

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра галузевого машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ
ГІДРАВЛІЧНОГО РІЗАННЯ ТКАНИН

спеціальність 133 Галузеве машинобудування

освітня програма Галузеве машинобудування

Виконав: здобувач вищої освіти
групи Мсз-21

Овадюк Владислав Олегович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Мартинюк Віктор Леонідович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.

к.т.н., доцент

Гарант освітньої програми:

Пуць Віталій Степанович

(підпис)

Луцьк – 2023 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра галузевого машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма: «Галузеве машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри
Пуць Віталій Степанович
«__» _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Овадюка Владислава Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *«Удосконалення пристрою гідравлічного різання тканин»*

Керівник роботи: к.т.н., доцент Мартинюк Віктор Леонідович

затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» грудня 2022 р. №993/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «08» червня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи *Технічна документація. Патентні матеріали. Технічні умови.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити): *Вступ. Огляд та аналіз способів та устаткування для розкрою матеріалів. Проектно- конструкторська частина. Розроблення гідравлічної схеми гідрорізальної установки. Розроблення конструкції гідрорізального пристрою, математичних моделей руйнування матеріалу, гідроабразивним струменем. Розрахунок високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя. Експериментальні дослідження процесу гідро- та гідроабразивного різання. Висновки та пропозиції. Перелік використаних джерел. Додатки*

5. Перелік графічного матеріалу:

1. *Схеми розкрою матеріалів – 1 лист ф. А1*

2. *Схеми пресів, гідрорізальна установка, схема функціональна – 1 лист ф. А1*

3. *Гідрорізальна установка, схема гідравлічна – 1 лист ф. А1*

4. *Струменеформуючий пристрій гідрорізальної установки, складальний кресленик – 1 лист ф. А1*

5. *Робочі кресленики деталей гідрорізальної установки – 1 лист ф. А1*

6. *Визначення ступеня впливу рідинної складової на процес – 1 лист ф. А1*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мартинюк В.Л., доцент		
Розділ 2	Мартинюк В.Л., доцент		
Розділ 3	Мартинюк В.Л., доцент		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми. Вступ.</i>	<i>28.01.2023 р.</i>	
2.	<i>1 Огляд та аналіз способів та устаткування для розкрою матеріалів</i>	<i>25.02.2023 р.</i>	
3.	<i>2 Проектно- конструкторська частина</i>	<i>06.05.2023 р.</i>	
4.	<i>3 Експериментальні дослідження процесу гідро- та гідроабразивного різання</i>	<i>27.05.2023 р.</i>	
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>03.06.2023 р.</i>	
6.	<i>Формування додатків</i>	<i>06.06.2023 р.</i>	
7.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічної частини</i>	<i>08.06.2023 р.</i>	
8.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>08.06.2023 р.</i>	
9.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>02.06.2023 р.</i>	
10	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>14.06.2023 р.</i>	

Здобувач вищої освіти _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Овадюк В.О. Удосконалення пристрою гідравлічного різання тканин.
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків та пропозицій, переліку джерел посилання, додатків.

У роботі удосконалено пристрій гідравлічного різання тканин та проведено експериментальні дослідження.

Ключові слова: РОЗКРІЙ, ПРИСТРІЙ ГІДРАВЛІЧНОГО РІЗАННЯ, ВИСОКОШВИДКІСНИЙ СТРУМІНЬ, ГІДРОАБРАЗИВНЕ РІЗАННЯ, ГІДРАВЛІЧНЕ РІЗАННЯ.

ANNOTATION

Ovadiuk V.O. Improvement of the device for hydraulic cutting of fabrics.
Manuscript.

Qualification work of the bachelor's degree program «Industrial Machinery Engineerig» in the specialty 0715 Mechanics and Metal Trades. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions and recommendations, a list of references, and appendices.

The study improved the device for hydraulic tissue cutting and conducted experimental research.

Keywords: CUTTING, HYDRAULIC CUTTING DEVICE, HIGH-SPEED JET, HYDROABRASIVE CUTTING, HYDRAULIC CUTTING.

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Удосконалення пристрою гідравлічного різання тканин</i>	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розробив</i>	<i>Овадюк</i>						<i>3</i>	<i>73</i>
<i>Перевірив</i>	<i>Мартинюк</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Мартинюк</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Пцць</i>							
						<i>ЛНТУ, ФТМІ, зр. Мсз-21</i>		

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ЗМІСТ	4
ВСТУП	5
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РОЗКРОЮ	
МАТЕРІАЛІВ	6
1.1 Способи розкрою матеріалів	6
1.2 Механізми для розкрою матеріалів	9
1.3 Конструкції гідрорізального устаткування	19
1.4 Мета і завдання кваліфікаційної роботи	19
2 ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	27
2.1 Розроблення гідравлічної схеми гідрорізальної установки	27
2.2 Розроблення конструкції гідрорізального пристрою	32
2.3 Розроблення математичної моделі руйнування матеріалу	
високошвидкісним гідроструменем	34
2.4 Розроблення математичної моделі високошвидкісного ріжучого	
гідроабразивного струменя	44
2.5 Руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем	49
2.6 Розрахунок високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя	52
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГІДРО-	
ТА ГІДРОАБРАЗИВНОГО РІЗАННЯ	55
3.1 Вплив характеристик установки та матеріалу на необхідну потужність	
гідроабразивного струменя та затрачену роботу гідрорізальної установки	55
3.2 Ступінь впливу рідинної складової двофазного струменя під час	
гідроабразивного розрізання	59
ВИСНОВКИ	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	70
ДОДАТКИ.....	73

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Розробка і впровадження нових технологій тісно пов'язані зі створенням і успішним введенням конкурентоздатної продукції на ринок. Сучасний етап розвитку економіки можна описати формулою «Наука - технологія - виробництво - ринок». Головною метою нових технологій є досягнення високої продуктивності праці і якості виробленої продукції. Це зростання виробничих показників бажано досягати без збільшення кількості працівників, шляхом використання передового обладнання, яке реалізовує прогресивні технології, ефективно використовує сировину і енергію, а також сприяє комплексній автоматизації технологічних процесів.

Велика увага для легкої промисловості зосереджена на розробленні прогресивних технологій і нового високопродуктивного устаткування.

Під час розкрійних процесів у легкій промисловості зазвичай використовується механічне різання, де різальний інструмент впливає на матеріал. Однак, у деяких випадках, особливо при обробці складних форм або у важкодоступних місцях, цей метод є малоефективним або неприйнятним. Більше того, при використанні нових швейних матеріалів зі специфічними фізико-механічними властивостями традиційні методи розкрою є малоефективними, що призводить до зниження продуктивності, збільшення собівартості та недостатньої якості різання. З метою розрізання матеріалів все частіше використовуються високоефективні методи безпосередньої дії плазми, рідини або струму на матеріал, уникаючи використання механічних різаків [1-4]. Одним з таких методів є розрізання матеріалів за допомогою високошвидкісного струменя рідини або струменя рідини з абразивом.

В останні роки в технічній літературі з'явилися наукові дослідження, що презентують результати у використанні гідрорізального устаткування [5-8]. Таким чином, актуальними є дослідження та розробки струменеформуючих пристроїв для розкрою нових матеріалів зі специфічними фізико-механічними властивостями.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ РОЗКРОЮ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Способи розкрою матеріалів

Наявність різноманітного устаткування розкрою, що призводить до різання, надзвичайно широким асортиментом матеріалів, які використовуються в легкій промисловості. Зображено це на рисунку 1.1 [9].



Рис. 1.1 – Способи різання матеріалів легкої промисловості

Розрізання матеріалів легкої промисловості може бути виконане різними методами обробки, такими як паралельна, паралельно-послідовна або послідовна

(включаючи паралельну і послідовну) [10]. У процесі такої обробки використовуються різні типи ріжучих інструментів, які можна поділити на дві категорії: універсальні та спеціалізовані (див. рис. 1.2) [8].



Рис. 1.2 – Класифікація ріжучого інструмента

Існує спектр способів розкрою матеріалів у легкій промисловості, які дослідники та автори виділили на дві основні категорії: традиційні та нетрадиційні [11 – 13].

До традиційних способів належать такі, що вже стали стандартними в легкій промисловості: вирубка деталей на пресах, розкрій за допомогою машини з широкими типами ножів (дискових, стрічкових, осцилюючих), розкрій у штампах та на гільотинних машинах.

Нетрадиційні способи розкрою включають: розкрій електричною іскрою, лазерним промінням, струменем рідини, ротаційний розкрій, мікроплазмовий розкрій та ультразвуковий розкрій.

Вирубка заготовок виробів легкої промисловості на різних пресах є найпоширенішим методом, що знаходить широке застосування [14, 15]. Це пояснюється перш за все високою продуктивністю процесу, особливо при розкрої багат шарових настилів за допомогою групових різаків. Крім того, ножові машини широко використовуються в швейній, трикотажній і шкіряній промисловості. Проте, цей спосіб менш продуктивний в порівнянні з вирубкою, оскільки вимагає послідовної обробки деталі по контуру [12].

Варто зазначити, що метод розрізання штампуванням, який майже виключно застосовується в легкій промисловості, має ряд недоліків. Перш за все, це пов'язано зі зниженою зносостійкістю штампів, що призводить до значного зношування матеріалу та потреби в його відновленні. Крім того, для кожного виду взуття потрібно мати велику кількість різних штампів, що обмежує гнучкість виробництва та ускладнює швидке впровадження нових моделей.

Більш широке використання в легкій промисловості отримала вирубка заготовок виробів за допомогою різних пресів [14, 15]. Це стало можливим завдяки високій продуктивності цього процесу, особливо при розкрої багат шарових настилів за допомогою групових різаків. Використання ножових машин також поширене в швейній, трикотажній і шкіряній промисловості. Однак, цей метод менш продуктивний порівняно з вирубкою, оскільки потребує послідовної обробки деталі по контуру [12].

Належить зазначити, що штампування має свої недоліки, пов'язані з складністю раціональної розкладки, що призводить до значних втрат цінної сировини, особливо при обробці малих деталей. В деяких випадках штампування неприйнятне через недостатню ширину окремих елементів деталі, що не забезпечує потрібного зусилля притиску. Крім того, умови дрібносерійного виробництва не сприяють застосуванню штампування з причини його несумісності з програмним управлінням і економічною неефективністю.

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		8

Одним з недоліків традиційних методів розкрою є значна кількість ручної праці, пов'язана з маніпулюванням різакми та подачею матеріалу до ножа, що ускладнює автоматизацію процесу. Крім того, використання пресів для розкрою вимагає значних витрат на розробку, виготовлення і переточування різаків.

У той же час, спостерігається постійна тенденція до використання нових безконтактних методів розкрою. Загальна перевага цих методів полягає в їхній сумісності з системами числового програмного управління.

Наприклад, використання гідрорізального устаткування знаходить все більше застосування в легкій промисловості. Цей метод є особливо доцільним для розрізання матеріалів, таких як гума, шкіра, ущільнювачі і наповнювачі [8, 16, 17]. Гідрорізання дозволяє повністю автоматизувати виробництво, зменшити використання ручної праці до мінімуму, забезпечити економію матеріалів та скоротити терміни впровадження нових моделей у виробництво.

Також, використання лазерного розкрою матеріалів має свої переваги. Проте, цей метод не можна застосовувати для матеріалів, які втрачають свої властивості при високих температурах і можуть виділяти токсичні речовини.

Отже, можна зробити висновок, що традиційні методи розкрою матеріалів легкої промисловості є ефективними для масового виробництва, але в умовах дрібносерійного виробництва зі змінним асортиментом виробів, стають недоцільними. В таких випадках варто розглянути застосування нетрадиційних методів розкрою, таких як гідрорізання, які дозволяють автоматизувати виробництво, знизити витрати на ручну працю, зберегти матеріали та прискорити процес впровадження нових моделей.

1.2 Механізми для розкрою матеріалів

Основний метод розкрою матеріалів у легкій промисловості є вирубкування різаком на нерухомій опорі за допомогою вирубочних пресів і прес-автоматів. Цей спосіб полягає в тому, що спеціально виготовлений різак, що відповідає контуру деталі, розрізає матеріал, який розміщений на опорі.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Різак (рис. 1.3, а, б) розміщується на матеріалі, який потрібно розрізати, із який знаходиться на опорі (стіл або плита преса). При включенні преса, ударник (1) опускається, натискаючи на різак, і відбувається процес вирубування деталі по всьому контуру одночасно. Такий спосіб розкрою є швидким і високопродуктивним.

Схеми розкрою можуть мати різні варіанти залежно від руху ударника і способу установки різака. Наприклад, різак (рис. 1.3, а) може бути встановлений вручну на матеріал, і ударник (1) рухається тільки вниз (на удар) і вгору до початкового положення. Або ударник (рис. 1.3, б), крім руху вниз (на удар) і вгору, також може рухатись горизонтально для установки над різак. Ця схема роботи забезпечує безпеку роботи на пресі, оскільки ударник відведений від робочої зони, і маніпуляції робітника з переміщенням різака на матеріалі здійснюються поза ударником. Однак, це призводить до збільшення часу холостих переміщень ударника, що знижує продуктивність. Цю втрату продуктивності можна компенсувати шляхом розрізання багат шарових настилів матеріалів. Такий підхід дозволяє використовувати більше шарів матеріалу одночасно, зменшуючи кількість холостих переміщень ударника і збільшуючи продуктивність процесу.

Однак, необхідно відзначити деякі недоліки традиційного способу вирубування різак на нерухомій опорі. Він вимагає ручної установки різака на матеріалі, що може бути часо- та працезатратним процесом. Крім того, збільшення часу холостих переміщень ударника при руху над різак може знижувати загальну продуктивність.

Одним з перспективних варіантів є використання гідрорізального устаткування. Цей метод дозволяє автоматизувати процес розкрою, зменшити ручну працю та зекономити матеріали. Використання гідрорізання вже знайшло своє застосування в різних галузях легкої промисловості, таких як гума, шкіра, ущільнювачі і наповнювачі.

Таким чином, традиційний спосіб розкрою матеріалів у легкій промисловості здатний забезпечити високу продуктивність в масовому

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

виробництві, але стає недоцільним при дрібносерійному виробництві з частою зміною асортименту. В таких випадках, використання нетрадиційних методів, таких як гідрорізання, може бути більш перспективним, оскільки воно дозволяє автоматизувати виробництво, мінімізувати ручну працю, економити матеріали і скорочувати час на налаштування та зміну інструментів. Гідрорізання дозволяє розрізати різноманітні матеріали, включаючи гуму, шкіру, текстиль, а також пластмаси, волокна та інші.

Принцип роботи гідрорізального устаткування полягає у використанні струменя води під високим тиском, який видаляє матеріал, утворюючи необхідну форму або отвір. Додавання абразивного матеріалу до струменя води дозволяє розрізати більш тверді матеріали, такі як метал, кераміка або скло.

Переваги гідрорізання включають високу точність розкрою, мінімальну деформацію матеріалу, відсутність термічного впливу та малу кількість відходів. Крім того, цей метод дозволяє розрізати складні форми і виконувати внутрішні отвори без необхідності використання додаткових інструментів.

Однак, варто зазначити, що гідрорізання має свої обмеження. Воно може бути повільнішим у порівнянні з традиційними методами, особливо при обробці великого обсягу матеріалу. Крім того, використання води та абразивних матеріалів може потребувати додаткових заходів щодо утилізації та очищення.

У підсумку, гідрорізання представляє собою нетрадиційний та перспективний метод розкрою матеріалів у легкій промисловості. Воно дозволяє автоматизувати процес, забезпечити високу точність та широкий спектр застосування. При виборі методу розкрою необхідно враховувати специфіку та обсяг виробництва.

У випадку автоматизованого розкрою матеріалів, різак 2 (рис. 1.3, в) прикріплюється до ударника 1 і разом з ним переміщується над матеріалом 3, що розташований на опорі 4. Однак, традиційний спосіб вирубування різакми має свої недоліки. Наприклад, вимагається постійне виготовлення великої кількості різаків, що стає проблемою у виробництві з широким асортиментом. Крім того,

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

різачи потребують постійного переточування і відновлення, що також є часо- та працезатратним процесом.

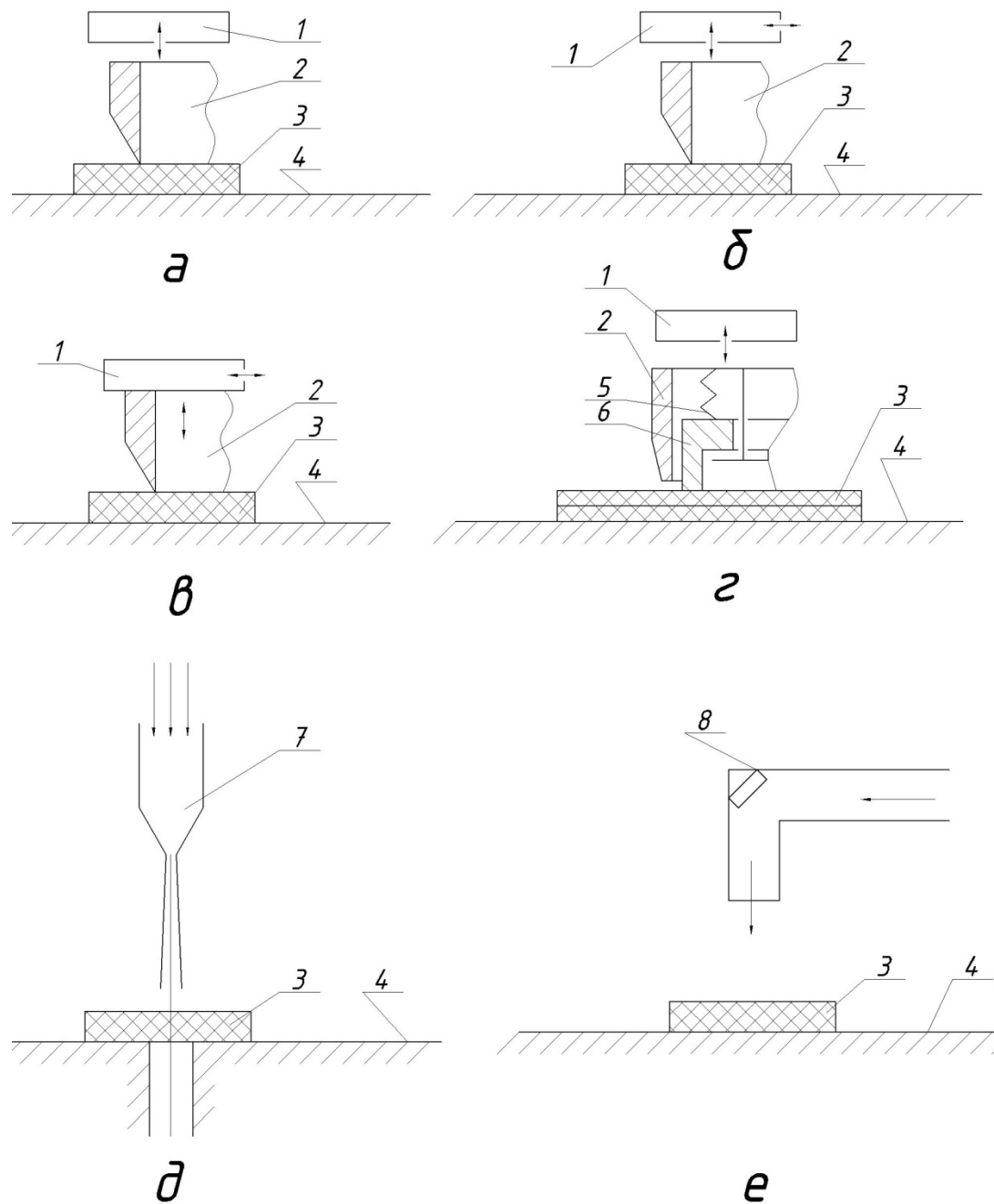


Рис. 1.3 – Принципові схеми сучасних способів розкрою в'язких матеріалів:
 а, б – розкрій на вирубочному пресі; в – розкрій на вирубочному прес-автоматі;
 г – розкрій за допомогою струмів високої частоти; д – розкрій з застосуванням енергії гідравлічного струменя; е – розкрій променем лазера;

1 – ударник; 2 – різець; 3 – матеріал; 4 – опора; 5 – пружина; 6 – електрод;
 7 – сопло; 8 – поворотне дзеркало.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

У зв'язку зі зростанням використання синтетичних матеріалів і методу зварювання цих матеріалів за допомогою струмів високої частоти, почали застосовувати метод розкрою з одночасним зварюванням деталей по розрізаному краю. Для цього використовується інструмент, що поєднує в собі різак і електрод. Електрод 6 (рис. 1.3, г) встановлено в корпусі різака 2, а між електродом і різакром розташовані пружини 5, які дозволяють рухати різакром відносно електрода під час розкрою.

Під час опускання ударника 1, спочатку електрод 6 взаємодіє з оброблюваним матеріалом 3, що розташований на опорі 4, і виконує зварювання, а потім різак 2 проникає в матеріал, розрізаючи його по краю зварного шва. Електроди виготовляються з металів високої електропровідності, таких як латунь або сплави алюмінію.

З метою запобігання утворенню електричної дуги і пригоранню країв робочої поверхні електрода, його краї мають бути заокруглені.

Цей метод розкрою з одночасним зварюванням деталей має кілька переваг. Він дозволяє ефективно обробляти синтетичні матеріали, забезпечує міцне зварне з'єднання і точний розкрій матеріалу. Крім того, такий підхід дозволяє уникнути необхідності в постійному виготовленні і заміні різаків, що спрощує виробничий процес та знижує його витрати.

Проте, слід враховувати, що розкрій з одночасним зварюванням має свої обмеження. Він може бути складним для застосування у випадку матеріалів з високою теплопровідністю або електропровідністю. Крім того, необхідно дотримуватись певних технологічних параметрів, таких як відповідна потужність струму, щоб забезпечити якісне зварювання та розкрій.

Для здійснення безконтактного розкрою матеріалів застосовуються два методи: розкрій енергією гідравлічного струменя і розкрій за допомогою лазерних променів.

При розкрої енергією гідравлічного струменя, рідина під високим тиском (до 100 МПа і більше) подається через сопло 7, розмір якого менший 1 мм в перерізі. Цей струмінь, при попаданні на матеріал 3, розрізає його і проходить

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

через отвір у столі 4. Такий метод дозволяє здійснювати розкрій без використання ріжучого інструменту. Гідравлічний розкрій є швидким і точним способом обробки матеріалів, особливо при роботі з твердими і складнозагартованими матеріалами.

Розкрій променем лазера використовує енергію випромінювачів, які можуть бути кристалами. Промінь, випромінюваний випромінювачем, спрямовується на поворотне дзеркало 8, відбивається від нього і фокусується лінзою з хлористого калію. Потім промінь падає на поверхню матеріалу 3, який підлягає розкрою і розміщений на опорі 4. Лазерний розкрій забезпечує високу точність, деталізацію та швидкість обробки. Він ефективно використовується для розкрою різних матеріалів, включаючи метали, пластмаси та дерево.

Застосування безконтактного розкрою матеріалів енергією гідравлічного струменя і лазерних променів відкриває нові можливості для промисловості. Ці методи дозволяють здійснювати більш точний, швидкий і ефективний розкрій матеріалів. Вони мають свої переваги і застосовуються залежно від вимог та властивостей матеріалів.

Використання гідравлічного струменя для розкрою матеріалів дозволяє досягти високої швидкості та прецизії розрізання. Завдяки великому тиску рідини і високій швидкості подачі струменя, матеріал розрізається безпосередньо при контакті з ним. Цей метод особливо ефективний для розкрою товстих, в'язких або складнозагартованих матеріалів, де інші способи можуть бути менш ефективними.

За допомогою лазерного розкрою можна отримати високу точність, мінімальну ширину розтину і можливість розрізати складні геометричні форми. Лазерний промінь дозволяє розрізати матеріали швидко і з максимальною точністю, залишаючи мінімальний залишок тепла або механічного напруження на обробленій поверхні. Цей метод особливо популярний у виробництві електроніки, автомобілебудуванні, машинобудуванні та інших галузях, де важлива висока якість і точність розрізання.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Використання безконтактного розкрою матеріалів дозволяє покращити ефективність виробничих процесів, скоротити витрати на інструменти та забезпечити високу якість обробки. Кожен з цих методів має свої особливості і застосовується залежно від вимог і можливостей виробництва. Вибір методу розкрою залежить від типу матеріалу, потреб у точності, швидкості і ефективності виробництва, а також від фінансових та технічних можливостей фабрики.

Крім гідравлічного струменя і лазерних променів, існують і інші методи безконтактного розкрою матеріалів, такі як водоструминний розкрій, плазмовий розкрій та ультразвуковий розкрій. Кожен з цих методів має свої особливості і застосовується в різних галузях промисловості залежно від вимог і властивостей матеріалів.

Водоструминний розкрій використовує струмінь води під високим тиском для розрізання матеріалів. Цей метод особливо ефективний для м'яких матеріалів, таких як гума, текстиль або харчові продукти. Водоструминний розкрій дозволяє отримати чисті розтини без залишкового тиску або тепла, що часто потрібно в деяких галузях, наприклад, у текстильній промисловості для розкрою тканин.

Плазмовий розкрій використовує плазму, яка генерується високою температурою, для розтину матеріалів. Цей метод часто використовується для розрізання металевих матеріалів, таких як сталь або алюміній, з великою швидкістю і високою точністю. Плазмовий розкрій дозволяє працювати з великими товщинами матеріалів і дозволяє отримати гладкі розтини з мінімальними випадками викривлення.

Ультразвуковий розкрій використовує високочастотні звукові хвилі для розтину матеріалів. Цей метод ефективний для м'яких і дрібнозернистих матеріалів, таких як пластик або кераміка.

Вирубні преси та прес-автомати використовуються для розкрою різних видів матеріалів, таких як натуральна шкіра, листові матеріали і рулонні матеріали, які можуть бути синтетичними шкірами, штучними шкірами, тканинами, картоном та іншими.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Залежно від конструкції виконавчого механізму, преси поділяються на три типи: траверсні, кареточні і консольні. Кожен тип має свої конструктивні особливості, від простих пресів з ручним керуванням і ручною подачею матеріалів та різаків до прес-автоматів з програмним керуванням і автоматичною подачею матеріалів.

Вирубні преси також поділяються на три групи залежно від призначення: для розкрою деталей з жорстких шкір, для розкрою деталей з м'яких шкір і для розкрою взуттєвих деталей з рулонних і листових матеріалів.

Основні технічні характеристики вирубних пресів включають силу удару або зусилля вирубки, проліт преса або виліт ударника для пресів консольного типу, а також вид приводу, який може бути механічним або гідравлічним.

Преси траверсного типу мають деякі переваги порівняно з іншими конструкціями, оскільки вони забезпечують можливість розкрою одночасно по всьому прольоту преса і по всій ширині матеріалу з використанням детальних і групових різаків. Це створює умови для автоматизації процесу розкрою і сприяє підвищенню продуктивності.

На початковому етапі виробництва використовуються преси з механічним приводом, як показано на рисунку 1.4, введення технології виробництва. Ці машини працюють за допомогою механічного приводу, що забезпечує рух і дію вирубного механізму. Цей тип пресів дозволяє ефективно виконувати процес розкрою, забезпечуючи потрібну силу удару та проліт преса.

Впровадження техніки виробництва з використанням вирубних пресів і прес-автоматів має велике значення для різних галузей промисловості, зокрема для виробництва взуття, шкіряних виробів, текстилю та багатьох інших. Ці машини дозволяють швидко і точно викроювати матеріали різних типів і форм, що забезпечує високу якість та ефективність виробництва.

Загалом, вирубні преси і прес-автомати є незамінними інструментами для розкрою матеріалів у промисловості. Їх різноманітність за конструкцією та призначенням дозволяє вибрати оптимальний варіант для конкретних виробничих

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

потреб. Використання таких технологій сприяє автоматизації процесу розкрою, підвищенню продуктивності та поліпшенню якості виготовлених виробів.

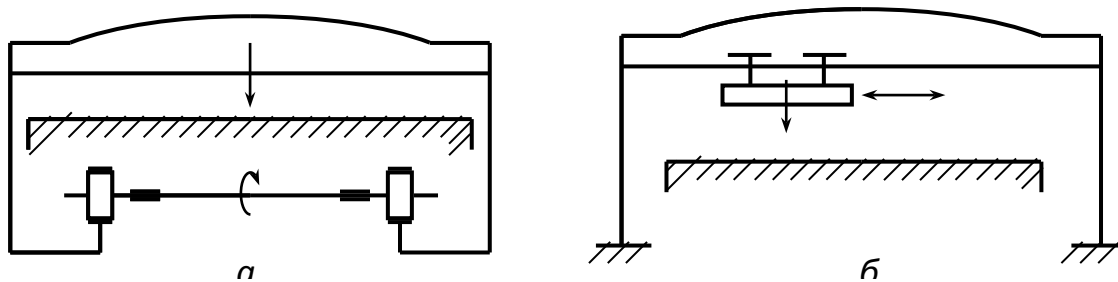


Рис. 1.4 – Принципові схеми пресів з механічним приводом:

а – траверсний; б – кареточний.

Завдяки використанню гідравлічного приводу, знову стало можливим використання конструкцій пресів траверсного типу (рис. 1.5), оскільки вони мають значну перевагу - можливість розкрою по всьому прольоту преса одночасно.

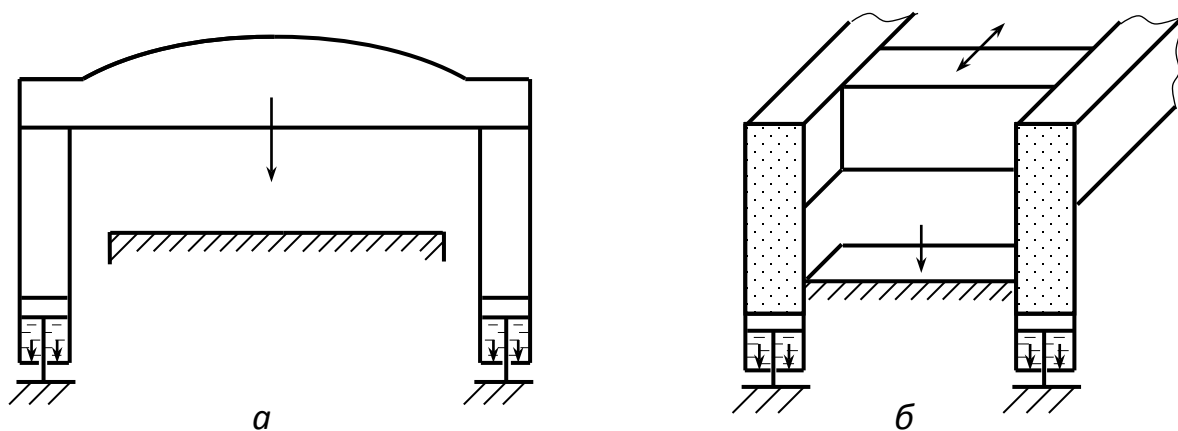


Рис. 1.5 – Принципові схеми пресів з гідравлічним приводом траверсного типу: а – для розкрою деталей низу взуття з жорстких шкір; б – з висувною траверсою для розкрою з листових і рулонних матеріалів.

За допомогою гідравлічного приводу, преси траверсного типу забезпечують потрібну силу для руху та дії вирубного механізму. Це дозволяє ефективно виконувати процес розкрою, розрізаючи матеріал одночасно по всій ширині прольоту преса. Такий підхід є особливо корисним при обробці широких

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

матеріалів або в виробництвах, де потрібно викроювати велику кількість деталей за один цикл роботи.

Використання гідравлічного приводу у пресах траверсного типу розширює можливості виробництва, забезпечуючи більшу ефективність та продуктивність процесу розкрою. Крім того, цей тип пресів забезпечує такі переваги, як точність розкрою та можливість автоматизації операцій, що сприяє підвищенню якості виробів і зниженню витрат на виробництво.

Преси консольного типу використовуються для розкрою дрібних шкір верху. Ці преси мають особливу конструкцію, яка включає автоматичний поворот ударника для полегшення роботи (рис. 1.6).

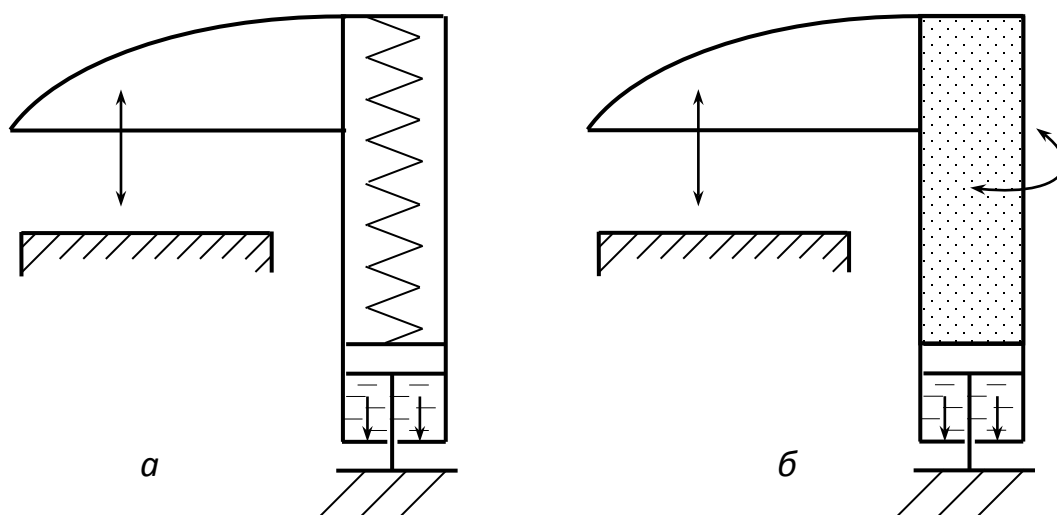


Рис.1.6 – Принципові схеми пресів з гідроприводом консольного типу:
а – консольний; б – консольний з автоматичним поворотом.

У пресах консольного типу, ударник, що відповідає за вирубку матеріалу, обладнаний механізмом автоматичного повороту. Цей механізм дозволяє ударнику змінювати своє положення, що спрощує процес розкрою і поліпшує якість вирізаних деталей.

Завдяки автоматичному повороту ударника, робочий персонал може ефективно працювати з пресом консольного типу. Після вирубки однієї деталі ударник автоматично повертається до початкового положення, готовий для

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

наступного розкрою. Це збільшує продуктивність і знижує витрати часу на обробку матеріалу.

Преси консольного типу з автоматичним поворотом ударника є незамінними у виробництві дрібних шкір верху, де необхідно вирізати велику кількість деталей точно і швидко. Ці преси допомагають забезпечити ефективний та економічний процес розкрою, сприяючи збільшенню продуктивності та якості виробництва.

1.3. Конструкції гідрорізального устаткування

Гідрорізальне устаткування використовує струменеформуєчий пристрій (рис. 1.7) як робочий орган, а параметри цього пристрою визначають ефективність процесу розрізання.

Одним з основних елементів струменеформуєчих пристроїв є сопло, до якого подається рідина під високим тиском. Струменеформуєчі сопла можуть мати різні форми каналу, такі як конічний, коноїдальний, експоненційний, гіперболічний, катеноїдалий та профіль Вишинського. Вибір профілю та розмірів вихідного отвору сопла залежить від потреби в обробці матеріалу. Струменеформуєчі пристрої можуть відрізнятися за формою, матеріалом корпусу, способом монтажу сопла, подачею рідини під високим тиском та герметизацією з'єднань.

За допомогою введення абразивних частинок в зону різання, можна значно підвищити ріжучі властивості струменя. Це призводить до збільшення швидкості обробки, зниження тиску робочої рідини і спрощення конструкції гідрорізального устаткування. Введення абразиву також допомагає зменшити знос деталей та підвищити тривалість безвідмовної роботи устаткування.

У ранніх варіантах гідроабразивної обробки абразивні частинки наносилися на поверхню матеріалу, а потім струмінь рідини, що просочувався крізь сопло, проходив через шар абразивного порошку і підкладку, захоплюючи абразивні

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

частинки. Проте, цей метод виявився малопродуктивним, оскільки абразивні частинки не набували достатньої швидкості взаємодії з матеріалом.

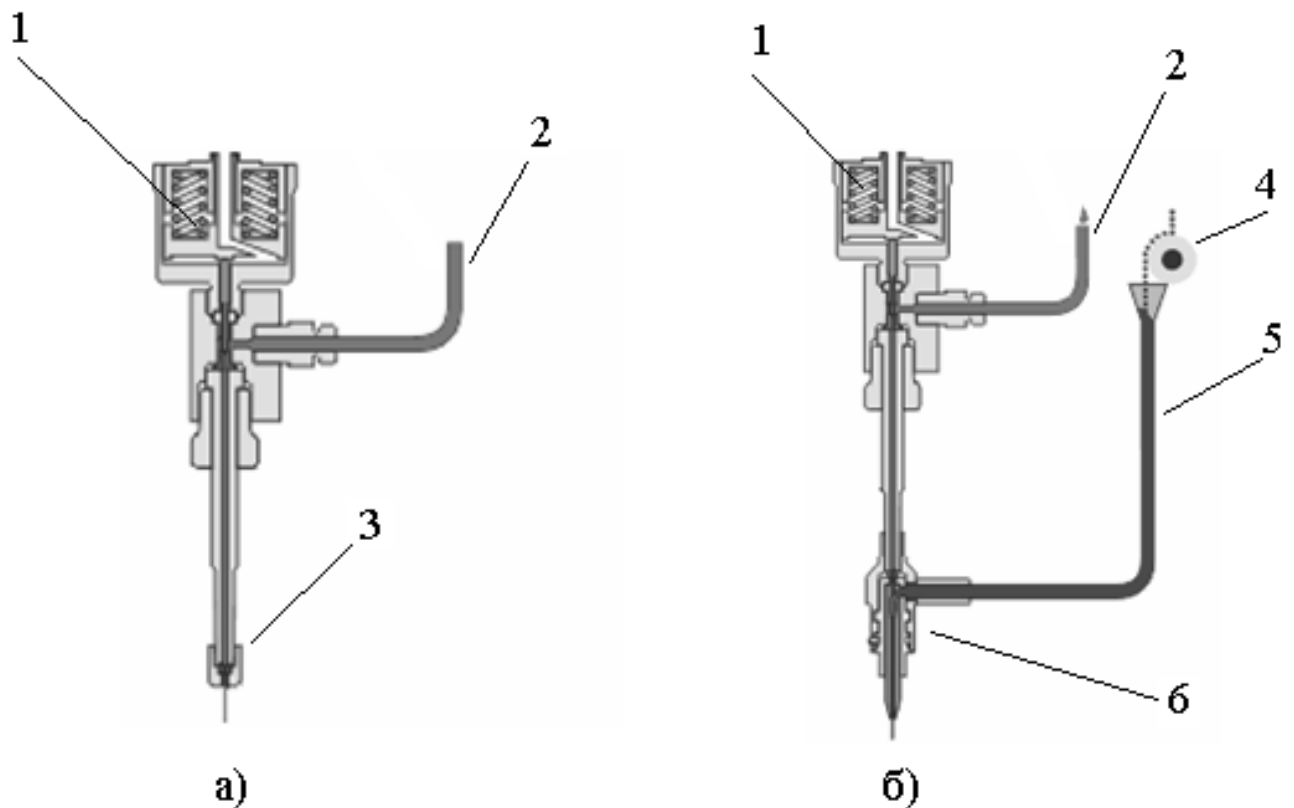


Рис. 1.7 – Пристрій для формування:

а – гідроструменя; б – гідроабразивного струменя; 1– електромагнітний запірний клапан; 2 – канал для підводу рідини; 3 – гідроструменевий пристрій; 4 – дозатор абразиву; 5 – канал для підводу абразиву; 6 – гідроабразивний струменевий пристрій.

Пізніше були розроблені інші технічні рішення, які включали подачу абразиву до зони витoku високошвидкісного гідроструменя у вигляді суспензії. У таких конструкціях пристроїв частина суспензії захоплюється струменем рідини в корпусі та при виході з нього. Хоча ці рішення дозволили покращити роботу, вони мали свої недоліки, такі як великий діаметр факела розпилу, низький відсоток абразивних частинок у струмені та швидкий знос насадки.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Розвиток технологічного процесу гідроабразивної обробки призвів до використання прискорюючих насадок, які забезпечують захоплення та прискорення абразивних частинок гідроструменем. Крім того, абразив може постачатися до змішувальної камери як у суспензії[21], так і у вигляді абразивно-повітряної суміші. Ці покращення сприяють вдосконаленню технології гідроабразивної обробки та забезпечують ефективніші результати.

У розглянутих технічних рішеннях [21], абразив подавався до зони витоку високошвидкісного гідроструменя у вигляді суспензії. У цих конструкціях частина суспензії захоплювалась струменем рідини в порожнині корпусу та при виході з нього. Однак, такі конструкції мали деякі недоліки, такі як великий діаметр факела розпилу, низький відсоток абразивних частинок у струмені та швидкий знос вихідної частини насадки.

З метою поліпшення процесу обробки було розроблено та удосконалено струменеформуючі гідроабразивні пристрої. Вони були оснащені прискорюючими насадками, які забезпечували захоплення та прискорення абразивних частинок гідроструменем. Крім того, абразив почали підводити до змішувальної камери як у суспензії, так і у вигляді абразивно-повітряної суміші. Ці покращення сприяли подальшому розвитку технології гідроабразивної обробки та забезпечували отримання більш ефективних результатів.

Рисунок 1.8 показує струменеформуючий пристрій для розрізання матеріалів високошвидкісним струменем рідини. Для виготовлення соплового насадка були використані заготовки з синтетичних надтвердих матеріалів, таких як СВА-15-БУ [22] і СКМ-2 [23]. Ці заготовки мали циліндричну форму і необхідні розміри для створення струменеформуючих сопел. Зовнішній діаметр сопла, виготовленого з заготовок СВА-15-БУ, становить 3,5 мм, а з СКМ-2 - 5,5 мм.

Сопловий насадок включає такі складові: штуцер 1 з підвідним каналом 2, корпус 3 і утримувач 5. Штуцер 1 закріплюється на корпусі 3 за допомогою різьбового з'єднання, а на його торці знаходиться проточка, в яку встановлено мідне кільце ущільнювача 4.

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

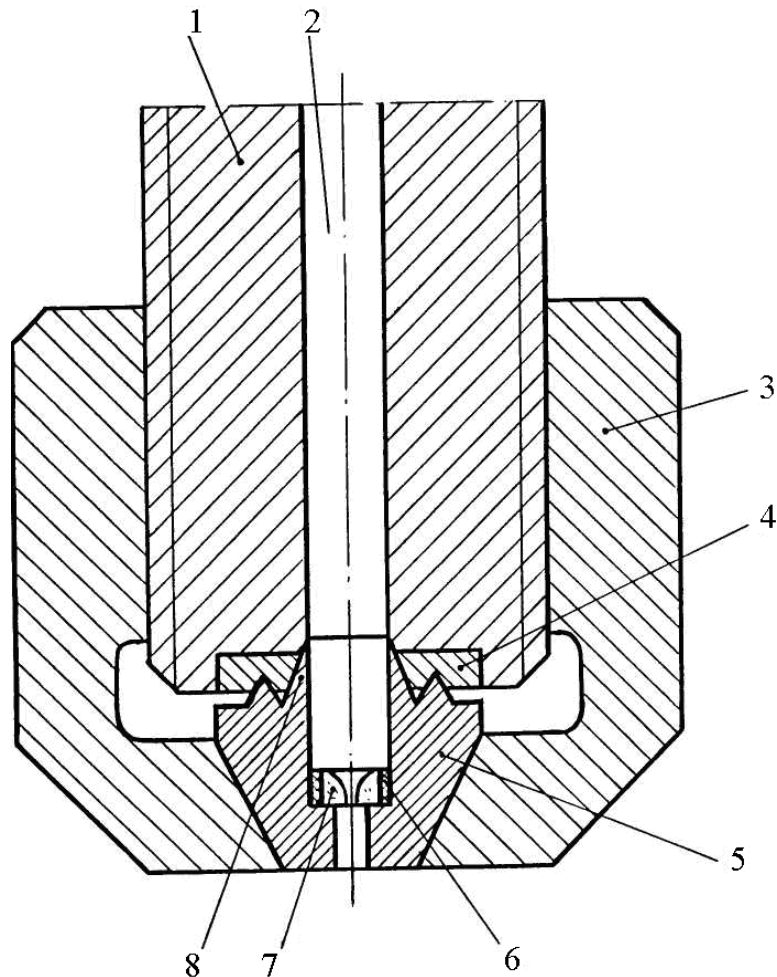


Рис. 1.8 – Струменеформуючий пристрій для розрізання матеріалів високошвидкісним струменем рідини

У корпусі 3, паралельно з зовнішньою торцевою поверхнею, розміщений утримувач 5 з посадочним місцем 6 і двома концентричними виступами 7 і 8. Виступ 8 має циліндричну внутрішню поверхню, яка продовжує посадочне місце 6. Зв'язані поверхні корпусу 3 і утримувача 5 виконані конусними з кутом конусності $\alpha = 60^\circ$. Важливо зазначити, що вибір кута конусності впливає на функціональні характеристики насадки. При занадто малому куті конусності відбувається заклинювання утримувача в корпусі, а при занадто великому куті конусності насадка займає недоцільно великі розміри.

У посадочне місце 6 встановлюється вкладиш 9, який виготовлений з синтетичного надтвердого матеріалу. Вкладиш має струменеформуючий отвір 10 складної криволінійної форми для формування струменя. Щоб поліпшити

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0015.00.00.000 ПЗ					

герметичність, вкладиш 9 заздалегідь вставляється в трубку 11 з еластичного матеріалу, наприклад, поліхлорвінілу. Довжина трубки 11 співпадає з довжиною вкладиша 9. Внутрішній діаметр трубки 11 рівний зовнішньому діаметру вкладиша 9, а посадочне місце 6 і канал 2 виготовляються з внутрішнім діаметром, рівним зовнішньому діаметру трубки 11. Це забезпечує правильне пасування між вкладишем 9 і корпусом 3, а також забезпечує потрібний простір для потоку рідини через канал 2.

Для досягнення щільного прилягання вкладиша 9 і внутрішнього торця посадочного місця 6, обробка поверхонь з'єднання повинна бути високоякісною. Це гарантує, що не буде витіку рідини або повітря в цій області, що може негативно позначитися на ефективності і роботі струменеформуючого пристрою.

Загалом, описаний сопловий насадок має складну конструкцію, яка дозволяє формувати струмені високошвидкісної рідини з використанням вкладиша і правильної конусності з'єднання між корпусом і утримувачем. Це дозволяє досягати високої точності і контролю при розрізанні матеріалів струменем рідини.

При роботі струменеформуючого пристрою за описаною конфігурацією, утримувач 5 з вкладишем 7 в трубці 6 встановлюється в корпусі 3. Це забезпечує герметичне з'єднання між утримувачем і корпусом. Виступи утримувача 5 врізаються в кільце ущільнювача 4, що дозволяє забезпечити щільність і запобігти витіку рідини.

Конфігурація виступу 8 сприяє плавному переходу робочої рідини з каналу 2 безпосередньо до вкладиша 7. Під час подачі робочої рідини в канал 2 під впливом тиску, рідина проникає у проміжок між вкладишем 7 і утримувачем 5, забезпечуючи герметичне з'єднання.

Коли робоча рідина прокладає шлях через отвір вкладиша 7, утворюється високошвидкісний струмінь рідини, який направляється на оброблюваний матеріал. Конструкція насадка дозволяє розміщувати матеріал на відстані від 4 до 15 мм, що відповідає компактній частині високошвидкісного ріжучого струменя. Таке розташування матеріалу допомагає досягти точного і керованого розрізання.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

В цілому, описана робота струменеформуючого пристрою базується на створенні високошвидкісного струменя рідини, який потрапляє на оброблюваний матеріал і забезпечує його розрізання. Конструкція насадка і правильне з'єднання між елементами допомагають забезпечити герметичність і ефективну роботу пристрою.

Описана конструкція пристрою демонструє ряд переваг і можливостей:

Легкість заміни вкладиша: Завдяки використанню конусної конфігурації з'єднання корпусу 3 і утримувача 5, демонтаж вкладиша 7 відбувається без значних зусиль. Це сприяє швидкості заміни вкладиша і запобігає передчасному зносу.

Зменшення зносу вкладиша: При роботі пристрою на вкладиш 7 діє тільки сила тиску рідини, що дозволяє уникнути інших механічних навантажень. Це допомагає попередити передчасний знос вкладиша і забезпечує тривалу його експлуатацію.

Точність і варіативність: Конструкція струменеформуючої головки дозволяє формувати високошвидкісний ріжучий струмінь рідини в широкому діапазоні тиску робочої рідини (50-300 МПа). Заміна сопел з різними значеннями струменеформуючих каналів і регулювання відстані до оброблюваної поверхні дозволяють розрізати різноманітні матеріали з високою продуктивністю.

Універсальність вкладиша: Трубка 6 виконує роль центруючого елемента для вкладиша 7 і дозволяє використовувати вкладиші з різними характеристиками, такими як необроблена зовнішня циліндрична поверхня, пошкоджені контактні поверхні або неперпендикулярність бічної поверхні вкладиша. Це знижує вартість виготовлення вкладиша і необхідну точність.

Всі ці функції дозволяють пристрою ефективно розрізати різноманітні матеріали легкої промисловості, забезпечуючи високу продуктивність процесу обробки. Простота в заміні вкладиша і легкість демонтажу дозволяють зберігати пристрій у готовності до роботи і мінімізувати простої у виробництві.

Застосування такого струменеформуючого пристрою може бути широким. Він може бути використаний для розрізання листових і рулонних матеріалів,

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких як папір, картон, тканини, плівки, пластик і багато інших. Діапазон тиску робочої рідини і варіативність струменеформуючих каналів дозволяють адаптувати пристрій для різних завдань з різними вимогами щодо ріжучої потужності і якості обробки.

Загалом, описана конструкція струменеформуючого пристрою має численні переваги, такі як легкість заміни вкладиша, точність обробки, універсальність і продуктивність. Вона може бути використана в різних галузях легкої промисловості, де потрібно швидко і якісно розрізати матеріали.

1.4 Мета і завдання кваліфікаційної роботи

Гідрорізальний пристрій з використанням струменеформуючої установки є ефективним і модульним рішенням для розкрою матеріалів легкої промисловості. Його впровадження може призвести до значного збільшення продуктивності виробництва і отримання численних переваг способу різання за допомогою гідроабразивного струменя.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка конструкції гідрорізального пристрою зі струменеформуючою установкою, спеціально призначеної для розкрою матеріалів легкої промисловості.

Для досягнення цієї мети були виконані наступні кроки:

Розроблено конструкцію установки, яка включає в себе необхідні компоненти та елементи для різання матеріалів. Конструкція була розроблена з урахуванням вимог ефективності та простоти використання.

Розроблено гідравлічну схему установки, яка забезпечує оптимальну роботу пристрою і передачу потрібного тиску робочої рідини для ефективного різання матеріалів.

Проведено розрахунки параметрів процесу різання, таких як тиск, швидкість і форма струменя, з метою досягнення оптимальних результатів різання і забезпечення високої якості обробки матеріалів.

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Виконано експериментальні дослідження гідроабразивного різання матеріалів, що дозволило підтвердити ефективність пристрою і визначити оптимальні параметри процесу для різних типів матеріалів.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2 ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Розроблення гідравлічної схеми гідрорізальної установки

Розробка гідравлічної схеми гідрорізальної установки є важливим етапом в процесі створення ефективного та надійного обладнання. Гідравлічна схема відображає структуру та функціональні зв'язки компонентів установки, які відповідають за постачання потрібного тиску, контроль різального процесу та забезпечення безперебійної роботи системи.

У гідравлічній схемі гідрорізальної установки використовуються різноманітні елементи, такі як гідронасоси, гідроциліндри, гідравлічні клапани, регулятори тиску та фільтри. Кожен з цих компонентів виконує певну функцію, сприяючи ефективному функціонуванню установки.

Оптимальна гідравлічна схема має забезпечити необхідні параметри тиску та потоку рідини для різання матеріалів. Вона повинна бути добре збалансованою, забезпечувати стабільну роботу системи та ефективне використання енергії. При розробці гідравлічної схеми необхідно враховувати вимоги до безпеки, надійності та точності різання.

Процес розробки гідравлічної схеми включає аналіз вимог і технічних характеристик, вибір необхідних компонентів, проектування маршруту руху рідини, розрахунок потрібних параметрів тиску та витрати рідини, а також моделювання та тестування розробленої схеми.

Гідравлічна схема гідрорізальної установки, яка розробляється, відіграє важливу роль у забезпеченні ефективного та якісного процесу різання матеріалів.

На рисунку 2.1 наведена розроблена гідравлічна схема гідрорізальної установки.

У гідрорізальній установці, яка розробляється, складається з різних компонентів, які забезпечують ефективну роботу системи. Система складається з двох підсистем – системи низького тиску (2) та системи високого тиску (6).

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково, в установці присутній струменеформуючий пристрій (10), стіл для закріплення та подачі матеріалу (11) і система управління.

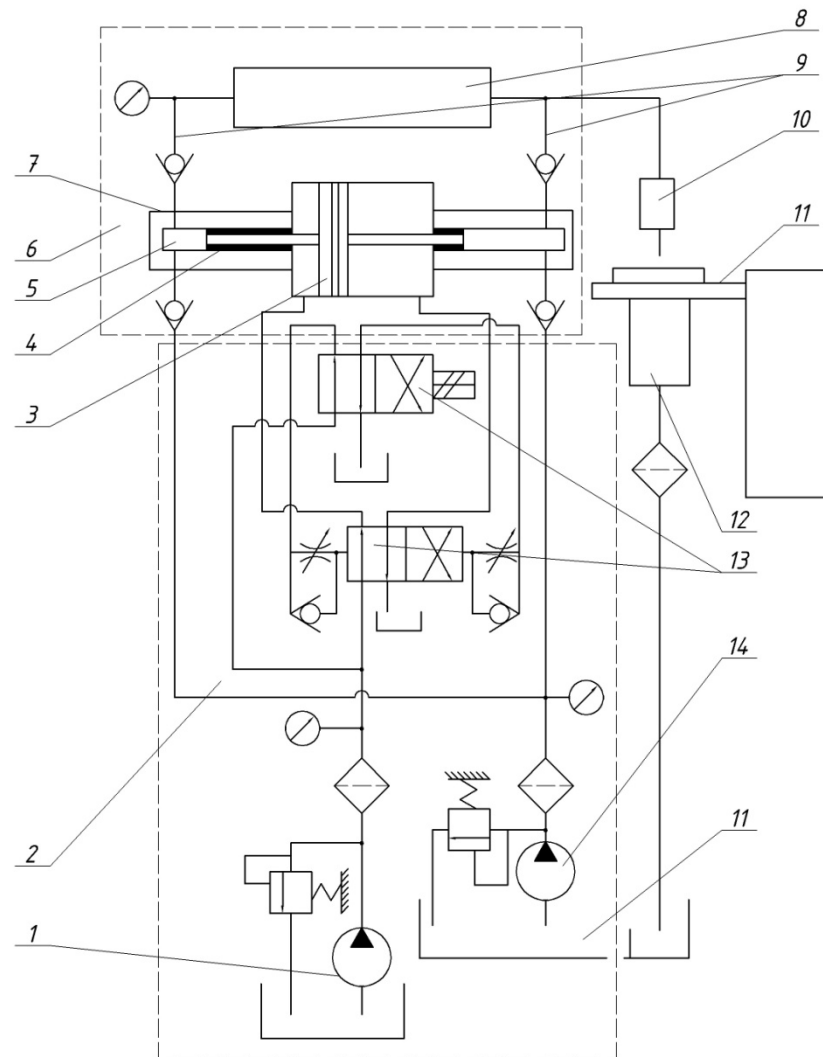


Рис. 2.1 –Гідрравлічна схема гідрорізальної установки

Підвищення тиску у гідрорізальній установці здійснюється за допомогою гідромультіплікатора двосторонньої дії, який складається з циліндрів малого діаметру (камери високого тиску) і циліндра великого діаметру (камера низького тиску). Коефіцієнт мультиплікації цього мультиплікатора складає 32 при певних параметрах.

Масляна система низького тиску (2) забезпечує зворотно-поступальний рух поршня (3) і плунжерів (4) в циліндрах низького (7) і високого (5) тиску за допомогою насоса (1) та золотникових розподільників.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

В якості робочої рідини використовується чиста вода, яка подається з ємності (15) за допомогою насоса (14) в камери високого тиску (5). Рідина стискається під час руху поршня (3) і плунжерів (4) в камерах (5). Після цього, рідина під високим тиском подається через трубопроводи (9) до гідроакумулятора (8), де пульсації рідини згладжуються, що дозволяє отримати безперервний струмінь під постійним тиском. Цей струмінь використовується для різання матеріалу за допомогою струменеформуючого пристрою (10), який містить струменеформуюче сопло. В якості сопла використовуються волокнисті з високоміцного синтетичного алмазу, установка яких в робочу головку 10 здійснюється по а.с. № 1409420 СРСР, МКИ2 В 23 31/00/13. В струменеформуючому пристрої встановлюються волокнисті з високоміцного синтетичного алмазу, які формують струмінь з великою швидкістю для різання матеріалу, що закріплений на робочому столі (11).

Після різання матеріалу, відпрацьована рідина потрапляє в струменегасник (12) і подається в ємність (15) через очисний фільтр. Установка також має дозатор абразивного матеріалу тарільчастого типу, який регулює подачу абразивної фази до струменеформуючої головки.

Установка забезпечує плавне регулювання тиску робочої рідини від 50 до 250 МПа, вибір діаметрів струменеформуючих сопел від 0,10 до 0,16 мм, зміну відстані між соплом і поверхнею матеріалу від 1 до 100 мм, а також зміну кута між поверхнею матеріалу і напрямом дії струменя рідини в межах від 70⁰ до 110⁰.

Для забезпечення переміщення матеріалу установка використовує спеціальний стіл подачі з варіатором з безступінчатим регулюванням, який дозволяє змінювати швидкість подачі в діапазоні від 0,005 до 0,03 м/с. Застосування спеціального варіатора з безступінчатим регулюванням і керованого електродвигуна постійного струму в конструкції столу подачі має важливе значення у гідроабразивному процесі розрізання матеріалів.

Цей варіатор дозволяє забезпечити плавне і безперервне регулювання швидкості переміщення досліджуваного матеріалу. Завдяки безступінчатому регулюванню можна точно налаштувати швидкість переміщення у потрібному

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

діапазоні від 0 до 1500 мм/хв. Це дозволяє пристосувати процес розрізання до вимог і характеристик різних матеріалів.

Керований електродвигун постійного струму забезпечує стабільну роботу столу подачі та точність переміщення досліджуваного матеріалу. Він контролює швидкість руху столу з високою точністю і реагує на зміни вимог і умов роботи. Це дозволяє забезпечити точну координатну подачу матеріалу і забезпечити якісне розрізання.

Завдяки використанню варіатора і керованого електродвигуна стійка і точна регуляція швидкості переміщення матеріалу здійснюється без різких перепадів і забезпечує оптимальні умови для гідроабразивного процесу розрізання. Це сприяє підвищенню якості різання, зменшенню відходів та поліпшенню продуктивності установки.

В цілому, гідрорізальна установка забезпечує точне та ефективне різання матеріалів, дозволяючи виконувати різноманітні завдання зі зміною параметрів різання залежно від потреб.

Установка також має систему управління, що дозволяє контролювати різні параметри процесу різання. Насос (1) у масляній системі низького тиску (2) забезпечує зворотно-поступальний рух поршня (3) та плунжерів (4) в циліндрах низького (7) та високого (5) тиску. Робочою рідиною, яка використовується в системі, є чиста вода, що подається в камери високого тиску (5) з ємності (15) за допомогою насоса (14).

Підвищення тиску в установці здійснюється за допомогою гідромультіплікатору двосторонньої дії, який складається з циліндрів малого діаметру (5) і циліндра великого діаметру (7). Коефіцієнт мультиплікації, що відносить тиск на виході мультиплікатора до тиску на вході, становить 32 при відповідних діаметрах поршня та плунжера.

Установка також має гідроакумулятор (8), який забезпечує згладжування пульсацій рідини під високим тиском та забезпечує постійний тиск у струмені рідини. Рідина під високим тиском подається через трубопроводи (9) до

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідроаккумулятора, де відбувається згладжування пульсацій, а потім витікає через струменеформуюче сопло, встановлене в струменеформуючому пристрої (10).

Гідрорізальна установка доповнюється гідроабразивним струменеформуючим пристроєм, який дозволяє використовувати прискорюючі насадки з різними довжинами. В установці можливе плавне регулювання тиску робочої рідини від 50 до 250 МПа. Діаметри струменеформуючих сопел можуть варіюватись від 0,10 до 0,16 мм. Зміна відстані між зрізом сопла та поверхнею матеріалу, що розрізається, може здійснюватись підйомом і опусканням робочого столу (11). Також існує можливість змінювати кут між поверхнею матеріалу і напрямом дії струменя рідини в межах від 70° до 110° за допомогою повороту столу подач (11) відносно горизонтальної осі.

Установка також обладнана дозатором абразивного матеріалу тарельчастого типу, що дозволяє плавно і точно регулювати подачу абразивної фази до струменеформуючої головки. Для переміщення досліджуваного матеріалу щодо двофазного потоку зі швидкістю в діапазоні від 0 до 1500 мм/хв використовується спеціальний варіатор з безступінчатим регулюванням та керований електродвигун постійного струму.

Ця установка дозволяє проводити різання матеріалів з різними фізико-механічними властивостями і забезпечує широкий спектр можливостей для налагодження і контролю процесу різання.

Тиск робочої рідини перед соплом може бути виміряний за допомогою манометра високого тиску типу СВ 1909, який має межі вимірювання від 0 до 600 МПа та точність вимірювання $\pm 1\%$.

Діаметри вихідного отвору сопла і каналу прискорюючого насадка можуть бути виміряні за допомогою мікроскопа МБС з точністю вимірювання до 0,001 мм.

Відстань від зрізу сопла до поверхні оброблюваного матеріалу може бути виміряна за допомогою штангенрейсмаса з точністю 0,05 мм.

Товщина оброблюваного матеріалу може бути виміряна за допомогою штангенциркуля ШЦЦ-1 з точністю 0,01 мм.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Середня швидкість витікання рідини може бути визначена шляхом вимірювання її витрати за фіксований час.

Швидкість подачі матеріалу може бути визначена за допомогою безступінчатого варіатора з точністю до 0,1 м/с, а контролюється за допомогою масштабної лінійки і секундоміра.

Зміну кута нахилу між поверхнею оброблюваного матеріалу і ріжучим струменем можна перевірити за допомогою транспортира, який встановлений на поворотному столі подачі.

2.2 Розроблення конструкції гідрорізального пристрою

Розроблена конструкція гідрорізального пристрою (рис. 2.2) має наступні компоненти. Штуцер 1 має внутрішній канал для підводу рідини високого тиску. Торець штуцера виконаний у вигляді внутрішнього конуса. Корпус 2 закріплений на штуцері за допомогою нарізного з'єднання. У верхній частині корпусу 2 розташований утримувач 3. Поверхні штуцера 1 і утримувача 3 виконані конусами з кутом конусності $\alpha = 60^\circ$. Утримувач 3 встановлений на внутрішню торцеву поверхню корпусу 2 і використовується для центрування сопла 4. Камера змішувача 9: Нижня частина корпусу 2 має камеру змішувача 9 з каналом підведення абразиву 5. Стінки камери змішувача мають кут конусу рівний 45° , що забезпечує оптимальні умови для введення абразиву в прискорюючий насадок 8, який встановлюється в нижній частині корпусу 2 за допомогою еластичного кільця і підтискаючої гайки 7 з центральним отвором. Цей насадок допомагає збільшити швидкість руху рідини і абразиву перед виходом з сопла. Ця конструкція забезпечує точне центрування сопла і прискорюючого насадка, що дозволяє досягти співвісності зі струменеформуючим соплом 4 і забезпечити ефективне функціонування.

Розроблена конструкція гідроабразивної струменеформуючої головки дозволяє досягти наступних можливостей і переваг. Використання сопел з синтетичних надтвердих матеріалів. Застосування утримувача 3 дозволяє використовувати сопла з матеріалів, таких як СВА-15-БУ і СКМ-2, які мають

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

високу міцність і зносостійкість. Це розширює можливості застосування гідроабразивного пристрою і забезпечує тривалу роботу при високих тисках.

Подача абразивного матеріалу: Канал 5, розташований в нижній частині корпусу 2, дозволяє подавати абразивний матеріал (кварцовий пісок) в змішувальну камеру. Це забезпечує можливість контролювати витрату абразиву залежно від вибраної програми і відповідної задачі різання.

Змішування абразиву: Камера змішувача з кутом конусності 45° забезпечує ефективно змішування абразиву з рідиною і його подачу в прискорюючий насадок. Це дозволяє досягти оптимального використання абразиву і попереджує закупорку каналу.

Використання прискорюючих насадків: Застосування прискорюючих насадків з карбіду вольфраму з однаковим зовнішнім діаметром і універсальним способом кріплення дозволяє встановлювати насадки різної довжини. Це забезпечує можливість вибору оптимальної довжини прискорюючого насадка в залежності від конкретного завдання різання.

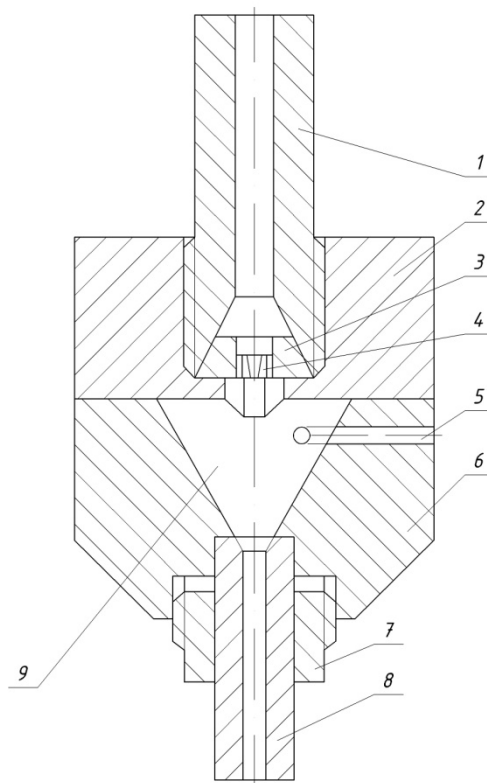


Рис 2.2 – Конструкція гідроабразивної струменеформуючої головки

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Розроблена конструкція гідроабразивної струменеформуючої головки дозволяє проводити високоефективне різання листових і рулонних матеріалів зі специфічними фізико-механічними властивостями. Гідроабразивний струменевий пристрій, заснований на цій конструкції, забезпечує формування високошвидкісного ріжучого струміння рідини, яке містить абразивні частинки. Це дозволяє ефективно різати матеріали, такі як метал, кераміка, скло, композитні матеріали і багато інших.

Завдяки можливості використання синтетичних надтвердих матеріалів у соплах, головка може працювати під високим тиском (50-300 МПа), що забезпечує високу точність різання і тривалу експлуатацію.

Система подачі абразивного матеріалу дозволяє контролювати витрату абразиву, забезпечуючи оптимальну продуктивність різання і мінімальні витрати матеріалів.

Конструкція змішувальної камери і прискорюючого насадка забезпечує ефективно змішування абразиву з рідиною і створення потужного ріжучого струменя. Різання відбувається шляхом направлення цього струменя на матеріал з великою швидкістю, що дозволяє швидко і точно виконувати різальні операції.

У результаті розробленої конструкції гідроабразивної струменеформуючої головки отримуються високоякісні, точні та ефективні різальні операції на різних типах матеріалів.

2.3 Розроблення математичної моделі руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем

Для математичного опису першої стадії руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем можна використати наступні параметри:

Параметр деформації поверхні: Можна ввести параметр, який описує ступінь деформації поверхні матеріалу під дією струменя. Цей параметр може бути виражений як зсув або зміщення поверхні матеріалу.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Ущільнення матеріалу: Можна врахувати ефект ущільнення матеріалу під дією струменя. Це може бути виражено збільшенням щільності матеріалу на поверхні різання.

Тиск гідравлічного удару: Можна припустити, що струмінь створює на поверхні контакту рівномірний тиск, який відповідає тиску гідравлічного удару. Цей тиск може бути використаний для опису впливу струменя на матеріал.

Робота деформації матеріалу: Енергія струменя витрачається на роботу деформації матеріалу. Цю роботу можна виразити через витрачену енергію на одиницю площі поверхні різання.

Глибина проникнення: Величина вертикального переміщення площини різання під дією струменя може бути використана для опису глибини проникнення струменя в матеріал.

З врахуванням цих параметрів можна розробити математичну модель, яка описуватиме деформацію поверхні і ущільнення матеріалу під дією струменя. Параметри моделі можна встановити на основі експериментальних досліджень або розрахункових методів.

Врахування другої стадії руйнування, пов'язаної з утворенням і злиттям тріщин, може вимагати більш складних математичних моделей, які враховують механізми розриву матеріалу. Це може включати в себе моделі розриву на основі механіки тріщин або використання елементних методів для моделювання деформацій і тріщин.

Враховуючи всі ці аспекти, математична модель руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем може бути розроблена для аналізу та прогнозування процесу різання матеріалів.

Величину гідравлічного удару P_y на початковій стадії взаємодії рідини з матеріалом, можна отримати у вигляді [25]:

$$P_y = \frac{\rho_p c_p v_c}{\left(1 + \frac{\rho_p c_p}{\rho_m c_m}\right)}, \quad (2.1)$$

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

де ρ_p , – густина рідини; c_p швидкість звуку в рідині; ρ_m – густина матеріалу; c_m – швидкість звуку в ньому; v_c – швидкість струменя рідини перед поверхнею матеріалу.

Сила нормальної дії струменя на поверхню матеріалу:

$$F_p = \pi R_c^2 \rho_p c_p v_o \left(1 + \frac{\rho_p c_p}{\rho_m c_m} \right),$$

де R_c – радіус вихідного отвору сопла.

Глибина проникнення струменя в матеріал на першій стадії різання h_{np} . У першому наближенні вирішення цієї задачі можна звести до визначення вертикального переміщення поверхні матеріалу для пружного напівпростору h_{np} [13]:

$$h_{np} = \frac{1 - \nu^2}{2R_c E} F_p, \quad (2.2)$$

де ν — коефіцієнт Пуассона; E — модуль пружності Юнга.

Розрахунки цих параметрів можна провести, використовуючи відповідні значення густини, швидкості звуку, радіуса сопла, коефіцієнта Пуассона і модуля пружності для конкретних матеріалів і рідини, яка використовується в гідрострумені.

Для визначення часу деформації матеріалу на першій стадії руйнування (t_1) в процесі впровадження жорсткого індентора і струменя рідини в напівпростір, можна скористатися формулою, що була запропонована в роботі [27]. Ця залежність дозволяє оцінити час, за який матеріал починає деформуватися під дією навантаження. Час деформації матеріалу на першій стадії руйнування:

$$t_1 = 1,42 h_{np} / v_o. \quad (2.3)$$

При прийнятті на цій стадії швидкості проникнення струменя v в матеріал постійною, ми можемо отримати:

$$v_1 = h_{np} / t_1 \approx 0,7 v_o. \quad (2.4)$$

У другій стадії процесу відбувається формування тріщин у зоні пластичної деформації, які подальше розширюються і зливаються, що призводить до виносу

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалу. Цей процес супроводжується наступними змінами на оброблюваній поверхні: пластичні деформації, деформації зрушення і сколювання.

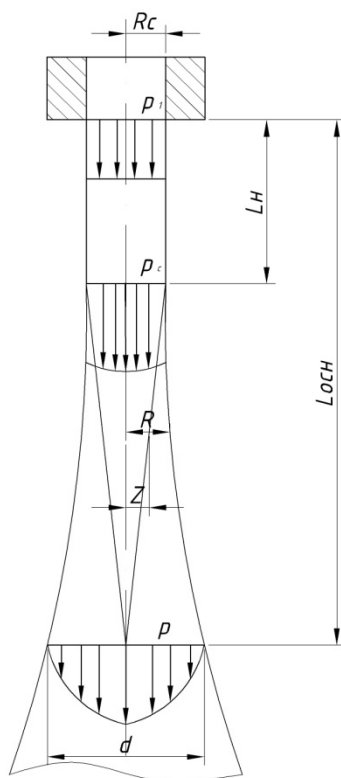


Рис. 2.3 – Схема розширення струменя в повітрі

Для створення математичної моделі руйнування матеріалу на другій стадії різання, ми зробимо наступні припущення:

- ріжучий струмінь рідини може бути розділений на дві області - початкову і основну (зображено на рисунку 2.3);
- динамічний тиск струменя у початковій області рівний динамічному тиску струменя на виході з сопла [28];
- руйнування матеріалу відбувається, якщо середній динамічний тиск у поперечному перетині струменя перевищує твердість матеріалу;
- для визначення величини динамічного тиску струменя в основній області ми використовуємо наступне рівняння:

$$p_c = (p_1 - \Delta p_1) \frac{L_n}{L_{осн}}, \quad (2.5)$$

де p_1 – динамічний тиск струменя на виході з сопла, який вказує на силу, яку генерує рідинний струмінь при виході з сопла; Δp_1 – втрати тиску на першій стадії руйнування; L_n – довжина початкової ділянки струменя; $L_{очн}$ – відстань від сопла до площі контакту струменю з матеріалом.

Якщо, на першій стадії різання енергія струменя йде лише на деформацію матеріалу, для умов ідеальної пружності можна записати:

$$\Delta p_1 = \frac{\rho v_o^2}{2} - \frac{\rho v_1^2}{2} = \frac{\rho v_o^2}{2} (1 - 0,7^2) \approx \frac{1}{2} p_1. \quad (2.6)$$

Коли радіус струменя R , радіус сопла R_c і радіальний розподіл динамічного тиску p справедлива рівність:

$$R = \frac{0,335\sqrt{2}}{2} \sqrt{R_c L_{очн}}, \quad (2.7)$$

$$\left(1 - \sqrt{p / p_c}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{Z}{R}, \quad (2.8)$$

де Z — радіальний проміжок від осі струменя до точки завершення дії еквівалентної гідродинамічної сили.

З урахуванням рівностей (2.5), (2.6), (2.8) отримаємо:

$$Z = R \left(1 - \sqrt{\frac{2pL_{очн}}{p_1 L_n}}\right)^{\frac{2}{3}}. \quad (2.9)$$

Для ефективної частини струменя радіусом R_e відстань Z_e з умови повного прорізування:

$$R_e = Z_e = R \left(1 - \sqrt{\frac{2\sigma_p L_{очн}}{p_1 L_n}}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad (2.10)$$

де σ_p – границя міцності матеріалу при розтягу.

Враховуючи (2.7), можна записати:

$$R_e = 0,24\sqrt{R_c L} \left(1 - \sqrt{\frac{2\sigma_p L_{очн}}{p_1 L_n}}\right)^{\frac{2}{3}}. \quad (2.11)$$

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Якщо виразимо еквівалентну гідродинамічну силу F через радіальний розподіл динамічного тиску струменя p , отримаємо такий зв'язок:

$$F = \int_0^{R_e} \rho 2\pi Z dZ. \quad (2.12)$$

Силу F , з іншого боку, можна виразити через середній динамічний тиск p_e , що створюється ефективною частиною струменя:

$$F = \pi R_e^2 p_e. \quad (2.13)$$

Враховуючи (2.12) і (2.13) для p_e запишемо:

$$p_e = \frac{1}{\pi R_e} \int_0^{R_e} p 2\pi Z dZ. \quad (2.14)$$

Проінтегрувавши вираз (2.14), отримаємо:

$$p_e = p_1 \frac{L_n}{L_{очн}} \left(0,5 - 0,57 \left(1 - \sqrt{\frac{2\sigma_p L_{очн}}{p_1 L_n}} \right) + 0,2 \left(1 - \sqrt{\frac{2\sigma_p L_{очн}}{p_1 L_n}} \right)^2 \right). \quad (2.15)$$

Введемо безрозмірні параметри:

$$\chi = 1 - \sqrt{\frac{2\sigma_p L_{очн}}{p_1 L_n}}, \quad (2.16)$$

$$\gamma = 0,5 - 0,57\chi + 0,2\chi^2. \quad (2.17)$$

Втрати тиску Δp_f струменя на тертя по бічних стінках вирізу. Використавши рівняння гідравліки для потоку рідини в циліндровій трубі, з урахуванням контакту за площею напівциліндра будемо мати:

$$\Delta p_f = \lambda_f \frac{h - h_{np}}{2R_e} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} = \frac{\lambda_f}{4} p_1 \frac{h - h_{np}}{R_e}, \quad (2.18)$$

де λ_f – коефіцієнт гідравлічного опору; h – товщина оброблюваного матеріалу.

Відповідно до описуваної моделі, процес руйнування матеріалу під дією струменя рідини можна уявити таким чином. Об'єм з області різання зменшується поступово по вертикальній рухомій контактній поверхні S . Це означає, що струменевий розтік поступово проникає вглиб матеріалу. У зв'язку з високою швидкістю проникнення струменя, площу контакту взаємодії струменя з

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалом можна вважати нерухомою в горизонтальній площині. Це припущення спрощує модель і допомагає у подальших розрахунках. Горизонтальна швидкість подачі зразка може бути апроксимована послідовністю ступенів, розміри яких відповідають діаметру сопла. Це означає, що матеріал ріжеться послідовно за допомогою дискретних елементарних струменів.

Кожен елементарний струмінь масою d_m руйнує матеріал на глибину d_h . Цей процес можна уявити як послідовне прорізання матеріалу шарами, де кожен шар відповідає діаметру сопла і відповідає елементарному струменю. Візуально цей процес можна представити за допомогою рисунку 2.4, де показано, як струмені рідини проникають в матеріал і руйнують його на певну глибину. Ця модель дозволяє уявити процес руйнування матеріалу під дією струменя рідини і може бути використана для подальшого аналізу та розрахунків.

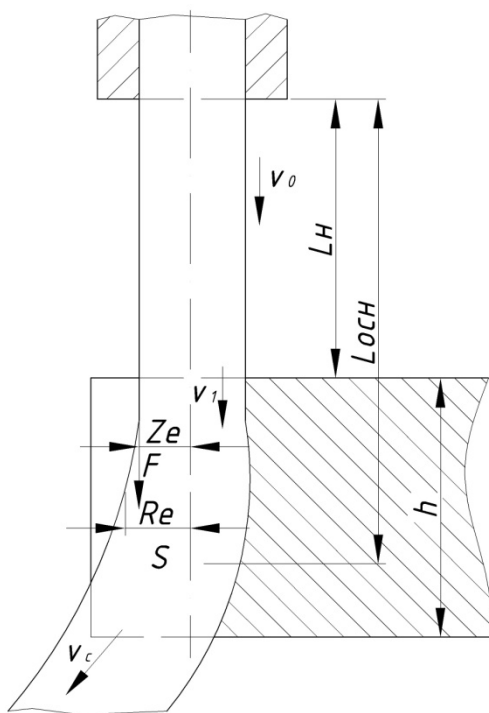


Рис. 2.4 – Схема взаємодії струменя рідини з матеріалом

Залишкова кінетична енергія струменя визначається критичною швидкістю v_c . Для визначення критичної швидкості v_c , при якій припиняється процес руйнування матеріалу, можна скористатися рівнянням Бернуллі для тиску на площині контакту.

$$v_c = \sqrt{2\sigma_p / \rho}. \quad (2.19)$$

На початковій стадії руйнування матеріалу струменевий тиск спричиняє деформацію поверхні матеріалу, але не призводить до його руйнування. Однак, при досягненні критичної швидкості v_c , тиск струменя стає достатньо великим, щоб привести до руйнування матеріалу.

Під час руйнування матеріалу, залишкова кінетична енергія струменя визначається критичною швидкістю v_c . Коли швидкість струменя v перевищує критичну швидкість v_c , відбувається процес руйнування матеріалу.

Визначення конкретного значення критичної швидкості v_c вимагає додаткових вхідних даних, таких як властивості рідини та матеріалу, геометрія струменя та інші фактори, що впливають на процес руйнування.

Прирівняємо втрати кінетичної енергії струменя рідини та роботу гідродинамічних сил для подолання опору матеріалу по ділянці dh :

$$\frac{dm(v^2 - v_c^2)}{2} = \int_{L+dh}^L F_c dh, \quad (2.20)$$

де F_c – сила, яка визначається контактним тиском:

$$F_c = \pi \sigma_p R_e^2. \quad (2.21)$$

Маса рідини, яка пройде через вихідний отвір сопла за час dt :

$$dm = \pi R_c^2 \rho v_o dt. \quad (2.22)$$

Після інтегрування і перетворень вираз (2.20) буде мати вигляд:

$$R_c^2 v_o (p_e - \sigma_p) dt = \sigma_p R_e^2 dh. \quad (2.23)$$

Час для прорізання матеріалу d_t товщиною d_h :

$$dt = \frac{\sigma_p R_e^2 dh}{(p_e - \sigma_p) R_c^2 v_o}. \quad (2.24)$$

З рівняння (2.24) час проникнення струменя у матеріал на другій стадії руйнування:

$$t_2 = \frac{\sigma_p R_e^2 (h - h_{np})}{(p_e - \sigma_p) R_c^2 v_o}. \quad (2.25)$$

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Тоді з урахуванням залежності (2.18):

$$t_2 = \frac{\sigma_p R_e^2 (h - h_{np})}{(p_e - 0.25 p_1 \lambda_f (h - h_{np}) / (R_e - \sigma_p) R_c^2 v_o)}. \quad (2.26)$$

Повний час повного прорізування матеріалу товщиною h :

$$t = 1.42 \frac{h_{np}}{v_o} + \frac{\sigma_p R_e^2 (h - h_{np})}{\left(p_e - \frac{p_1 \lambda_f}{4 R_e} (h - h_{np}) - \sigma_p \right) R_c^2 v_o}. \quad (2.27)$$

Швидкість подачі за час t , коли матеріал зміститься в горизонтальному напрямі на відстань $2R_c$:

$$V = \frac{2R_c}{t} = 2 \frac{R_c \rho_p^{0.5}}{p_1^{0.5}} \div \left(h_{np} + \frac{5.6 \cdot 10^{-2} \sigma_p L (h - h_{np}) \chi^{\frac{4}{3}}}{R_c \left[p_1 \left(\frac{\gamma L_n}{L_{осн}} - \frac{(h - h_{np}) \lambda_f}{\sqrt{R_c L \chi^{\frac{2}{3}}}} \right) - \sigma_p \right]} \right). \quad (2.28)$$

Залежність (2.28) визначає величину подачі матеріалу при його повному прорізання і є важливою для визначення оптимальних значень радіусу сопла R_c та тиску рідини p у системі. Залежність дозволяє знаходити раціональні значення цих параметрів, що відповідають вимогам продуктивності процесу різання.

Визначення раціонального значення радіусу сопла R_c та тиску рідини p є важливими критеріями для ефективного різання матеріалу. Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалу (представлені параметром σ_p), можна знайти оптимальні значення цих параметрів, які забезпечать найбільш ефективний процес різання.

Наприклад, для матеріалів з високою міцністю σ_p , можна використовувати більший радіус сопла і вищий тиск, щоб забезпечити достатню силу різання. З іншого боку, для матеріалів з низькою міцністю σ_p , можна використовувати менший радіус сопла і нижчий тиск, щоб ефективно різати матеріал без надмірного зносу або пошкодження.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Враховуючи залежність (2.28) та фізико-механічні властивості матеріалу, можна провести оптимізацію параметрів процесу різання, що дозволить досягти раціональної продуктивності і якості різання матеріалів з різними характеристиками.

Проте, визначення конкретних значень радіусу сопла і тиску рідини вимагає ретельного аналізу та експериментального підходу, оскільки вони залежать від багатьох факторів, включаючи властивості матеріалу, потреби в точності різання, швидкості різання та інших параметрів. Для визначення раціональних значень радіусу сопла R_c та тиску рідини p в системі можна використовувати експериментальний підхід та аналіз результатів. Процес різання може бути моделюваний імітаційними методами або проведений за допомогою експериментальних стендів.

Експериментальний підхід: За допомогою експериментів можна варіювати значення радіусу сопла та тиску рідини і спостерігати їх вплив на якість різання, продуктивність та знос інструменту. Шляхом систематичних експериментів та аналізу результатів можна встановити оптимальні значення параметрів для кожного конкретного матеріалу. Цей підхід передбачає проведення серії експериментів, в яких будуть варіюватись значення радіусу сопла та тиску рідини, а також інших параметрів процесу. Під час експериментів вимірюються такі параметри, як якість різання, продуктивність, знос інструменту та інші показники. Аналізуючи отримані результати, можна встановити оптимальні значення радіусу сопла та тиску рідини, які забезпечать найкращі показники процесу різання.

Моделювання та імітаційні методи: Математичне моделювання процесу різання за допомогою рівнянь, що описують фізичні взаємодії, може допомогти прогнозувати вплив різних параметрів на процес. За допомогою цих моделей можна проводити віртуальні експерименти та оптимізувати значення радіусу сопла та тиску рідини, враховуючи вимоги щодо продуктивності та якості різання. За допомогою математичного моделювання можна створити віртуальну модель процесу різання і провести чисельні експерименти. За допомогою спеціалізованих програм та методів обчислювальної гідродинаміки можна

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

врахувати різні фізичні взаємодії, які відбуваються під час різання, і визначити їх вплив на параметри процесу. Шляхом моделювання можна проводити велику кількість варіацій параметрів і встановити оптимальні значення радіусу сопла та тиску рідини.

Враховуючи експериментальні дані або результати моделювання, можна встановити раціональні значення радіусу сопла та тиску рідини для конкретного матеріалу і потреб різання. Оптимальні значення будуть забезпечувати ефективне різання матеріалу з мінімальним зносом і максимальною продуктивністю.

Важливо враховувати, що оптимальні значення можуть варіюватись для різних матеріалів та застосувань.

2.4 Розроблення математичної моделі високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя

В пристроях для гідроабразивного розрізання використовується енергія високошвидкісного струменя рідини, яка відрізняється від механізму руйнування у гідрорізальних установках. У гідрорізанні кінетична енергія струменя залежить від швидкості рідини, яка визначається тиском рідини перед струменеформуючим соплом. Знаючи швидкість і витрату маси рідини, можна визначити кінетичну енергію струменя.

Проте при гідроабразивній обробці відбувається складна взаємодія двох середовищ, де енергія струменя використовується для розгону абразиву [5]. Струменеформуючий пристрій працює таким чином (рис. 2.5). Процес формування різального гідроабразивного струменя включає в себе такі етапи: рідина високого тиску 1 подається до струменеформуючого сопла 2 і витікає з надзвуковою швидкістю. Під час проходження через змішувальну камеру 3, струмінь рідини збирає абразивні частинки 4, і разом з ними потрапляє в канал прискорюючого насадкаб. В прискорюючому каналі відбувається розгін

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

перетину струменя однакова, рівна середній швидкості потоку v_p , що визначається залежністю $v_p = \frac{Q_p}{f_c}$, де Q_p – об’ємна витрата рідини; f_c – площа вихідного отвору сопла, так як $r_p=r_c$, то $f_p=f_c=\pi r_c^2$; не враховуємо втрати енергії гідроабразивного струменя на тертя по повітрі та по стінках каналу прискорюючого насадка.

Для побудови математичної моделі процесу, ми можемо виділити в потоці абразиву елемент масою d_{ma} . При потраплянні цього елемента в змішувальну камеру, він захоплюється елементом струменя масою d_{mp} . В результаті утворюється елемент абразивно-рідинного струменя масою $(d_{ma}+d_{mp})$, який рухається зі швидкістю v .

Відповідно до закону збереження кількості руху, можна сформулювати наступне:

$$\vec{v}_e dm_p + \vec{v}_a dm_a = \vec{v}(dm_p + dm_a). \quad (2.29)$$

Швидкість даного елемента абразивно-рідинного струменя буде:

$$\vec{v} = \frac{\vec{v}_p dm_p + \vec{v}_a dm_a}{dm_p + dm_a}. \quad (2.30)$$

Так як швидкість потоку абразивних частинок набагато менша швидкості струменя рідини приймемо, що $v_a=0$. З врахуванням цього:

$$v = \frac{v_p dm_p}{dm_p + dm_a}. \quad (2.31)$$

Маса виділеного елемента струменя рідини за час $d\tau$:

$$dm_p = \rho v_p f_p d\tau = \rho v_p \pi r_p^2 d\tau, \quad (2.32)$$

де ρ – густина рідини; $d\tau$ – проміжок часу, протягом якого поперечний перетин струменя переміщається на відстань dl .

Швидкість витікання струменя з сопла рідини v_p можна визначити за залежністю:

$$v_p = \sqrt{\frac{2p_p}{\rho}}, \quad (2.33)$$

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де p_p – тиск робочої рідини на вході в сопло.

Якщо відома масова витрата абразиву m_a неважко визначити масу виділеного елемента потоку абразивних частинок dm_a :

$$dm_a = M_a d\tau. \quad (2.34)$$

З врахуванням виразів (2.30), (2.33), (2.34) та (2.31), будемо мати:

$$v = \frac{2p_p f_p}{f_p \sqrt{2p_p \rho + M_a}}. \quad (2.35)$$

За відомої швидкості абразивно-рідинного струменя v , можна обчислити її енергію. Кінетична енергія елемента ($dm_a + dm_p$):

$$dK = \frac{(dm_a + dm_p)v^2}{2}. \quad (2.36)$$

Враховуючи залежності (2.32) і (2.34), отримаємо:

$$dK = (\rho v_p f_p d\tau + M_a d\tau) \frac{v^2}{2}, \quad (2.37)$$

Цей елемент струменя взаємодіє з оброблюваним матеріалом протягом часу $d\tau$: за цей час зруйнується маса матеріалу dm_m . Коли a – робота, що затрачається на руйнування одиниці маси, тоді $A = adm_m$ – робота, що виконується на руйнування маси dm_m . Припускаємо, що вся кінетична енергія dK затрачається на руйнування матеріалу. Тоді $dK = dA$.

$$(\rho v_p f_p + M_a) \frac{v^2}{2} d\tau = adm_m, \quad (2.38)$$

Протягом часу $d\tau$ матеріал, що оброблюється переміщується на відстань $dl = v_n d\tau$, де v_n – швидкість подачі. Знайдемо dm_m після позначення площі перерізу через f_{piz} і густини матеріалу через ρ_m

$$dm_m = \rho_m f_{piz} dl = \rho_m f_{piz} v_n d\tau. \quad (2.39)$$

Після перетворень будемо мати:

$$(\rho v_p f_p + M_a) \frac{v^2}{2} = \rho_m f_{piz} v_n a. \quad (2.40)$$

Робота, що затрачається на руйнування одиниці маси оброблюваного матеріалу визначається:

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$a = \frac{(\rho v_p f_p + M_a) v^2}{2 \rho_m f_{piz} v_n}. \quad (2.41)$$

Мінімальний тиск води, для того щоб повністю прорізати листовий матеріал товщиною h . Перетин різу в цьому випадку буде близьким до трикутного з максимальною довжиною у верхній частині і мінімальною довжиною у нижній поверхні листа (прямоючою до нуля).

Для різу довжиною l маса:

$$m = f_{piz} l_{piz} \rho_m = \frac{1}{2} b_{piz} h v_n \tau \rho_m, \quad (2.42)$$

де τ – час різання. Затрачена робота буде визначатись:

$$A = a m_m = \frac{1}{2} a b_{piz} h v_n \tau \rho_m. \quad (2.43)$$

гідроабразивного струменя можна знати розділивши вираз (2.43) на τ :

$$N = \frac{1}{2} a b_{piz} h v_n \rho_m = f_{piz} v_n \rho_m a. \quad (2.44)$$

Враховавши, що різання проводиться за мінімальної відстані вихідного отвору від поверхні матеріалу, то допустимо, що ширина різу b_{piz} дорівнюватиме діаметру каналу d_k прискорюючого насадка. Вираз (2.44) для необхідної потужності:

$$N = \frac{1}{2} a d_k h v_n \rho_n. \quad (2.45)$$

Враховуючи залежність (2.41):

$$N = (\rho v_p f_p + M_a) \frac{v^2}{2}. \quad (2.46)$$

Враховуючи рівняння (2.33), запишемо:

$$N = (f_p \sqrt{2 p_p \rho} + M_a) \frac{v^2}{2}, \quad (2.47)$$

з врахуванням (2.35) потужність буде рівна:

$$N = \frac{1}{2} (f_p \sqrt{2 p_p \rho} + M_a) \left(\frac{2 p_p f_p}{f \sqrt{2 p_p \rho} + M_a} \right)^2. \quad (2.49)$$

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Як зрозуміло з вищевикладеного, потужність гідроабразивного струменя прямо пропорційна швидкості руху рідинної і твердої фаз струменя. Однак, для побудови математичної моделі формування ріжучого гідроабразивного струменя і обґрунтування деяких допущень, необхідно оцінити вплив кожної складової на процес руйнування. Для досягнення цієї мети потрібно ретельно вивчити і аналізувати ступінь впливу кожної складової на процес руйнування. Це може включати в себе експериментальні дослідження, аналітичні розрахунки та моделювання. Оцінюючи вплив кожної складової окремо, ми зможемо краще розуміти їхні ролі і внести необхідні допущення для побудови математичної моделі.

2.5 Руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем

Для розрахунку руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем задалися наступними вихідними даними:

густина скловолокна 7900 кг/м^3 ;

швидкість руху в рідині (воді) 1480 м/с ;

радіус вихідного отвору сопла $0,071 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

швидкість струменя рідини перед поверхнею матеріалу $547,2 \text{ м/с}$;

коефіцієнт Пуассона (для скловолокна) $0,151$;

довжина початкової ділянки струменя $54 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

модуль Юнга (для скловолокна) $2,11 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$;

густина рідини (води) 1000 кг/м^3 ;

тиск рідини перед струменеформуючим соплом $150,0 \cdot 10^6 \text{ Па}$;

товщина оброблюваного матеріалу $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

довжина від сопла до площини контакту з матеріалом $3,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

границя міцності матеріалу (скловолокна) при розтягу $3,0 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$;

коефіцієнт гідравлічного опору скловолокна $0,11$.

Результати розрахунку:

Швидкість звуку в скловолокні:

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$c_m = \sqrt{\frac{E}{\rho_m}} = \sqrt{\frac{2.11 \cdot 10^{10}}{79}} = 1.62 \cdot 10^4 \text{ м/с},$$

де E – модуль Юнга, а ρ_m - густина скловолокна;

Сила гідравлічного удару:

$$P_y = \rho_p c_p v_0 \div \left(1 + \frac{\rho_p c_p}{\rho_m c_m} \right) = 1000 \cdot 1480 \cdot 547.2 \div \left(1 + \frac{1000 \cdot 1480}{79 \cdot 1.62 \cdot 10^4} \right) = 3.8 \cdot 10^8 \text{ Н},$$

де ρ_p , – густина рідини; c_p – швидкість звуку в рідині; ρ_m , – густина матеріалу; c_m – швидкість звуку в матеріалі; v_0 – швидкість струменя рідини безпосередньо перед поверхнею оброблюваного матеріалу.

Сила нормальної дії струменя:

$$F_p = \pi R_c^2 \rho_p c_p v_0 \left(1 + \frac{\rho_p c_p}{\rho_m c_m} \right) =$$

$$= 3.14 \cdot (0.07 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1000 \cdot 1480 \cdot 547.7 \cdot \left(1 + \frac{1000 \cdot 1480}{79 \cdot 1.62 \cdot 10^4} \right) = 26.963 \text{ Н},$$

де R_c — радіус вихідного отвору сопла;

Величина проникнення струменя в матеріал на глибину в першій стадії різання:

$$h_{np} = \frac{1 - \nu^2}{2R_c E} F_p = \frac{1 - 0.15^2}{2 \cdot 0.071 \cdot 10^{-3} \cdot 2.11 \cdot 10^{10}} 26.963 = 8.562 \cdot 10^{-6} \text{ м},$$

де ν — коефіцієнт Пуассона; E — модуль пружності Юнга.

Тривалість деформації матеріалу на першій стадії руйнування:

$$t_1 = 1,42 h_{np} / v_0 = 1.42 \frac{8.932 \cdot 10^{-6}}{547.2} = 2.158 \cdot 10^{-8} \text{ с}.$$

Швидкість проникнення струменя на першій стадії руйнування:

$$v_1 = h_{np} / t_1 = \frac{8.562 \cdot 10^{-6}}{2.158 \cdot 10^{-8}} = 385.126 \text{ м/с}.$$

Втрати тиску на першій стадії руйнування:

$$\Delta p_1 = \frac{\rho v_0^2}{2} (1 - 0.7^2) = \frac{1000 \cdot 547.2^2}{2} (1 - 0.7^2) = 7.236 \cdot 10^7 \text{ Па},$$

Динамічний тиск струменя на виході з сопла:

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати тиску струменя на тертя по бічних стінках вирізу:

$$\Delta p_f = \lambda_f \frac{h - h_{np}}{2R_e} \cdot \frac{\rho v_1^2}{2} = 0.1 \frac{0.41 \cdot 10^{-3} - 8.532 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 7.956 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1000 \cdot 385.146^2}{2} = 2.138 \cdot 10^7.$$

де λ_f – коефіцієнт гідравлічного опору; h – товщина оброблюваного матеріалу.

Швидкість за якої процес руйнування матеріалу зупиняється:

$$v_c = \sqrt{2\sigma_p / \rho} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3.1 \cdot 10^8}{1000}} = 774.759 \text{ м / с.}$$

Сила контактного тиску:

$$F_c = \pi \sigma_p R_e^2 = 3.14 \cdot 3.1 \cdot 10^8 \cdot (7.1 \cdot 10^{-5})^2 = 4.423 \text{ Н.}$$

Час проникнення струменя в матеріал на другій стадії:

$$t_2 = \frac{\sigma_p R_e^2 (h - h_{np})}{(p_e - \sigma_p) R_c^2 v_o} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot (7.1 \cdot 10^{-5})^2 \cdot (0.41 \cdot 10^{-3} - 8.128 \cdot 10^{-6})}{(6.233 \cdot 10^8 - 3 \cdot 10^8) \cdot (0.07 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 547.4} = 6.43 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

Час повного прорізування матеріалу:

$$t = 1.42 \frac{h_{np}}{v_o} + \frac{\sigma_p R_e^2 (h - h_{np})}{\left(p_e - \frac{p_1 \lambda_f}{4R_e} (h - h_{np}) - \sigma_p \right) R_c^2 v_o} = 1.4 \frac{8.138 \cdot 10^{-6}}{547.6} +$$

$$+ \frac{3 \cdot 10^8 (7.176 \cdot 10^{-5}) (0.44 \cdot 10^{-3} - 8.932 \cdot 10^{-6})}{\left(9.4 \cdot 10^4 - \frac{1.53 \cdot 10^8 \cdot 0.1}{4 \cdot 6.631 \cdot 10^8} (0.44 \cdot 10^{-3} - 8.932 \cdot 10^{-6}) - 3.1 \cdot 10^8 \right) \cdot (0.07 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 547.7} =$$

$$= 7.127 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

Швидкість подачі:

$$V = \frac{2 \cdot 0.07 \cdot 10^{-3}}{7.324 \cdot 10^{-7}} = 186.124 \text{ м / с.}$$

2.6 Розрахунок високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя

Для розрахунку високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя наступні вихідні дані: витрата абразиву 0,0064 кг/с; діаметр прискорюючого

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

каналу 0,0014 м; довжина ділянки різання 0,35 м; швидкість подачі матеріалу 0,0045м/с.

Швидкість витоку рідинного струменя з сопла:

$$v_p = \sqrt{\frac{2p_p}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 151 \cdot 10^6}{1000}} = 548.125 \text{ м / с}$$

Площа вихідного отвору сопла:

$$f_p = \frac{\pi d_c^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 4 \cdot (0.071 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 1.541 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2.$$

Швидкість абразивно-рідинного струменя:

$$v = \frac{2p_p f_p}{f_p \sqrt{2p_p \rho} + M_a} = \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1.528 \cdot 10^{-8}}{1.541 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{2 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1000} + 0.006} = 309.18 \text{ м / с},$$

де M_a – витрата абразиву;

Площа струменя розрізу:

$$f_{piz} = \frac{\pi d_k^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 0.0016^2}{4} = 1.811 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Робота, витрачена на руйнування одиниці маси матеріалу:

$$a = \frac{(\rho v_p f_p + M_a) v^2}{2 \rho_m f_{piz} v_n} = \frac{(1000 \cdot 547.713 \cdot 1.539 \cdot 10^{-8} + 0.0061) \cdot 309.288^2}{2 \cdot 79.4 \cdot 1.717 \cdot 10^{-6} \cdot 0.0047} = 1.08 \cdot 10^9 \text{ Дж}.$$

Ширина розрізу:

$$b_{piz} = d_k = 0.0016 \text{ м}.$$

Маса зруйнованого матеріалу:

$$m = f_{piz} l_{piz} \rho_m = 1.811 \cdot 10^{-6} \cdot 0.35 \cdot 79.4 = 4.434 \cdot 10^{-5} \text{ кг}.$$

Витрачена робота:

$$A = am = 1.08 \cdot 10^9 \cdot 4.434 \cdot 10^{-5} = 4.785 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

Необхідна потужність гідроабразивного струменя:

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$\begin{aligned}
N &= \frac{1}{2} (f_p \sqrt{2p_p \rho} + M_a) \left(\frac{2p_p f_p}{f \sqrt{2p_p \rho} + M_a} \right)^2 = \\
&= \frac{1}{2} \cdot (1.519 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot 150 \cdot 10^6} + 0.0061) \times \\
&\times \left(\frac{2 \cdot 150 \cdot 10^6 \cdot 1.519 \cdot 10^{-8}}{1.519 \cdot 10^{-8} \cdot \sqrt{2 \cdot 1000 \cdot 150 \cdot 10^6} + 0.0061} \right) = 713.167 \text{ Вт.}
\end{aligned}$$

Програма розрахунку приводиться в додатку Б.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

3.1 Вплив характеристик установки та матеріалу на необхідну потужність гідроабразивного струменя та затрачену роботу гідрорізальної установки

За допомогою програми MathCAD були побудовані залежності необхідної роботи та витраченої потужності від різних параметрів високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя. Математична модель, яка була використана, дозволяє врахувати вплив відстані від сопла до площини контакту з матеріалом L_0 , радіуса струменеформуючого сопла R_c , тиску рідини перед струменеформуючим соплом p , та швидкості подачі матеріалу v_n , діаметру прискорюючого каналу d_k та товщини оброблюваного матеріалу h .

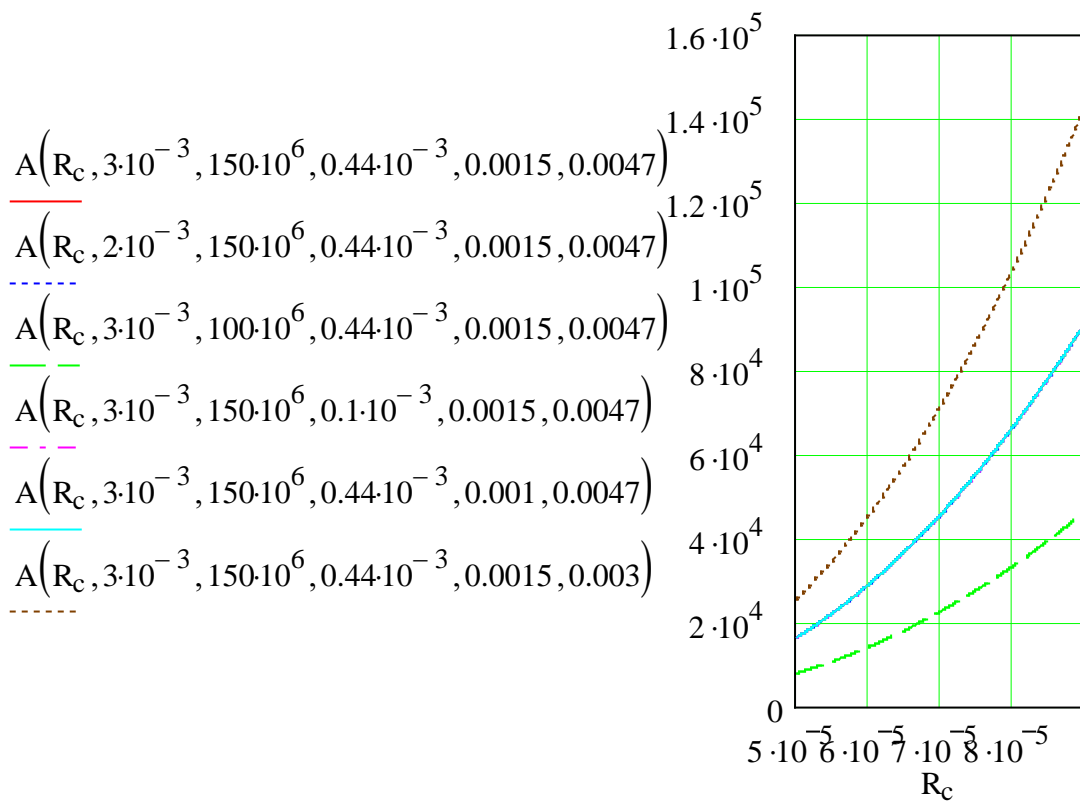
На графіках, отриманих в результаті розрахунків, можна спостерігати, що зростання радіуса вихідного отвору сопла R_c та тиску p перед струменем призводить до збільшення необхідної роботи A та витраченої потужності N , причому ці залежності мають параболічний характер.

З іншого боку, зростання швидкості подачі матеріалу v_n призводить до зменшення необхідної роботи A .

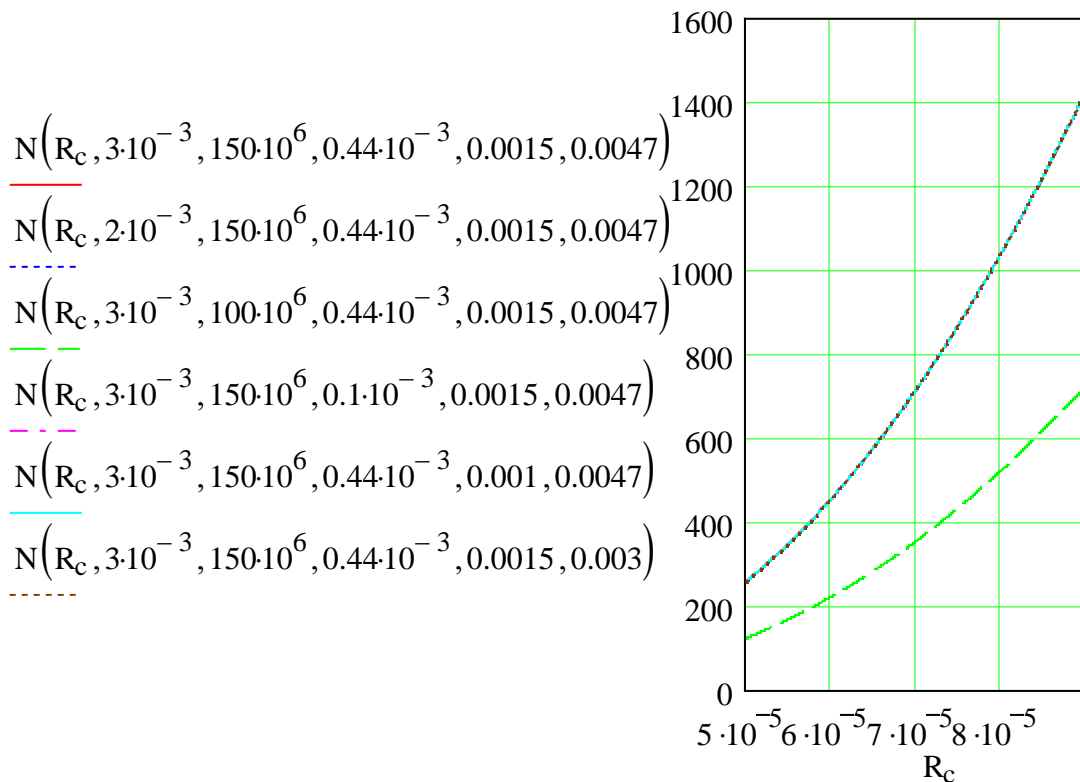
Інші параметри, такі як відстань L_0 , товщина h та діаметр d_k , не суттєво впливають на необхідну роботу A та витрачену потужність N .

Програма розрахунків наведена в додатку В.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

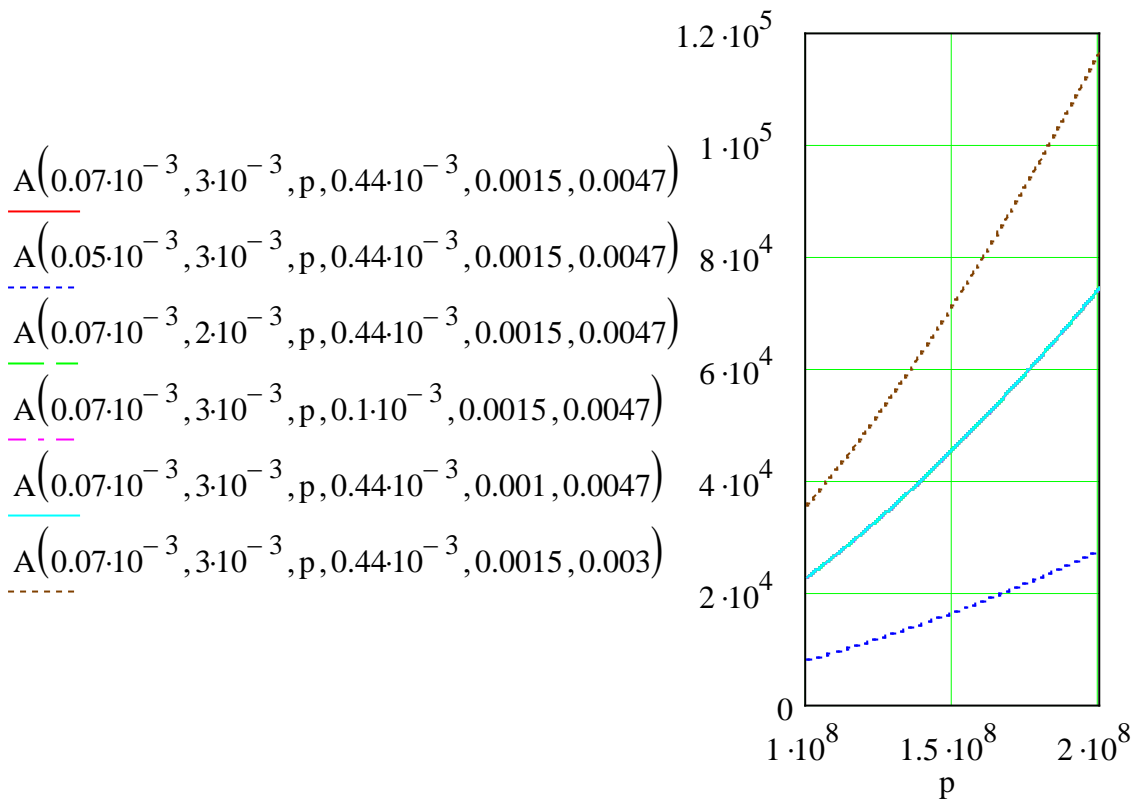


а

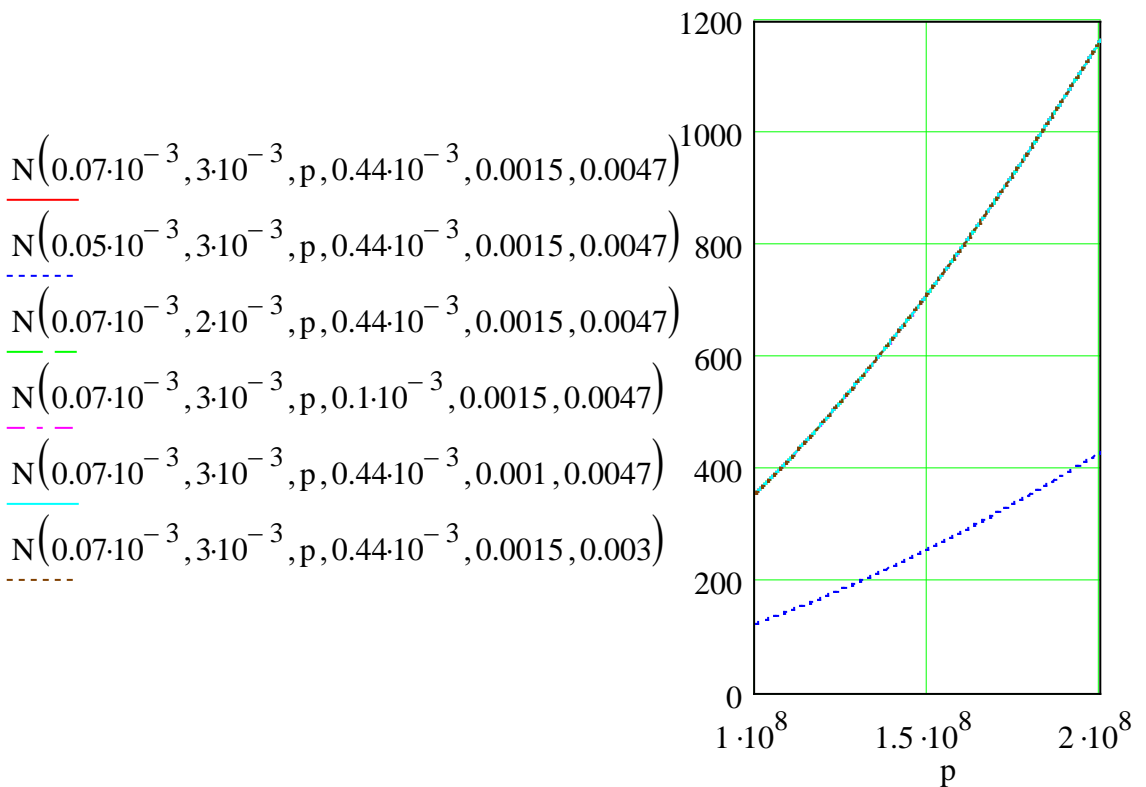


б

Рис. 3.1 – Залежності початкових параметрів від радіуса вихідного отвору сопла: а – роботи; б – затраченої потужності.

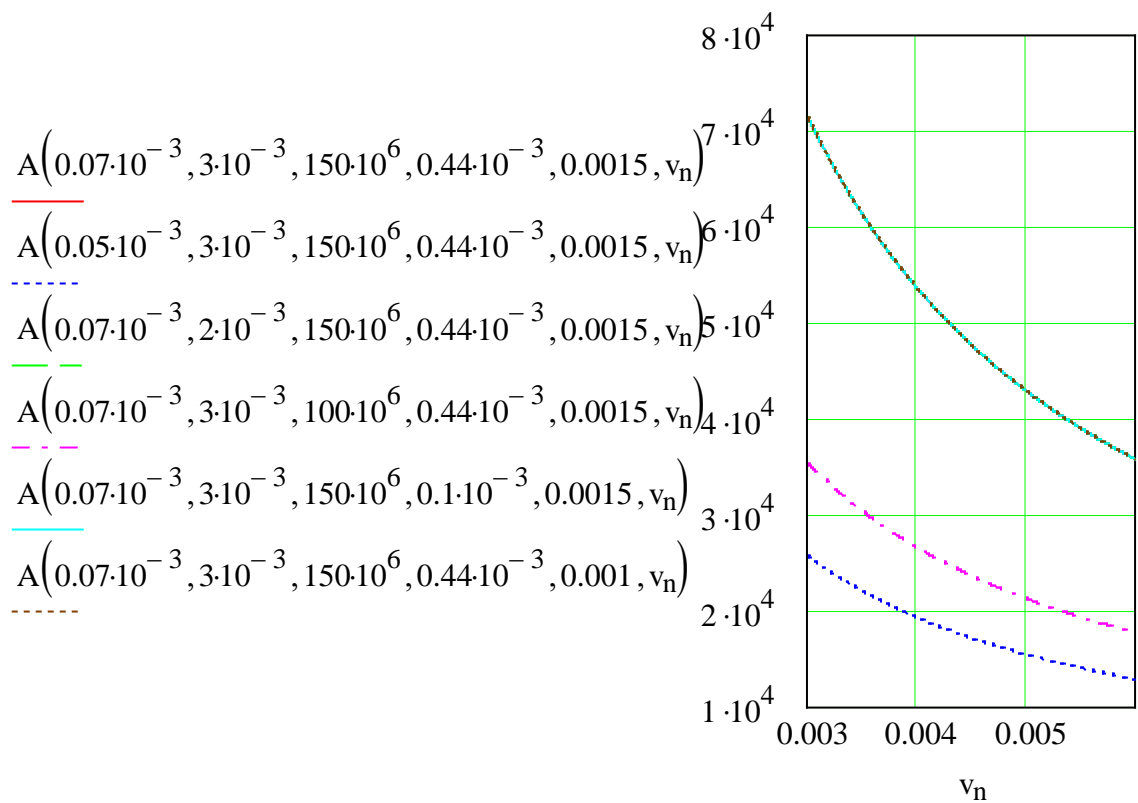


а

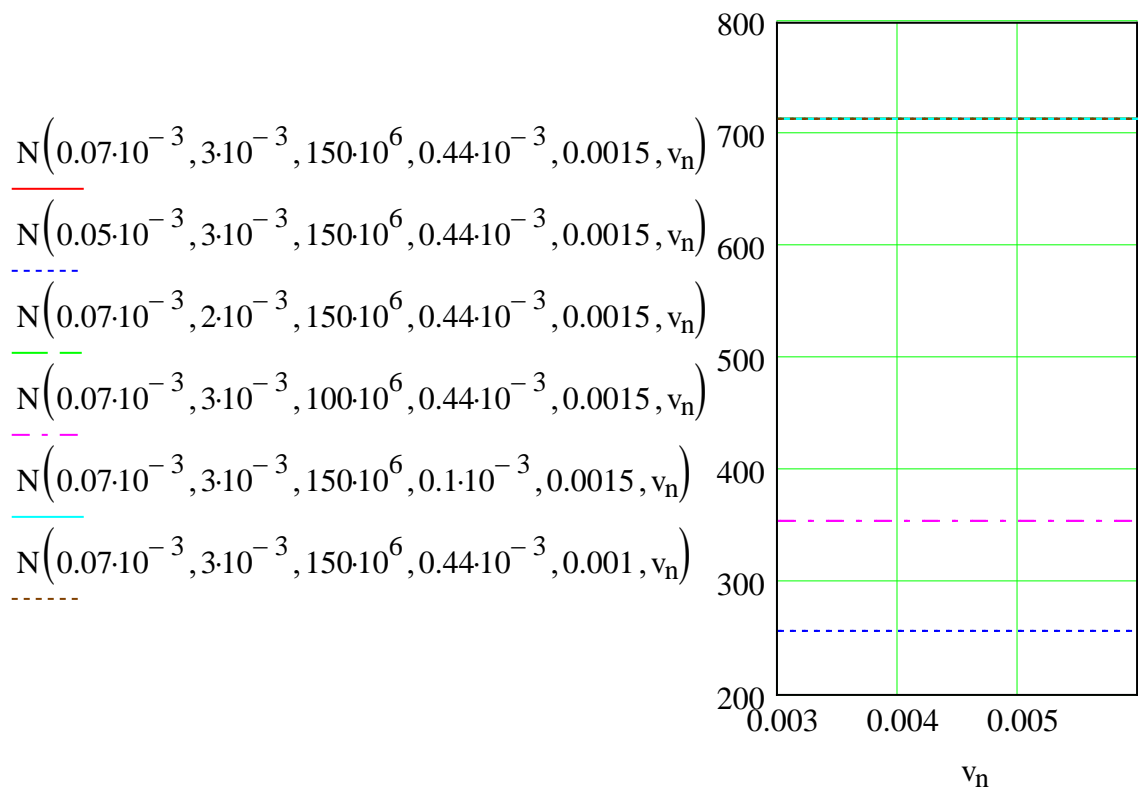


б

Рис. 3.2 – Залежності вхідних параметрів від тиску рідини перед струменеформуючим соплом: а – роботи; б – затраченої потужності.



а



б

Рис. 3.3 – Залежності входних параметрів від швидкості подачі матеріалу:

а – роботи; б – затраченої потужності.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

3.2 Ступінь впливу рідинної складової двофазного струменя під час гідроабразивного розрізання

Для вивчення ступеня впливу рідинної складової потоку під час гідроабразивного розрізання та для визначення областей застосування в легкій промисловості гідро- та гідроабразивного розрізання були проведені дослідження енергетичних параметрів струменів [24].

Для вимірювання енергетичних параметрів був використаний спеціальний пристрій (рис. 3.4), який дозволяє визначити силу, з якою енергопотік діє на перешкоду.

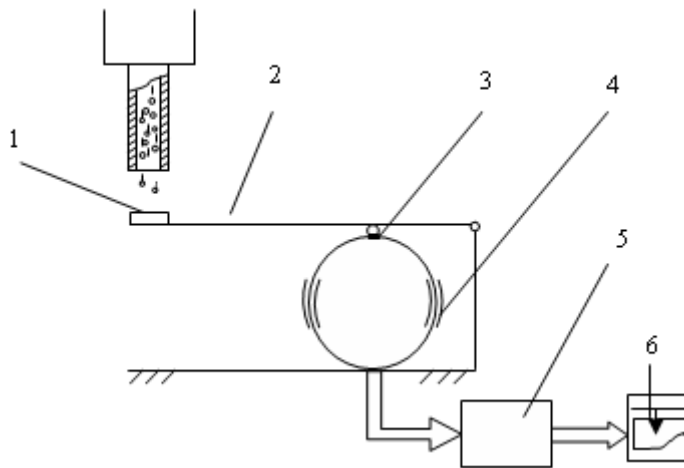


Рис. 3.4 – Експериментальний стенд для визначення енергетичних параметрів струменів: 1 – контактна площадка; 2 – важіль; 3 – пружний елемент; 4 – тензодатчики; 5 – тензопідсилювач; 6 – реєструючий пристрій.

Система для вимірювання енергетичних параметрів струменів має наступну схему: контактна площадка 1 - місце, де струмені взаємодіють з перешкодою; жорстко закріпленої на важелі 2, механічному елементі, який передає силу, що діє на нього від струменя. Важіль передає зусилля дії струменя на пружний елемент кільцевого типу 3. Пружний елемент забезпечує гнучкість і повертається до початкового стану після прикладання сили. Тензодатчики 4, прилади, що вимірюють зміну напруження в пружному елементі, що виникає внаслідок дії

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

сили. Тензодатчики з'єднуються по напівмостовій схемі з тензопідсилювачем 5, пристроєм, який посилює сигнал з тензодатчиків для більш точного вимірювання. Звідки тензосигнал поступав на реєструючий записуючий прилад 6. Реєструючий пристрій записує отримані дані про енергетичні параметри струменів.

Ця схема дозволяє виміряти силу, що діє на контактну площадку від струменя, та записати ці дані для подальшого аналізу енергетичних параметрів струменів. У пристрої для вимірювання енергетичних параметрів струменів використовується наступна схема:

Для забезпечення достовірності результатів експерименту контактна площадка виготовляється з твердосплавного матеріалу, а пружний елемент з тензодатчиками захищається від впливу вологи за допомогою поліетиленової плівки.

Під час проведення експерименту було встановлено контрольний тиск робочої рідини, а записуючий прилад реєстрував силу, що діє гідроструменя на важіль. Крім того, при введенні абразивних частинок в змішувальну камеру струменеформуєчного пристрою, на діаграмі фіксувалися значення сили, яку діє гідроабразивний струмінь. Таким чином, за незмінних початкових параметрів вимірювалися сили, що діють на матеріал від гідро- та гідроабразивних струменів.

Експерименти проводились для прискорюючих насадок довжиною: 15, 30, 40, 60, 80, 100 мм. Тиск робочої рідини в системі становив 80 МПа, діаметр струменеформуєчного сопла становив 0,15 мм, діаметр каналу прискорюючого насадка - 1,4 мм, відстань між зрізом насадки та контактним матеріалом - 3 мм. В якості абразиву використовували SiO₂ з розмірами частинок 0,25-0,5 мм, який подавався до камери змішування стислим повітрям під тиском 0,4 МПа. Швидкість подачі склотекстоліту товщиною 5 мм до струменя становила 4,7 мм/с. Кількість розрізаного матеріалу вимірювалася зважуванням на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 г.

На основі отриманих вимірювань, враховуючи площу контакту, було побудовано залежність тиску гідро- (1) і гідроабразивного (2) струменя на перешкоду від довжини прискорюючого насадка (рис. 3.5).

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

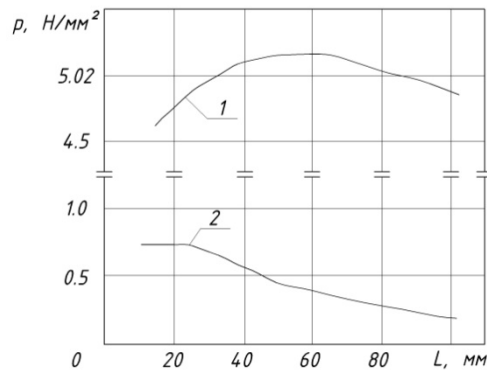


Рис. 3.5 – Залежність довжини прискорюючого каналу від тиску струменя на перешкоду: 1 – гідрострумінь; 2 – гідроабразивний струмінь.

Для оцінки впливу складових двофазного потоку на розрізання матеріалів проводилося вимірювання видаленої маси матеріалу, яке здійснювалось за допомогою високошвидкісного струменя рідини 1 і гідроструменя 2 з абразивними частинками (рис. 3.6). Загальна маса видаленого матеріалу вимірювалась для обох струменів з метою порівняння їхнього впливу на розрізання матеріалів.

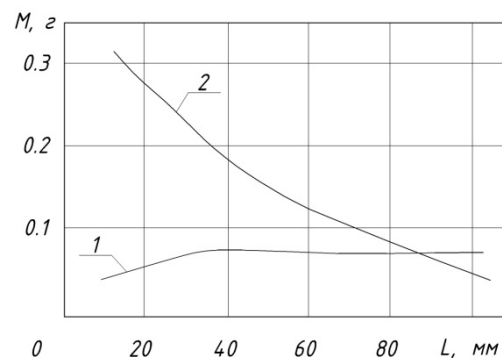


Рис. 3.6 – Залежність довжини прискорюючого каналу від маси видаленого матеріалу: 1 – гідрострумінь; 2 – гідроабразивний струмінь.

Результати експериментів показали, що сила дії високошвидкісного струменя рідини на перешкоду була завжди вищою, ніж сила дії гідроабразивного потоку. Кількість зруйнованого матеріалу високошвидкісним струменем рідини майже не змінювалась при різних довжинах прискорюючих насадків. У той же час, величина видаленої маси матеріалу гідроабразивним способом змінювалась в

ширшому діапазоні і мала тенденцію до зменшення при використанні насадок з довжинами 60 – 100 мм.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про вплив кожної з складових гідроабразивного потоку на процес розрізання. Зокрема, при довжині прискорюючого насадка 15 мм тиск високошвидкісного струменя рідини на перешкоду перевищував тиск гідроабразивного струменя в 5,9 разів. Зменшення тиску гідроструменя до значення, що рівне тиску гідроабразивного струменя, призводило до відсутності руйнування матеріалу склотекстоліту від дії рідинного потоку. Отже, можна зробити припущення, що вплив рідинної складової гідроабразивного потоку на процес розрізання матеріалів можна знехтувати, вважаючи, що енергія гідроструменя використовується для розгону абразивних частинок та виведення продуктів руйнування з зони різання.

Гідроабразивний струменеформуєчий пристрій, який був використаний для дослідження параметрів гідроабразивного струменя, має таку принципову схему (рис. 3.7) [24]: Пристрій працює таким чином. Рідина високого тиску надходить через штуцер 1 і виходить з сопла 2 з надзвуковою швидкістю. Цей рідкий потік є основною робочою складовою гідроабразивного струменя. В змішувальній камері 5 корпусу 7 рідинний струмінь збирає абразивні частинки. Ці частинки подаються в камеру через штуцер 3 за допомогою стислого повітря. Змішування абразиву з рідиною відбувається в камері. Після змішування абразивні частинки разом з рідиною потрапляють в канал прискорюючого насадка 4. У цьому каналі відбувається розгін абразивних частинок, тобто надання їм великої швидкості. Таким чином, формується абразивно-рідинний струмінь гідроабразивного потоку, який має різучі властивості.

Описаний пристрій дозволяє вивчати параметри гідроабразивного струменя і досліджувати їх вплив на процес розрізання матеріалів. Проте характер і ступінь впливу кожного з факторів, таких як витрата і тиск робочої рідини, витрата і розмір частинок абразиву, діаметр і довжина каналу прискорюючого насадка, залишаються невідомими. Також не відомі оптимальні значення цих факторів, які забезпечують найбільшу продуктивність процесу розрізання матеріалів.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

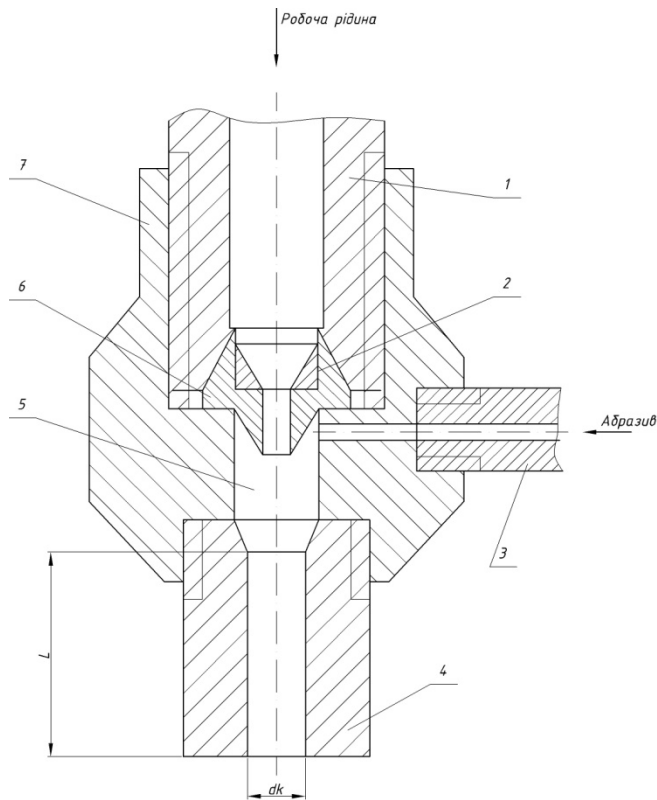


Рис.3.7 – Гідроабразивний струменеформуючий пристрій: 1 – штуцер;
 2 – струменеформуюче сопло; 3 – штуцер для підведення абразиву;
 4 – прискорюючий насадок; 5 – змішувальна камера; 6 – вкладиш; 7 – корпус.

Щоб створити фізичну модель процесу руху абразивної частинки, необхідно враховувати як прискорюючий вплив рідинного струменя, так і гальмівні сили тертя об стінки каналу. У реальних умовах рух частинки вздовж каналу значно відрізняється від ідеалізованої моделі, яку розглядали раніше.

Спочатку після захоплення струменем рідини абразивна частинка починає рухатися зі зростаючим прискоренням, що залежить від сили, наданої рідинним струменем. Це прискорення зменшується з часом, оскільки швидкість частинки наближається до швидкості струменя. Після досягнення рівномірного руху частинка рухається зі сталою швидкістю, яка досягається на певній відстані від входу в канал прискорюючого насадка (позначеною як L_{onm} на рисунку 3.8, 1). Таким чином, довжина прискорюючого насадка повинна забезпечувати розгін абразиву до досягнення швидкості v .

Проте на практиці залежність швидкості частинки v від довжини каналу L суттєво відрізняється від розглянутої моделі, оскільки частинка, рухаючись уздовж каналу, піддається гальмуванню силами тертя об стінки каналу. Це гальмування призводить до зменшення швидкості частинки порівняно з очікуваними значеннями.

Отже, для точного врахування фізичних процесів, які відбуваються під час руху абразивної частинки, необхідно враховувати вплив гальмуючих сил тертя об стінки каналу. Тільки така модель зможе більш точно описати залежність між швидкістю частинки та довжиною каналу прискорюючого насадка.

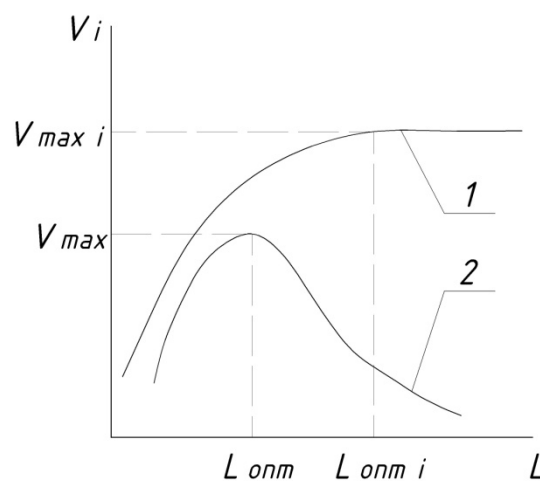


Рис. 3.8 – Залежність довжини каналу прискорюючого насадка від швидкості абразивної частинки: 1 – без врахування втрат на тертя; 2 – з врахуванням втрат.

Для подальшого дослідження впливу довжини каналу на ефективність абразивно-рідинного струменя було проведено експерименти, в яких використовувалася інтенсивність різання як метрика, що відображає енергетичні показники струменя. Інтенсивність різання визначалася як маса зруйнованого матеріалу, поділена на час дії струменя.

Експеримент був проведений за різних умов, а саме при змінних довжинах каналу. Для кожної довжини каналу було виміряно масу зруйнованого матеріалу за певний час дії струменя. Результати експерименту наведені в таблиці 3.1.

значення (15 мм) призводить до зменшення інтенсивності різання на інтервалі від 15 мм до 85 мм.

Отже, результати експерименту підтверджують припущення, що збільшення довжини каналу прискорюючого насадка після досягнення оптимального значення (15 мм) призводить до зниження ефективності різання, зменшення інтенсивності різання і, відповідно, до зменшення продуктивності процесу.

Вищезгадані результати підкреслюють важливість вибору оптимальних параметрів, таких як довжина каналу, при проектуванні та налаштуванні гідроабразивних струменевих систем для досягнення найкращої продуктивності та ріжучих властивостей.

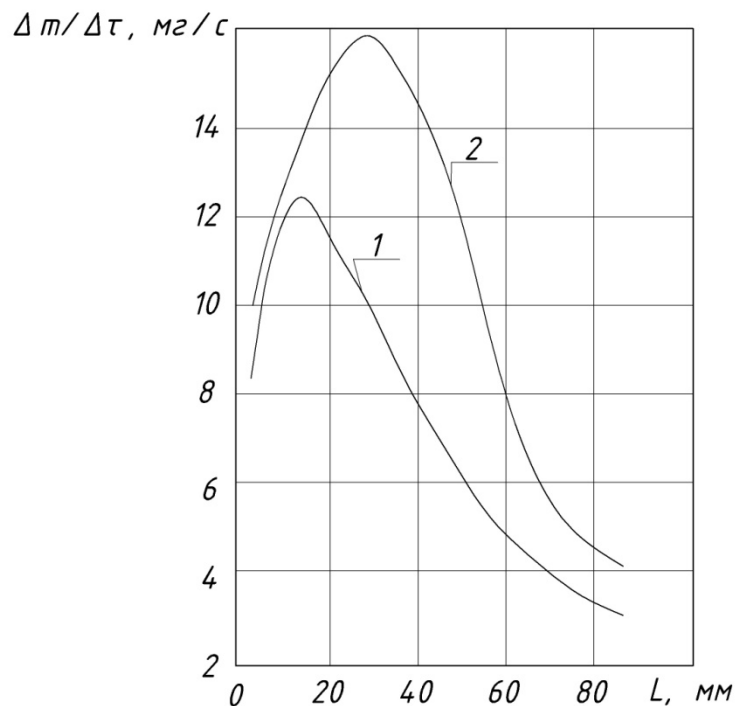


Рис. 3.9 – Залежність довжини каналу прискорюючого насадка від інтенсивності видалення матеріалу: 1 – pp=80 МПа; 2 – pp=130 МПа.

Зміна параметрів, таких як тиск робочої рідини, витрата робочої рідини, витрата абразиву та діаметр каналу, може впливати на оптимальну довжину насадка. Коли було проведено експеримент при підвищеному тиску робочої рідини (pp = 130 МПа), результати підтвердили попередні припущення. Разом зі збільшенням інтенсивності різання, оптимальна довжина насадка також

збільшилася (максимум на графіку залежності інтенсивності різання від довжини каналу змістився вправо).

Це пояснюється тим, що при вищому тиску робочої рідини швидкість струменя та різниця швидкостей між струменем і абразивними частинками зростають. Щоб вирівняти ці швидкості, потрібно більше часу, а отже, і більша довжина насадка.

Це додаткове підтвердження того, що оптимальна довжина насадка залежить від конкретних умов експерименту та параметрів системи. Зміна цих параметрів може впливати на оптимальні значення і вимагати налаштування довжини насадка для досягнення найбільшої продуктивності та ефективності різання.

					<i>КРБ 0015.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі розроблено струменеформуєчий пристрій гідрорізальної установки, що базується на аналізі існуючих методів розрізання матеріалів у легкій промисловості та інших галузях. Процес проектування виконано з використанням математичної моделі та сучасних обчислювальних пакетів, зокрема програми MathCAD.

Впровадження гідроабразивного розрізання матеріалів дозволяє досягти повної автоматизації виробничого процесу, економії матеріалів та скорочення термінів впровадження нових моделей. Однак перед впровадженням у практику необхідно провести дослідження витрати роботи та потужності в залежності від параметрів і характеристик установки та матеріалів.

У дослідницькій частині кваліфікаційної роботи проведено аналіз гідромеханічних процесів, які виникають під час розрізання матеріалів, і виконано дослідження витрати роботи та необхідної потужності, враховуючи параметри і характеристики установки та матеріалів. Це дозволить отримати важливі дані для подальшої оптимізації та покращення роботи гідрорізальної установки. Було проведено аналіз енергетичних показників гідроабразивного процесу розрізання матеріалів. Це дозволило визначити витрату роботи, необхідну потужність та ефективність установки при різних режимах роботи.

Застосування сучасних обчислювальних пакетів, таких як MathCAD, у процесі проектування та аналізу дала можливість більш точно моделювати гідромеханічні процеси та розраховувати необхідні параметри струменевої установки. Це сприяє підвищенню якості та ефективності розробленого пристрою.

Результати проведених досліджень в кваліфікаційній роботі є важливими для подальшого вдосконалення гідрорізальної установки та оптимізації процесу розрізання матеріалів. Вони надають наукове обґрунтування для вибору оптимальних параметрів та режимів роботи, що сприятимуть зниженню витрат та підвищенню продуктивності установки. Впровадження нових методів і пристроїв

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сприятиме підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат та поліпшенню якості кінцевої продукції.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кедровський Б. Г., Клапцов Ю. В. Перспективи використання процесу гідрорізання // Легка пром-сть, 1989, № 3, с. 20—21.
2. Клапцов Ю.В., Петко І.В., Панасюк І.В. Гідроструменеве розрізання – технологія широкого діапазону застосування// Тези доповідей ювілейної міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні екологічно безпечні тепломасообмінні процеси в технологіях легкої промисловості”, 17-19 травня 2006 р. м. Київ – К.: Вісник КНУТД.- 2006. № 2 (спеціальний випуск) – с.102-103.
3. Саленко О.Ф., Струтинський В. Б. Техніка та технологія гідроструменевої обробки: Монографія. - Київ: ВІПОЛ, 1998. - 252 с.
4. Саленко О.Ф., Струтинський В.Б., Загірняк. М.В. Ефективне гідрорізання. – Кременчук, в-во КДПУ, 2005. – 488 с
5. Патент США, №4507898, МКИ В24С 3/00, 1985
6. Тихомиров Р.А., Гуенко В.С. Гідрорізання неметалевих матеріалів. - К. Техніка. 1984. - 150 с.
7. Keret I. Hidromeckanische Probleme des Schiffsantriebs: Hamburg, "Neisner", 1932.– 296 p.
8. Іванчук, А. В. Деталі машин: навч. посібник [для студ. вищ. пед. навч. закл.] / Анатолій Васильович Іванчук. – Вінниця: ТОВ фірма «Планер», 2010. – 336 с.
9. Коновалюк Д. М. Деталі машин: Підручник/Д.М. Коновалюк, Р.М.Ковальчук. – Київ: Кондор, 2004. – 584 с. – (2-е видання).
10. Деталі машин. Практикум: Навчальний посібник / Д.Ю. Коновалюк, Р.М. Ковальчук, В.О. Байбула, М.М. Толстущко. – К.: Кондор, 2009. – 278 с.
11. Малащенко В.О., Павлище В.Т. Деталі машин. Збірник завдань та прикладів розрахунків. – Львів: НУЛП, 1999. – 116 с.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

12. Деталі машин [Текст]: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навчання / М.П. Ярошевич, М.М. Толстушко, В.Л. Мартинюк. – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – 272 с.
13. Деталі машин [Текст]: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навчання / уклад. М.М. Толстушко, В.Л. Мартинюк. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – 96 с.
14. Деталі машин. Електронний навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної скорочених форм навчання. Луцьк : Луцький НТУ, 2018. № 5.– С. 115–117.
15. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. основи охорони праці. Навчальний посібник. – Вид. 4-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
16. <http://www.roden.ck.ua>
17. <http://www.library.if.ua>
18. <http://ua.textreferat.com>
19. Л.Л. Гурець, О.П. Будьоний, Л.А. Гладка, О.Д. Лазенко. Методичні вказівки до практичних занять на тему «Електробезпека. Розрахунок захисного заземлення та занулення». – Суми: Вид-во СУМДУ, 200. – 32 с.

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ДОДАТКИ

					КРБ 0015.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

Додаток А

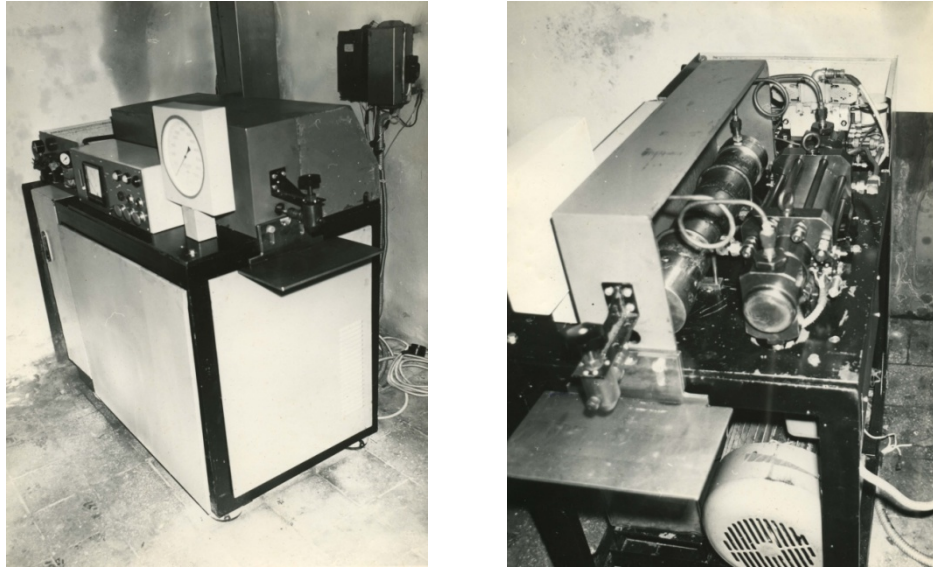


Рис. 1. Гідрорізальна установка УГР

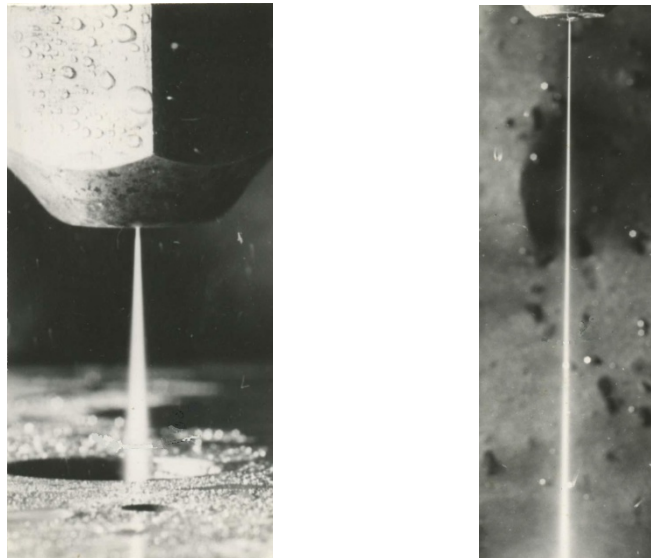


Рис. 2. Гідравлічний струменеформуючий пристрій

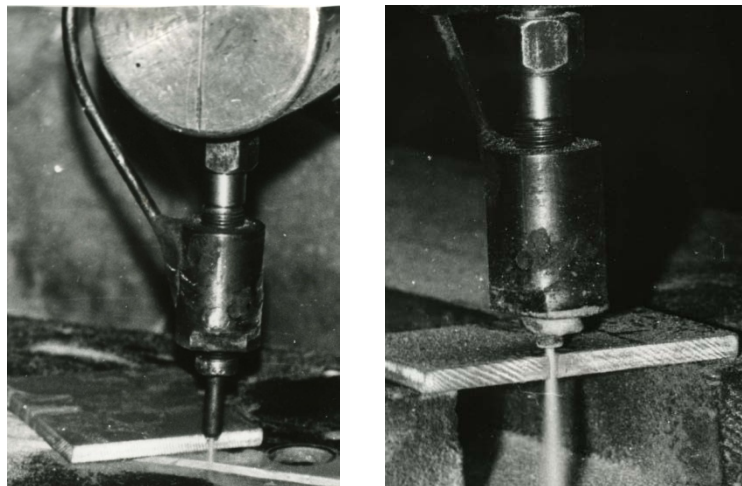


Рис 3. Гідроабразивний струменеформуючий пристрій

Додаток Б

Програма розрахунку процесу руйнування матеріалу високошвидкісним гідроструменем і формування високошвидкісного ріжучого гідроабразивного струменя

$c_p := 1483 \text{ м/с}$ - швидкість звуку в рідині;

$\rho_m := 79.4 \text{ кг/м.куб.}$ - щільність словолокна;

$v_0 := 547.7 \text{ м/с}$ - швидкість струменя рідини перед поверхнею матеріалу;

$R_c := 0.07 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - радіус вихідного отвору сопла;

$\nu := 0.15$ - коефіцієнт Пуассона;

$E := 2.1 \cdot 10^{10} \text{ Н/м.кв.}$ - модуль Юнга;

$L_n := 55 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - довжина початкової ділянки струменя;

$L_o := 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - відстань від сопла до площин контакту з матеріалом;

$p := 150 \cdot 10^6 \text{ Па}$ - тиск рідини перед струменеформуючим соплом ;

$\sigma_p := 3 \cdot 10^8 \text{ Н/м.кв.}$ - границя міцності матеріалу при розтягу;

$\rho := 1000 \text{ кг/м.куб.}$ - масова щільність рідини;

$\lambda_f := 0.1$ - коефіцієнт гідравлічного опору;

$h := 0.44 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ - товщина оброблюваного матеріалу;

$M_a := 0.0065 \text{ кг/с}$ - витрата абразиву;

$d_k := 0.0015 \text{ м}$ - діаметр прискорюючого каналу;

$l_p := 0.3 \text{ м}$ - довжина ділянки різання;

$v_n := 0.0047 \text{ м/с}$ - швидкість подачі матеріалу.

Швидкість звуку в скловолокні;

$$c_m := \sqrt{\frac{E}{\rho_m}}$$

$$c_m = 1.626 \times 10^4$$

Величина гідравлічного удару:

$$P_y := \rho \cdot c_p \cdot v_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot c_p}{\rho_m \cdot c_m} \right)$$

$$P_y = 3.781 \times 10^8$$

Сила нормальної дії струменя:

$$F_p := \pi \cdot (R_c)^2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot v_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot c_p}{\rho_m \cdot c_m} \right)$$

$$F_p = 26.863$$

Глибина проникнення струменя в матеріал на першій стадії різання:

$$h_{np} := \frac{1 - v^2}{2 \cdot R_c \cdot E} \cdot F_p$$

$$h_{np} = 8.932 \times 10^{-6}$$

Час деформації матеріалу на першій стадії руйнування:

$$t_1 := \frac{1.42 \cdot h_{np}}{v_0}$$

$$t_1 = 2.316 \times 10^{-8}$$

Швидкість проникнення струменя в матеріал на першій стадії руйнування:

$$v_1 := \frac{h_{np}}{t_1}$$

$$v_1 = 385.704$$

Втрати тиску на першій стадії руйнування:

$$\Delta p_1 := \frac{\rho \cdot (v_0)^2}{2} \cdot (1 - 0.7^2)$$

$$\Delta p_1 = 7.649 \times 10^7$$

Динамічний тиск струменя на виході з сопла:

$$p_1 := 2 \cdot \Delta p_1$$

$$p_1 = 1.53 \times 10^8$$

Динамічний тиск струменя основної області:

$$p_c := (p_1 - \Delta p_1) \cdot \frac{L_n}{L_o}$$

$$p_c = 1.402 \times 10^9$$

Радіус струменя:

$$R := \frac{0.335 \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{R_c \cdot L_o}$$

$$R = 1.086 \times 10^{-4}$$

Радіальна відстань від осі струменя до точки закінчення дії еквівалентної гідродинамічної сили:

$$Z := R \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2}$$

$$Z = 8.336 \times 10^{-5}$$

Радіус ефективної частини струменя (радіальна відстань):

$$R_e := R \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2}$$

$$R_e = 7.176 \times 10^{-5}$$

Середній динамічний тиск:

$$p_e := p_1 \cdot \frac{L_n}{L_o} \cdot \left[0.5 - 0.57 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right) + 0.2 \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2 \right]$$

$$p_e = 6.631 \times 10^8$$

Еквівалентна гідродинамічна сила:

$$F := \pi \cdot (R_e)^2 \cdot p_e$$

$$F = 10.727$$

Безрозмірні параметри для спрощення подальших обчислень:

$$\chi := 1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}$$

$$\chi = 0.537$$

$$\gamma := 0.5 - 0.57 \cdot \chi + 0.2 \cdot \chi^2$$

$$\gamma = 0.251$$

Втрати тиску струменя на тертя об бічні стінки вирізу:

$$\Delta p_f := \lambda_f \cdot \frac{h - h_{np}}{2 \cdot R_e} \cdot \frac{\rho \cdot (v_1)^2}{2}$$

$$\Delta p_f = 2.234 \times 10^7$$

Швидкість при якій зупиняється процес руйнування матеріалу:

$$v_c := \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p}{\rho}}$$

$$v_c = 774.597$$

Сила, що визначається контактним тиском:

$$F_c := \pi \cdot \sigma_p \cdot (R_e)^2$$

$$F_c = 4.853$$

Повний час проникнення струменя в матеріал на другій стадії:

$$t_2 := \frac{\sigma_p \cdot (R_e)^2 \cdot (h - h_{np})}{(p_e - \sigma_p) \cdot (R_c)^2 \cdot v_0}$$

$$t_2 = 6.834 \times 10^{-7}$$

Загальний час повного прорізання матеріалу:

$$t := 1.42 \cdot \frac{h_{np}}{v_0} + \frac{\sigma_p \cdot (R_e)^2 \cdot (h - h_{np})}{\left[p_e - \frac{p_1 \cdot \lambda_f}{4 \cdot R_e} \cdot (h - h_{np}) - \sigma_p \right] \cdot (R_c)^2 \cdot v_0}$$

$$t = 7.527 \times 10^{-7}$$

Швидкість подачі:

$$V := \frac{2 \cdot R_c}{t}$$

$$V = 185.995$$

Швидкість витоку рідинного струменя з сопла:

$$v_p := \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}}$$

$$v_p = 547.723$$

Площа вихідного отвору сопла:

$$f_p := \frac{(\pi \cdot 4) R_c^2}{4}$$

$$f_p = 1.539 \times 10^{-8}$$

Швидкість абразивно-рідинного струменя:

$$v := \frac{2 \cdot p \cdot f_p}{f_p \cdot \sqrt{2 \cdot p \cdot \rho} + Ma}$$

$$v = 309.288$$

Площа поперечного перерізу розрізаючого струменя:

$$f_{piz} := \frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}$$

$$f_{piz} = 1.767 \times 10^{-6}$$

Робота, витрачена на руйнування одиниці маси оброблюваного матеріалу:

$$a := \frac{(\rho \cdot v_p \cdot f_p + Ma) \cdot v^2}{2 \cdot \rho_m \cdot f_{piz} \cdot v_n}$$

$$a = 1.083 \times 10^9$$

Ширина розрізу:

$$b_{piz} := d_k$$

$$b_{piz} = 1.5 \times 10^{-3}$$

Маса зруйнованого матеріалу в процесі різання:

$$m := f_{piz} \cdot l_p \cdot \rho_m$$

$$m = 4.209 \times 10^{-5}$$

Витрачена робота:

$$A := a \cdot m$$

$$A = 4.559 \times 10^4$$

Необхідна потужність гідро-абразивного струменя:

$$N := 0.5 \cdot \left(f_p \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot p} + Ma \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot p \cdot f_p}{f_p \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot p} + Ma} \right)^2$$

$$N = 714.167$$

Додаток В

Програма дослідження залежності витраченої роботи та необхідної потужності гідроабразивного струменя від параметрів та характеристик гідрорізальної установки та матеріалу

$$c_p := 1483$$

$$\rho_m := 79.4$$

$$v_0 := 547.7$$

$$v := 0.15$$

$$E := 2.1 \cdot 10^{10}$$

$$L_n := 55 \cdot 10^{-3}$$

$$\sigma_p := 3 \cdot 10^8$$

$$\rho := 1000$$

$$\lambda_f := 0.1$$

$$Ma := 0.0065$$

$$l_p := 0.3$$

Швидкість звуку в скловолокні;

$$c_m := \sqrt{\frac{E}{\rho_m}}$$

Величина гідравлічного удару:

$$P_y := \rho \cdot c_p \cdot v_0 \div \left(1 + \frac{\rho \cdot c_p}{\rho_m \cdot c_m} \right)$$

Сила нормальної дії струменя:

$$F_p(R_c) := \pi \cdot (R_c)^2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot v_0 \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot c_p}{\rho_m \cdot c_m} \right)$$

Глибина проникнення струменя в матеріал на першій стадії різання:

$$h_{np}(R_c) := \frac{1 - v^2}{2 \cdot R_c \cdot E} \cdot F_p(R_c)$$

Час деформації матеріалу на першій стадії руйнування:

$$t_1(R_c) := \frac{1.42 \cdot h_{np}(R_c)}{v_0}$$

Швидкість проникнення струменя в матеріал на першій стадії руйнування:

$$v_1(R_c) := \frac{h_{np}(R_c)}{t_1(R_c)}$$

Втрати тиску на першій стадії руйнування:

$$\Delta p_1 := \frac{\rho \cdot (v_0)^2}{2} \cdot (1 - 0.7^2)$$

Динамічний тиск струменя на виході з сопла:

$$p_1 := 2 \cdot \Delta p_1$$

Динамічний тиск струменя основної області:

$$p_c(L_o) := (p_1 - \Delta p_1) \cdot \frac{L_n}{L_o}$$

Радіус струменя:

$$R(R_c, L_o) := \frac{0.335 \cdot \sqrt{2}}{2} \cdot \sqrt{R_c \cdot L_o}$$

Радіальна відстань від осі струменя до точки закінчення дії еквівалентної гідродинамічної сили:

$$Z(p, L_o, R_c) := R(R_c, L_o) \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2}$$

Радіус ефективної частини струменя (радіальна відстань):

$$R_e(L_o, R_c) := R(R_c, L_o) \cdot \sqrt[3]{\left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2}$$

Середній динамічний тиск:

$$p_e(L_o) := p_1 \cdot \frac{L_n}{L_o} \cdot \left[0.5 - 0.57 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right) + 0.2 \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}\right)^2 \right]$$

Еквівалентна гідродинамічна сила:

$$F(L_o, R_c) := \pi \cdot (R_e(L_o, R_c))^2 \cdot p_e(L_o)$$

Безрозмірні параметри для спрощення подальших обчислень:

$$\chi(L_o) := 1 - \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p \cdot L_o}{p_1 \cdot L_n}}$$

$$\gamma(L_o) := 0.5 - 0.57 \cdot \chi(L_o) + 0.2 \cdot \chi(L_o)^2$$

Втрати тиску струменя на тертя об бічні стінки вирізу:

$$\Delta p_f(R_c, L_o, h) := \lambda_f \cdot \frac{h - h_{np}(R_c)}{2 \cdot R_e(L_o, R_c)} \cdot \frac{\rho \cdot (v_1(R_c))^2}{2}$$

Швидкість при якій зупиняється процес руйнування матеріалу:

$$v_c := \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma_p}{\rho}}$$

Сила, що визначається контактним тиском:

$$F_c(L_o, R_c) := \pi \cdot \sigma_p \cdot (R_e(L_o, R_c))^2$$

Повний час проникнення струменя в матеріал на другій стадії:

$$t_2(L_o, R_c, h) := \frac{\sigma_p \cdot (R_e(L_o, R_c))^2 \cdot (h - h_{np}(R_c))}{(p_e(L_o) - \sigma_p) \cdot (R_c)^2 \cdot v_0}$$

Загальний час повного прорізання матеріалу:

$$t(R_c, h, L_o) := 1.42 \cdot \frac{h_{np}(R_c)}{v_0} + \frac{\sigma_p \cdot (R_e(L_o, R_c))^2 \cdot (h - h_{np}(R_c))}{\left[p_e(L_o, R_c) - \frac{p_1 \cdot \lambda_f}{4 \cdot R_e(L_o, R_c)} \cdot (h - h_{np}(R_c)) - \sigma_p \right] \cdot (R_c)^2 \cdot v_0}$$

Швидкість подачі:

$$V(R_c, h, L_o) := \frac{2 \cdot R_c}{t(R_c, h, L_o)}$$

Швидкість витoku рідинного струменя з сопла:

$$v_p(p) := \sqrt{\frac{2 \cdot p}{\rho}}$$

Площа вихідного отвору сопла:

$$f_p(R_c) := \frac{(\pi \cdot 4) R_c^2}{4}$$

Швидкість абразивно-рідинного струменя:

$$v(p, R_c) := \frac{2 \cdot p \cdot f_p(R_c)}{f_p(R_c) \cdot \sqrt{2 \cdot p \cdot \rho} + Ma}$$

Площа поперечного перерізу розрізаючого струменя:

$$f_{piz}(d_k) := \frac{d_k^2 \cdot \pi}{4}$$

Робота, витрачена на руйнування одиниці маси оброблюваного матеріалу:

$$a(d_k, v_n, p, R_c) := \frac{(\rho \cdot v_p(p) \cdot f_p(R_c) + Ma) \cdot v(p, R_c)^2}{2 \cdot \rho_m \cdot f_{piz}(d_k) \cdot v_n}$$

Ширина розрізу:

$$b_{piz}(d_k) := d_k$$

Маса зруйнованого матеріалу в процесі різання:

$$m(d_k) := f_{piz}(d_k) \cdot l_p \cdot \rho_m$$

Витрачена робота:

$$A(R_c, L_o, p, h, d_k, v_n) := a(d_k, v_n, p, R_c) \cdot m(d_k)$$

Необхідна потужність гідро-абразивного струменя:

$$N(R_c, L_o, p, h, d_k, v_n) := 0.5 \cdot (f_p(R_c) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot p + Ma}) \cdot \left(\frac{2 \cdot p \cdot f_p(R_c)}{f_p(R_c) \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot p + Ma}} \right)^2$$

$A(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

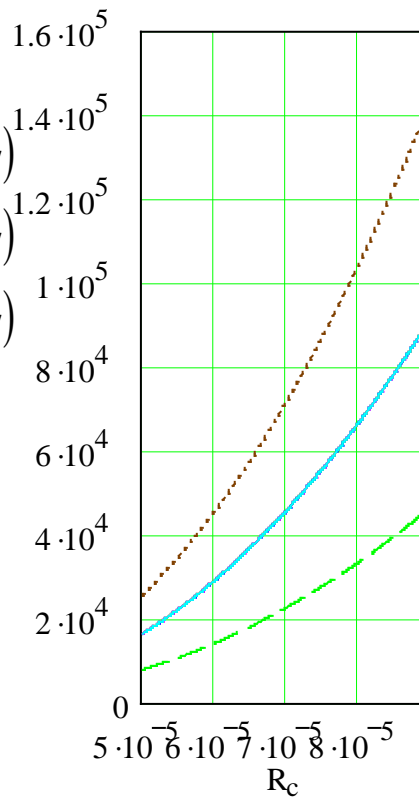
$A(R_c, 2 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$A(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 100 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$A(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.1 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$A(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.001, 0.0047)$

$A(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.003)$



$N(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$N(R_c, 2 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$N(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 100 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$N(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.1 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.0047)$

$N(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.001, 0.0047)$

$N(R_c, 3 \cdot 10^{-3}, 150 \cdot 10^6, 0.44 \cdot 10^{-3}, 0.0015, 0.003)$

