – для обробки

матеріалів ISO P та ISO K, а CoroReamer™ 835 MF для обробки матеріалів ISO M і вторинний вибір для матеріалів Inconel. Стандартний діапазон діаметрів: (Ø397 – 20,0) мм, точність отвору - H7. Доступні у виконанні зі спіральними канавками для обробки наскрізних отворів і з прямими стружковими канавками для оброблення глухих отворів. CoroReamer 835-MF призначений для обробляння матеріалів ISO-M та ISO-S (жароміцні сталі та сплави) і сплав Inconel. Усі решта характеристики аналогічні до попереднього.:

Гуру розверток компанія Guehring [4]. Цілий каталог із унікальними розвертками найрізноманітнішого призначення: торцеві, розтискні, конічні, спіральні, машинні насадні, ступінчасті машинні, для верстатів з ЧПК, автоматні і т.д. Наведемо декілька на рис.1.12 виготовлених із HSS-E.



Рисунок 1.11 – Гвинтові розвертка H7 Guehring з кутом спіралі 45°

За рекомендаціями Guehring [3, 4] розвертки з правими гвинтовими канавками використовують рідко, оскільки якість поверхні не завжди прийнятна. З прямими зубами використовують розвертки для оброблення глухих отворів, коли стружка повинна відводитись по її канавках. Для всіх інших випадків, а також обробки переривчастих отворів використовують спіральну зачисну розвертку з лівою спіраллю (рис.1.6).

Цей тип розверток найбільше призначений для обробки наскрізних отворів, бо виводить стружку вперед. Дозволяють також використовувати й для глибоких

отворів при умові, що оброблення буде не на всю глибину і залишиться місце для стружки. Зображена на рис.1.6 розвертка призначена для оброблення матеріалів із довгою стружкою, а для прямих довгих отворів з точним позиціонуванням (використання на верстатах з ЧПК) виробник рекомендує торцеві розвертки, де різальна частина розміщена на торці інструменту. Через особливості конструкції вона не може самоцентруватися, тому необхідно використовувати кондуктор [20].

1.2.2 Технологічні аспекти процесу розвертання

Точність розвертання суттєво залежить від точності попередньої операції оброблення отвору, адже розвертка завжди займає положення співвісне до осі попередньо обробленого отвору, навіть коли використовують кондуктор [20]. Саме на цьому етапі допускають найбільшу помилку – надто малий припуск для розвертання, менше 0,05 мм на сторону. Розвертка повинна виконувати процес різання, а не зминання. Власне той факт, що інструмент виконує зрізання малого припуску в межах (0,05 – 0,25) мм зумовлює виконання переднього кута в плані $\gamma = 0^\circ$, а виконання кута $\gamma = 5^\circ$ характерне для чорнових розверток. В навчальній літературі із різального інструменту [29, 31, 36] зазначається, що конструкція розверток передбачає виконання стрічки від 0,05 мм до 0,3 мм на калібрувальній частині, яка сприяє вигладжуванню поверхні і збереженню розмірної стійкості (рис.1.5, а). Також рекомендують виконувати калібрувальну стрічку змінної ширини. На забірній частині 0,1 мм, а ближче до хвостовика 0,5 мм [25]. В той же час є рекомендації про розташування і величину стрічки у зворотному напрямі.

Зокрема деякі дослідники [34] рекомендують виконувати зворотну конусність на розвертках від (0,01 – 0,015) мм до (0,03 – 0,05) мм на довжині робочої частини. Також існує думка, що необхідно виконати циліндричний калібрувальний поясок на (10 – 15) мм довжини.

Враховуючи те, що поле допуску на інструмент має складати не більше третини поля допуску отвору ($1/3TD$), то абсолютно ідеальну циліндричну частину виготовити неможливо, адже допуск на розмір може бути в межах похибки. Тому дозволяється виконати зворотну конусність, а пряма конусність

неприпустима. Враховуючи високі вимоги до отворів, розвертка має забезпечувати наступні вимоги:

- забезпечення круглості отвору 0,005 мм і циліндричності не більше 0,01 мм; глибина різання складає від 0,05 мм до 0,25 мм на сторону;
- забезпечення шорсткості поверхні в необхідних межах Ra 0,8 мкм до Ra 0,32 мкм.

За даними виробника різального інструменту Dormer&Pramet [2] для отримання найкращих результатів під час розвертання дуже важливо змусити розвертку працювати, тобто, щоб виконувався процес різання. Найбільш поширеною помилкою є мінімальний припуск при підготовці отвору під розвертання. При розвертанні отвору з недостатнім припуском інструмент буде його стирати, а не різати, і як наслідок, швидко зношуватися, втрачаючи розмір. Також важливо не залишати надто великий припуск для розвертання. Це також відмічають й інші виробники інструменту, як Guehring [3, 4], Seco [6] і Sandvik Coromant [5].

В промисловості використовуються дуже рідко, так звані шабрувальні розвертки [25, с.17]. Їх застосування має на меті зменшення шорсткості, за рахунок від'ємного переднього кута біля -30° , а калібрувальна частина навпаки має додатні гострі кути, без стрічок чи фасок. Таким чином такий зуб виконує мікрошабрування (рис.1.5, б). Попри кращі результати у досягненні шорсткості, шабрувальна розвертка не знайшла застосування. Зрештою таку розвертку технологічно важко зробити, адже при шліфуванні неодмінно утвориться стрічка. Заточені кромки під таким кутом дуже швидко тупляться і інструмент втрачає свій діаметральний розмір. І найгірше, через відсутність заокруглених фасок утворюються коливання, які призводять до утворення поздовжніх рисок. Тому простіше від неї відмовитися, ніж підбирати режими різання. Коливання взагалі шкідливі, так як при використанні стандартної розвертки сприятимуть утворенню гранності отвору.

Автори [25] стверджують, що використання гвинтових розверток, попри помилкове твердження, непридатні для виправлення огранності отвору, а

використання найбільш поширених гвинтових розверток з кутом нахилу зубів від 5° до 10° замість прямих рисок утворюють гвинтові і не усувають гранність отвору.

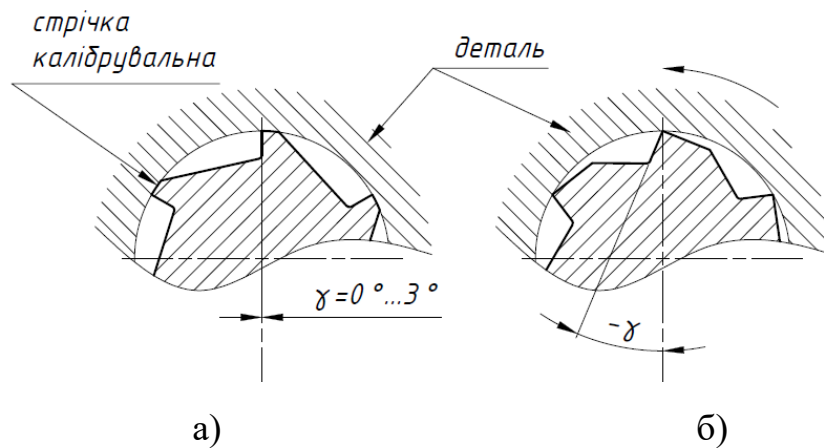


Рисунок 1.12 – профіль шабрувальної розвертки [25].

Як правило, кутова нерівномірність складає від $0,5^\circ$ до 2° . Це пов'язано не лише із врівноважуванням крутного моменту, а й силами що діють на сусідніх зубах. Як зображено на рис.1.13 величина кутової нерівномірності має вплив на відхилення від круглості [5, 25]. Як видно із зображення, круглість отвору на рис.1.13,б значно плавніша, що свідчить про кращий результат розвертання.

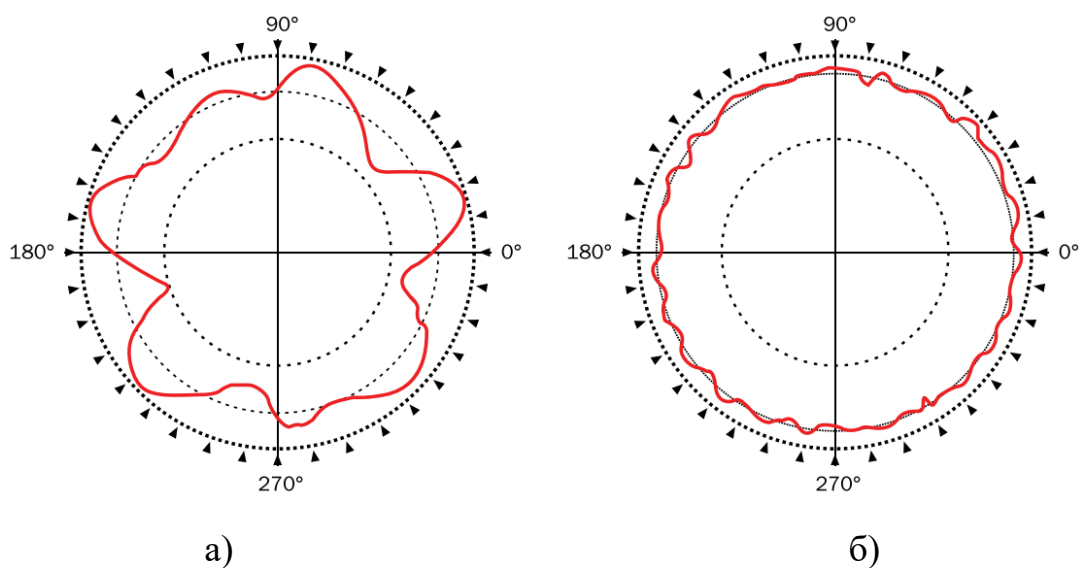


Рисунок 1.13 – Порівняння нерівномірного / екстремально нерівномірного кроку твердосплавних розверток: а) похибка форми отвору складає до 10 мкм, б) похибка форми отвору складає до (1 – 2) мкм

Величина припуску (табл.1.1), необхідного для розвертання, залежить від оброблюваного матеріалу та якості підготовлених отворів.

Для обробки одного і того ж діаметру, залежно від використовуваного обладнання можна застосувати ручні або машинні розвертки. Ручна розвертка, для кращого спрямування, має довшу конічну забірну частину, а машинні коротку із фаскою 45 градусів. Машинна розвертка ріже тільки забірною частиною, а ручна знімає стружку ще й напрямною частинами. Розвертки для верстатів із ЧПУ випускаються з хвостовиками, виготовленими з допуском h6. Це дозволяє використовувати їх разом з гідропластовими та термозатискними патронами, що підвищує точність та круглість оброблених отворів [2].

Таблиця 1.1 – Рекомендації щодо припусків для розвертання [2]

Діаметр отвору для розвертання	Припуск отвору після свердління	Припуск отвору після зенкерування
менше 4 мм	0,1	0,1
від 4 мм до 11 мм	0,2	0,15
Від 11 мм до 39 мм	0,3	0,2
від 39 мм до 50 мм	0,4	0,3

Таблиця 1.2 – Допуски розверток H7 Dormer&Pramet

№ п/п	Діаметр розвертки, мм	Границя поля допуску, мм	
1	до 3 мм включно	0,008	0,004
2	3 – 6 мм	0,01	0,005
3	6 мм – 10 мм	0,012	0,006
4	10 мм – 18 мм	0,015	0,008
5	18 мм – 30 мм	0,017	0,009
6	30 мм – 50 мм	0,021	0,012
7	50 мм – 80 мм	0,025	0,014

Інший виробник Guehring [3] рекомендує наступні значення припусків для розвертання (табл.1.3). Усі наведені допуски відповідають стандарту DIN 1420. Мусимо його використовувати оскільки відмінений ГОСТ 7722-77 більше не чинний в Україні

Таблиця 1.3 – Рекомендовані значення припусків для розвертання розвертками Guehring

Оброблювальний матеріал	Діаметри отворів, мм				
	до 6 мм	до 10 мм	до 16 мм	до 25 мм	> 25 мм
Сталі з границею міцності до 700 Н/мм ²	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4
Сталі з границею міцності до 700 – 1000 Н/мм ²	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Сталеве литво	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4
Сірий чавун	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,3 – 0,4
Кувкий чавун	0,1 – 0,2	0,2	0,3	0,3 – 0,4	0,4
Мідь	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4	0,4 – 0,5
Латунь, бронза	0,1 – 0,2	0,2	0,2 – 0,3	0,3	0,3 – 0,4
Легкі сплави	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4	0,4 – 0,5
Пластмаси тверді	0,1 – 0,2	0,2	0,4	0,4 – 0,5	0,5
Пластмаси м'які	0,1 – 0,2	0,2	0,2	0,3	0,3 – 0,4

Загалом виробники сходяться у своїх рекомендаціях щодо припусків, підборі інструментів та виконанні технологічного процесу розвертання:

1. Виберіть оптимальний інструмент та режими різання для виконуваної операції. Переконайтеся, що отвори, підготовлені під розвертання, мають правильний діаметр.

2. Деталь, що обробляється, повинна бути жорстко закріплена, шпиндель верстата не повинен мати биття.

3. Для закріплення розвертки з циліндричним хвостовиком необхідно використовувати якісний патрон. Биття розвертки в патроні при автоматичному поданні може призвести до поломки інструменту.

4. При закріпленні розвертки з конусом Морзе у патроні або шпинделі верстата необхідно завжди використовувати молоток з м'якого металу або гуми. Перевірте надійність закріплення розвертки, поганий контакт з базовою поверхнею патрона або шпинделя може призвести до отримання отвору поза допуском.

5. Намагайтеся застосовувати інструмент на мінімальному вильоті від шпинделя верстата.

6. Застосування ЗОР збільшує стійкість розвертки, при цьому необхідно стежити за надходженням ЗОР безпосередньо до країв інструменту. Використання ЗОР з концентрацією 40:1 дає прийнятні результати. Під час обробки чавуну можна застосовувати охолодження стисненим повітрям.

7. Не допускайте пакетування стружки у стружкових канавках під час розвертання.

8. Перед переточуванням розвертки необхідно перевірити її биття відносно центрових отворів. Найчастіше переточці підлягає лише забірنا частина розвертки.

9. Зберігайте розвертки гострими. Часта перезаточування економічно доцільне, оскільки переточці підлягає тільки забірна частина, а калібровані стрічки не переточують. Правильне переточування впливає на якість оброблених отворів та стійкість інструменту

В ремонтних майстернях, де ремонтні роботи виконують вручну і з «чуттям» машинні розвертки, та й верстат ЧПУ для калібрування напрямних втулок клапанів використовувати не доцільно. Часові витрати (підготовчо-заклучний час) на налаштування і базування, наприклад ГБЦ, для притирання чи профілювання сідел клапанів економічно себе не окупить.

1.3 Висновки, постановка мети та задач дослідження

На основі вищеописаного можна зробити декілька важливих висновків:

- при високій продуктивності механічного процесу очевидним є те, що розвертання потребує якісного виконання попередніх операцій. Аналіз розверток показав, що пошуки кращих конструкцій зумовлені не недосконалістю процесу, а помилками допущеними на попередніх етапах;
- процес розвертання отворів не можна розглядати, як окремий самостійний процес, а лише в контексті поетапного оброблення отворів;
- інструмент який поєднує в собі процес різання і пластичного деформування є занадто складним для простих пересічних завдань, в яких неможливо врахувати усі вхідні фактори, як наприклад твердість оброблюваного матеріалу чи рівномірність пластичного зміцнення поверхні, тощо.
- за інформацією з відкритих джерел не існує повноцінної працездатної конструкції різально-вигладжувальної розвертки, але пошук подібних конструктивних рішень щодо зміцнення поверхневих шарів внутрішніх циліндричних поверхонь може наукову та практичну цінність.

2 ПРОЄКТНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Методика проектування розвертки

Розрахунок поля допуску на діаметр для розвертки визначають за даними з табл.2.1 [2] і схемою рис.2.1.

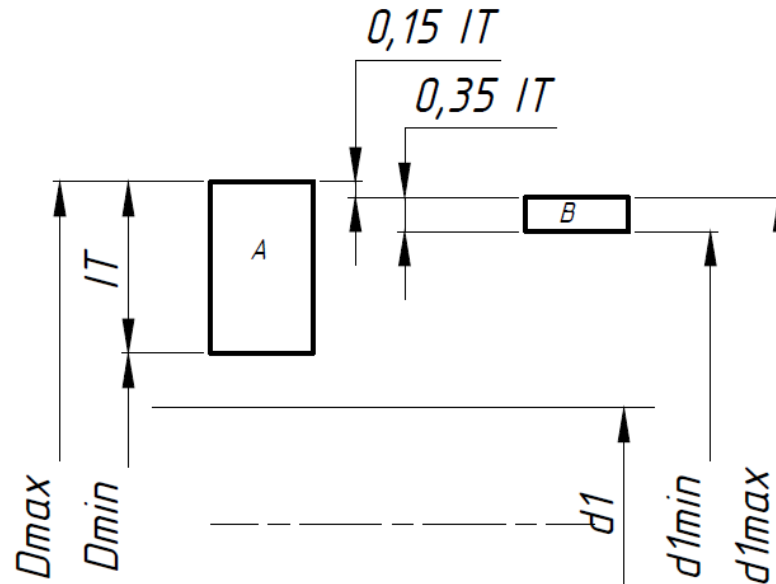


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку поля допуску розвертки: А – поле допуску отвору, В – поле допуску розвертки, IT – величина поля допуску,

D_{max} – максимальний діаметр отвору, D_{min} – мінімальний діаметр отвору, d_1 – номінальний діаметр розвертки, d_{1max} – максимальний діаметр розвертки, d_{1min} – мінімальний діаметр розвертки

Згідно методики нам необхідно визначити діаметр розвертки під розвертання і його допуск. Для двигунів G4KE діаметр ніжки клапана складає $\varnothing 6,6H7^{+0,015}_{-0}$ мм.

Зазор між стрижнем та направляючою втулкою клапана:

- впускні клапани: 0,02–0,047 мм
- випускні клапани: 0,05–0,085 мм

Допуск отвору $IT7 = 0,015$ мм

Максимальний діаметр отвору для впускних клапанів із врахуванням зазору:

$$D_{\max \text{ вп}} = d_{\text{кл}} + 0,047 = 6,6 + 0,047 = 6,647 \text{ мм} \quad (2.1)$$

Таблиця 2.1 – Поля допусків розвертки в залежності від розміру отвору

Поле допуску на діаметр, мкм								
Поле допуску	1 – 3	3 – 6	6 – 10	10 – 18	18 – 30	30 – 50	50 – 80	80 - 120
IT 5	4	5	6	8	9	11	13	15
IT 6	6	8	9	11	13	16	19	22
IT 7	10	12	15	18	21	25	30	35
IT 8	14	18	22	27	33	39	46	54
IT 9	25	30	36	43	52	62	74	87
IT 10	40	48	58	70	84	100	120	140
IT 11	60	75	90	110	130	160	190	220
IT 12	100	120	150	180	210	250	300	350

Мінімальний діаметр отвору для впускних клапанів із врахуванням зазору:

$$D_{\min \text{ вп}} = d_{\text{кл}} + 0,02 = 6,6 + 0,02 = 6,62 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Максимальний діаметр отвору для випускних клапанів із врахуванням зазору:

$$D_{\max \text{ вип}} = d_{\text{кл}} + 0,047 = 6,6 + 0,085 = 6,685 \text{ мм} \quad (2.3)$$

Мінімальний діаметр отвору для випускних клапанів із врахуванням зазору:

$$D_{\min \text{ вип}} = d_{\text{кл}} + 0,05 = 6,6 + 0,05 = 6,65 \text{ мм} \quad (2.4)$$

Визначаємо мінімальний розмір розвертки за (2.5) [2]:

$$d_{1\max} = D_{1\max} - (0,15 \times IT7) = 6,6 - (0,15 \times 0,015) = 6,597 \text{ мм} \quad (2.5)$$

Визначаємо максимальний розмір розвертки за (2.6) [2]:

$$d_{1min} = d_{1max} - (0,35 \times IT7) = 6,6 - (0,35 \times 0,015) = 6,591 \text{ мм} \quad (2.6)$$

Розраховуємо діаметр заводської розвертки з кроком 0,01 мм для отвору
 $D_{min \text{ вп}} = 6,6H8 \text{ мм}$

До номінального значення діаметру отвору необхідно додати табличне значення $H8 = 1/100$.

$$d = D_{ном} + 0,02 = 6,6 + 0,02 = 6,62 \text{ мм} \quad (2.7)$$

Мінімальний розмір розвертки має бути: 6,62 мм

2.2 Розрахунок можливості проєктування різально-вигладжувальної розвертки

Для розрахунку можливості проєктування різально-вигладжувальної розвертки використаємо методику наведену в [25].

Як вже згадувалося в п.1.2 принцип такої розвертки базується на поєднанні процесів різання і пластичного деформування оброблюваної поверхні. Це досягається за рахунок поєднання різальних і вигладжувальних лез на робочій частині розвертки. Вигладжувальні леза повинні бути більшого діаметру на величину 2Δ за діаметр основної різальної частини. Конструктивні елементи цієї розвертки показано на рис. 2.2 і на рис. 2.3 подано основні геометричні параметри різально-вигладжувальної розвертки. На рис.2.2 зображено наступні конструктивні елементи:

- 1 – фаска шириною $f = (0,1 \dots 0,2) \text{ мм}$ на різальній частині;
- 2 – задня поверхня забірного конуса вигладжувальної частини, який виконує пластичне деформування верхніх шарів поверхні отвору;

3 – перехідна заглибина між частинами, яка утворена перетином забірного конуса та циліндричною поверхнею вигладжувальної частини;

4 – циліндрична поверхня вигладжувального елемента (вигладжувальна стрічка f_v);

5 – передня кромка вигладжувального елемента;

6 – передня поверхня вигладжувального елемента;

7 – задня поверхня вигладжувальних елементів;

8 – задня (неробоча) поверхня різального елемента;

9 – задня поверхня забірного конуса різальної частини.

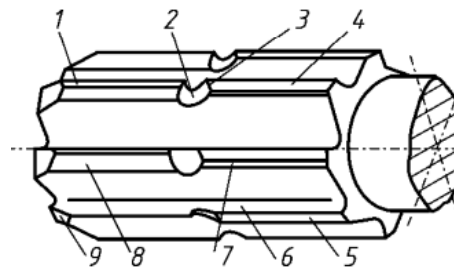


Рисунок 2.2 – конструктивні елементи різально-вигладжувальної розвертки [25]:

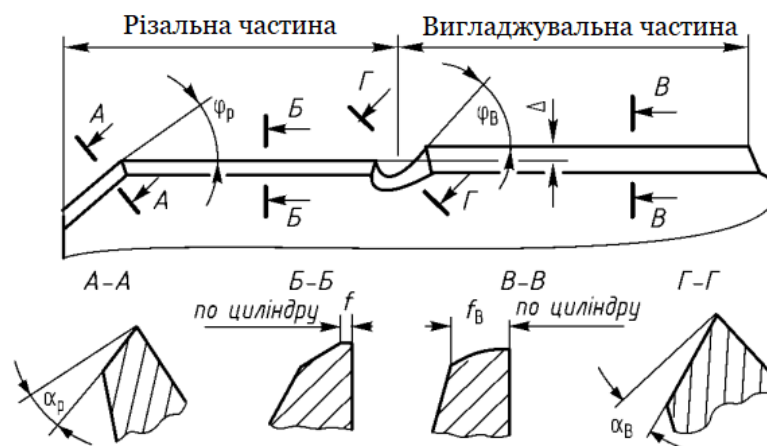


Рисунок 2.3 – Схема різально-вигладжувальної розвертки [25].

Різальна частина здійснює зрізування припуску на оброблення отвору. Вона ж має такі самі геометричні параметри як і звичайна циліндрична розвертка; Вигладжувальна частина виконує вигладжування поверхні отвору після різальних елементів. Діаметрально вона більша на Δ – величину перевищення

вигладжувальної частини над різальною.

Після одинарного розвертання, зазвичай поверхні отворів мають відхилення профілю в межах $Ra = 2,5 - 5$ мкм. Якщо для такої шорсткості висота мікронерівностей складатиме 15 мкм, то $\Delta = \frac{1}{2} * 15 = 7,5$ мкм.

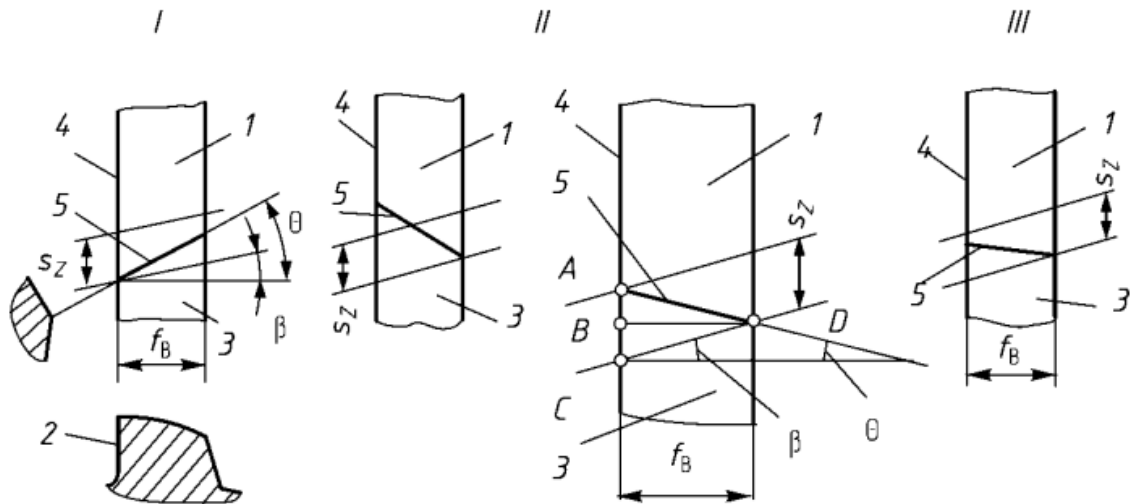


Рисунок 2.4 – варіації розташування вигладжувальної частини [25]:

1 – циліндрична поверхня; 2 – передня поверхня; 3 – задня поверхня забірного конуса; 4 – передня кромка; 5 – перехідна кромка; f_B – ширина вигладжувальної стрічки.

Розглянемо умову пластичної деформації мікронерівностей поверхневих шарів оброблюваної поверхні отвору вигладжувальною частиною виконаною за схемами I і II.

Найперше необхідно перевірити умову деформування кромкою. Коли зминання виконує передня поверхня навколо кромки 4 (рис.2.4 схема 1)

$$\theta > \beta \quad (2.8)$$

де θ – кут нахилу перехідної крайки 4 відносно площини, що перпендикулярна до осі розвертки;

β – кут між вектором швидкості і торцевою площиною, яка перпендикулярна до напрямку подачі

$$tg(\beta) = \frac{s}{\pi \cdot D} \quad (2.9)$$

де s – осьова подача інструменту

D – діаметр отвору або розвертки

$$tg(\beta) = \frac{s}{\pi \cdot D} \quad (2.10)$$

Перетворюючи вирази (2.9) і (2.10) отримуємо умову деформування мікрорельєфу передньою кромкою 4, тобто умову існування схеми I у вигляді:

$$tg(\theta) > \frac{s}{\pi \cdot D} = \frac{0,15}{3,14 \cdot 6,6} = 0,007237 \quad (2.11)$$

Розглянемо умови деформування мікронерівностей забірним конусом, (схема II, рис. 2.4), поверхнею 3 вигладжувальної частини навколо крайки 5. Для спрощення, розглянемо випадок коли деформацію виконує вся перехідна кромка 5. У такому випадку кут θ нахилу перехідної кромки 5, щодо площини перпендикулярної осі інструмента знаходять з виразу:

$$tg(\theta) > \frac{\overline{AB}}{f_b} \quad (2.11)$$

f_b – ширина вигладжувальної кромки 1

Довжину відрізка $\overline{AB}$ знаходять з виразу:

$$\overline{AB} = \frac{s}{Z} - \overline{BC} \quad (2.12)$$

де s – величина подачі інструменту, мм/об;

Z – кількість зубів розвертки

$\overline{BC}$ знаходимо за виразом:

$$\overline{BC} = f_b \operatorname{tg} \left[\arctan \left(\frac{s}{\pi \cdot D} \right) \right] \quad (2.13)$$

Після підстановки виразу (2.12) і (2.13) у (2.11) отримаємо:

$$\operatorname{tg}(\theta) = s \left(\frac{1}{Z f_b} - \frac{1}{\pi \cdot D} \right) \quad (2.14)$$

На підставі цього виразу можна вважати, що умова деформації мікронерівностей перехідною крайкою 5 буде:

$$\theta \geq \arctan \left[s \left(\frac{1}{Z f_b} - \frac{1}{\pi \cdot D} \right) \right] \quad (2.15)$$

Окремим випадком варіантів I і II може бути випадок, коли деформування мікронерівностей здійснюється одночасно і передньою кромкою 4, і перехідною – 5 (рис.2.4, схема III).

Умову існування такого випадку можна описати через залежності (2.11) і (2.15) наступним виразом:

$$\arctan \left[\left(\frac{s}{\pi \cdot D} \right) \right] \geq \theta \geq \arctan \left[s \left(\frac{1}{Z f_b} - \frac{1}{\pi \cdot D} \right) \right] \quad (2.16)$$

або

$$\frac{s}{\pi \cdot D} \geq \operatorname{tg} \theta \geq s \left(\frac{1}{Z f_b} - \frac{1}{\pi \cdot D} \right) \quad (2.17)$$

Наступним етапом необхідно визначити величину перевищення

вигладжувальної частини розвертки, який через свою форму можна порівняти із стругальним різцем із переднім нульовим кутом. Наявність такого підвищення, очевидно, буде створювати деформування мікрорельєфу, порте може відбутися і небажане зрізання цих нерівностей. Тому необхідно перевірити це припущення [25] і знайти мінімальну товщину шару матеріалу за залежністю:

$$a_{min} = 0,293\rho \quad (2.18)$$

де ρ – радіус округлення різальної кромки, який визначають за наступним виразом:

$$\rho = 35 - 0,35(\gamma + \alpha) \quad (2.19)$$

γ – передній кут різального леза, рад

α – задній кут різального леза, рад

Підставивши в формули (2.18) і (2.19) відповідні значення $\alpha = 0^\circ$ та $\gamma = 0^\circ$ отримаємо критичну товщину зрізуваного шару $a_{min} = 10,3$ мкм. Величина товщини значно більша за $\Delta = 7,5$ мкм з чого ми робимо висновок, що все таки є ймовірність зрізання шару, а не його деформування.

Відомо, що збільшення кута φ_b забірного конуса зменшує осьове биття забірної частини вигладжувального елемента, що важливо для його нормальної роботи. Тому величину кута φ_b забірного конуса потрібно би було прийняти рівною $\varphi_b = 45^\circ$. Проте врахована величина зминання, тому різальна частина виконана меншою на 0,15 мм від вигладжувальної і неможливо виготовити забірний конус для останньої під кутом $\varphi_b = 45^\circ$.

Проведені експериментальні дослідження стверджують, що передній кут вигладжувального елемента потрібно робити в межах $\gamma = -82^\circ - -86^\circ$ аналогічно до дорну, яким також виконують внутрішнє деформування отворів.

Але в такому випадку, деформацію виконує не лише перехідна кромка 5, а й прилегла до неї забірنا частина конуса 3. Цікава особливість полягала в тому, що в ході проведених експериментів на передній поверхні досліджуваної розвертки утворювався наріст, хоча процесу різання в тій ділянці не відбувалося. Цей факт суперечить тим дослідженням, що наріст утворюється лише при процесі різання. Тому в 3Д моделі нашої розвертки ми виконали кут $\gamma = -72^\circ$. Наша модель розвертки має максимально однаковий кут α задньої поверхні у обох частинах різальної та вигладжувальної після пояска. Відрізняється лише переднім кутом у різальній частині він додатний $\gamma = 5^\circ$, щоб гарантовано виконати процес різання. У нашій розвертці дві частини розділені радіусною канавкою, щоб виключити можливість попадання стружки із зони різання в зону деформування.

Знаходимо радіус перехідної кривої r для заточування пояска f_B , яка має бути меншою за радіус R самої розвертки:

$$r = \frac{a_1^2 + a_2^2}{2a_2}, \quad (2.20)$$

$$a_1 = (R - h) \sin \alpha; \quad a_2 = R - (R - h) \cos \alpha;$$

$$\sin \alpha = \frac{f_{3M}}{R} \quad (2.21)$$

де $h = \Delta = 0,15$ мм – заниження зминальної фасочки;

$f_{3M} = 0,3$ мм – ширина зминальної фасочки;

Координати h_1 та h_2 центру поверхні радіусом r відносно осі розвертки знаходять з виразів (2.21):

$$\begin{aligned} h_1 &= f_{3M}^2 (R - r) \cos \alpha, \\ h_2 &= (R - r) \sin \alpha; \end{aligned} \quad (2.22)$$

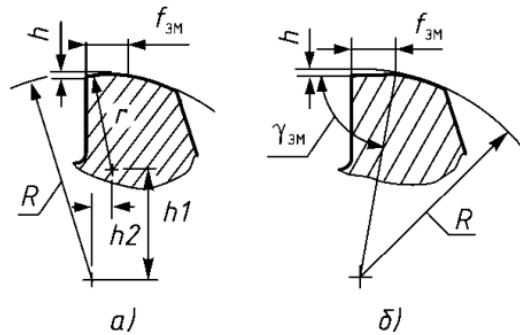


Рисунок 2.5 – Схема розташування вигладжувальних елементів

Як видно із рис.2.5,а координати радіуса перехідної кривої не співпадають із центром самої розвертки, що створюватиме технологічні перешкоди для ефективного заточування розвертки. Така схема передбачає наявність заточувального верстата, який буде заточувати кожну кромку окремо.

Тому пропонують замість попередньої схеми (рис.2.5,а) і частину криволінійної ділянки замінити на прямолінійну із заниженнями фаски рис.2.5,б.

Тоді кут зминання $\gamma_{зм}$ буде різним, адже величина фаски $f_{зм}$ і перевищення буде різним

$$\sin \gamma_{зм} = \frac{D - 2\Delta}{D} = \frac{6,6 - 2 \cdot 0,15}{6,6} = \frac{6,597}{6,6} = 0,9545 \quad (2.23)$$

Де $D = 6,6$ мм – діаметр отвору під розвертання (у нашому випадку це розмір отвору втулки); $\Delta = 0,003$ мм – глибина перевищення деформувальної частини

Знаходимо ширину зминальної фаски $f_{зм}$:

$$f_{зм} = \frac{D}{2} \cos \gamma_{зм} = 0,2 \text{ мм} \quad (2.24)$$

Величина фаски виконує роль центрування, вірніше утримання розвертки у співвісному з отвором положенні. Навряд чи можуть десятки міліметрів чинити суттєвий вплив на процес розвертання.

3 ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Методика та план проведення наукових досліджень

В цьому розділі ми не виконуємо обробки статистичних даних чи експериментальних, тому говорити про плану проведення наукових досліджень, про багатофакторність чи неповнофакторність експерименту, значущість факторів чи їх ігнорування недоцільно.

Усі дослідження цього розділу повністю ґрунтуються на проектному розділі та теоретичних положеннях описаних там. На основі обчислень та рекомендацій ми побудували 3D – модель розвертки, яка має дві частини – одна різальна, а інша вигладжувально – зминальна. В магістерській кваліфікаційній роботі ми можемо лише описати методику і шлях наших дій.

Теоретичний аналіз напружено деформованого стану конструкції розвертки, як і будь-якої іншої конструкції, зокрема статистичний аналіз виконують для визначення внутрішніх напружень яким конструкція чи елемент піддаються внаслідок прикладених навантажень. Нас як дослідників цікавить прогин конструкції, знаходження коефіцієнту запасу міцності та переміщення, які впливають або можуть вплинути на точність оброблення. Усі дослідження виконуються з використанням систем автоматизованого проектування, а саме Autodesk Inventor.

Основна мета таких досліджень визначення зон, що піддані найбільшим навантаженням, визначення можливих зон тріщин та векторів їх поширення, а також визначення впливу на інші елементи конструкції. Аналітично подібні експерименти обчислити неможливо, а лише з використанням програмних продуктів, які базуються на методі скінченних елементів (МСЕ). Конструкція нашої розвертки суттєво відрізняється від класичних конструкцій різального інструменту, адже містить дві ділянки, які працюють за абсолютно різними фізичними принципами: перша ділянка виконує різання, а інша мікрозминання. Відповідно вони піддаються різним навантаженням. Оскільки між ними виконана

канавка, яка є концентратором напруження, то імовірно саме ця зона буде піддаватися найбільшим навантаженням на кручення.

Після виконаного статичного аналізу можна виконати модальний аналіз, який також є важливим для визначення власних частот коливань конструкції. Це дослідження важливе для оцінювання можливого виникнення резонансу. Використання вбудованих модулів на основі МСЕ особливо актуальне для дослідження об'єктів, які теоретично дослідити неможливо.

3.2 Дослідження 3D – моделі розвертки

Для виконання статичного аналізу необхідно створити 3D модель різально-вигладжувальної розвертки, відповідно до завдання. Особливістю цього дослідження є те, що статичному аналізу піддається уся конструкція. Мету виконання статичного аналізу інструменту описано вище, проте це дослідження дозволяє зрозуміти поведінку конструкції під впливом зовнішніх навантажень та прийняти обґрунтовані рішення щодо конструкції, забезпечуючи безпеку та ефективність використання.

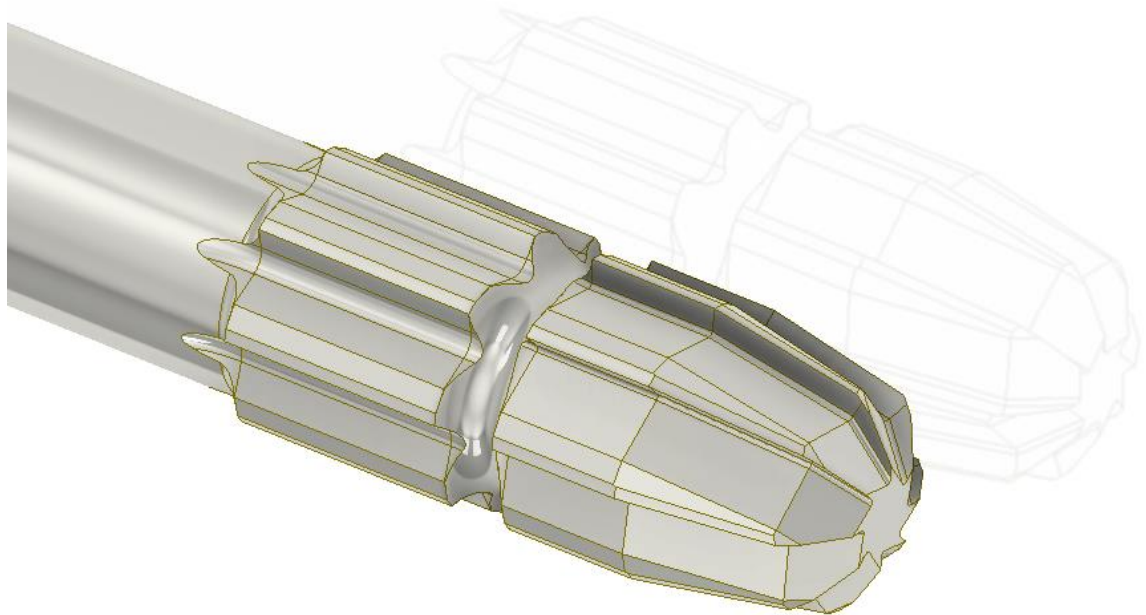


Рисунок 3.1 – Конструкція різально-вигладжувальної розвертки

Виконуємо прикладання силових факторів до конструкції інструменту:

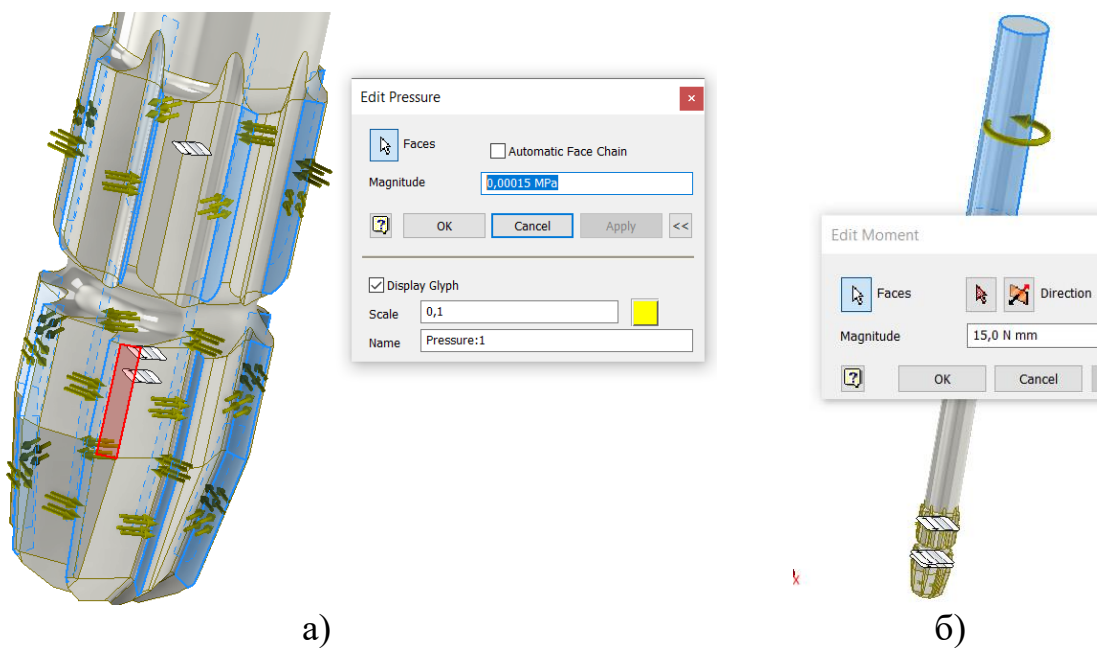


Рисунок 3.2 – прикладання силових факторів

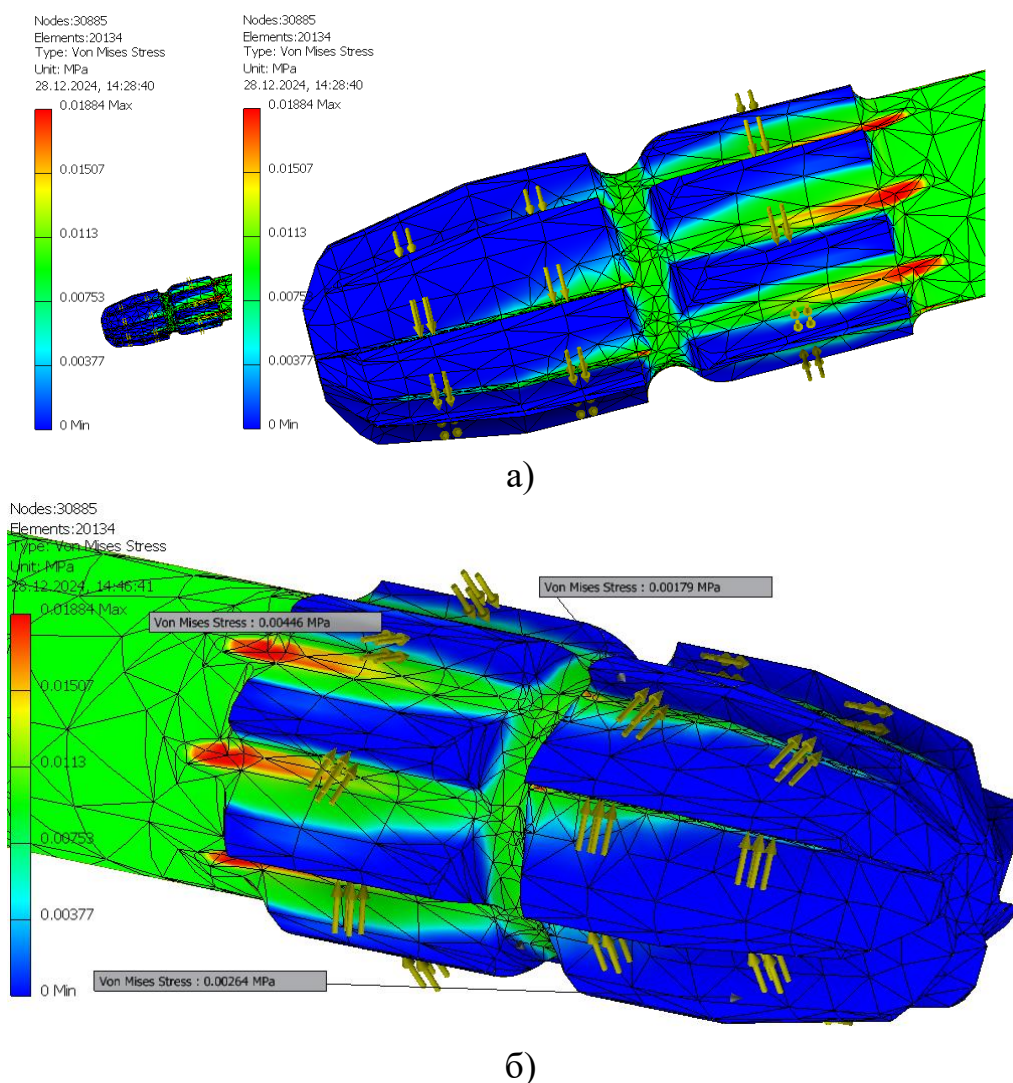
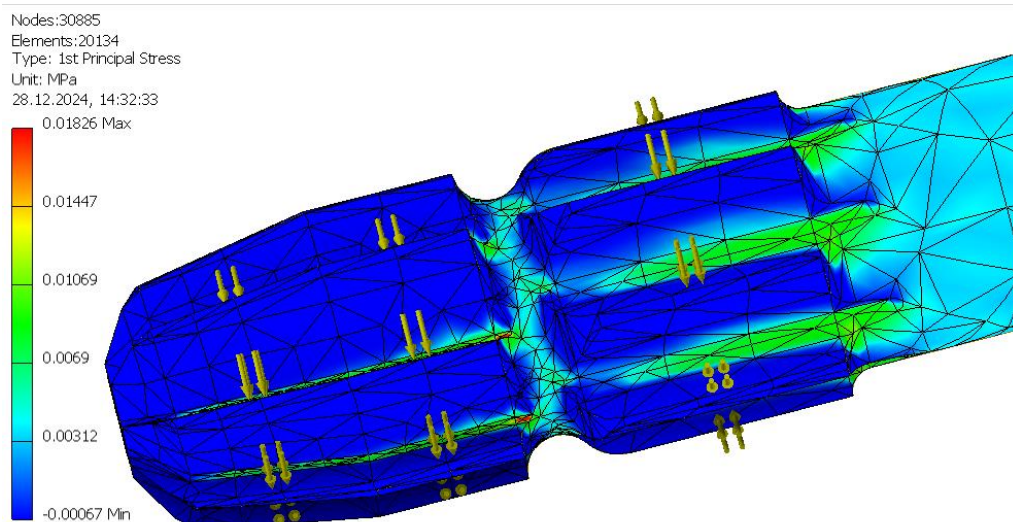
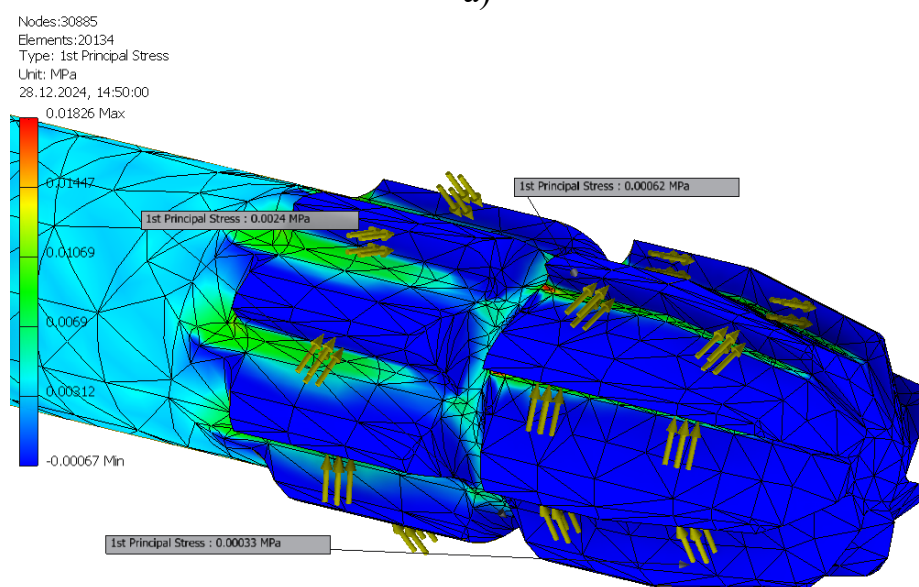


Рисунок 3.3 – ділянки внутрішніх напружень



a)



б)

Рисунок 3.4 – 1-е головне напруження

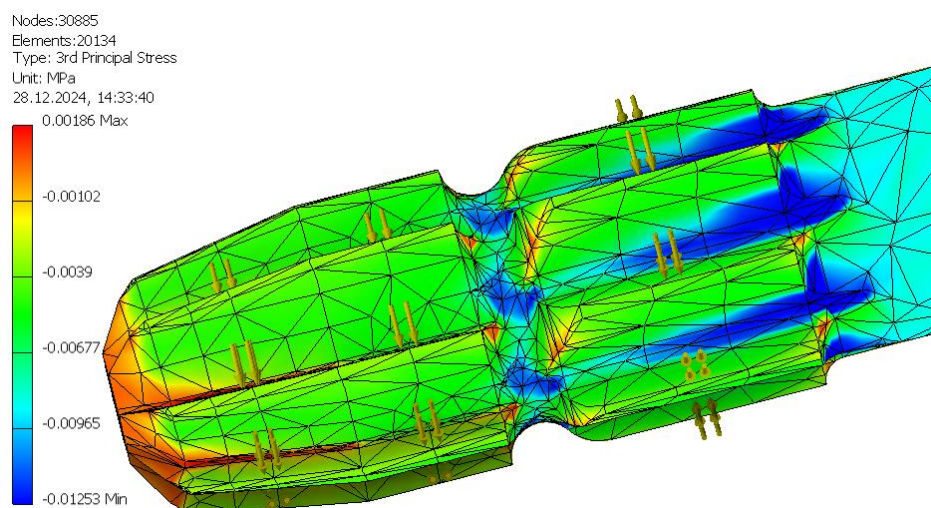


Рисунок 3.5 - 3-є головне напруження

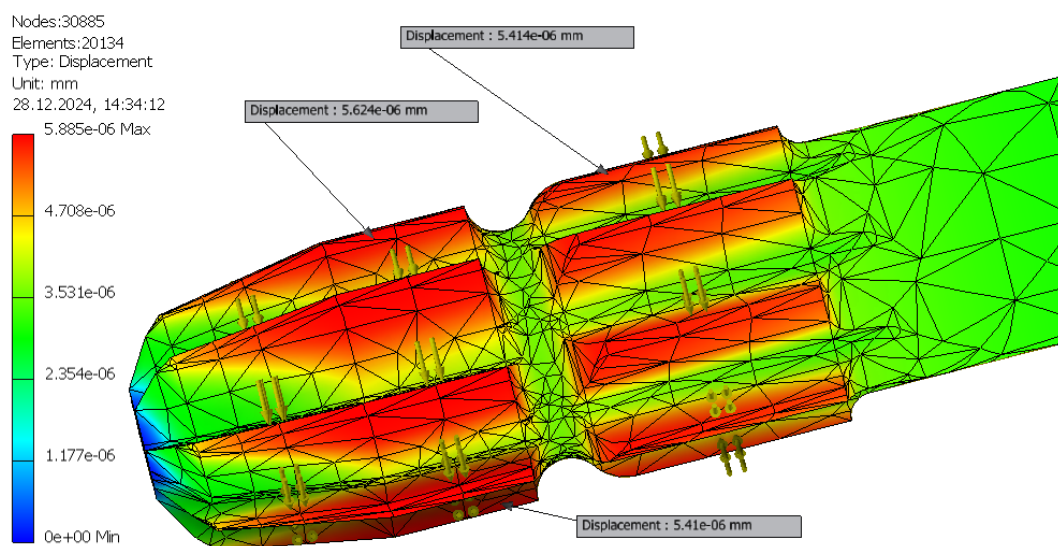


Рисунок 3.6 – Мікропереміщення елементів розвертки

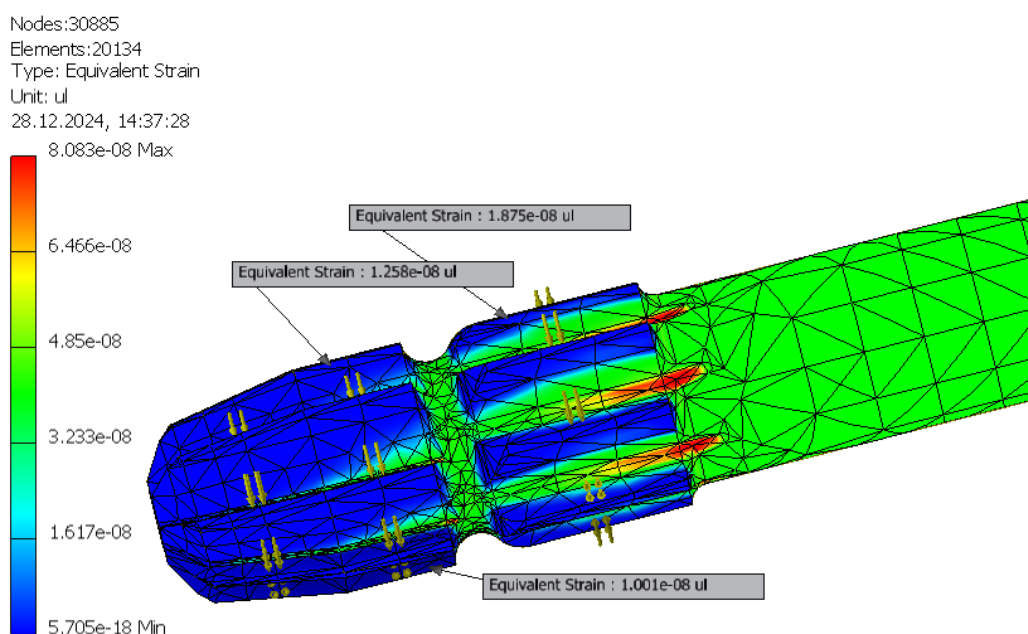


Рисунок 3.7 – еквівалентна деформація ділянок розвертки

Як бачимо з рис.3.6, мікропереміщенням також і піддається вигладжувальна ділянка, яку на нашу думку можна охарактеризувати як стирання у процесі роботи. Також еквівалентна деформація відбувається на ділянках, які згідно моделі мають вигладжувати поверхню отвору

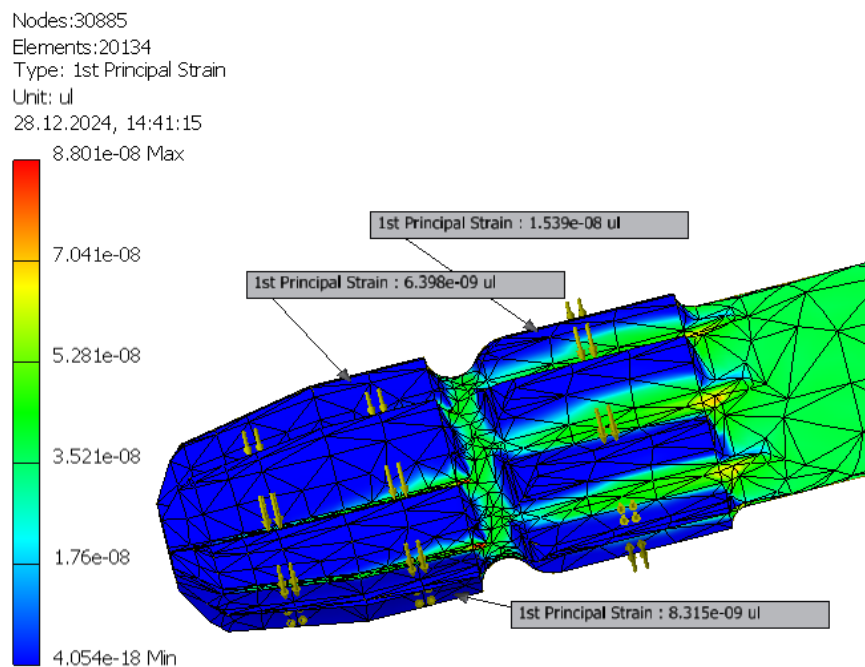


Рисунок 3.8 – 1-а еквівалентна деформація

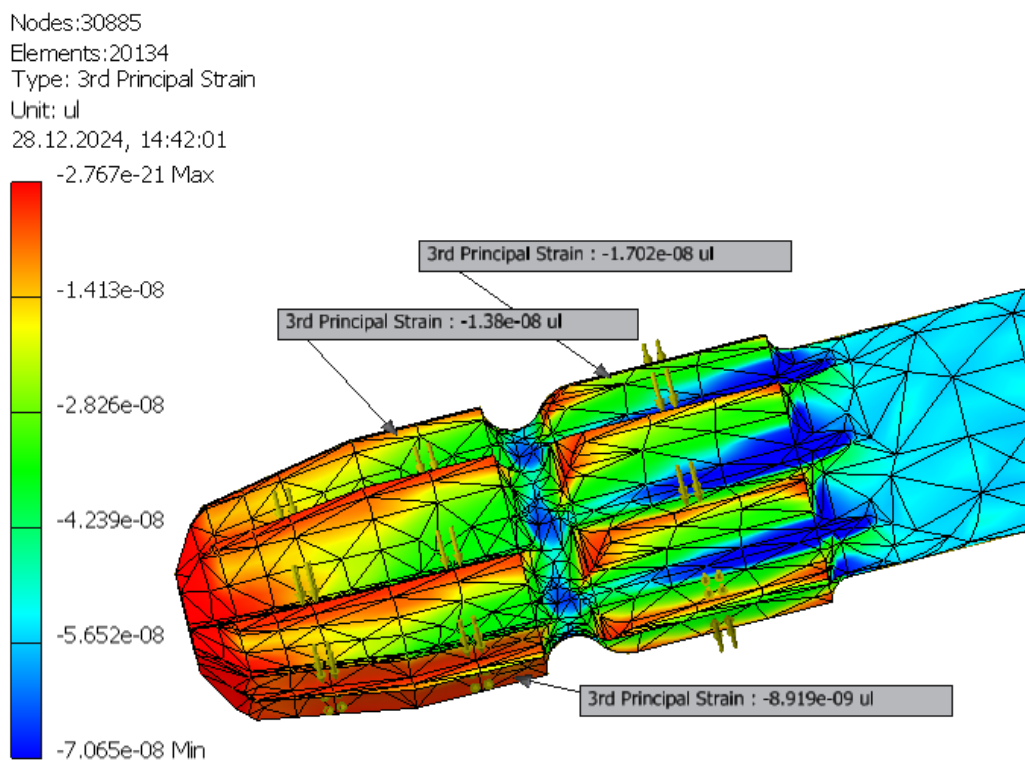


Рисунок 3.9 – 3-тя еквівалентна деформація

Виконуємо модальний аналіз з метою встановлення частот (рис.3.10)

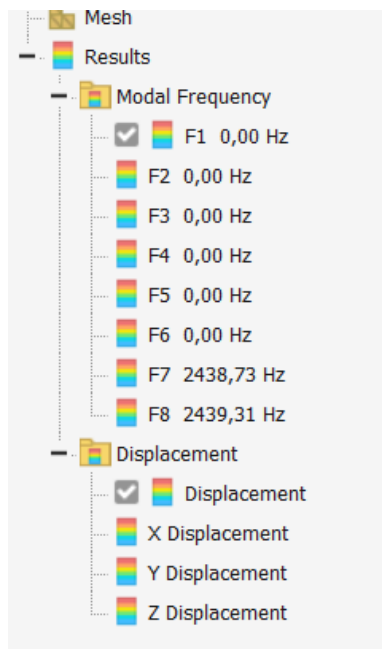


Рисунок 3.10 – розраховані частоти

Nodes:32611
 Elements:21249
 Type: Displacement
 Unit: mm
 28.12.2024, 15:01:41

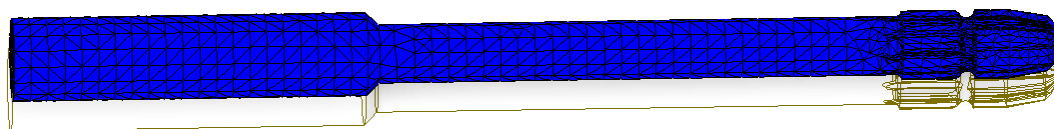
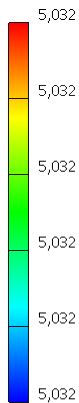


Рисунок 3.11 – 1-ша частота

Nodes:32611
 Elements:21249
 Type: Displacement
 Unit: mm
 28.12.2024, 14:57:34

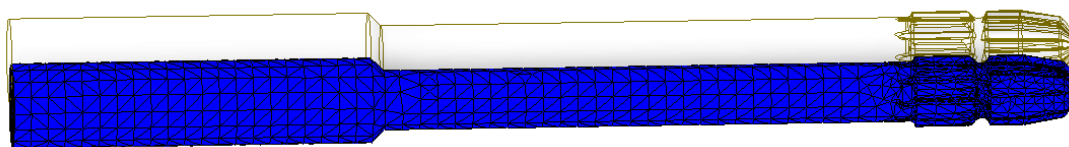
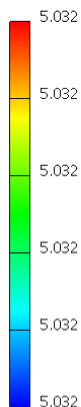


Рисунок 3.12 – 2-га частота

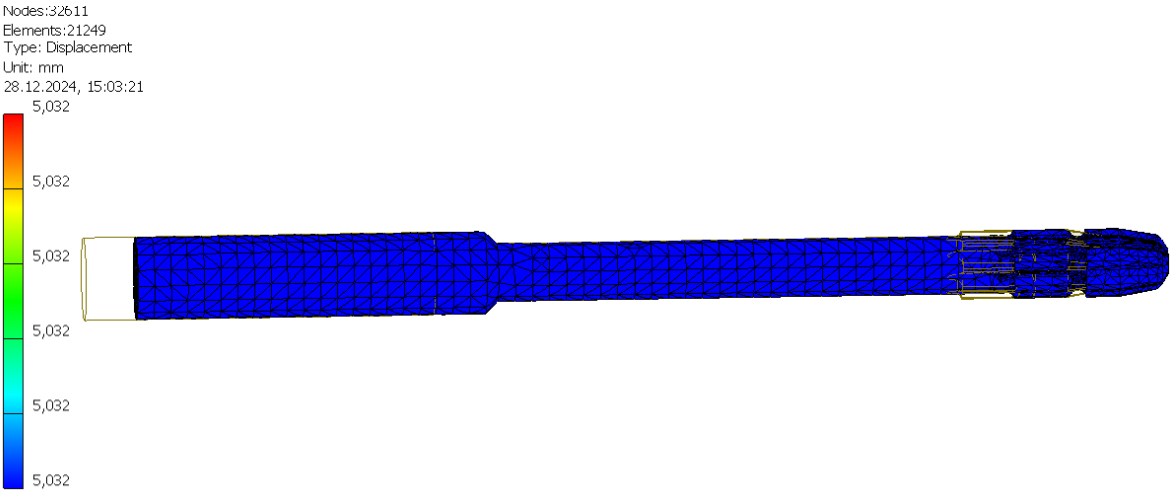


Рисунок 3.13 – 3-а частота

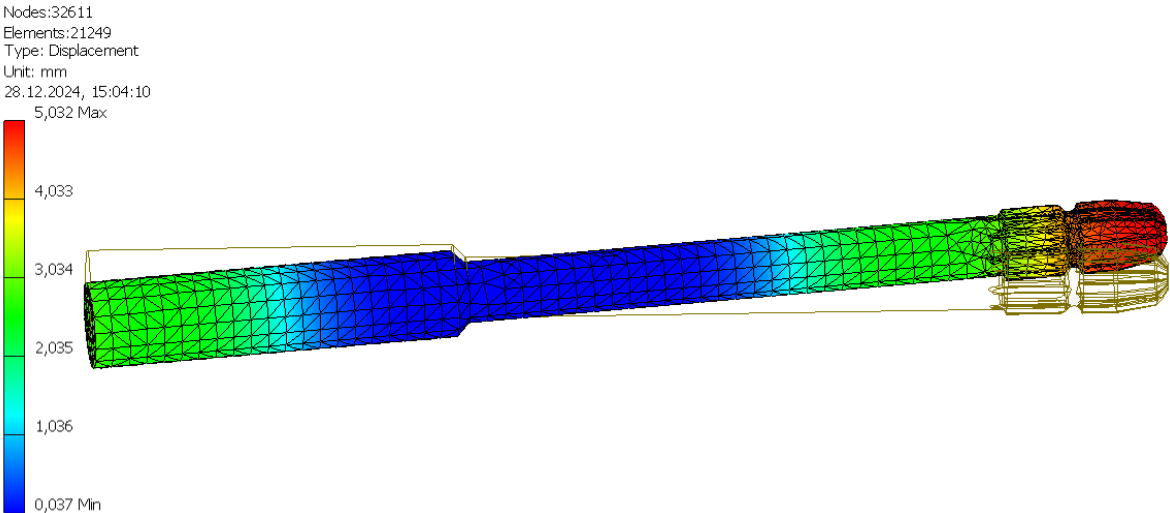


Рисунок 3.14 – 4-а частота

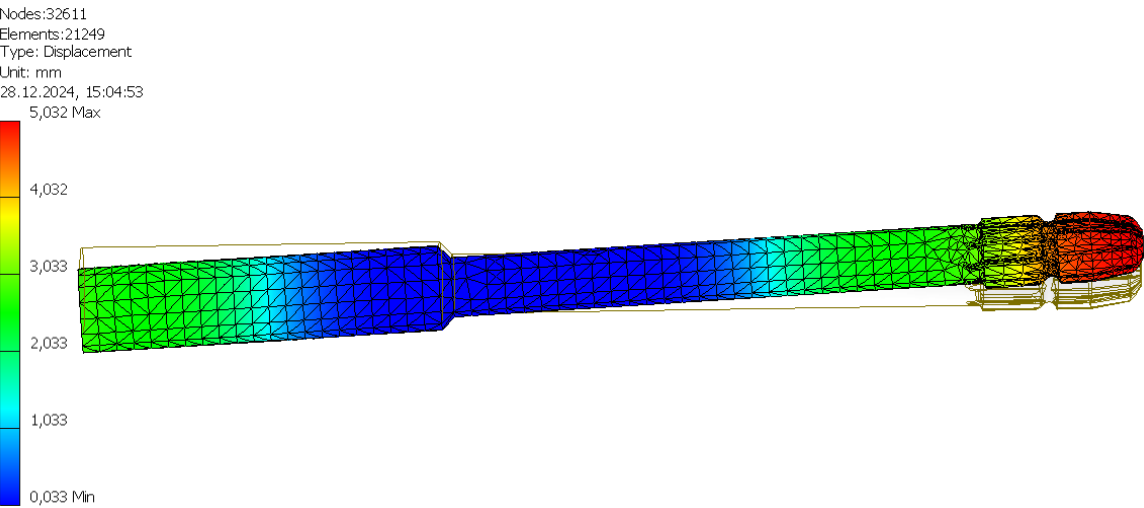


Рисунок 3.15 – 5-а частота

Nodes:32611
 Elements:21249
 Type: Displacement
 Unit: mm
 28.12.2024, 15:06:17
 5,032 Max

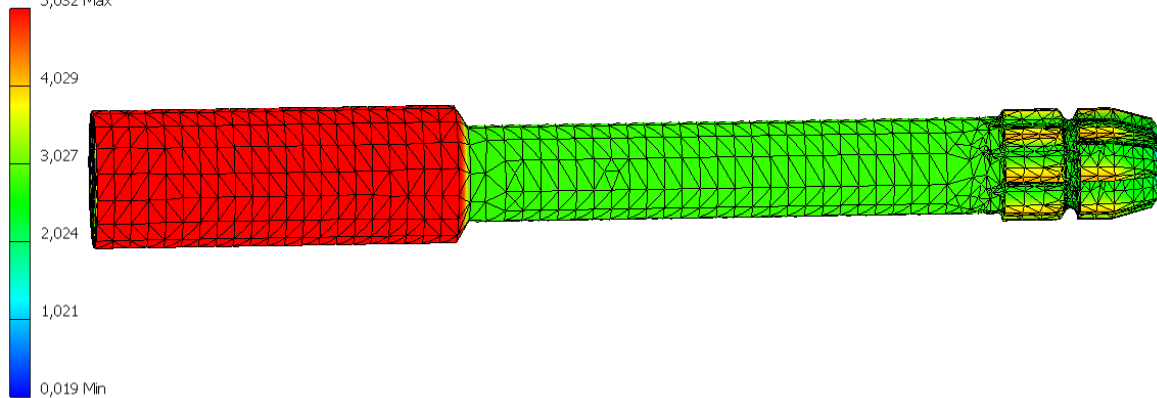


Рисунок 3.16 – 6-а частота

Nodes:32611
 Elements:21249
 Type: Displacement
 Unit: mm
 28.12.2024, 14:55:53
 5.032 Max

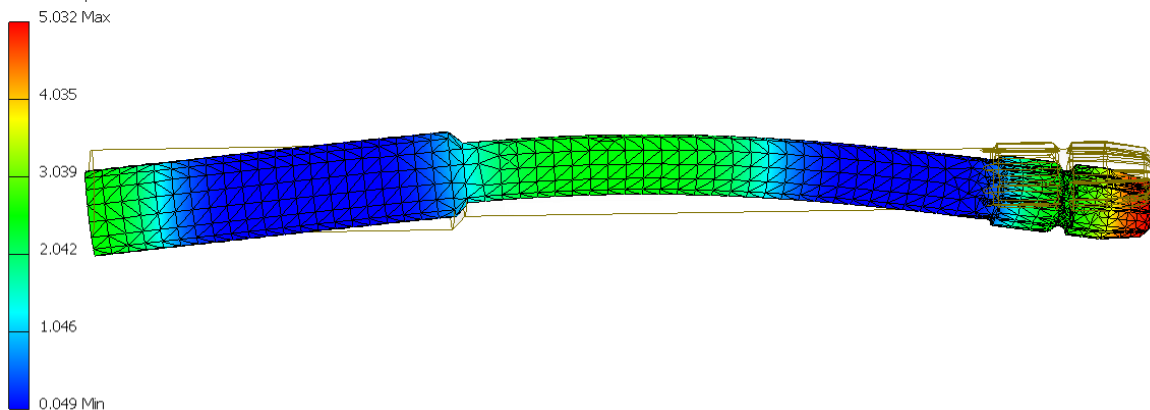


Рисунок 3.17 - 7-а частота

Nodes:32611
 Elements:21249
 Type: Displacement
 Unit: mm
 28.12.2024, 14:56:32
 5.032 Max

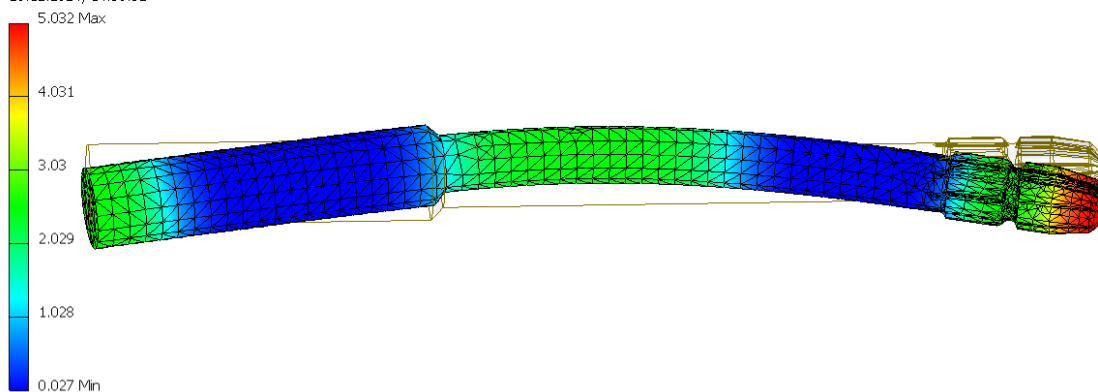


Рисунок 3.18 - 8-а частота

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

За час виконання кваліфікаційної роботи магістра та інформаційно-патентного пошуку, котрі передбачали дослідження процесу розвертання отворів, вивчення проблематики технологічного процесу, верстатного та інструментального забезпечення з метою їх впровадження на ремонтних дільницях ТОВ «Тернопільавто» було опубліковано тези [1]:

Гагалюк А.В., Смалій Ю.С., Смалій О.В. Обґрунтування параметрів розвертки для формування поверхневого шару посадкових отворів. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»* : зб. тез доп., м. Тернопіль, 11–12 груд. 2024 р. Тернопіль, 2024. С. 96. URL: https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001070/TNTU_Aktualni_zadachi_suchasnyh_tehnologiy_2024.pdf.

3.4 Висновки за результатами наукового дослідження

За результатами теоретичного, в розділі 2, і наукового дослідження можна і варто зробити наступні висновки:

1. Розрахунки в науковій роботі виконані на основі досліджень [25] показали, що кути зминання можуть бути меншими від зазначених. Твердість взаємних матеріалів значно більше впливає, а ніж режими різання.
2. Моделювання виконане нами не може врахувати усієї багатofакторності експериментальних досліджень, проте є підтвердженням теоретичної підготовки виконаної раніше. Ці дослідження, принаймні можуть спрямувати нас в напрямку розроблення багатоваріантності конструкцій розверток. Тому для отримання більш адекватних результатів досліджень необхідно більш детально підходити до задавання вхідних умов моделі.
3. Для теоретично-наукових пошуків дослідження представляє інтерес,

проте на практиці краще буде використовувати 2 окремих інструменти, адже чим простіше тим краще. Це пояснюється не лише науковою новизною, практичною доцільністю, а й вартістю експлуатації. Цей інструмент у першу чергу орієнтований на масове виробництво.

4. Як наслідок з попередніх пунктів, подібні технічні проблеми є рушієм для пошуку чогось нового, а в цьому випадку конструкцій розверток, адже у промисловості є приклади успішного використання комбінованого інструменту.

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 витоків мастила);
- у правильній освітленні 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:

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

- 6) не видаляти стружку при працюючому верстаті;
- 7) матеріали та деталі акуратно складати у встановленому місці так, щоб вони не заважали подальшому виконанню роботи;
- 8) не зупиняти і не гальмувати руками вимкнений, але ще продовжуючий обертатися шпиндель свердлильного верстата;
- 9) 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 лежцями;
- 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 накладити 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, директорів 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 розверток є одним із найдоступніших і відносно дешевих методів для отримання точних отворів по 6-7 квалітетах; зафіксовано можливість досягнення 5 квалітету точності, проте через значне зростання в ціні він економічно не вигідний;
2. встановлено, що на якість розвертання отворів має прямий вплив попередні види обробки, як свердління і зенкерування;
3. Прагнення зменшити навантаження на розвертку призводять до того, що через занадто малий припуск розвертка не виконує процес різання, а відбувається процес пластичного деформування поверхневих шарів. Це суперечить очікуваним результатам;
4. Дослідження показали, що використання екстремальної кутової нерівномірності створюють кращий ефект на забезпечення круглості профілю отвору;
5. Використання зрізувально-згладжувальних розверток потребує детального аналізу і подальшого дослідження, адже ідея давно відома, проте на виробництві не набула широкого вжитку.
6. Розрахунки в науковій роботі виконані на основі досліджень [25] показали, що кути зминання можуть бути меншими від зазначених. Твердість взаємних матеріалів значно більше впливає, а ніж режими різання.
7. Моделювання виконане нами не може врахувати усієї багатофакторності експериментальних досліджень, проте є підтвердженням теоретичної підготовки виконаної раніше. Ці дослідження, принаймні можуть спрямувати нас в напрямку розроблення багатоваріантності конструкцій розверток. Тому для отримання більш адекватних результатів досліджень необхідно більш детально підходити до задавання вхідних умов моделі.
8. Для теоретично-наукових пошуків дослідження представляє інтерес, проте на практиці краще буде використовувати 2 окремих інструменти, адже чим простіше тим краще. Це пояснюється не лише науковою новизною, практичною доцільністю, а й вартістю експлуатації. Цей інструмент у першу

чергу орієнтований на масове виробництво.

9. Як наслідок з попередніх пунктів, подібні технічні проблеми є рушієм для пошуку чогось нового, а в цьому випадку конструкцій розверток, адже у промисловості є приклади успішного використання комбінованого інструменту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гагалюк А.В., Смалій Ю.С., Смалій О.В. Обґрунтування параметрів розвертки для формування поверхневого шару посадкових отворів. *Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій»* : зб. тез доп., м.Тернопіль, 11–12 груд. 2024 р. Тернопіль, 2024. С. 96. URL: https://m.tntu.edu.ua/storage/pages/00001070/TNTU_Aktualni_zadachi_suchasnyh_tehnologiy_2024.pdf.
2. Каталог Dormer&Pramet. Holemaking 2021-2022. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/Dormer-Pramet-обробка-отворів.pdf>
3. Розвертання-зенкування-Guehring. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/Розвертання-зенкування-Guehring.pdf>
4. Каталог Guehring. Унікальні розвертки. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/Розвертки.pdf>
5. Каталог Sandvik-Coromant. Свердління. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2022/Свердління-Sandvik-Coromant.pdf>
6. Каталоги SECO. Обробка отворів. URL: <https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/2020.1-Обробка-отворів-.pdf>
7. 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 / В. Крупа та ін. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 66 с.
8. 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.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
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. Яковлєв // 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.Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. *Transactions of kremenchuk mykhailo ostrohradskyi national university*. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>
- 19.Крупа В., Кобельник В., Гагалюк А. Обґрунтування параметрів спеціального трикулачкового патрона для затиску тонкостінних циліндричних заготовок. *Transactions of kremenchuk mykhailo ostrohradskyi national university*. 2023. № 4. С. 128–137. URL: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.4.16>
- 20.Обґрунтування параметрів переналагоджуваних кондукторів для свердління отворів при виготовленні і відновленні / А. В Гагалюк, А. Б Гупка, В. М Клендій та ін. // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2012. Вип. 42, ч. 2. С. 110-116.
- 21.Обертовий інструмент. Каталог Seco. Обробка отворів 2020.1. URL: [https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/2020.1-Обробка отворів-.pdf](https://polidecktech.com/wp-content/uploads/2021/12/2020.1-Обробка_отворів-.pdf)
- 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
- 23.Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія

- оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
- 24.Паливода Ю., Дячун А., Лещук Р. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, 2019. 240 с.
 - 25.Проблеми механічної обробки [Електронний ресурс] В. І. Солодкий, В. В. Вовк, О. А. Плівак, С. О. Яцук – Електронні текстові дані (1 файл 4,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 202 с.
 - 26.Ремонт та вирішення проблеми двигунів марки Kia/Hyundai 2.4 GDI G4KJ
URL: <https://master.shop/articles/remont-ta-virishennya-problemi-dviguniv-marki-kiahyundai-24-gdi-g4kj>
 - 27.Решения TaeguTec в области обработки отверстий. URL: <https://27.com.ua/resheniya-taegutec-v-oblasti-obrabotki-otverstij/>
 - 28.Розвертання - Полідек-Тех. *polidecktech.com*. URL: <https://polidecktech.com/technical-information/deployment/>
 - 29.Розгортка твердосплавна монолітна Winstar. *НИКА СЕРВИС - пластины, фрезы, сверла, оснастка и оборудования*. URL: <https://www.nikas.com.ua/skachaty-katalog/NIKA-Winstar-2021-Reamers.pdf>
 - 30.Різальний інструмент: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей / В.І. Солодкий, О.А. Плівак: КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,83 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 278 с.
 - 31.С.В.Швець. Металорізальні інструменти. Металорізальні інструменти: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2007. 185 с.
 - 32.Шанайда В.В. Пакет MathCAD в інженерних розрахунках / В.В. Шанайда. Тернопіль: Видавництво ТДТУ, 2001. – 163 с.
 - 33.Я.О. Танавський, А. В. Гагалюк. Дослідження параметрів конструкції багатошпиндельної свердлильної головки. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні

- задачі сучасних технологій». – Тернопіль, 6-7 грудня 2023 року. С. 83.
34. Denkena B. Cutting edge geometries / B. Denkena, D. Biermann. // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 2014. – №63. – С. 631–653.
 35. Denkena B. Effects of the cutting edge microgeometry on tool wear and its thermo-mechanical load / B. Denkena, A. Lucas, E. Bassett // CIRP Annals - Manufacturing Technology. – 2011. – Vol. 60. – pp. 73 – 76.
 36. G.G. Lakić, D. Kramar, J. Kopač. Metal Cutting. Theory and Applications. Banja Luka and Ljubljana, 2014. 215 p.
 37. Reaming tools - kennametal. *Kennametal | Solutions for the Most Demanding Industries*. URL: <https://www.kennametal.com/us/en/products/metalworking-tools/holemaking/precision-hole-finishing/reaming.html?query=:relevance:obsoleteFacet:false:allCategoriesKMT:8378384:allCategoriesKMT:100054015&sort=&pageSize=16&category=8378384>
 38. 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.
 39. TaeguTec. Е-каталог. Розвертання URL: <https://www.imc-companies.com/TaeguTec/ttkCatalog/Family.aspx?fnum=10677&mapp=RE&app=270&GFSTYP=M>
 40. 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.

ДОДАТКИ