

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ПОЛІЩУК АНДРІЙ ГРИГОРОВИЧ

УДК 621.92

**ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ І ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ
МАШИНИ ДЛЯ РІЗАННЯ ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.05.04 - машини для земляних, дорожніх та лісотехнічних робіт

Д и с е р т а ц і я
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник
кандидат технічних наук,
доцент Пристайло М.О..

Київ – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	5
--------------------	----------

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ МАШИН ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ РІЗАННЯ І ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

11

1.1	Огляд конструктивних і технологічних параметрів машин для різання матеріалів	11
1.2	Оцінка технологічних параметрів та режимів робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю	21
1.3	Оцінка експлуатаційних показників робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю	27
1.4	Вплив фактору охолодження на основні параметри різання і обробки штучного і природного каменю абразивним робочим органом	32
1.5	Висновки по розділу та постановка задач дослідження	37

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАШИН ДЛЯ РІЗАННЯ ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

40

2.1	Дослідження механізму руйнування природного каменю при дії на нього абразивного робочого органу машини	40
2.2	Дослідження теплових процесів при обробці матеріалів різанням	49
2.3	Дослідження розподілу тепла в абразивному армованому крузі в процесі різання ним високоміцного матеріалу	55
2.4	Дослідження впливу конструкції бокових поверхонь абразивного армованого круга в якості робочого органу на протікання теплових процесів	64
2.5	Дослідження силових параметрів при використанні абразивних армованих кругів для різання високоабразивних матеріалів	69

2.6	Висновки по розділу	75
-----	---------------------	----

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАШИНИ РІЗАННЯ ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1	Програма експериментальних досліджень	76
3.2	Побудова фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами	76
3.2.1	Визначення параметрів фізичної моделі	77
3.2.2	Розробка конструкції фізичної моделі	81
3.3	Вимірювально-реєструюче обладнання для визначення параметрів фізичної моделі	83
3.4	Планування експерименту та методика обробки даних експериментальних досліджень	96
3.4.1	Вибір матеріалу для проведення експериментальних досліджень	98
3.4.2	Взаємодія робочого органу з оброблюваним матеріалом на динамометричному стенді	100
3.5	Результати проведених досліджень	103
3.6	Порівняння експериментальних та теоретичних досліджень	107
3.7	Висновки по розділу	110

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1	Параметри та режими робочого процесу машини із реалізацією підвищеної продуктивності та мінімізації енергії технологічного процесу різання високоміцних матеріалів	112
4.2	Алгоритм визначення основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів	116

4.3	Відрізний станок з системою слідкування	117
4.4	Спосіб виготовлення абразивного інструменту	121
4.5	Відрізний верстат	123
4.6	Розпилювальний пристрій з гасінням коливань	128
4.7	Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження	131
4.8	Висновки по розділу	133
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	134
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	136
	ДОДАТКИ	148

ВСТУП

Актуальність теми. Широке застосування машин для різання високоміцних матеріалів в будівельній індустрії обумовлено їх ефективністю виконання фінішних операцій, різних технологічних процесів. Особливе місце належить машинам для різання високоміцних матеріалів під час виконання обробки матеріалів з природного та штучного каміння на будівельних майданчиках, при будівництві дорожніх покриттів, влаштування мостів, переправ. На сучасному етапі розвитку процесів різання високоміцних матеріалів висувуються підвищені вимоги до необхідності зменшення енерговитрат, зменшення собівартості робочого інструменту, підвищення ефективності застосування дискових робочих органів. Існуючі машини для різання високоміцних матеріалів в якості робочого органу здебільшого застосовують алмазні дискові пили, які не в повній мірі задовільняють цим вимогам. Їх робота характеризується високими енергозатратами, складністю конструкції приводних машин та використанням великої кількості охолоджуючої рідини. Внаслідок цього виникає актуальна задача пошуку нових рішень розробки та обґрунтування параметрів машин для різання високоміцних матеріалів в умовах промислових майданчиків при мінімальних витратах енергії та надійності роботи. Одним із шляхів рішення даної задачі є використання абразивних армованих кругів в машинах для різання високоміцних матеріалів, обґрунтування режимів та параметрів яких і є предметом дослідження даної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з основною науково-дослідницькою тематикою кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури, а саме «Дослідження, обґрунтування та розробка комплексів машин для будівельних, дорожніх та лісотехнічних робіт» № д/р 0119U000195.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування режимів та параметрів робочого органу при різанні високоміцних матеріалів, на основі врахування взаємодії робочого органу машини із оброблюваним матеріалом.

Для досягнення означеної мети в роботі сформульовані та вирішені наступні задачі:

здійснити огляд та аналіз машин з робочими органами для різання високоміцних будівельних матеріалів;

розробити фізичну та математичну модель робочого процесу різання високоміцних будівельних матеріалів;

здійснити теоретичні дослідження руху робочого органу машини для різання матеріалів із урахуванням спільної взаємодії;

виконати експериментальні дослідження робочих режимів та параметрів машини для різання високоміцних будівельних матеріалів;

розробити алгоритм та методику розрахунку вдосконалених режимів і параметрів, оцінити ефективність здійснених досліджень.

Об'єкт дослідження – процес різання високоміцних будівельних матеріалів.

Предмет дослідження – режими і параметри машини для різання високоміцних будівельних матеріалів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані на основі математичного моделювання процесу взаємодії робочого органу, а саме абразивного армованого круга, машин для різання високоміцних матеріалів з робочим середовищем. Для теоретичних розрахунків використано програми “Mathcad MathSoft Engineering & Education, Inc. (2001i Professional)” та MS “Excel”. Для обґрунтування та проведення експериментальних досліджень були використані методи математичного моделювання та статистики. Для статистичної обробки результатів експериментальних досліджень використано пакет MS “Excel”. Збір експериментальних даних проведено за допомогою програми “Tenzo Cut”, створеної використанням компілятора “Borland turbo Pascal V7.1”. Експериментальні дослідження проводились в лабораторних умовах на

Динамометричному стенді реєстрації силового навантаження. Достовірність результатів проведеного дослідження, висновків та рекомендацій, що викладені в дисертації забезпечується обґрунтованим застосуванням загальних положень класичної теорії механічних систем і суцільних середовищ.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

Вперше:

- встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом;
- отримані аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням розподілу тепла в абразивному армованому крузі та мінімізацією робочого часу.

Удосконалено:

- методику визначення силових параметрів машини для різання із врахуванням властивостей високоміцного будівельного матеріалу.

Отримало подальшого розвитку:

- методика дослідження напружено-деформованого стану абразивного круга в умовах взаємодії його із оброблювальним матеріалом.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає у розробці методики створення та розрахунку машини для різання високоміцних будівельних матеріалів абразивним армованим кругом.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес та передано до впровадження у виробництво ТОВ «Вітал-Холдинг» (м. Кагарлик Київської обл.), ТОВ «ВП «ЕМКО» (м. Київ), ПП «КОРУНД» (м. Івано-Франківськ), ТОВ «НОВА Україна ТРЕЙД» (м. Золотоноша Черкаська обл.).

Достовірність наукових положень, висновків і отриманих результатів забезпечується обґрунтованим застосуванням загальних положень класичної теорії механічних систем і суцільних середовищ, достатнім для механічних

систем збігом теоретичних і експериментальних досліджень (розбіжність складає 13,8%)

Особистий внесок автора.

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень дисертаційної роботи отримані автором самостійно, а саме:

- виконано оцінку та здійснено аналіз області застосування абразивних армованих кругів при різанні високоміцних матеріалів;

- досліджено впливу теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів;

- встановлено закономірності силових параметрів машин для різання високоміцних матеріалів;

- побудовано математичну модель розподілу теплоти в абразивному армованому крузі в якості робочого органу машин для різання високоміцних матеріалів;

- побудовано фізичну модель машини для різання високоміцних матеріалів;

- викладена методика проведення експериментальних досліджень різання високоміцних матеріалів абразивними армованими кругами

- розроблено методику та програму проведення лабораторних досліджень на спеціальній машині на базі динамометричного стенду з використанням сучасного вимірювально-реєструючого обладнання для експериментальних досліджень;

- порівняно теоретичні та експериментальні результати дослідження;

- розроблено алгоритм та методику розрахунку основних параметрів машин для різання високоміцних матеріалів;

- здійснено впровадження у виробництво та навчальний процес результатів наукових досліджень.

- розроблено рекомендації по вдосконаленню існуючих та створення нових машин для різання високоміцних матеріалів.

Апробація роботи. Результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювалися на Науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2010р.); на 72-й науково-практичній конференції КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2011р.); на 73-й науково-практичній конференції КНУБА (м.Київ, КНУБА, 2012р.); на IV Міжнародній науково-практичній конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2012) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2012); на Всеукраїнська науково-практична конференція Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2012); на VIII mezinarodni vedecko-prakticka conference “Vznik moderni vedecke – 2012 (Praha 2012); на 5-тій Міжнародній науково практичній конференції Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2013) (Херсон, Херсонська державна морська академія, 2013р); на Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference Current issues of science and integrated technologies (Milan, Italy 2023); на Proceedings of the XIII International Scientific and Practical Conference Information activity as a component of science development (Edmonton, Canada 2023); на X Міжнародній науково-технічній конференції «Крамаровські читання» (Київ, НУБіП, 2023); на IV Міжнародної науково-практичної конференції «Енергоощадні машини і технології» (Київ: КНУБА, 2023); на Technologies, innovative and modern theories of scientists: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference (Graz, Austria, 2023).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 27 наукових робіт, з них 7 публікацій у фахових наукових виданнях України, 1 з яких індексується в «Web of Science Core Collection», 2 статті в іноземних наукових виданнях, 13 тез доповідей, 4 патенти України на корисну модель, та отримано позитивне рішення на видачу патенту по заявці № u2023 01862 на видачу патенту України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновку, списку використаних джерел з 109 найменувань, додатків; містить 66 рисунків та 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 153 сторінки машинописного тексту, обсяг основного тексту 135 сторінки, додатків 6 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ МАШИН ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ РІЗАННЯ І ОБРОБКИ ВИСОКОМІЦНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Огляд конструктивних і технологічних параметрів машин для різання матеріалів.

Для різання та обробки матеріалів, до яких відносяться також штучний та природний камінь, застосовуються різні машини та пристрої. На рисунку 1.1 а) приведена електрична машина для нарізання швів.



а)



б)

Рис.1.1. Електрична машина для нарізання швів: а) CF33E; б) CF-4100

Електрична машина CF33E виготовляється фірмою CEDIMA (Німеччина) і використовуються для утворення швів, глибиною до 270 мм. Максимальний діаметр диска складає величину 700 мм. Потужність двигуна 7.5 кВт. Вага машини 110 кг. Дещо інша конструкція машини для нарізання швів CF-4100 цієї ж фірми CEDIMA приведена на рисунку 1.1 б). Ця машина застосовується для нарізування і прорізання швів в асфальті і бетоні, при будівництві та ремонті автомагістралей, вулиць, злітно-посадкових смуг і промислових конструкцій.

Машина оснащена високопродуктивним гідравлічним обладнанням. Включення приводу обертання ріжучого валу, а також натяг клинових ременів проводиться гідравлічним приводом. Рульове управління, гідравлічна подача, гідравлічна виїмка диска, гідравлічний натяг клинового ременя ріжучого валу і додаткова гідравлічна виїмка візира забезпечують простоту управління роботою машини. Просто і швидко налаштується показчик глибини різки. Наявність сидіння та вдало розташований пульт управління забезпечують комфортні умови для роботи оператора. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.1[100].

Таблиця 1.1. Технічна характеристика машини CF-4100

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	1000
2	Глибина різки	мм	350
3	Максимальна кількість обертів диску	об/хв	1470
4	Продуктивність	м/хв	53
5	Маса	кг	1150
6	Потужність двигуна	кВт	60

Машина DS TS20-E для різання матеріалу при будівництві автомагістралей приведена на рисунку 1.2



а)



б)

Рис. 1.2. Машина для різання при будівництві автомагістралей: а - зовнішній вид; б - процес різання бетону.

Машина DS TS20-E призначена для різання від легкого до важкого залізобетону, кладки та природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків діаметром 600, 800, 900, 1000, 1200 чи 1600 мм (максимальний діаметр ріжучого диска для початкового різання становить 800 мм) [101]. Всі робочі функції машини керуються за допомогою пульта дистанційного керування. Частота обертів ріжучого диска може керуватися плавно і без стрибків в широкому діапазоні. Привід різального диска забезпечує постійну вихідну потужність. Подача ріжучої голови керується вручну або автоматично. Система працює повністю в автоматичному режимі на максимальній потужності, встановленою на пульті управління. Продуктивність машини буде максимальною у випадку, якщо ріжуча голова DS TS20-E використовується різальними стінорізальними дисками Hilti DS-B. Алмазні ріжучі диски, що відповідають стандарту EN 13236 були визнані придатними для різання з лінійною швидкістю різання не менше 63 м/с [101]. У разі використання діаметру від 1200 до 1600 мм використовуються тільки ті стінорізні диски, які придатні для роботи з лінійною швидкістю різання не менше 80 м/с [101]. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.2 [101].

Таблиця 1.2. Технічна характеристика машини DS TS20-E

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	600 – 1600
2	Глибина різ	мм	730
3	Амплітудно-зважений рівень звукового тиску	дБ(А)	100
4	Маса приводу	кг	37
5	Потужність двигуна	кВт	15

Ручна машина (рис. 1.3) використовується для різання бетонних блоків, натурального та штучного каменю.



Рис.1.3. Ручна машина для різання твердих матеріалів

Машина підходить як для сухого, так і для вологого різання залежно від робочого матеріалу. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.3 [103].

Таблиця 1.3. Технічна характеристика машини Zipper ZI-BTS350

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	350
2	Глибина різу	мм	115
3	Максимальна кількість обертів диску	об/хв	4850
4	Маса	кг	12
5	Потужність двигуна	кВт	3.3

Дискова скальна машина (рис. 1.4) має просту будову, може бути встановлена безпосередньо на екскаваторі, використовується для різання різних твердих порід каменю, таких як граніт, базальт, мармур і залізобетон.



Рис.1.4. Машина для різання твердих матеріалів YS-05SS Yichen

Робочий орган представляє собою міцний диск, який виготовлено з високоякісної пружинної сталі та синтетичного алмазу. Машина має функцію швидкого автоматичного тормозіння, функцію двох направленої роботи, оснащена захисним кожухом і при необхідності може обертатися на 360°. Скальна пила може працювати з будь-яким механічним обладнанням з гідравлічним приводом. На машину можна встановити два пильних диска одночасно (з одного боку), відстань між дисками становить 50-200 мм. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.4 [104].

Таблиця 1.4. Технічна характеристика машини YS-05SS Yichen

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	800-1400
2	Вихідний крутний момент	Нм	600
3	Кількість обертів вихідного валу	об/хв	0-600
4	Маса	кг	250
5	Максимальна вихідна потужність двигуна	кВт	41

Електрична автоматична машина різання великоформатної плитки (рис. 1.5) Shijing 9510 використовується для різання будь-якого типу керамічної

плитки, натурального та штучного каменю, таких як керамограніт, мрамур, кварцовий агломерат.

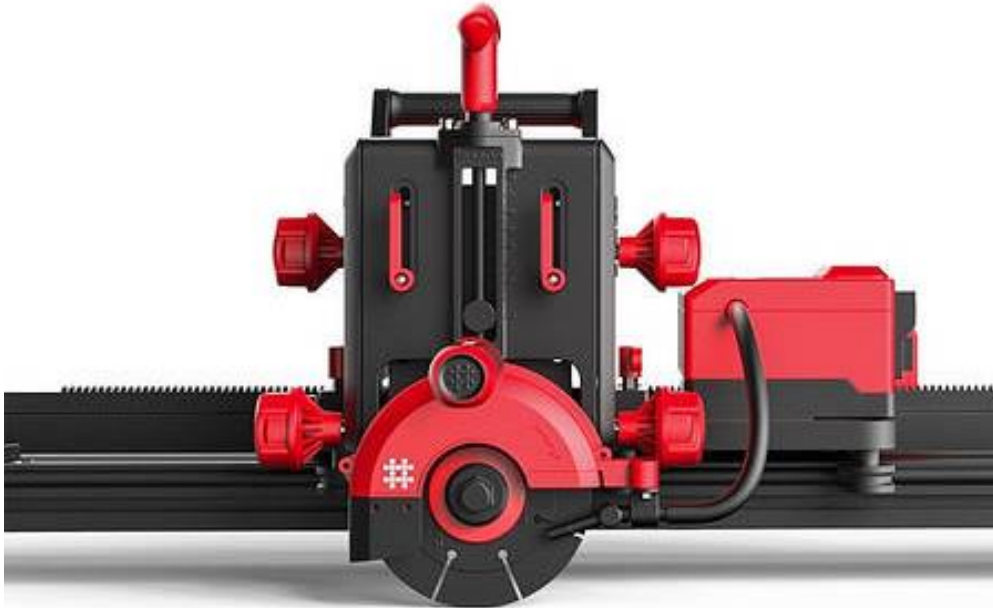


Рис.1.5. Електрична автоматична машина різання великоформатної плитки

Машина оснащена потужним і високооборотним двигуном, який дає можливість робити дві операції за один прохід: різ і обробку кромки фасковим диском. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.5 [105].

Таблиця 1.5. Технічна характеристика машини Shijing 9510

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	115,120 і 125
2	Довжина різ	мм	3200
3	Товщина різ	мм	35
4	Швидкість обертів валу двигуна	об/хв	13000
5	Маса	кг	250
6	Потужність двигуна	кВт	2.8

Машина Husqvarna WS 482 HF для різання бетону в стіні, а також цегли та інших будівельних матеріалів приведена на рисунку 1.6.



Рис.1.6. Машина для різання міцних матеріалів

Електродвигун машини має водяне охолодження створює потужність на шпинделі 19 кВт при струмі 32 А або 9 кВт при струмі 16 А. Двошвидкісний редуктор забезпечує роботу в широкому діапазоні обертів та дозволяє використовувати диски діаметром до 1600 мм. Швидкість шпинделя плавно регулюється за допомогою пульта дистанційного керування для оптимізації продуктивності за будь-яких умов застосування. Напрямок обертання диска можна також змінити за допомогою пульта дистанційного керування для забезпечення бажаного напрямку видалення пилю та шламу. Оскільки рейки та каретка симетричні, ви можете здійснювати різання по обидва боки від рейки. Модульна конструкція стінорізальної машини полегшує транспортування та зберігання. Пульт дистанційного керування надає оператору різноманітну інформацію (рівень потужності, поточний тиск, час роботи, періоди обслуговування тощо), що дозволяє повністю контролювати процес різання при значній свободі пересування на робочому майданчику. Вага також рівномірно розподілена між рейкою і головкою, оскільки візок знаходиться на рейці.

Обертання диска надає можливість вибору напрямку обертання ріжучого диска та подачі води в потрібному напрямі. Оператор також може коригувати швидкість і потужність машини виходячи з діаметру ріжучого диска, типу диска і матеріалу, що розрізається. Співвідношення потужності до ваги - стінорізальні машини WS 440 та WS 482 мають ідеальне співвідношення потужності машини до її ваги. Двошвидкісна коробка з водяним охолодженням, що забезпечує широкий діапазон швидкості обертання, підходить для дисків діаметром до 1600 мм. Завдяки цьому різьбяр WS 482 HF може застосовуватися для найрізноманітніших робіт. Фланець для різання впритул до стіни - спеціально розроблений фланець з 6-ма отворами кріплення дозволяє здійснювати різання впритул до стіни. Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.6 [102].

Таблиця 1.6. Технічна характеристика машини Husqvarna WS 482 HF

№ п/п	Найменування параметру	Розмірність	Числове значення
1	Ріжучий диск, діаметр	мм	до 1600
2	Глибина різку	мм	до 730
3	Маса	кг	25
4	Потужність двигуна	кВт	16-19

Оцінка та порівняння технологічних параметрів для різання матеріалу здійснювалася за такими критеріями:

$$K_1 = \frac{P}{m}, \quad (1.1)$$

де K_1 - критерій оцінювання впливу маси m на продуктивність P ;

$$K_2 = \frac{h}{P}, \quad (1.2)$$

де K_2 - критерій впливу витрат енергії P на глибину різання h ;

$$K_3 = \frac{P}{m}, \quad (1.3)$$

де K_3 - критерій впливу потужності P на масу m ;

Числові значення параметрів досліджуваних машин наведені в таблиці 1.7

Таблиця 1.7 Технічні характеристики машин

Тип машини	Продуктивність П, м/хв	Маса м, кг.	Потужність Р, кВт	Технологічні параметри		
				оберти об/хв	Глибина різання, мм	Діаметр диска, мм
CF33E	-	110	7.5	-	270	600
CF-4100	53	1150	60	1470	350	1000
DS TS20-E	-	37	15	100–940	730	600 -1600
ZI-BTS350	-	12	3,3	4850	115	350
YS-05SS	-	250	41	0-600	-	800-1400
Shijing 9510	-	250	2,8	13000	35	115,125
WS 482 HF	-	25	16-19	1000	до 730	1600

Розраховані критерії досліджуваних машин для різання приведені в таблиці 1.8

Таблиця 1.8 Числові значення критеріїв досліджуваних машин

Тип машини	Критерій К1	Критерій К2	Критерій К3
CF33E	-	36	0,068
CF-4100	0,48	5,83	0,052
DS TS20-E	-	48,70	0,405
ZI-BTS350	-	34,85	0,275
YS-05SS	-	-	0,164
Shijing 9510	-	12,5	0,011
WS 482 HF	-	45,6-38,4	0,64- 0,76

Здійснений огляд конструктивних і технологічних параметрів машин для різання матеріалів дозволив засвідчити наступне:

1. Огляд та аналіз засвідчує охоплення значного застосування такого класу машин від нарізання пазів в конструкціях та стінах до різання легкого та важкого залізобетону, при улаштуванні та ремонту доріг, кладки та природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків різних діаметрів: 600, 800, 900, 1000, 1200 чи 1600 мм.
2. Існує низка різних конструктивних рішень машин для різання та обробки матеріалів, до яких відносяться також штучний та природний камінь. Основна конструктивна відмінність полягає у призначенні та способами керування роботою машин.
3. Заслугує особливої уваги конструкція машини DS TS20-E для різання при будівництві автомагістралей (рис.1.2). Всі робочі функції машини керуються за допомогою пульта дистанційного керування. Частота обертів ріжучого диска може змінюватися плавно і без стрибків в широкому діапазоні. Машина працює повністю в автоматичному режимі на максимальній потужності, встановленою на пульті управління.
4. Розраховані критерії ефективності параметрів (1.1 -1.3), числові значення яких наведені в таблиці 1.8, засвідчують значну розбіжність між собою (наприклад, такий важливий критерій, як вплив витрат енергії P на глибину різання h коливається в межах від 5,83 до 48,70). Очевидно, що це є свідченням різного підходу до конструювання робочих органів і машини в цілому та відсутністю загальноприйнятої моделі робочого процесу різання.

Потребується проведення аналізу конструкцій робочих органів машин, уточнення та врахування діючих сил взаємодії ріжучого інструменту із оброблювальним матеріалом, уточнення фізичної та математичної моделі системи «машина – оброблювальний матеріал».

1.2. Оцінка технологічних параметрів та режимів робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю.

Робочими органами машин для різання та обробки штучного і природного каменю являються алмазні відрізні круги [32;33;46-47]. Номенклатура алмазних відрізних кругів малого розміру застосовуються як робочий орган, алмазні фасонні ролики обдирні, алмазні смугові пилки, алмазні кільцеві свердла, а також алмазні канатні пилки.

Всі ці типи робочих органів об'єднує загальна концепція застосування дискретних функціональних елементів у вигляді ріжучих сегментів різних типорозмірів (таблиця 1.9), виконаних з композиційних абразивних матеріалів.

Таблиця 1.9 – Основні типорозміри абразивних сегментів, мм

Радіус сегмента r	Довжина сегмента L	Ширина сегмента H	Висота абразивного шару S
125	24	2,6	7
157,7		3,0	
160		3,0	
200		3,2	
250	40	3,8	
315		4,2	
400		5,5	
500		6,5	
550	24	6,5	8
625		7,0	

Названі типи робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю мають відмінності між собою в частині їхнього складу застосованих зв'язок, зернистості і марки алмазів та розрізняються кінематичними параметрами процесів різання, стосовно до кожного конкретного випадку застосування. До інших типів алмазних робочих органів відносять калібруючі (фрези і барабани), фасонні та шліфувальні інструменти [57;58;59;60;109].

Вони істотно відрізняються від інших, як за конструктивними ознаками

так і за тим, як дискретні ріжучі абразивні сегменти або прошарок, що містить абразив, можуть розташовуватися на утворюючої поверхні тіла обертання і на плоских або фасонних його торцях. В них використовується значно більш широка гамма зв'язок, зернистості абразивів, їх концентрації, але найбільш значима їх відмінність в тому, що умови контактної взаємодії з каменем характеризуються значно меншими величинами кінематичних і силових параметрів. Колові швидкості знаходяться в межах $5 \div 26$ м/с, контактний тиск – $0,1 \div 0,5$ МПа, а інтенсивність знімання обсягів породи – близько $6 \cdot 10^{-4}$ мм³/с. Наступним типом робочих органів для обробки природного каменю є алмазні полірувальні головки (АГП). Полірування відноситься до фінішних операцій, що передбачають малі продуктивності ($3,3 \cdot 10^{-4}$ мм³/с) і контактний тиск ($0,1 \div 0,2$ МПа). В цих робочих органах пред'являються високі вимоги до однорідності зернового складу абразивних наповнювачів, які в процесі експлуатації підлягають значним механічним навантаженням, деформаціям і температурам.

Незважаючи на істотні відмінності всіх згаданих типів робочих органів [21;49] за конструкцією та складом, їх умови роботи, взаємодії із оброблювальним матеріалом є однаковими. Це процес локального руйнування матеріалу в результаті його динамічної контактної взаємодії з зерном алмазу, абразиву або їх системою.

З наведеного на рисунку 1.7 графіка залежності контактного напруження від інтенсивності слідує, що всі види абразивної обробки каменю можна умовно розділити на чотири категорії інструментів: полірування і чистове шліфування; шліфування і свердління, канатне різання; буріння та дискове різання.

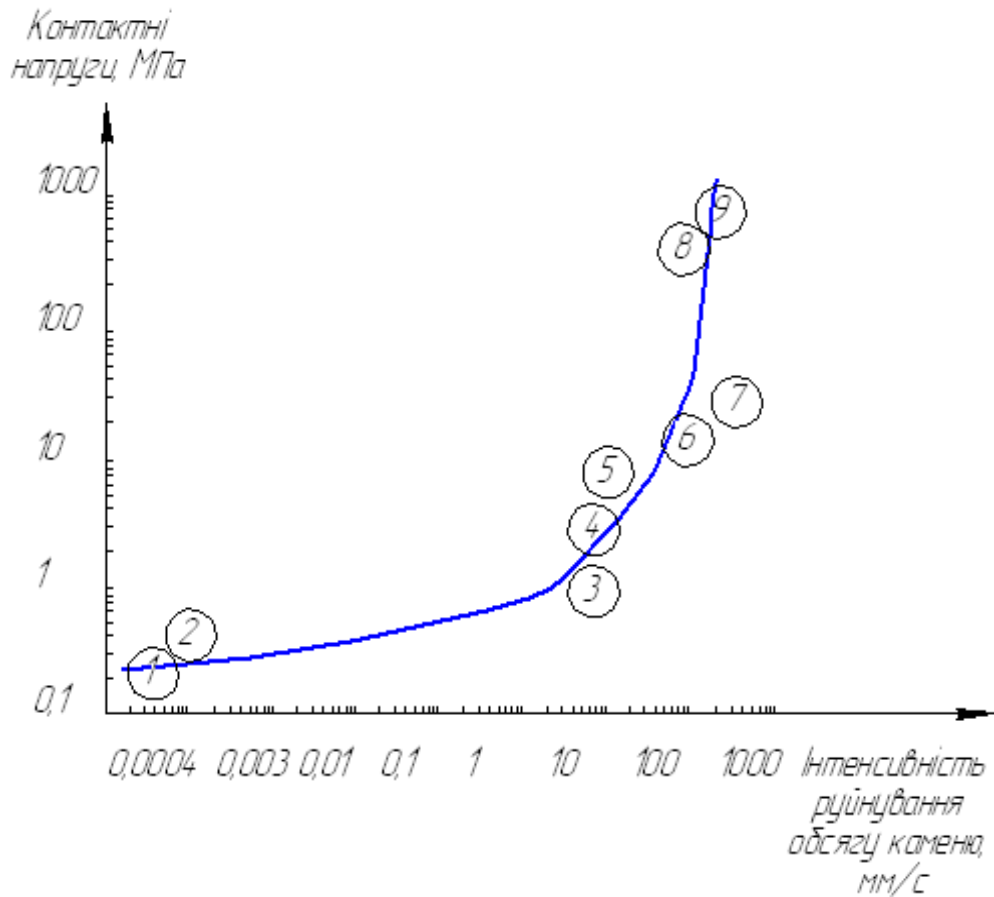


Рис. 1.7. Рівні навантаженості інструментів і відповідні їм інтенсивності руйнування каменю різними типами породоруйнівних інструментів, обладнаних композиційними абразивними матеріалами: 1 – полірування; 2 – чисте шліфування; 3 – розпилювання канатною пилкою; 4 – свердління алмазним кільцевим свердлом; 5 – грубе шліфування; 6 – буріння коронкою буровою синтетичною; 7 – буріння долотами; 8 – обробка алмазним фасонним роликком обдирочним; 9 – відрізка алмазним відрізним сегментованим кругом.

Контактна взаємодія алмазних кругів з оброблюваною деталлю, відбувається з інтенсивним тепловиділенням[107]. Розрахункові оцінки значень діючої температури показали, що температура може досягати рівня $800 \div 1100$ °С і більше (рис. 1.8), а інтенсивність нагріву в циклі перебування інструменту в зоні різання досягає 9104 град/с.

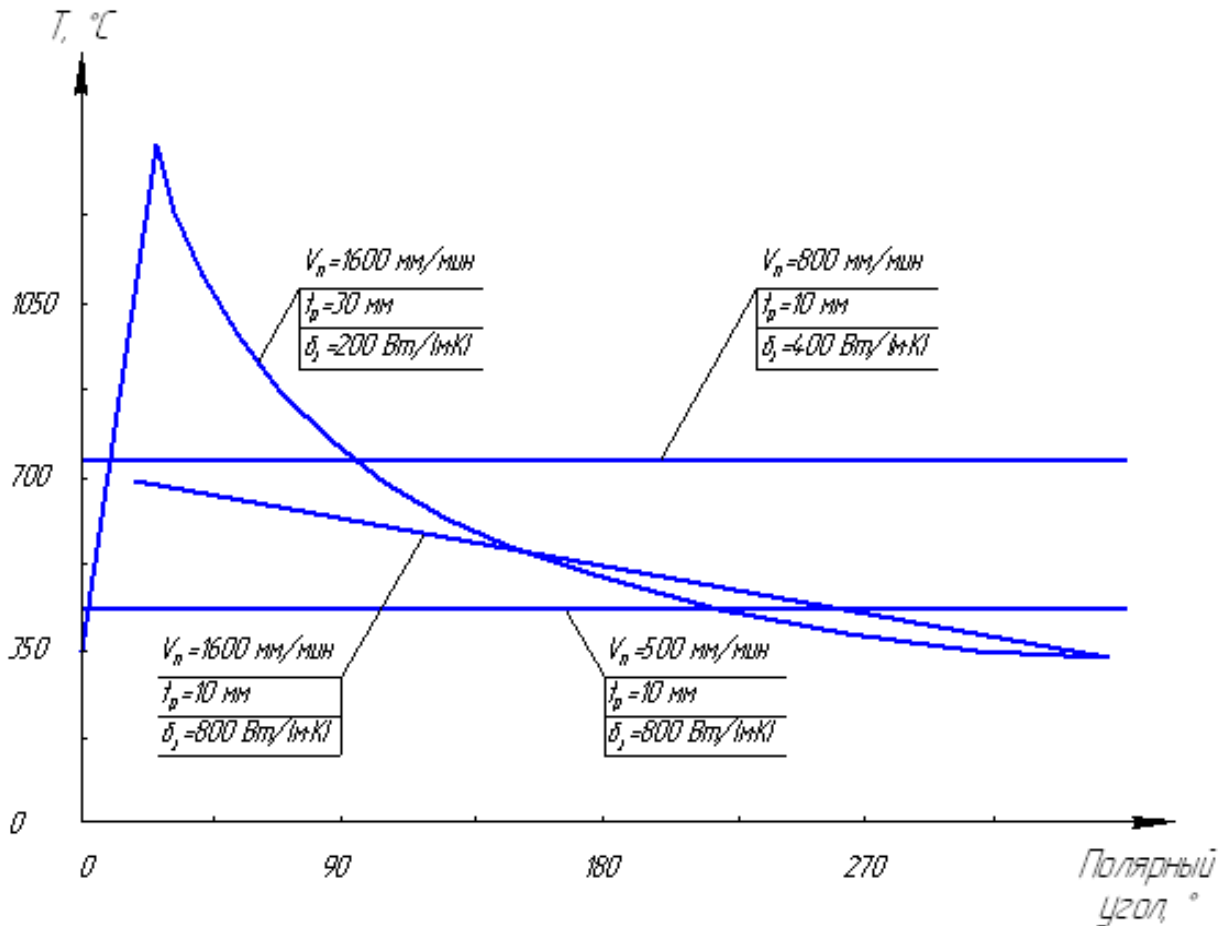


Рис. 1.8. Вплив теплопровідності матеріалу сегментів δ_s , швидкості подачі v_n і глибини різання t_p граніту алмазним кругом (з охолодженням і без охолодження) на зміну температури на поверхні сегмента за період обороту круга.

Внаслідок впливу високої температури в алмазі відбуваються незворотні зміни його властивостей у вигляді накопичення пошкоджень, таких як мікро-розтріскування або графітизація тих обсягів, в яких, згідно з розподілом поля високих температур в зоні різання (рис. 1.9), можливо протікання фазового перетворення алмазу в графіт.

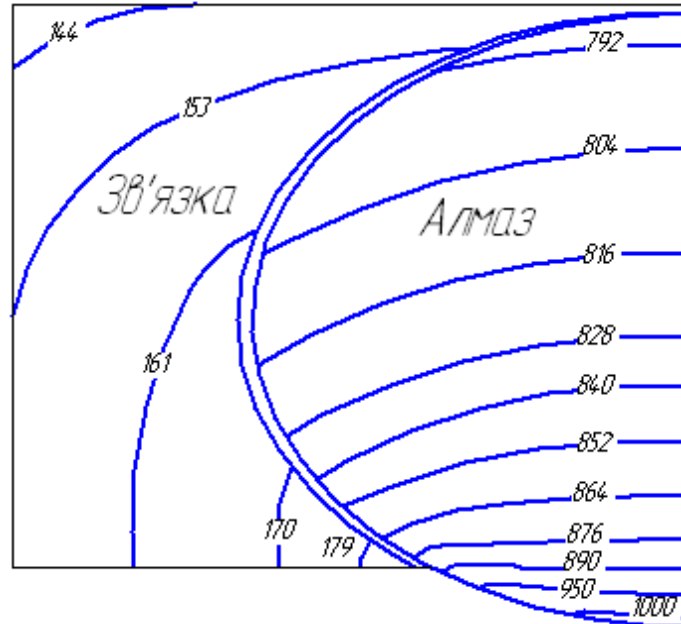


Рис. 1.9. Приклад чисельного визначення поля температур в зерні алмазу, закріпленому в сегменті при різанні граніту.

Таким чином, вибір марки алмазів [32] для каменеобробного робочого органу обумовлений, в першу чергу, здатністю протистояти негативному впливу температурного фактору і, тим самим, зберегти суцільність зерен абразивних матеріалів, забезпечуючи реалізацію призначення абразивного круга.

Кінематичні параметри процесу різання (величина контактної тиску, швидкість переміщення тертьових поверхонь) надають безпосередній вплив на зміну температури в зоні взаємодії і зношування алмазних дискових пил, як каменеобробного органу. У процесі контактної взаємодії з матеріалом, що обробляється, відбувається інтенсивне виділення тепла – температура досягає $800 \div 1100^{\circ}\text{C}$, що суттєво знижує міцність алмазів, ступінь якого залежить від рівня та тривалості температурної взаємодії. Тому робота алмазних дискових пил повинна супроводжуватися значною подачею в зону різання охолоджувальної рідини. Як правило в більшості випадків використовується вода [59;61].

Таким чином, на підставі вищевикладеного можна зробити висновок про те, що на працездатність ріжучого робочого органу для обробки кам'яних матеріалів найбільше впливають фактор охолодження та фізико-механічні

особливості абразиву. Поняття про абразивність, так як і поняття про твердість, не має точно визначеного формулювання і її розмірність за різними методами досить різняться [8;9;10], тобто абразивність є чисто технічним, а не фізичним поняттям. Оцінка абразивності носить відносний характер.

Існує декілька методів визначення абразивності. Найбільше поширення отримав метод визначення абразивності гірських порід. Дослідження проводилися на установці (рис.1.10) за наступних режимних параметрів: осьове навантаження 150Н (15 кг), швидкість обертання стрижня 400 об/хв., час досліду 10 хвилин, діаметр стрижня S (мм), довжина 70 мм. Для рівномірного зношування стрижня, в одному з торців породи висвердлюється отвір діаметром 4 мм та глибиною 10÷12 мм (торцеві поверхні перпендикулярні до осі).

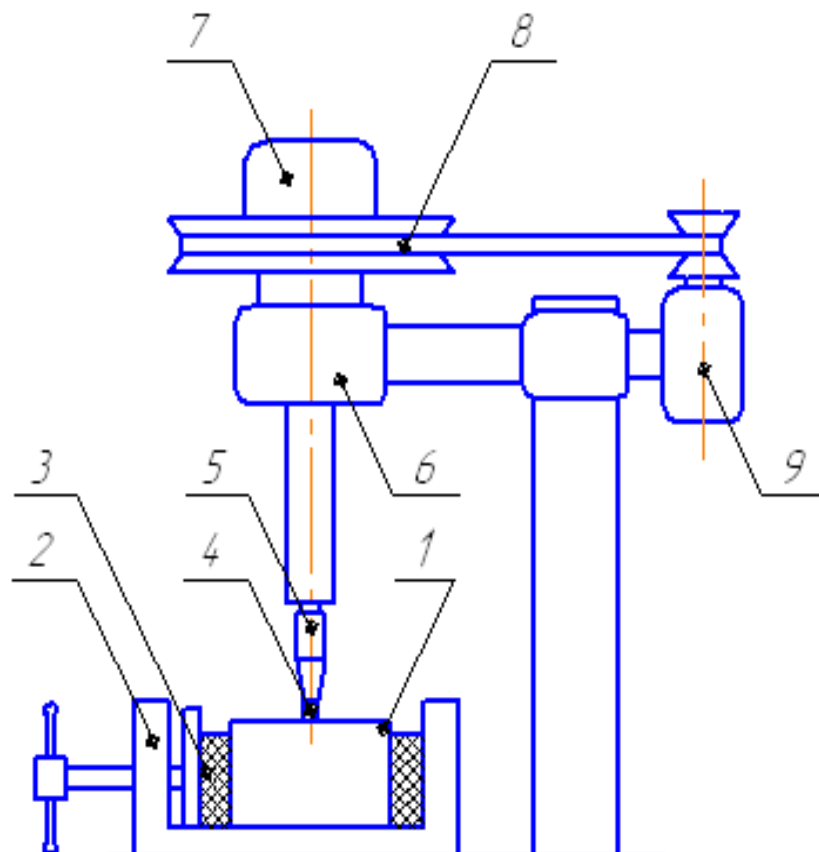


Рис. 1.10. Схема установки для визначення абразивності породи: 1 - дослідний зразок; 2 - тиски; 3 - прокладки для фіксації зразка; 4 – стрижень сріблянка; 5 – патрон; 6 – корпус установки; 7 – корпус; 8 – шпиндель; 9 – клинопасова передача; 10 – двигун.

Стрижень закріплюється у патроні та опускається на поверхню зразка породи, вмикається електродвигун і протягом 10 хв відбувається стирання стрижня об породу. Нагрів стрижня здійснювався в межах температур 200÷220°C.

В якості критерію абразивності приймалася втрата в масі стрижня за час випробування.

Показник абразивності породи обчислюється за формулою

$$A = \sum_{i=1}^n g_i \quad (1.4)$$

де A – показник абразивності, мг;

q_i – втрата ваги еталонного стрижня за парний дослід;

n – число парних дослідів.

У таблиці 1.10 наведено дані по міцності на одновісне стиснення і абразивності деяких природних і штучних кам'яних матеріалів.

Таблиця 1.10. Дані по міцності на одновісне стиснення і абразивності

Назва кам'яної породи	Межа міцності на одновісне стиснення	Показник абразивності
Бодракський вапняк	130	1,7
Ізвестняк	80	1,1
Шамотна цегла	180	82,4
Туф	181	35,6
Мрамор	1100	0,5
Граніт	2200	49

Проведений аналіз показав, що зі збільшенням міцності каміння в деяких випадках спостерігається тенденція збільшення абразивності породи. Але між міцністю та абразивністю каміння будь-яка закономірність відсутня.

1.3. Оцінка експлуатаційних показників робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю.

На експлуатаційні показники абразивного робочого органу одночасно впливає велика кількість технологічних факторів та їх сполучень[11;12;76], що

виникають як в процесі його виготовлення, так і при його експлуатації. В даний час оцінка експлуатаційних показників абразивних кругів здійснюється за різними параметрами. Абразивні армовані круги в процесі експлуатації випробовують складний напружений стан, що виникає в результаті дії відцентрових, згинаючих, тангенціальних зусиль і нормальних сил. Тому варто оцінити існуючі аналітичні залежності для силових параметрів та напруженого стану абразивних робочих кругів, як основу експлуатаційних показників робочих органів.

При обертанні в крузі виникають відцентрові прискорення

$$a_{ц} = \frac{V^2}{R_o} \quad (1.5)$$

які приводять до появи на внутрішньому контурі круга розтягувальних напружень, порівнянних по величині з межею міцності його матеріалу.

Згинаючі зусилля постійно діють на зачисні круги, а також можуть з'являтися у відрізних при їх перекосах або затисканні.

Для зачисного круга згинаючі навантаження можуть бути представлені (рис. 1.11) зосередженою силою $F_{зз}$, прикладеної до ріжучої кромки і рівної по величині зусиллю P_6 , з яким оператор притискує круг до оброблюваної поверхні, що помноженому на синус кута його нахилу α .

Напруження, викликані згинаючими зусиллями [14-17], також можуть досягати на внутрішньому контурі величин, порівнянних з межею міцності матеріалу круга.

Тангенціальні зусилля обумовлені тертям різальної кромки диском з матеріалом, що розрізається, спрямовані у бік, протилежну відцентровим.

Навіть у небезпечній зоні у затискного фланця тангенціальна напруження значно менша, ніж гранично допустимі для матеріалу круга, і можуть не враховуватися [22-26].

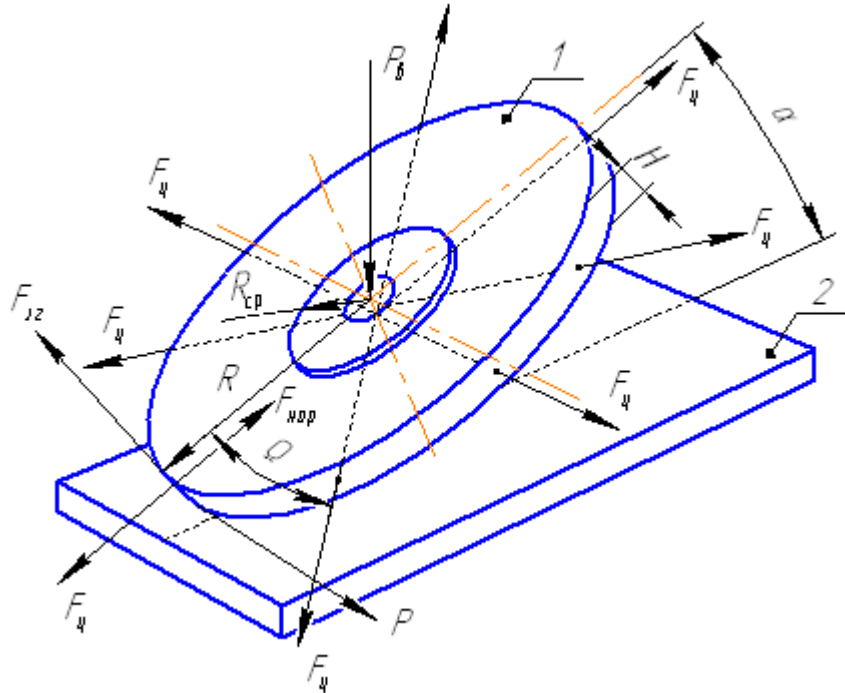


Рис. 1.11. Схема зусиль, що діють на круг: 1 – круг; 2 – об’єкт обробки

Дотична сила виникає у разі зупинки круга внаслідок заклинювання або різкого розгону. Вона пов’язана з наявністю у інерційності і пропорційна щільності круга і прискоренню кутового гальмування або розгону. На практиці ця сила не досягає великих величин і її також можна не враховувати у зв’язку з тим, що усі круги випробовують на швидкостях обертання, що в $1,3 \div 1,5$ рази перевищують робочі, а при гальмуванні дотична сила спрямована в протилежну сторону сили, обумовленій тертям диска, що розрізає, з матеріалом.

Нормальні сили діють при роботі зачисними і відрізними кругами і призводять до стискування круга. Оскільки причиною руйнування крихкого матеріалу є, як правило, розтягувальні напруження, нормальні сили можна не враховувати.

Конструкція абразивного армованого круга істотно впливає на його міцнісні показники [17;18’19;20].

Так, було встановлено, що абразивний армований круг є тілом, в якому спостерігається анізотропія його механічних властивостей. Для визначення

напруження, що виникає в крузі під дією відцентрових сил, можуть бути використані залежності, вживані в теорії пружності для розрахунку ортотропних тіл

$$\sigma_z = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_r + \mu \cdot \varepsilon_\theta) \quad (1.6)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_\theta + \mu \cdot \varepsilon_r) \quad (1.7)$$

де $E = 3 \cdot 10 \text{ кгс/см}^2$ – модуль пружності матеріалу круга у напрямі волокон склосітки;

$\mu = 0,2$ – коефіцієнт Пуассона;

ε_r – деформації в радіальному напрямі;

ε_θ – деформації в тангенціальному напрямі.

Використання цих залежностей ускладнене внаслідок необхідності у кожному конкретному випадку визначати значення модуля пружності і деформацій, залежних від фізико-механічних властивостей зв'язки і склосітки, її конструкції і режимів роботи кругів.

Тому для практичних цілей максимальна тангенціальна [27;28;35] і радіальна напруження може розраховуватися з урахуванням впливу анізотропії по формулах, використовуваних для визначення напруження в ізотропному диску

$$\sigma_z = \frac{k \cdot \gamma \cdot \omega^2}{8} \cdot (3 + \mu) \cdot \left(R^2 + r^2 - \frac{R^2 + r^2}{R_1^2} - R_1^2 \right) \quad (1.8)$$

$$\sigma_\theta = \frac{k \cdot \gamma \cdot \omega^2}{8} \cdot (3 + \mu) \cdot \left(R^2 + r^2 - \frac{R^2 + r^2}{R_1^2} - \frac{1 + 3\gamma}{3 + \gamma} \cdot r^2 \right) \quad (1.9)$$

де k – коефіцієнт, що враховує анізотропію;

$\gamma = 2,5 \cdot 10^3$ – щільність матеріалу круга, кг/м^3 ;

ω – кутова швидкість, рад/з ;

R – зовнішній радіус круга, м;

r – радіус посадочного отвору, м;

R_1 – відстань від центру диска до точки, в якій визначають

напруження, м.

Експериментальні напруження, отримані по замірних деформаціях та розрахункові напруження, виведені з формул при $k = 1$ (рис. 1.12) значно різняться.

При дослідженні напруження яка виникає від зусиль [7;15;30], що згинають, враховувалося, що круг закріплений жорстко і максимальний згинальний момент діє на зовнішньому радіусі фланця. У цьому місці при руйнуванні круга виникає тріщина.

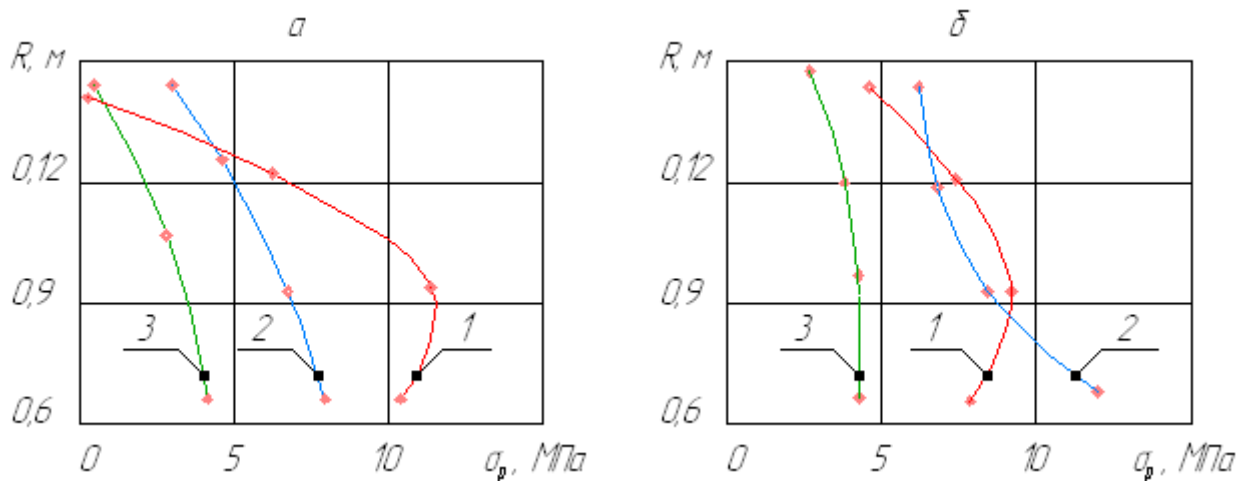


Рис. 1.12. Радіальна (а) і колова (б) напруження в кругі: 1 – експериментальна напруження на радіусі, співпадаючому з основою склосітки; 2 – експериментальна напруження на радіусі, розташованому під кутом $\pi / 4$ до основи; 3 – розрахункова напруження.

По балочній теорії максимальна напруження [29] обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \cdot F_{32} \cdot (R - R_2)}{h^2 \cdot \sqrt{R^2 - R_2^2}} \quad (1.10)$$

де F – згинаюче навантаження, що діє на круг, Н;

R – зовнішній радіус круга, м;

R_2 – радіус затискного фланця, м;

h – висота круга, м.

Величина вигинаючих зусиль залежить від багатьох чинників, зокрема від

глибини різання, жорсткості шпиндельного вузла приводного механізму і може бути отримана експериментальним шляхом.

По приведеним залежностям можна визначити граничні значення зусиль, що діють на абразивний армований круг, з урахуванням його призначення і умов експлуатації.

Ці значення не повинні перевищувати меж міцності при вигині і розтягуванні, отриманих експериментальним шляхом. Для відрізних кругів слід враховувати вплив відцентрових зусиль [84].

Зносостійкість кругів і продуктивність різання за інших рівних умов в основному визначаються робочою швидкістю, швидкістю подачі і довжини дуги контакту круга з матеріалом.

Робочій швидкості різання повинна відповідати певна подача [50-51]. Якщо вона мала, то в зоні контакту відбувається накопичення тепла, що призводить до підвищеного зносу круга, появи задирок і кольорів мінливості на поверхні зрізу. З підвищенням продуктивності різання, тобто швидкості подачі, зносостійкість круга спочатку дещо зростає внаслідок викришування зерен із зв'язки, що викликано зростанням зусиль діючих на абразивне зерно, а потім зменшується. Зносостійкість круга також зменшується, якщо довжина різальної частини круга віднесена до усієї довжини його периферії, досить велика, оскільки період часу, впродовж якого відбувається охолодження робочого органу, недостатній для видалення тепла, з акумульованого зв'язкою.

1.4. Вплив фактору охолодження на основні параметри різання і обробки штучного і природного каменю абразивним робочим органом.

Теплові явища, що супроводжують операції технологічних процесів обробки каменю, надають істотний вплив на якість поверхневого шару матеріалу, їх експлуатаційні властивості, механізм утворення стружки, точність обробки.

Факторами, що визначають температуру нагрівання оброблюваної поверхні, є фізико-механічні властивості кам'яного матеріалу і технологічні параметри режиму обробки – число циклів обробки, час обробки і швидкість різання. Збільшення швидкості обертання абразивного круга призводить до зміни характеру нагріву, оскільки, збільшується динамічна напруженість процесів мікрорізання і тертя, підвищуються тиск в зоні контакту зерен з поверхнею і інтенсивність створюваних ними теплових імпульсів [37;47;48].

Зміна інтенсивності тепловиділення, супроводжуючого абразивну обробку, здатна вплинути на точність розмірів, викликати шаржирування оброблюваної поверхні компонентами порошку, зміну характеру дії змащувально-охолоджувальної рідини (ЗОР), а в ряді випадків – порушення технологічного процесу обробки та якості поверхні. Розподіл теплових потоків за обсягом і поверхні виробу в процесі обробки визначає величину і характер технологічних залишкових напружень, впливає на структуру і остаточний стан поверхневого шару. Тому визначення режимів ефективного охолодження оброблюваної поверхні являє собою актуальну задачу для дослідника.

Охолоджувальна і мастильна дія так само, як і здатність створювати міцні і термостійкі захисні плівки, що оберігають зерна від зносу і нагріву, у різних рідин різні. Воно тим вище, чим вище її теплопровідність і теплоємність.

Розглянемо задачу, коли зразок граніту обробляється алмазним кругом, що відповідає одній з найбільш поширених схем обробки.

Для опису теплових ефектів при магнітно-абразивній обробці в умовах охолодження деталі ЗОР, скористаємося виразом:

$$Q_1 = Q_2 - Q_3 \quad (1.11)$$

де Q_1 – кількість теплоти, що отримується деталлю в процесі обробки (витрачається на нагрівання деталі);

Q_2 – кількість теплоти, що виділилася в зразку;

Q_3 – кількість теплоти, передане ЗОР.

Враховуючи особливості теплообміну зразка з повітрям і характер охолодження, використовуємо співвідношення:

$$S_e = S_{nz} \cdot \frac{(100-k)}{100} \quad (1.12)$$

$$S_o = S_{nz} \cdot \frac{k}{100} \quad (1.13)$$

де S_e – площа поверхні теплообміну циліндричного зразка з повітрям, м²;

S_{nz} – площа поверхні зразка, м²;

k – коефіцієнт використання поверхні при охолодженні;

S_o – площа охолоджуваної поверхні, м².

Для розрахунку кількості теплоти, одержуваної ЗОР в процесі абразивної обробки, скористаємося рівнянням теплового балансу:

$$\frac{Q + h \cdot S_o \cdot T_1 + q \cdot m \cdot T_1 + h_1 \cdot S_e \cdot T_e}{h_1 \cdot S_e + h \cdot S_o + q \cdot m} = \frac{Q + h \cdot S_o \cdot T_2 + q \cdot m \cdot T_2 + h_1 \cdot S_e \cdot T_e}{h \cdot S_o + h_1 \cdot S_e + q \cdot m} - Q_3 \quad (1.14)$$

де Q – потужність теплового джерела;

h – коефіцієнт конвективного теплообміну до ЗОР, Вт/(м² · с);

q – теплоємність зразка, Дж/(кг · град);

m – маса зразка, кг;

h_1 – коефіцієнт конвективного теплообміну до повітря, Вт/(м² · с);

T_1 – температура ЗОР на вході;

T_2 – температура ЗОР на виході;

Q_3 – кількість теплоти, передана ЗОР.

З урахуванням вищесказаного, отримуємо вираз температури ЗОР на виході, що дозволяє розрахувати витрати ЗОР, необхідні для ефективного охолодження кам'яної деталі і підтримання її температури у потрібному діапазоні

$$T_2 = \frac{(Q + h \cdot S_o \cdot T_1 + q \cdot m \cdot T_1 + h_1 \cdot S_e \cdot T_e) \cdot h \cdot S_o}{(h_1 \cdot S_e + h \cdot S_o + q \cdot m) \cdot q_1 \cdot P} \quad (1.15)$$

де q_1 – теплоємність ЗОР, Дж/(кг · град);

P – витрата ЗОР, л/с.

Величина конвективного теплового потоку від зовнішньої поверхні оброблюваного зразка, обтічного ламінарним потоком ЗОР (або повітря) з температурою T_1 , яка припадає на одиницю її площі s , визначається виразом:

$$\frac{q}{S} = 0,33 \cdot k_1 \cdot x^{-1} \cdot \text{Re}_x^{0,5} \cdot \text{Pr}^{0,33} \cdot (T_1 - T_2) \quad (1.16)$$

$$\frac{q}{S} = 0,33 \cdot \text{Nu} \cdot k_1 \cdot x^{-1} \cdot (T_1 - T_2) \quad (1.17)$$

При турбулентному обтіканні зразка ЗОР середній коефіцієнт тепловіддачі плоскій поверхні довжиною l може бути визначений як:

$$\text{Nu} = 0,036 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,33} \quad (1.18)$$

Інтегральний коефіцієнт конвективного теплообміну h_1 може бути розрахований як (у випадку, якщо зразок має циліндричну форму):

$$h_1 = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{\pi \cdot D} \quad (1.19)$$

Значення потужності теплового джерела Q монотонно збільшуються у всьому інтервалі частот обертання абразивного круга.

Це обумовлено збільшенням значень частоти обертання круга, що супроводжується збільшенням виділення енергії в вигляді тепла в об'ємі зразка.

Залежності температури T_2 ЗОР на виході від частоти обертання деталі в умовах охолодження ЗОР з витратою $P = 0,01$ л/с показує, що температура ЗОР перебуває у тісному кореляційному зв'язку з потужністю теплового джерела, обумовленого динамічною дією, і зростає в усьому діапазоні частот обертання.

При цьому відзначається значне збільшення значення температури T_2 .

У верхній частині діапазону частот значення температури ЗОР перевищують $40 \div 60^\circ\text{C}$, що необхідно враховувати при виборі режимів обробки.

Криві нагрівання T_2 ЗОР на виході в умовах традиційно застосовуваних витрат при абразивній обробці були отримані для різних значень цих витрат. Характерним є зниження температури нагріву ЗОР з збільшенням її витрати для всіх інтервалів частот обертання деталі.

У режимі обробки $n = 500$ об/хв зміна інших параметрів обробки (швидкості подачі v_n і глибини різання t) не робить істотного впливу на зміну температури нагріву T_2 , про що свідчить незначна відмінність у значеннях ($2\div 6\%$).

При збільшенні частоти обертання зразка до 1000 об/хв спостерігається деяке зростання розкиду значень, що становить в абсолютних величинах $15\div 22^\circ\text{C}$ ($9,8\div 12,6\%$) для інтервалу витрати $0,001\div 0,003$ л/с, для іншої частини інтервалу розсіяння значень залишається незначним.

Як видно, застосування витрати ЗОР $0,005\div 0,01$ л/с для розглянутих режимів абразивної обробки сприяє гарантованому зниженню температури ЗОР до величини $40\div 90^\circ\text{C}$, що виключає несприятливий вплив температурного фактора на стан поверхневого шару деталі і забезпечує ефективне охолодження оброблюваної поверхні.

Подальше збільшення витрати ЗОР дозволяє застосовувати технологічні режими обробки, що перевищують традиційні і виключають досягнення температур, що викликають структурні фазові і міцнісні зміни в поверхневому шарі.

Таким чином, температура T_2 ЗОР на виході однозначно залежить від збільшення її витрат при різних значеннях частоти обертання круга.

Така залежність обумовлена підвищенням інтенсивності теплообміну ЗОР з поверхнею і збільшенням кількості теплоти, переданої ЗОР в процесі охолодження в одиницю часу.

Розглядаючи процес обробки гранітного та мармурового зразків сухим та мокрим способом було встановлено зміну температури в точці на зовнішньому радіусі диска за весь період циклу його оберту, а також вплив параметрів процесу різання на зміну максимальної температури у зоні різання (рис. 1.13).

Таким чином, використання режимів ефективного охолодження дозволяє суттєво зменшити, а в ряді випадків повністю виключити вплив інтенсивного тепловиділення в обсязі кам'яного зразка на стан поверхневого шару.

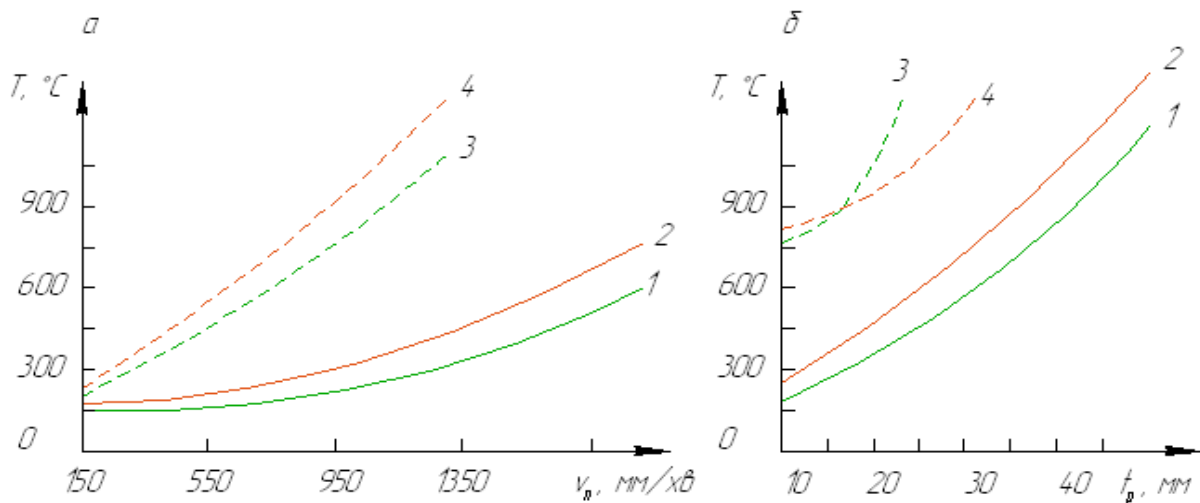


Рис. 1.13. Вплив граничних значень параметрів обробки алмазним кругом на зміну температури початку окислення алмазу з урахуванням умов охолодження: *a* – швидкості подачі v_n : 1 – обробка мармуру з охолодженням; 2 – обробка граніту з охолодженням; 3 – обробка мармуру без охолодження; 4 – обробка граніту без охолодження; *б* – глибини різання t_p : 1 – обробка мармуру з охолодженням; 2 – обробка граніту з охолодженням; 3 – обробка мармуру без охолодження; 4 – обробка граніту без охолодження.

Наявність кореляційного зв'язку між параметрами абразивної обробки і потужністю теплового джерела, а також між температурою ЗОР на виході і її витратою свідчить про можливість контролю та управління температурної напруженістю процесу.

1.5. Висновки по розділу та постановка задач дослідження.

1. Огляд та аналіз засвідчує охоплення значного застосування такого класу машин від нарізання пазів в конструкціях та стінах до різання легкого та важкого залізобетону, при улаштуванні та ремонту доріг, кладки природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків різних діаметрів: 600, 800, 900, 1000, 1200 чи 1600 мм.

2. Існує низка різних конструктивних рішень машин для різання та обробки матеріалів, до яких відносяться також штучний та природний камінь.

Основна конструктивна відмінність полягає у призначенні та способами керування роботою машин.

3. Розраховані критерії ефективності параметрів (1.1 -1.3), числові значення яких наведені в таблиці 1.8, засвідчують значну розбіжність між собою (наприклад, такий важливий критерій, як вплив витрат енергії на глибину різання h коливається в межах від 5,83 до 48,70). Очевидно, що це є свідченням різного підходу до конструювання робочих органів і машини в цілому та відсутністю загальноприйнятої моделі робочого процесу різання.

4. Оцінка експлуатаційних показників робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю показала наявність великої кількості технологічних факторів та їх сполучень, що виникають як в процесі їх виготовлення та і при експлуатації. Обумовлюється це тим, що абразивні армовані круги в процесі роботи знаходяться в складному напруженому стані, що виникає в результаті дії нормальних, відцентрових, згинаючих, та тангенціальних сил.

5. Аналіз існуючих аналітичних формул для визначення силових параметрів та напруженого стану абразивних робочих кругів базується на різних методиках і моделях врахування фізико – механічних властивостей робочих органів машин в процесі виникаючих діючих сил взаємодії із оброблювальним матеріалом.

6. Важливим аспектом реалізації ефективності різання природного й штучного каміння та нарізання пазів в конструкціях і стінах є обґрунтування достовірності врахування процесів виділення тепла при взаємодії робочих органів машин із оброблювальним матеріалом. Аналіз засвідчив необхідність проведення спеціальних досліджень із врахування процесів виділення тепла на основі теорії термодинамічних процесів.

7. Потребується проведення досліджень конструкцій робочих органів машин, уточнення та врахування діючих сил взаємодії ріжучого робочого органу із оброблювальним матеріалом, уточнення фізичної та математичної моделі системи «машина – оброблювальний матеріал». На основі оцінки та аналізу

існуючої літератури, сформульованих вище висновків та здійснених власних попередніх розрахунків, визначені наступні задачі дисертаційного дослідження.

1. Розробити фізичну та математичну модель робочого процесу різання високоміцних будівельних матеріалів.
2. Здійснити теоретичні дослідження руху робочого органу машини для різання матеріалів із урахуванням спільної взаємодії та виділення тепла.
3. Виконати експериментальні дослідження робочих режимів та параметрів машини для різання високоміцних будівельних матеріалів.
4. Розробити алгоритм та методику розрахунку вдосконалених режимів і параметрів, оцінити ефективність здійснених досліджень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАШИН ДЛЯ РІЗАННЯ ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1. Дослідження механізму руйнування природного каменю при дії на нього абразивного робочого органу машини.

З метою деталізації процесу руйнування природного каменю абразивним кругом розглянемо модель руйнування матеріалу одиничним алмазним зерном. Механізм руйнування природного каменю одиничними абразивними зернами полягає в тому, що незначні навантаження зерна на камінь утворюють в результаті пластичної деформації на його поверхні гладкі вдавлені борозенки [99;104-105]. При збільшенні навантаження алмазних зерен на камінь на поверхні каменю утворюються борозни з закономірною структурою, що складаються з регулярно повторюваних заглиблень («виколів») і мікротріщин (дефектний шар), утворених в результаті крихкого руйнування.

При подальшому збільшенні навантаження відбувається поглиблення зерна в камінь, і процес руйнування переходить в режим «відколу» (рис. 2.1)

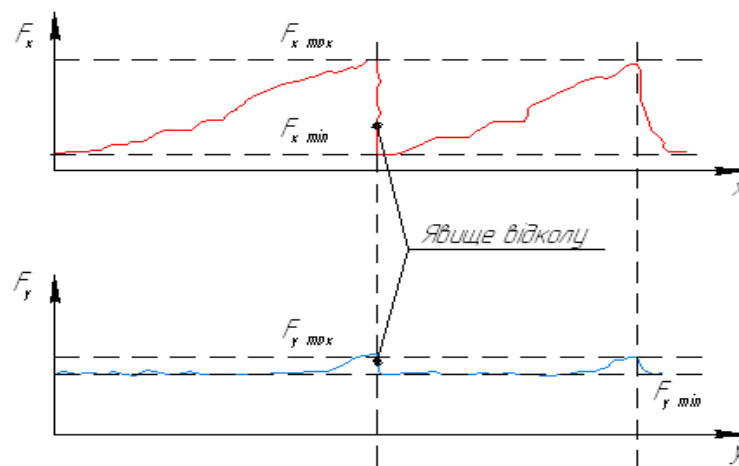


Рис. 2.1. Зміна вертикальної F_y і горизонтальної F_x сил взаємодії алмазного зерна з каменем в режимі відколу: $F_{x\text{ min}}/F_{x\text{ max}} = 0,1 \div 0,15$; $F_{y\text{ min}}/F_{y\text{ max}} = 0,85 \div 0,9$.

За час переміщення алмазного зерна по каменю відбувається n_i циклів руйнування, частота яких, згідно кінетичної теорії міцності, залежить від часу, протягом якого природний камінь витримує навантаження до руйнування.

$$\tau_u = \tau_0 \cdot \exp \left[\frac{3 \cdot ([\varepsilon] \cdot E - D \cdot \sigma_p)}{E \cdot (a \cdot T + \gamma_Q \cdot Q)} \right] \quad (2.1)$$

В залежності від граничних умов взаємодії одиничного алмазного зерна з каменем, процес руйнування може здійснюватися як на одну вільну поверхню (поверхневе руйнування «виколом»), так і на дві і більш вільні поверхні (об'ємне руйнування відколом») (рис.2.2).

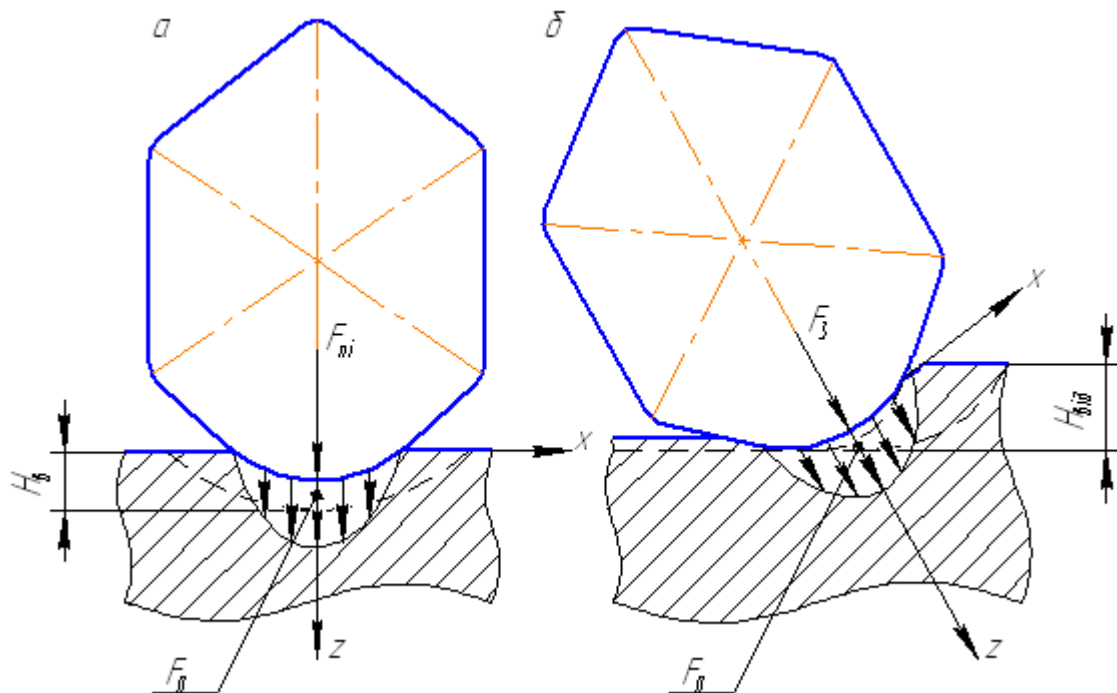


Рис 2.2. Механізм руйнування природного каменю: *a* – руйнування однієї вільної поверхні («виколом»); *б* – об'ємне руйнування («відкол»)

Робота, виконана ядром ущільнення за один цикл в режимі об'ємного руйнування, визначається виразом:

$$A_i = \frac{4 \cdot k_\phi \cdot \mu \cdot \sigma_p \cdot V_i \cdot F_{pi}}{\pi \cdot d_3 \cdot k_\kappa \cdot E \cdot H_i} - \frac{6 \cdot k_\phi^2 \cdot \sigma_p^2 \cdot V_i^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{\pi^2 \cdot k_\kappa \cdot d_3 \cdot E \cdot H_i^2} \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

V_i – обсяг каменю, руйнований за один цикл, м³;

F_{pi} – величина силового впливу одиничного алмазного зерна на камінь (сила руйнування), Н;

k_k – коефіцієнт контакту алмазного зерна з каменем;

d_3 – середній діаметр алмазного зерна, м;

H_i – товщина шару каменю, яка руйнується алмазним зерном, м;

k_ϕ – коефіцієнт форми відбиваємого обсягу каменю V_i , з урахуванням відхилення його від форми паралелепіпеда.

У відповідності з законом збереження енергії, робота з руйнування обсягу каменю V_i дорівнює роботі, яку здійснюють ядром ущільнення, тому

$$\frac{4 \cdot k_\phi \cdot \mu \cdot \sigma_p \cdot V_i \cdot F_{pi}}{\pi \cdot d_3 \cdot k_k \cdot E \cdot H_i} - \frac{6 \cdot k_\phi^2 \cdot \sigma_p^2 \cdot V_i^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}{\pi^2 \cdot k_k \cdot d_3 \cdot E \cdot H_i^2} = \frac{\sigma_p^2 \cdot k_{nl} \cdot V_i}{E} \quad (2.3)$$

де k_{nl} – коефіцієнт пластичності каменю.

Далі визначається обсяг каменю, який руйнується за один цикл:

$$V_i = \frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot F_{pi} \cdot H_i}{3 \cdot k_\phi \cdot \sigma_p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} - \frac{\pi^2 \cdot k_{nl} \cdot k_k \cdot d_3 \cdot H_i^2}{6 \cdot k_\phi^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} \quad (2.4)$$

Руйнований за один цикл обсяг каменю V_i є явною функцією товщини шару, руйнованого одиничним алмазним зерном H_i , тому, вирішуючи рівняння

$\partial V / \partial H = 0$, визначимо оптимальну товщину шару:

$$H_{opt} = \frac{2 \cdot \mu \cdot k_\phi \cdot F_{pi}}{\pi \cdot k_{nl} \cdot k_k \cdot d_3 \cdot \sigma_p} \quad (2.5)$$

При руйнуванні алмазним зерном шару каменю оптимальної товщини у режимі «відколу» досягається максимальна продуктивність обробки каменю:

$$V_{i \max} = \frac{2 \cdot \mu^2 \cdot F_{pi}^2}{3 \cdot k_k \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} \quad (2.6)$$

з мінімальною енергоємністю:

$$q_{i \min} = \frac{6 \cdot k_\phi^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot F_{pi}^2}{\pi^2 \cdot k_k^2 \cdot d_3^2 \cdot k_{nl} \cdot E \cdot H_i^2} \quad (2.7)$$

Механізм руйнування природного каменю на одну вільну поверхню відбувається під дією сили F_{pi} , прикладеної до алмазного зерна, при цьому формується первинне ядро ущільнення V_{o1i} , яке розширюється перпендикулярно силі F_{pi} , паралельно вільній поверхні, в результаті чого відбувається формування вторинного ядра ущільнення V_{o2i} (рис.2.3).

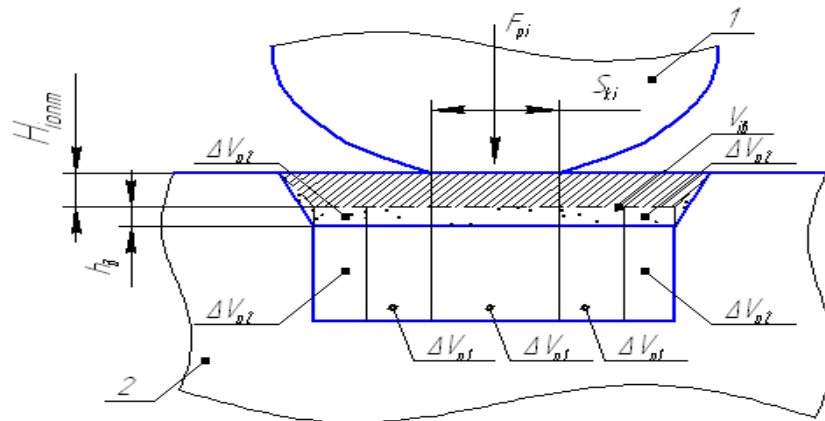


Рис. 2.3. Механізм поверхневого руйнування каменю виколом: 1 – алмазне зерно; 2 – природний камінь; V_{o1} – обсяг первинного ядра ущільнення; ΔV_{o1} – розширення первинного ядра ущільнення; V_{o2} – обсяг вторинного ядра ущільнення; ΔV_{o2} – розширення вторинного ядра ущільнення; V_{iv} - руйнований обсяг каменю; h_o – дефектний шар.

При абразивній обробці в зоні контакту одиничного абразивного зерна з оброблюваним матеріалом протікає ряд різномірних процесів, деякі з яких близькі до мікрOMETALургійних – взаємна дифузія хімічних елементів оброблюваного і абразивного матеріалу, адгезія, що призводить до місцевого схоплювання окремих майданчиків робочої поверхні зерна з частинками шліфованого матеріалу, хімічна взаємодія, що призводить до інтенсивного утворення третіх сполук [80-83].

Висловимо припущення, що кожне абразивне зерно, що бере участь в знятті одиничної стружки своєї ріжучою кромкою спочатку виробляє тільки тертя, а надалі пластичний зсув елементарного об'єму металу, що є різанням.

Можна зазначити, що вторинне ядро ущільнення розширюючись перпендикулярно вільної поверхні, призводить до крихкого руйнування і відділення деякого обсягу каменю V_{ie} на одну вільну поверхню з утворенням лунки «викола».

Глибина лунки «викола» при крихкому руйнуванні завжди більше глибини входження алмазного зерна в камінь і досягається мимовільно:

$$H_{ienmm} = \frac{4 \cdot \mu^3 \cdot k_\phi \cdot F_{pi}}{3 \cdot \pi \cdot k_k \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} \quad (2.8)$$

При цьому максимальний обсяг одиничного циклу руйнування і мінімальна енергоємність, з урахуванням ККД перетворення енергії ядром ущільнення, дорівнюють:

$$V_{ie\max} = \frac{2 \cdot \mu^2 \cdot F_{pi}^2 \cdot \eta}{3 \cdot k_k \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} \quad (2.9)$$

$$q_{i\min} = \frac{9 \cdot k_\phi^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)^2 \cdot F_{pi}^2}{\pi^2 \cdot \mu \cdot k_k^2 \cdot d_3^2 \cdot k_{nl} \cdot E \cdot H_i^2} \quad (2.10)$$

Об'єм руйнування природного одиничним алмазним зерном зменшується пропорційно H_i^2 , і при деякому значенні H_{in} руйнування переходить з режиму «відколу» у руйнування в режимі «викола» (рис.2.4).

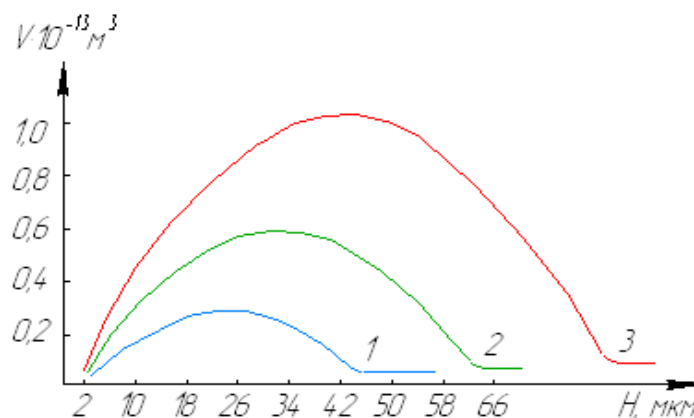


Рис. 2.4. Залежність обсягу одиничного циклу руйнування від товщини шару, руйнованого одиничним алмазним зерном («стружки»): 1 – кварц ($F = 0,7 \text{ Н}$, $d_3 = 180 \text{ мкм}$); 2 – мармур ($F = 0,15 \text{ Н}$, $d_3 = 180 \text{ мкм}$); 3 – мармур ($F = 0,2 \text{ Н}$, $d_3 = 180 \text{ мкм}$)

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot \mu \cdot F_{pi} \cdot H_i}{3 \cdot k_\phi \cdot \sigma_p \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} - \frac{\pi^2 \cdot k_{nl} \cdot k_\kappa \cdot d_3 \cdot H_i^2}{6 \cdot k_\phi^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} = \frac{2 \cdot \mu^2 \cdot F_{pi}^2 \cdot \eta}{3 \cdot k_\kappa \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p^2 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)} \quad (2.11)$$

Визначаємо мінімальну і максимальну товщину шару (стружки), руйнованого алмазним зерном при переході процесу з режиму об'ємного руйнування на поверхневе руйнування:

$$H_{i\min} = \frac{2 \cdot k_\phi \cdot \mu \cdot F_i \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}}\right)}{\pi \cdot k_\kappa \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p} \quad (2.12)$$

$$H_{i\max} = \frac{2 \cdot k_\phi \cdot \mu \cdot F_i \cdot \left(1 + \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \mu^2}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}}\right)}{\pi \cdot k_\kappa \cdot d_3 \cdot k_{nl} \cdot \sigma_p} \quad (2.13)$$

Оптимальна товщина шару, руйнованого одиничним алмазним зерном, при динамічному впливі визначається з урахуванням міцності алмазних зерен при роздавлюванні:

$$H_{opt} = 53,5 \cdot \frac{k_\kappa \cdot d_3 \cdot \mu \cdot [\sigma_p]_a^2}{\sigma_p \cdot E} \cdot \sqrt[3]{\frac{k_\phi^4 \cdot (1 - \mu)^5}{k_{nl}^4}} \quad (2.14)$$

де $[\sigma_p]_a$ – межа міцності алмазних зерен при роздавлюванні, визначає марку алмазного порошку, МПа.

Обробка в режимі «відколу» з раціональної середньою товщиною зруйнованого алмазними зернами шару, вимагає ретельного дотримання режимів шліфування і зернистості алмазного круга.

Зернистість алмазного робочого органу визначається виходячи з мінімального діаметра алмазного зерна, при якому відбувається перехід процесу руйнування з режиму «відколу» у режим «викола» (рис.2.5):

$$d_{3\min} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot \mu \cdot F_{pi}^2}{3 \cdot k_\kappa^3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \sigma_p \cdot H_i \cdot \sigma_p}} \quad (2.15)$$

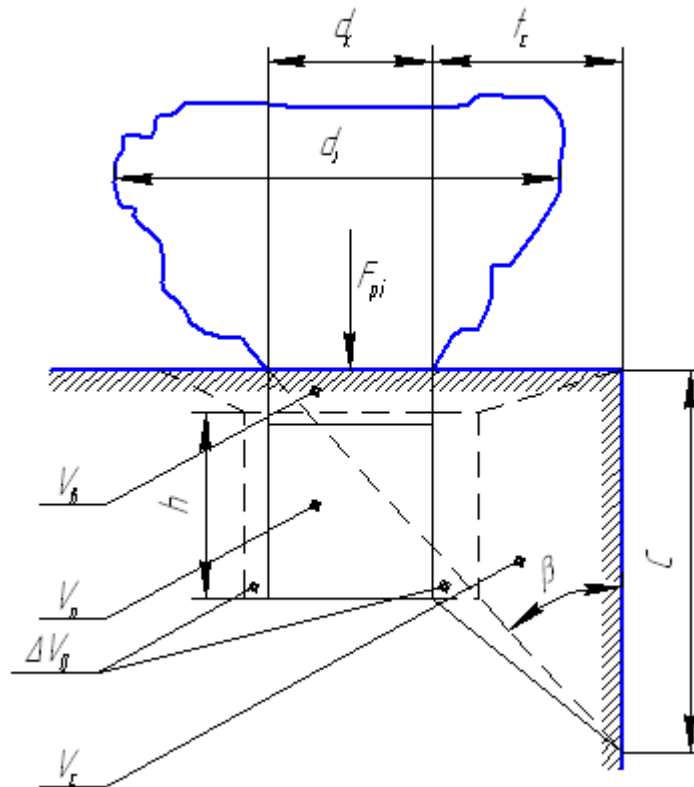


Рис. 2.5. Схема руйнування природного каменю алмазним зерном: F_{pi} – сила впливу алмазного зерна на камінь; d_3 – діаметр алмазного зерна; t_c – відстань до вільної поверхні; C – довжина «відколу»; β – кут «відколу»; V_o – обсяг первинного ядра ущільнення; ΔV_o – обсяг вторинного ядра ущільнення; V_c – об’єм, руйнований «сколом»; V_e – об’єм, руйнується в режимі «викола»; h – глибина поширення ядра ущільнення.

Шліфуючі алмазні зерна є многогранниками неправильної форми і мають закруглені вершини [95-99].

За абсолютною величиною це округлення не велике, але його завжди треба враховувати, так як товщини шарів, що знімаються окремими зернами при шліфуванні, співмірні з величиною радіуса округлення різальної кромки (рис.2.6).

Радіус округлення різальної кромки абразивного зерна визначає величину максимального навантаження на зерно і величину зносу алмазних зерен робочого органу. Зростання навантаження на алмазне зерно призводить до руйнування різучої кромки і, відповідно до зношування робочого органу.

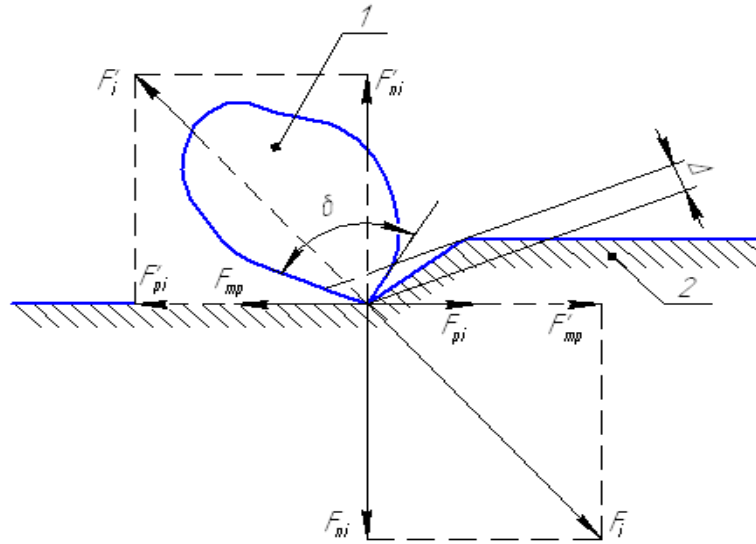


Рис. 2.6. Схема зношення абразивного зерна

Радіус округлення різальної кромки абразивного зерна визначає величину максимального навантаження на зерно і величину зносу алмазних зерен круга:

$$r_o = \sqrt{\frac{F'_i}{\pi \cdot k_r^2 \cdot [\sigma_p]_a}} \quad (2.16)$$

Зростання навантаження на алмазне зерно призводить до руйнування ріжучої кромки і, відповідно до зношування круга:

$$\Delta = \frac{\pi \cdot k_\kappa^2 \cdot d_3^3 \cdot f_{mp} \cdot v_p \cdot E_a \cdot \tau_u \cdot F_{pi} \cdot \sin \beta H_i}{2 \cdot K_T \cdot [\sigma_p]_a^2 \cdot N_i \cdot (\cos \beta - f_{mp} \cdot \sin \beta)} \cdot \left[\frac{[\varepsilon] \cdot E}{D} - \frac{(\alpha \cdot T + \gamma_q \cdot Q) \cdot \ln \left(\frac{\tau_u}{\tau_o} \right)}{3 \cdot D} \right] \quad (2.17)$$

Для забезпечення раціонального режиму крихкого руйнування природного каменю при шліфуванні каменю з мінімальним зносом абразивного зерна необхідно строго витримувати навантаження алмазного зерна на камінь:

$$F_{pi} = 1,32 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{k_\phi^2 \cdot k_\kappa^2 \cdot d_3^2 \cdot \sigma_0^2 \cdot E^2}{k_{nl}^2 \cdot \mu^2 \cdot [\sigma_p]_a^3} \quad (2.18)$$

При проходженні одиничного алмазного зерна по кривій контакту з каменем у процесі обробки величина сили різання зростає при «зустрічній» і зменшується для «попутної» схеми обробки [98].

За час одиничного циклу руйнування τ_i алмазне зерно пройде шлях L_i по поверхні каменю і проникне в нього на глибину H_i . Надалі процес циклічно повторюється, при цьому відбувається n_i циклів руйнування, частота яких залежить від часу, протягом якого природний камінь витримує навантаження до руйнування і швидкості переміщення алмазного зерна по каменю (швидкості різання):

$$\tau_u = \tau_0 \cdot \exp \left[\frac{3 \cdot ([\varepsilon] \cdot E - D \cdot \sigma_p)}{E \cdot (\alpha \cdot T + \gamma_Q \cdot Q)} \right] \quad (2.19)$$

Залежність швидкості переміщення алмазних зерен по каменю від оптимальної товщини шару (стружки»), руйнованого одиничним алмазним зерном, з урахуванням фізико-технічних властивостей каменю представлена на рисунку 2.7 і визначається за залежністю:

$$v_p = \frac{0,34}{\tau_u} \cdot \sqrt{\frac{k_\phi \cdot k_\kappa^3 \cdot d_3^3 \cdot \mu \cdot E}{k_{nl} \cdot (1 - 2 \cdot \mu) \cdot \sigma_p \cdot H_{opt}}} \quad (2.20)$$

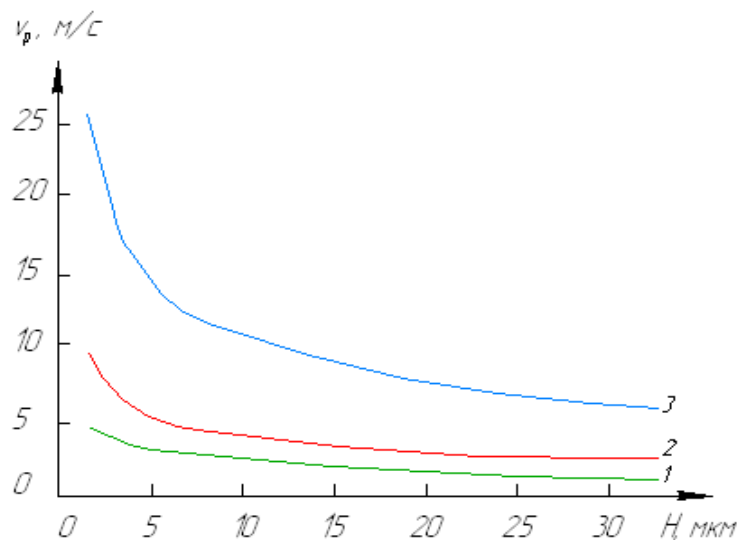


Рис. 2.7. Залежність величини оптимальної швидкості переміщення алмазного зерна кварцу (агрегат) від товщини руйнованого шару.

Таким чином, враховуючи фізико-механічні властивості абразивних матеріалів, можна позиціонувати обробку природного каменю як процес

крихкого руйнування. Будь-який енергетичний вплив на камінь призводить до формування в ньому джерела тріщин, який викликає появу розтягуючих напружень, генерує і фіксує дефекти, що в кінцевому підсумку може призвести до зародження тріщин і подальшого його руйнування, незалежно від виду енергії, що трансформується в оброблюваний матеріал.

2.2. Дослідження теплових процесів при обробці матеріалів різанням.

Основними джерелами теплоти [13;55;59] при різанні (у нашому випадку при абразивній обробці) є:

- пластичні деформації матеріалу в зоні основних пластичних деформацій, в результаті яких утворюється теплота деформації Q_d ;
- тертя стружки по передній поверхні, в результаті якої утворюється теплота тертя по передній поверхні Q_{mn} абразивного зерна;
- тертя оброблюваного матеріалу по задній поверхні, в результаті чого утворюється теплота тертя по задній поверхні Q_{mz} абразивного зерна.

Таким чином загальна кількість теплоти, що утворюється при різанні будь-якого матеріалу становить:

$$Q = Q_d + Q_{mn} + Q_{mz} \quad (2.20)$$

Рівняння теплового балансу при різанні має вигляд:

$$Q_d + Q_{mn} + Q_{mz} = Q_c + Q_p + Q_u + Q_s \quad (2.21)$$

де Q_c – теплота, що йде в стружку;

Q_p – теплота, витрачена на робочий орган;

Q_u – теплота, що надходить у заготовку;

Q_s – теплота, що надходить у зовнішнє середовище.

Кількість теплоти, що йде в стружку, робочий орган і заготовку, істотно залежить від швидкості різання.

Зі збільшенням швидкості різання [1] кількість теплоти, що йде в стружку,

зростає, а в робочий орган і матеріал – зменшується.

Теплота при різанні відіграє подвійну роль. З одного боку вона полегшує процес різання, тому що визначає інтенсивність протікання процесу знеміцнення оброблюваного матеріалу. З іншого боку – безперервний тепловий вплив на контактні площадки ріжучого робочого органу призводять до їх зносу і деформації оброблюваного матеріалу.

Крім того, інтенсивний тепловий вплив на технологічну систему веде до температурних деформацій елементів, що може викликати зниження точності обробки.

Розглянемо теплові потоки в зоні різання. В позначенні кількості теплоти, що надходить в стружку, робочий орган і заготовку від різних джерел, введемо індекси 1, 2, 3 відповідно. Частина теплоти деформації, що йде в стружку позначимо $Q_{\partial c}$, в матеріал – $Q_{\partial m}$.

Розглянемо рух теплових потоків від кожного з теплових джерел.

Частина теплоти деформації Q_{∂} йде в стружку у вигляді потоку $Q_{\partial c}$, який в свою чергу частково залишається в стружці $Q_{\partial c1}$, через контакт по передній поверхні абразивного зерна надходить в круг $Q_{\partial c2}$, а через контакт по передній і задній поверхнях зерна – в матеріал $Q_{\partial c3}$.

Друга частина теплоти деформації у вигляді потоку $Q_{\partial m}$ йде в заготовку. Частина цього потоку залишається в заготовці $Q_{\partial m3}$, інша частина – через контакт по задній поверхні переходить в круг $Q_{\partial m2}$, а третя через контакт по задній і передній поверхнях зерна йде в стружку $Q_{\partial m1}$. Теплота тертя по передній поверхні зерна Q_{mn} у вигляді трьох потоків йде в стружку Q_{mn1} , заготовку Q_{mn3} через контакт по задній поверхні і в круг Q_{mn2} . Аналогічно теплота тертя по задній поверхні зерна – в заготовку Q_{m33} , круг Q_{m32} і в стружку Q_{m31} .

Для спрощення схеми руху теплових потоків в зоні різання введемо поняття підсумкових потоків. Кількість теплоти, що надходить в заготовку, буде дорівнює:

$$Q_m = Q_{\partial u3} + Q_{\partial c3} + Q_{mn3} + Q_{m33} \quad (2.22)$$

Величину потоків $Q_{\partial u3}$ і Q_{m33} можна визначити як:

$$Q_{\partial m3} = Q_{\partial m} - Q_{\partial m2} - Q_{\partial m1} \quad (2.23)$$

$$Q_{m33} = Q_{m3} - Q_{m32} - Q_{m31} \quad (2.24)$$

Тоді

$$Q_m = Q_{\partial m} + Q_{m3} - (Q_{\partial m2} + Q_{\partial m1} + Q_{m32} + Q_{m31} - Q_{\partial c3} - Q_{mn3}) \quad (2.25)$$

Теплові потоки ($Q_{\partial m2} + Q_{\partial m1} + Q_{m32} + Q_{m31} - Q_{\partial c3} - Q_{mn3}$) позначимо через Q_3 .

Тоді вираз для визначення кількості теплоти, що надходить в заготовку, можна записати у вигляді:

$$Q_m = Q_{\partial m} + Q_{m3} - Q_3 \quad (2.26)$$

де Q_3 – загальний потік, що утворюється в результаті теплообміну по задній поверхні абразивного зерна.

Кількість теплоти, що йде в стружку, буде дорівнювати:

$$Q_c = Q_{\partial c1} + Q_{\partial m1} + Q_{m31} + Q_{mn1} \quad (2.27)$$

Величини потоків $Q_{\partial c1}$ і Q_{mn1} можна визначити як:

$$Q_{\partial c1} = Q_{\partial c} - Q_{\partial c2} - Q_{\partial c3} \quad (2.28)$$

$$Q_{mn1} = Q_{mn} - Q_{mn2} - Q_{mn3} \quad (2.29)$$

Тоді

$$Q_c = Q_{\partial c} + Q_{mn} - (Q_{\partial c2} + Q_{\partial c3} + Q_{mn2} + Q_{mn3} - Q_{\partial m1} - Q_{m31}) \quad (2.30)$$

Позначивши потоки ($Q_{\partial c2} + Q_{\partial c3} + Q_{mn2} + Q_{mn3} - Q_{\partial m1} - Q_{m31}$) через Q_n , отримаємо новий вираз для визначення кількості теплоти, що йде з стружку

$$Q_c = Q_{\partial c} + Q_{mn} - Q_n \quad (2.31)$$

де Q_n – підсумковий потік, що утворюється в результаті теплообміну по передній поверхні.

Як впливає з приведених викладок, кількість теплоти, що надходить в ріжучий робочий орган, буде дорівнювати:

$$Q_p = Q_n + Q_c \quad (2.32)$$

Частку теплоти деформації, що йде в заготовку і стружку, можна

ВИЗНАЧИТИ ЯК:

$$Q_{dm} = (1-b) \cdot Q_d \quad (2.33)$$

$$Q_{dc} = b \cdot Q_d \quad (2.34)$$

де b – коефіцієнт, що враховує частку теплоти деформації Q_d , що йде в стружку.

Загальна кількість теплоти, що утворюється при різанні, кількість теплоти деформації, тертя по передній і задній поверхнях абразивного зерна буде дорівнювати:

- загальна кількість теплоти

$$Q = P_z \cdot V \quad (2.35)$$

- теплота тертя по передній поверхні Q_{mn}

$$Q_{mn} = F_\gamma \cdot V_c \quad (2.36)$$

$$Q_{mn} = \left(\frac{P_{y\gamma} \cdot \cos \gamma + P_{z\gamma} \cdot \sin \gamma}{K_L} \right) \cdot V \quad (2.37)$$

де K_L – коефіцієнт скорочення стружки.

- теплота тертя по задній поверхні Q_{mz}

$$Q_{mz} = F_\alpha \cdot V \quad (2.38)$$

$$Q_{mn} = P_{z\alpha} \cdot V \quad (2.39)$$

- теплота деформації Q_d

$$Q_d = Q - Q_{mn} - Q_{mz} \quad (2.30)$$

$$Q_d = \frac{V}{K_L} \cdot [P_{z\gamma} \cdot (K_L - \sin \gamma) - P_{y\alpha} \cdot \cos \gamma] \quad (2.31)$$

Інтенсивність теплових джерел визначається як відношення кількості теплоти якого-небудь джерела до площі, на якій діє дане джерело:

$$q_i = \frac{Q_i}{f_i} \quad (2.32)$$

де q_i – інтенсивність джерела теплоти Q_i ;

f_i – площа, на якій діє джерело теплоти Q_i .

Для джерела теплоти деформації площа дорівнює:

$$f_o = \frac{b \cdot a}{\sin \beta} \quad (2.33)$$

Для джерела теплоти тертя по передній поверхні відповідно:

$$f_{mn} = b \cdot C \cdot \gamma \quad (2.34)$$

Для джерела теплоти тертя по задній поверхні:

$$f_{mz} = b \cdot h_z \quad (2.35)$$

Всі фактори, що збільшують силу різання і погіршують тепловідведення із зони обробки, діють у бік збільшення температури різання.

Так збільшення твердості або міцності оброблюваного матеріалу призводить до збільшення сил різання і кількості теплоти, що викликає зростання температури.

Як ми вже неодноразово казали, найбільший вплив на температуру різання впливає швидкість різання.

Із збільшенням швидкості різання зростає загальна кількість теплоти та температура зростає. Збільшення подачі і глибини різання призводить до підвищення сили різання P_z і кількості теплоти, що веде до зростання температури різання. Більший вплив на температуру надає подача, ніж глибина різання. Це пов'язано з тим, що при збільшенні подачі тепловідведення із зони різання не змінюється, а при збільшенні глибини різання воно зростає, оскільки збільшується довжина контакту ріжучого круга вздовж ріжучої кромки з матеріалом [90].

Вплив матеріалу робочого органу на температуру різання проявляється через його фрикційні і теплофізичні властивості [95].

Так збільшення коефіцієнта теплопровідності робочого органу λ_{im} збільшує тепловіддачу в тіло робочого органу і температура різання знижується. Зменшення тертя на передній поверхні робочого органу веде до зниження теплоти тертя, що призводить до зменшення температури.

Положення про оптимальну температуру вперше було сформульовано

Макаровим А.Д., згідно з яким оптимальним швидкостям різання (для заданого матеріалу робочого органу) при різних комбінаціях швидкості різання v , подачі S і глибини різання t відповідає одна і та ж постійна температура в зоні різання, яка називається оптимальною.

З положення оптимальної сталості температури різання випливають ряд важливих висновків:

- для різальних робочих органів з будь-якою комбінацією геометрії ріжучої частини (γ , α , φ , φ_1 і т.д.) мінімальні інтенсивності зносу спостерігаються при одній і тій же оптимальній температурі, хоча рівень оптимальних швидкостей v_{1opt} , v_{2opt} , v_{3opt} різний;

- при обробці із ЗОР і без неї, найменша інтенсивність зношування спостерігається при одній і тій же оптимальній температурі, хоча рівень оптимальних швидкостей різний;

- зміна діаметру оброблюваної поверхні при точінні або розточуванні призводить до істотної зміни рівня оптимальних швидкостей різання, при яких спостерігається мінімальна інтенсивність зношування, у той час як оптимальна температура різання залишається постійною;

- зміна твердості матеріалу заготовки призводить до істотної зміни рівня оптимальних швидкостей різання, при яких має місце мінімальна інтенсивність зношування, але даними швидкостями різання відповідає одна і та ж оптимальна температура різання.

А знаючи розподіл теплових потоків, величини і характер температурних полів у крузі, виробі і стружці, можна:

- правильно формулювати основи теорії зносу абразивного робочого органу;
- оцінювати характер взаємодії зерна з оброблюваним матеріалом;
- передбачати характер руйнування абразивних зерен і абразивного інструменту робочого органу в цілому;

- найбільш доцільно вибрати абразивний матеріал для роботи в тих чи інших умовах;
- оцінювати вплив МОТС (мастильно-охолоджуючим технологічним середовищем) на процес шліфування і відшукувати шляхи його ефективного використання;
- регулювати процес шліфування для отримання мінімального теплового впливу на поверхневі шари виробу й різального робочого органу.

2.3. Дослідження розподілу тепла в абразивному армованому крузі в процесі різання ним високоміцного матеріалу.

Тепер розглянемо процес при тепловому руйнуванні зв'язки [89;93;94].

Цей процес нагріву досить повільний, тому можна впевнено користуватися такою рівноважною характеристикою, як температура.

При різанні ж абразивним кругом картина змінюється. На практиці довжини дуг контакту невеликі, а круги обертаються з високою швидкістю.

Тому час перебування окремої ділянки ріжучої кромки в області, де енергія виділяється, дуже мало.

За межами зони різання, внаслідок тепловіддачі навколишньому повітрю, коло охолоджується.

Таке ударне чергування теплових навантажень і охолодження призводить до того, що система є сильно нерівноважною, в якій слід з обережністю користуватися самим поняттям температури.

Тому характеристикою, подібною з експериментально визначеній температурою руйнування бакелітової зв'язки, буде не миттєва температура, яку неможливо до того ж виміряти в наслідок інерційності вимірювальних приладів, а деякою усередненою температурою.

Доцільним є проведення такого усереднення по періоду обертання, тобто визначення температури даної точки в крузі, усередненої по періоду обертання і

не залежної по цьому від обертання круга.

Вивчення таким чином певної температури і впливу на неї таких технологічно важливих змінних, як швидкість обертання ж подачі круга, його розмірів, будови бічній поверхні, довжини дуги контакту і теплофізичних характеристик матеріалу круга дозволить визначити швидкість теплового зносу круга.

Проблема розподілу тепла між абразивним армованим кругом (АК надалі), стружкою і оброблюваною деталлю неодноразово розглядалася. Зважаючи на її фізичні і математичні складності та невідомості багатьох важливих параметрів при цьому робилися численні, часто довільні допущення.

Оскільки головним для авторів було розрахувати температуру в розрізаному тілі і частку енергії, що виділяється в процесі різання, яка видаляється разом зі стружкою, приймалася двовимірною модель.

Оскільки нашим завданням в першу чергу є розгляд процесів в АК, ми повинні врахувати, що він досить тонкий і характер теплових процесів, що протікають на торцевих поверхнях, суттєво впливає на розподіл тепла в ньому і, тому, вирішувати тривимірну задачу.

Крім того, якщо, для розрахунку температурних полів в розрізаємому виробі було несуттєвим те, що круг обертася (він просто замінювався тепловим джерелом, весь час знаходився в зоні різання), то для розрахунку температурного поля в АК необхідно врахувати ударний характер зміни теплових навантажень при вході і виході ділянки ріжучої кромки із зони різання.

Очевидно, що одночасний облік всіх численних діючих факторів на процес різання в рамках однієї задачі неможливий.

Необхідний послідовний підхід, пов'язаний з введенням першочергової простої моделі, що допускає, однак, подальші ускладнення.

Найбільш неясним являється питання про характер фізичних процесів, що протікають в пропилі на торцевих поверхнях круга.

Тому спочатку бажано виключити тертя на бічних поверхнях АК з

розгляду, обмежуючись випадком, коли перерізи тонкий виріб, або розглядаємо початкову стадію різання.

Тоді зона тепловиділення локалізується лише на ріжучій кромці АК.

Введемо циліндричну систему координат, в якій круг не рухається, а деталь обертається.

Центр координатної системи збігається з центром круга, як зображено на рисунку 2.8.

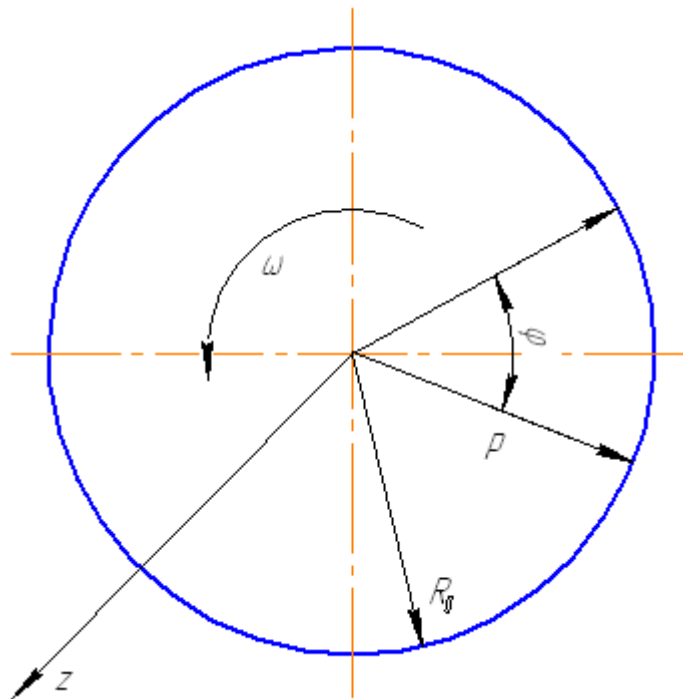


Рис. 2.8 – Розрахункова схема: φ – полярний кут; ω – кутова швидкість; R_0 – радіус АК

В зоні різання, координати якої:

$$\begin{aligned} \varphi &\in [\varphi_1; \varphi + \varphi_1] \\ \rho &= R_0 \end{aligned} \quad (2.36)$$

в кожній точці виділяється теплота q , закон її розподілу:

$$q = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} + \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} + (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot T_k \quad (2.37)$$

де індекси 1 і 2 відносяться до круга і деталі відповідно;

m – маса, що видаляється з даної точки зі стружкою;

c_1 – теплоємність матеріалу;

c_2 – теплоємність круга;

T_k – температура в зоні контакту;

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності.

Зазвичай при розрахунках приймають, що T_k постійна в зоні різання і співпадає з величиною, яка може бути визначена експериментально методом напівштучної термопари, що являється одним із найбільш обґрунтованих допущень.

За межами зони різання ріжуча кромка АК охолоджується обтікаючим повітрям. Приймають, що це охолодження може бути описане законом Ньютона. Якщо прийняти за точку відліку температуру навколишнього середовища, то граничні умови для точки ріжучої кромки за межами зони різання виглядають:

$$\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} + \alpha \cdot T_1 \cdot (\rho = R_0) = 0 \quad (2.38)$$

α – коефіцієнт тепловіддачі, кал/(см² · с · °К).

Ці дві граничні умови можуть бути об'єднані в одну, якщо ввести функцію:

$$\phi(\varphi_0) = \begin{cases} 1, & \varphi \in [0, \varphi_0] \\ 0, & \varphi \in [\varphi_0, \infty] \end{cases} \quad (2.40)$$

$$q \cdot \phi(\varphi_0) = -\lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} \cdot \phi(\varphi_0) + \lambda \cdot \frac{\partial T_1}{\partial \rho} + (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot T_k \cdot \phi(\varphi_0) + [1 - \phi(\varphi_0)] \cdot \alpha \cdot T_1 \quad (2.41)$$

Як уже зазначалося, миттєва температура T змінюється на протязі одного періоду обертання і залежить і від того, наскільки довго триває процес різання, тобто, від кількості періодів обертання.

У наявності залежність від двох часів – швидкого і повільного, причому нас цікавить саме повільна залежність, що визначає ефективну температуру в зв'язці.

Тому введемо середню по періоду обертання температуру:

$$T_{cp} \langle T \rangle = \frac{1}{2\pi} \cdot \int_0^{2\pi} T d\varphi \quad (2.42)$$

Граничні умови для $\langle T \rangle$ з урахуванням того, що

$$\varphi_0 \cdot R = l \quad (2.43)$$

може бути записано (після множення обох частин на R_0):

$$q \cdot l - \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} \cdot l + 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial \rho} + (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot T_k \cdot l + \alpha \cdot T \cdot R_0 \cdot 2 \cdot \pi - \alpha \cdot R_0 \cdot \int_0^{2\pi} \phi(\varphi_0) \cdot T \cdot d\varphi \quad (2.44)$$

Остаточно, з урахуванням того, що $\langle T \rangle = T_1$ тому виріб весь час перебуває в контактi з ріжучою кромкою:

$$q_1 \cdot l = -\lambda_2 \cdot l \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \rho} + 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \lambda_1 \cdot \frac{\partial T_1}{\partial \rho} + (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2) \cdot T_k \cdot l + \alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_0 \cdot \left[T - T_k \cdot \frac{l}{2\pi R} \right] \quad (2.45)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі.

Це граничні умови спільно з диференціальними рівняннями теплопровідності в металі (для T_2) і АК (для T_1) і визначають розподіл температур в системі.

Цікаво відзначити, що наявність обертання АК призводить до значної відмінності величин потоків тепла від випадку, коли круг не обертається перебуває в контактi з металом і в місці контакту виокремлюється тепло.

Цей факт обертання не враховувався в роботах, що і привело їх авторів до помилкового висновку про те, що в абразивний круг надходить менше 10% тепла, що виділилось в процесі різання.

У дійсності ж, оскільки перед диференціалом $T_{1,2}$ стоять множники не λ_2 і λ_2 (а λ_2 (матеріал) $\rightarrow \lambda_1$ (абразивна маса), а $\lambda_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R \rightarrow \lambda_2 \cdot l$, потік тепла в круг набагато більше ніж в матеріалі різання.

Для аналітичного розгляду задачі про повільної залежності від часу (вимірюваного в періоді обертання АК) необхідно значення середньої по періоду обертання температури на ріжучій кромці.

Тому необхідно розглянути задачу про розподіл температури в АК

протягом одного періоду часу (тобто, отримати швидку залежність).

Рішення саме цієї задачі дозволить виявити основні фізичні риси розглянутого процесу теплового зносу круга, так як саме воно визначить ту температуру, до якої ділянка ріжучої кромки охолонить до моменту входження вдруге в зону різання і, отже кількість циклів обертання, протягом яких зв'язка зберігає стійкість.

Розглянемо завдання про рух одного теплового джерела по ріжучій кромці АК.

Експеримент показує, що теплота не проникає глибоко у в'язку круга, тому можна обмежитись розглядом теплових процесів в досить вузької області, що примикає до ріжучої кромки.

Можна знехтувати її вигинанням і вважати її прямою.

Тому завдання про розподіл температури в АК у даному випадку еквівалентна задачі про розподіл температури в прямокутній нескінченній пластині шириною h , рівній ширині круга, по одній із сторін якої як це зображено на рисунку 2.9, рухається пласке джерело довжиною l і шириною h зі швидкістю u , що дорівнює колівій швидкості АК.

Введемо прямокутну систему координат, початок якої збігається з джерелом.

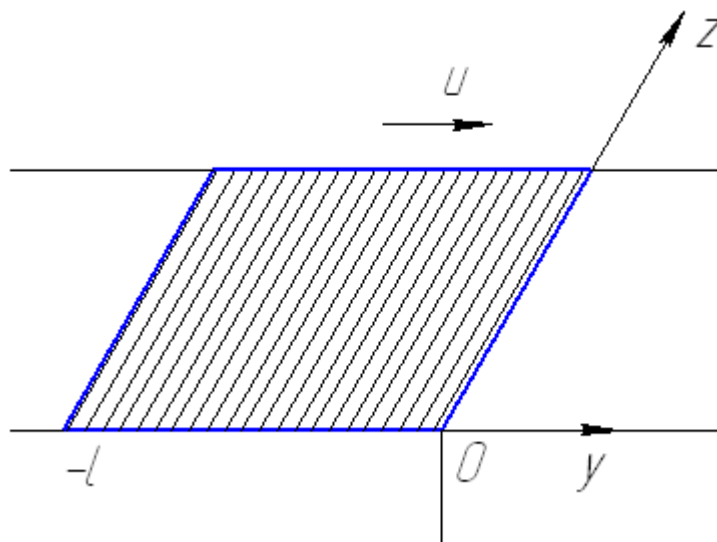


Рис. 2.9. Розрахункова схема.

Рівняння теплопровідності у випадку рухомого джерела має вигляд:

$$c \cdot \rho \cdot \left(\frac{dT}{dt} - u \cdot \frac{dT}{dy} \right) = \lambda \cdot \nabla^2 \cdot T \quad (2.46)$$

де T – температура в АК;

u – швидкість руху джерела;

c – теплоємність;

ρ – щільність;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

t – час;

∇^2 – оператор Лапласа.

Зручніше для подальших дій перейти до безрозмірних змінних:

$$\begin{aligned} T &= \frac{T}{T_k} \\ \tau &= \frac{t}{\frac{R_0}{u}} \\ x &= \frac{x}{R_0} \\ y &= \frac{y}{R_0} \\ \tilde{z} &= \frac{z}{R_0} \end{aligned} \quad (2.47)$$

Рівняння з безрозмірними змінними має вигляд:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{P_e} \cdot \nabla^2 \cdot T + \frac{dT}{dy} \quad (2.48)$$

де P_e – число Пекле;

$$P_e = \frac{u \cdot R_0}{\alpha} \quad (2.49)$$

α – коефіцієнт температуропровідності.

Граничними умовами є

$$\begin{cases} -\frac{dT}{dx} = \frac{qR}{\lambda \cdot T_k} = q, \text{ якщо } y \in [0; \tilde{l}] \\ -\frac{dT}{dx} - B_i \cdot T(x=0) = 0, \text{ якщо } y \notin [0; \tilde{l}] \end{cases}$$

(2.50)

де

$$\begin{aligned} \frac{\alpha \cdot R}{\lambda} &\equiv B_i \\ T(x \rightarrow \infty) &\rightarrow 0 \\ -\frac{dT}{dz} - B_i \cdot T(\tilde{z}=0) &= 0 \\ -\frac{dT}{dz} - B_i \cdot T(\tilde{z}=h) &= 0 \end{aligned} \quad (2.51)$$

Тут ми бачимо два коефіцієнта теплопередачі навколишньому середовищу α і α_1 , які потрібні, щоб врахувати, що в загальних випадках структура ріжучої кромки і торцевої поверхні різна.

Початковою вимогою є те, що до початку нагріву круг має температуру навколишнього середовища:

$$T(\tau = 0) = 0 \quad (2.52)$$

Точне рішення задачі з граничними умовами здається неможливим в силу розриву граничних умов на ріжучій кромці.

В математиці відомі рішення задач з розривними граничними умовами, якщо це перша або друга крайові задачі.

Відомо і рішення задачі з розривними граничними умовами, якщо на частині поверхні реалізується гранична умова першого роду (перша крайова задача, коли задається значення функції на кордоні), а на іншій частині реалізується гранична умова другого роду (друга крайова задача, коли задається значення нормальної похідної на границі).

В даному випадку ми маємо на поверхні $x = 0$ реалізацію другої або третьої граничної умови, рішення такої задачі неможливе.

Тому для вирішення скористаємося методом наближеним – методом

компенсації теплових втрат.

Його суть полягає в тому, що для вирішення використовується метод функцій Гріна, причому функція джерела вибирається як для завдання, в якій тепловіддача йде і з частини поверхні, над якою в даний момент знаходиться джерело.

Це призведе до заниження значення температури в АК.

Для компенсації цього заниження необхідно збільшити потужність теплового джерела, діючого на поверхні, тобто у вирішенні необхідно записати ще один член.

Він в свою чергу вносить помилку, знову таки пов'язану з внесенням до задачі тепловіддачі з поверхні, яка перебуває під джерелом, для компенсації якої необхідно в рішення ввести третій член.

У підсумку приходять до рішення у вигляді нескінченного ряду.

Ми можемо уникнути підсумовування цього ряду за допомогою наступного прийому.

Величина потоку тепла в круг можна розглядати відразу як невідому величину і визначати її з величини температури в зоні різання, яка визначається експериментально.

Введена таким чином величина враховує всі компенсації зразу, тому немає необхідності в нескінченному підсумовуванні, але при цьому неможливо визначити долю тепла, що проникає в круг.

Оскільки ця частина задачі вирішена, то використаємо в подальшому даний приклад.

Вираз з граничними умовами трьохмірний.

Як добре відомо, функція Гріна трьохмірної задачі рівна похідної функції Гріна одномірних задач, в яких враховані граничні умови по відповідній координаті.

Функція Гріна для відповідних одномірних задач відома:

$$G(x, x', \tau, \tau') = 2 \cdot \frac{l \frac{P_e \cdot x^2}{4 \cdot (\tau - \tau')} - B_i \int_0^\infty l \frac{P_e \cdot (x+y)^2}{4 \cdot (\tau - \tau')} + B_i \cdot y dy}{\sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot (\tau - \tau')}{P_e}}} \quad (2.53)$$

Тут враховано, що джерело плоске, тобто $x' = 0$

$$G(y, y', \tau, \tau') = \frac{l \frac{P_e (y' - y + \tau - \tau')}{4(\tau - \tau')}}{\sqrt{\frac{4\pi(\tau - \tau')}{P_e}}} \quad (2.54)$$

$$G(z, z', \tau, \tau') = 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} l \frac{-\alpha_n^2 \cdot \alpha_n^2 \cdot (\tau - \tau')}{P_e} \cdot \frac{(B_i^2 + \alpha_n) \cdot \cos \alpha_n \cdot \alpha_n \cdot z}{(B_i^2 + \alpha_n^2 \cdot \alpha_n^2) \cdot h + B_i} \cdot \int_0^h f(z) \cos \alpha_n \cdot \alpha_n \cdot \bar{z} \bar{z} \quad (2.55)$$

де враховано, що товщина круга $2 \cdot h$, $f(z')$ – розподіл температури по товщині круга в зоні різання.

Приймаємо, що $f(z') = 1$, і отримуємо:

$$G(z, z', \tau, \tau') = 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} l \frac{l \frac{\ln^2 \ln^2 (\tau - \tau')}{P_e} \cdot \sin \alpha_n \cdot \bar{h}}{\alpha_n} \cdot \frac{(B_i^2 + \alpha_n^2 \cdot \alpha_n^2) \cdot \cos \alpha_n \cdot \alpha_n \cdot z}{(B_i^2 + \alpha_n^2 \cdot \alpha_n^2) \cdot \bar{h} + B_i} \quad (2.56)$$

α_n визначається із вирішення наступного трансцендентного рівняння:

$$\text{ctg} \alpha_n = \frac{\alpha}{B_i} \quad (2.57)$$

Використовуючи ці функції Гріна, вираз для температури (безрозмірний) може бути записано в наступному вигляді:

$$T(x, y, z, \tau) = \frac{4 \cdot q}{c \cdot \rho \cdot T_k} \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^\pi d\bar{z} \int_0^l dy \int_0^\tau d\tau \cdot \frac{l \frac{P_e \cdot (y - y' + \tau - \tau')^2}{4(\tau - \tau')} \frac{\alpha_n^2 \cdot (\tau - \tau')}{P_e}}{4 \cdot (\tau - \tau')} \times \quad (2.58)$$

$$\times \frac{(B_i^2 + \alpha_n \cdot \alpha_n) \cdot \cos \alpha_n \cdot \alpha_n \cdot z - \sin \alpha_n \cdot h}{\alpha_n \cdot [(B_i^2 + \alpha_n^2 \cdot \alpha_n^2) \cdot h + 2 \cdot B_i]} \cdot \left[l \frac{P_e \cdot x^2}{4 \cdot (\tau - \tau')} - B_i \int_0^{-\infty} l \frac{P_e (x - x')}{4(\tau - \tau')} - B_i \cdot x' dx' \right]$$

2.4. Дослідження впливу конструкції бокових поверхонь абразивного армованого круга в якості робочого органу на протікання теплових процесів.

Зупинимось на впливі конструкції бічних (торцевих) поверхонь АК.

На практиці відомі круги з гладкими, профільованими і шорсткими, бічними поверхнями.

Гладка бічна поверхня найменш вдала, оскільки може призводити до заклинювання АК і його ламання.

Наявність на поверхні виїмок чи інших конфігурацій приводить до зменшення ефективної бічної поверхні, що знаходиться в пропилі і, отже, до зниження тертя по бічних поверхнях, на яке, за деякими даними витрачається до 70% потреб неушкодженої при різанні АК потужності.

У літературі відсутні дані про вплив западин на поверхні обертового диска на характер тепловіддачі з його поверхні, але із загальних міркувань можна побачити, що вплив западин на зміну характеру повітряного потоку-переходу ламінарного в турбулентний буде невелика.

Значно більше впливає на тепловіддачу наявність на поверхні шорсткості.

Вплив шорсткості на характер теплопередачі вивчалось багатьма авторами.

Встановлено, що наявність шорсткості може збільшити коефіцієнт тепловіддачі α до двох разів за рахунок переходу ламінарного потоку в турбулентний.

Однак, як вже зазначалося, при коефіцієнті $B_i > 0$ температура поверхні практично дорівнює температурі навколишнього повітря і для гладкої поверхні, і подальше збільшення числа B_i не веде до збільшення тепловіддачі.

Інша справа, якщо число B_i було нами вибрано оціночно, тому прямі вимірювання його не проводилися.

Тому на практиці можливо, що це число для гладкої поверхні менше 10^2 і температура поверхні АК не дорівнює температурі навколишнього повітря.

Перехід же до шорсткої поверхні призводить в такому випадку до переходу числа B_i через 10^2 , що повинно супроводжуватися зміною характеру рішення і, отже, до збільшення тепловіддачі з бічних поверхонь.

Однак, для такого радикального висновку, на жаль, не вистачає точних

даних про величину коефіцієнта α .

Більш привабливо наступне пояснення.

Як відомо, при зніманні стружки при різанні велика частина тепла виділяється не при самому різанні, а в процесі деформації стружки.

Тому при терті абразивних зерен, що знаходяться на бічній поверхні, відбувається деформація металу і виділяється тепло.

Тертя ж здійснюється внаслідок того, що тонкий абразивний круг можна уподібнити до балки, один з кінців якої закріпили (центр кола), а на інший (ріжуча кромка) впливає стискаюча (внаслідок подання) сила.

При цьому в балці збуджуються механічні коливання і коло коливається в межах пропилю, щільно притискаючись то однією, то іншою точкою бічної поверхні до поверхні пропилю.

Виділяється при цьому внаслідок тертя тепло може бути значним і, як наслідок, призводити до втрати кругом жорсткості.

Таким кругом різати вже не можна.

Наявність же на бічних поверхнях виступаючих зерен не усуває тертя.

Однак, ці зерна не стільки деформують деталь, наскільки його зрізають, при цьому частина тепла відводиться зі стружкою.

Проріз при цьому дещо ширше, коло виходить менш затиснутим.

Крім того, з нагрітою поверхнею різки стикається в даному випадку не вся бічна поверхня, а лише виступають зерна, тому теплопередачі в крутий менше. Внаслідок усього цього шорсткі круги не застряють, зносостійкість їх вище внаслідок зменшення теплового впливу, а втрати кругами жорсткості не відбуваються.

Одним з найбільш важливих критеріїв при різанні є довжина дуги контакту, тобто тій області на периферії круга, де виділяється тепло.

У роботі показано, що в зоні різання температура дорівнює T_k , но важливе значення має середня температура – по періоду обертання.

Очевидно, що чим вище ця температура, тим менше зносостійкість АК.

Середня температура може бути легко обчислена, якщо використовувати формулу:

$$T = \frac{T_k \cdot \tilde{l}}{2 \cdot \pi} + \int_{\tilde{l}}^{2\pi} T_N|_{x=0} dy \quad (2.59)$$

У цій формулі є два члена, на перший із яких, тобто T_k впливати способами різання можна лише незначно. Більш управляємий інший член, тому $T_N(x=0)$ дуже залежить від величини B_i . Тому з цієї формули одразу видно, що межа довжини дуги контакту при найбільш ефективному охолодженні ($B_i \rightarrow \infty$) дорівнює:

$$T_B = \frac{T_k \cdot \tilde{l}_{кр}}{2 \cdot \pi}$$

(2.60)

де T_B – температура руйнування бакелітової зв'язки.

При цьому охолодження вже не встигає понизити температуру ріжучої кромки, горіння її йде безперервно і знос круга вкрай великий.

З даної формули можна знайти максимально можливе критичне значення:

$$\tilde{l}_{кр} = \frac{l_{кр}}{R} \quad (2.61)$$

Довжина дуги контакту для даного круга:

$$\tau_{кр} = \frac{2 \cdot \pi \cdot T_B}{T_k} \quad (2.62)$$

Також потрібно враховувати, що існує два види різання за допомогою абразивних армованих кругів – сухе та вологе. Вологе різання використовується в першу чергу для обмеження кількості пилу. При різанні з подачею води в зону різання з метою обезпилення, температура матриці зменшується принципово, змінюючи механізм зношення круга. Результати порівняльних температурних випробувань при різанні без подачі води та з обезпиленням процесу різання показані на рисунку 2.10.

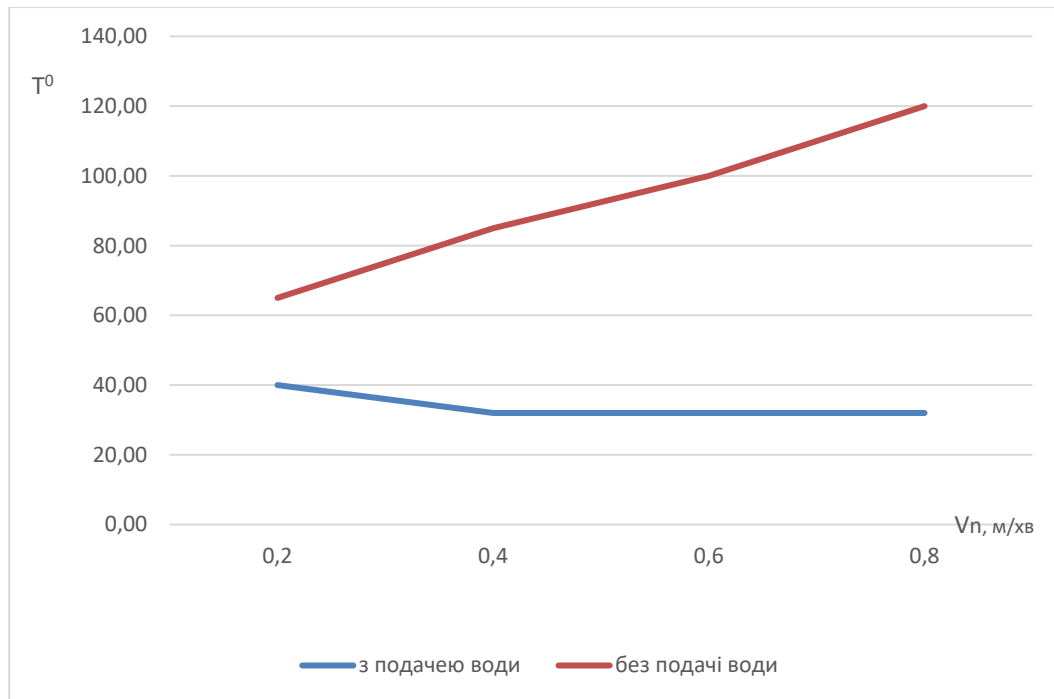


Рис. 2.10. Залежність температури зв'язки круга від швидкості подачі при постійній швидкості різання $V_p = 66$ м/с

Із графіка видно, що при роботі без подачі води температура підвищується на 40-400% в залежності від подачі. Під час подачі води в зону різання температура не значно змінюється від зусилля подачі в той час коли при роботі «на сухо» температура й подача істотно підвищується.

В процесі дослідження визначено [2-3], що величина температур на границі «зерно-зв'язка», яка забезпечує термомеханічний знос круга, повинна бути 400-500К. Виходячи з цього, було запропоновано використовувати модифікатор полімерної матриці. Для цього вибирались речовини, теплостійкість яких не перевищувала вказаних температур: полівінілацетат (ПВА) – 304К, полівініловий спирт (ПВС) 413К, полівінілформаль (ПВХ) – 365К, полівінілбутіраль (ПВБ) – 325К.

На першому етапі вони вводилися безпосередньо в склад абразивної маси після зволоження рідким бакелітом зерна. Виготовлені по такій технології круги під час випробовувань показали нестабільну роботу, так як не самогострюються в процесі різання.

В зв'язку з цим був розроблений новий спосіб виготовлення абразивних армованих кругів [64], який заключається в тому, що абразивні зерна попередньо покриваються 19-20% водяним розчином полівінілацетату в співвідношенні 0,8-5,4 г розчину на 1 кг зерна, який рівномірно розподілявся по поверхні зерен. При різанні кругами, виготовленими згідно з розробленою нами технологією, одночасно з механічним викришуванням абразивних зерен з полімерної матриці відбувається і її термічне руйнування, тобто механізм зносу термомеханічний.

Круги, модифіковані полівінілацетатом [64], працюють з самозагостренням і дозволяють виконувати різання гірських порід і вогнетривів міцністю до 60 МПа.

2.5 Дослідження силових параметрів при використанні абразивних армованих кругів для різання високоабразивних матеріалів

При дослідженні силових параметрів [4-7] приймаємо, що тангенціальна складова зусилля різання враховує ці процеси в цілому, а траєкторія руху будь-якої точки, розташованої на робочій поверхні абразивного круга, близька до кола, оскільки швидкість його подачі мала в порівнянні з окружною (рис.2.11).

Крім того, враховується, що руйнування оброблюваного матеріалу робиться тільки за рахунок дії тангенціальних сил, рівномірно розподілена по всій площі контакту.

Тангенціальні сили P_z рівномірно розподілені по усій площі контакту і пов'язані з нормальними P_y відношенням [6]:

$$P_z = K_m \cdot P_y \quad (2.63)$$

Робота затрачена на руйнування матеріалу при різанні і зачистці може бути визначена з залежностей

$$dA_o = P_z \cdot dl_k \quad (2.64)$$

або

$$dA_o = q_v dV = q_v \cdot H \cdot a_c dl_k \quad (2.65)$$

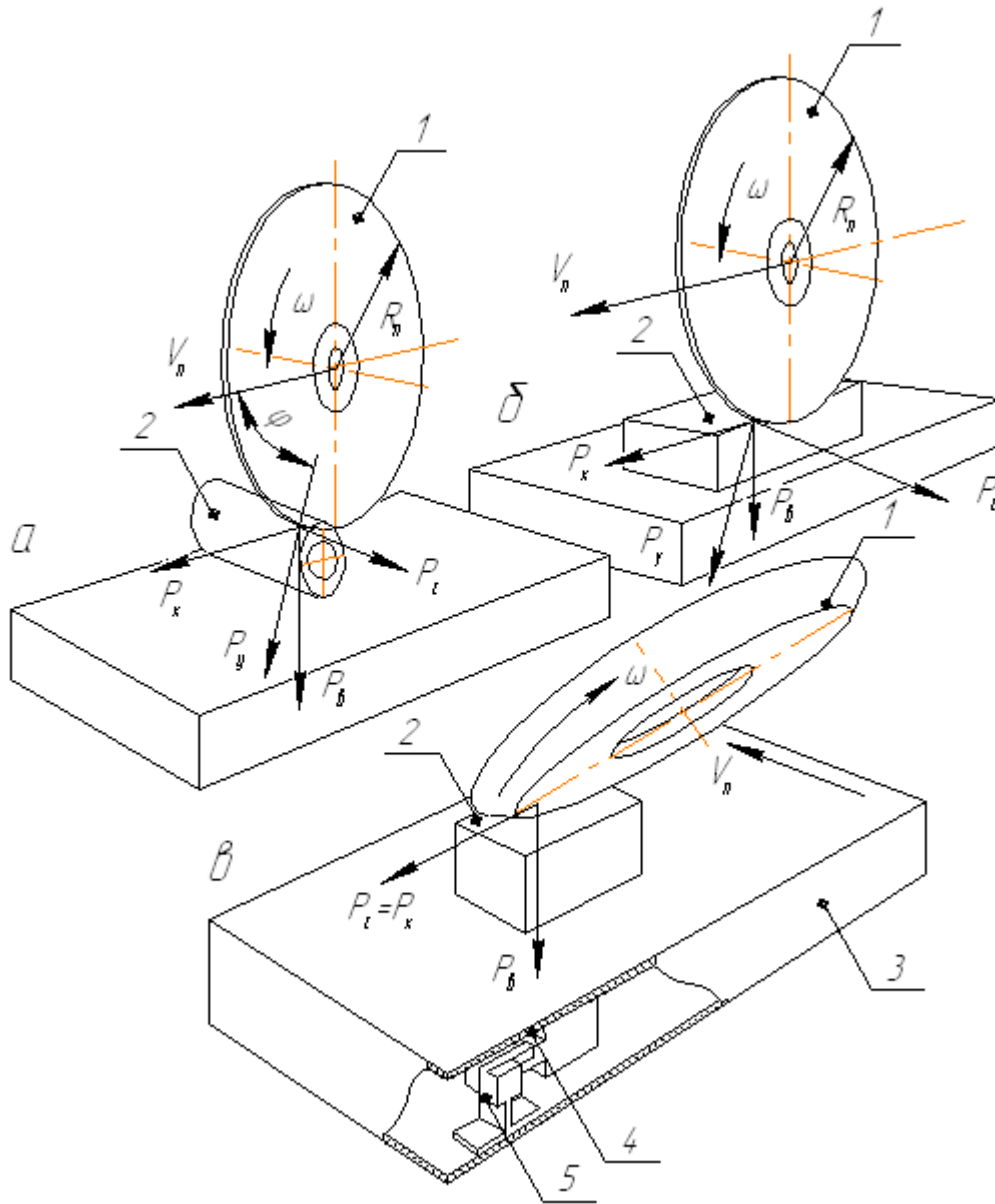


Рисунок 2.11. Схема розподілу зусиль, що діють на абразивний круг при різанні: а – труби; б – листового металу; в – зачистці

де q_v – коефіцієнт пропорційності (енергоємність), визначений експериментально і рівний потужності витрачається на руйнування одиничного об'єму матеріалу в одиницю часу;

dV – елементарний зруйнований об'єм матеріалу, m^3 ;

dl_k – елементарна довжина майданчика по дузі контакту, m

$$a_c = \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o dl_k \quad (2.66)$$

де a_c – глибина зрізу, що відповідає площадці поверхні l_k , м;

φ_o – центральний кут, що характеризує розмір зони контакту, рад.

Маємо

$$P_z = q_v \cdot H \cdot a_c \quad (2.67)$$

$$P_z = q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o dl_k \quad (2.68)$$

Враховуючи, що

$$\varphi_o = \frac{l_k}{R_0} \quad (2.69)$$

Отримуємо

$$P_z = q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \varphi_o dl_k \quad (2.70)$$

$$P_z = R_0 \cdot q_v \cdot H \cdot \frac{V_n}{V_p} \cdot \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0}\right) \quad (2.71)$$

Потужність, що витрачається на різання і зачистку, рівна

$$N = P_z \cdot V_p \quad (2.72)$$

$$N = R_0 \cdot q_v \cdot H \cdot V_n \cdot \left(1 - \cos \frac{l_k}{R_0}\right) \quad (2.73)$$

Довжину дуги контакту при зачистці периферією круга можна визначити по формулі:

$$l_{кзн} = R_0 \cdot \left(1 \pm \frac{v_n}{v_p}\right) \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{t_3}{R_0}\right)^2} \quad (2.73)$$

де t_3 – глибина врізання абразивного круга в оброблювальну поверхню, зв'язана зі зусиллям притискання P в відношенням.

$$t_3 = 0,28 \cdot 10^{-3} \cdot P_с \quad (2.74)$$

отриманим експериментально, м.

Потужність машини, що витрачається на подачу робочого органу

$$N_{ni\delta} = P_{ni\delta} \cdot v_n \quad (2.75)$$

$$P_{ni\delta} = -(P_{zv} + P_{yv}) \quad (2.76)$$

де P_{zv} і P_{yv} – відповідно сума проекції на вісь співпадаючу з напрямом подачі, тангенціальних і нормальних сил, Н.

Маємо

$$P_{zv} = -q_v \cdot H \cdot \frac{v_n}{v_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin \alpha_0 \cdot \cos \alpha_0 dl_k \quad (2.77)$$

$$P_{yv} = -q_v \cdot H \cdot \frac{v_n}{v_p} \cdot \int_0^{l_k} \sin^2 \alpha_0 dl_k \quad (2.78)$$

Після інтегрування і підстановки маємо

$$N_{ni\delta} = \frac{R_0}{2} \cdot q_v \cdot H \cdot \frac{v_n^2}{v_p} \cdot \left(\frac{l_k}{R_0} - \frac{1}{2} \sin \left(2 \frac{l_k}{R_0} \right) + \sin^2 \left(\frac{l_k}{R_0} \right) \right) \quad (2.79)$$

Видно, що потужністю, що витрачається на подачу робочого органу машини, можна нехтувати.

Експериментальна перевірка отриманих теоретичних залежностей проводиться на стендах.

Схеми розподілу зусиль, що діють на абразивний круг при різанні труб, листового металопрокату і зачистці, приведені на рисунку 2.11.

Вимір вертикальної P_y і горизонтальною P_x , що становлять зусилля різання, робиться за допомогою тензометричного столу.

Точка прикладення результуючих сил, що виникають в процесі різання, розташована на лінії яка сполучає центри круга і розпилювальної труби.

$$\varphi_{mp} = \arccos \left(\frac{R_0 - r_0}{R_0 + r_g} \right) \quad (2.80)$$

$$P_y = P_g \cdot \cos \varphi_{mp} + P_x \quad (2.81)$$

$$P_z = P_x \cdot \cos \varphi_{mp} + P_g \cdot \cos \varphi_{mp} \quad (2.82)$$

де r_0 – внутрішній радіус труби.

При різці матеріалів з постійною висотою силові параметри визначаються

із схеми:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2} \cdot \left[\pi - \arccos \left(1 - \frac{h}{R_0} \right) \right] \quad (2.83)$$

$$P_y = P_\theta \cdot \sin \varphi_1 + P_x \cdot \cos \varphi_1 \quad (2.84)$$

$$P_z = P_\theta \cdot \cos \varphi_1 + P_x \cdot \sin \varphi_1 \quad (2.85)$$

При зачистці

$$\begin{aligned} P_z &= P_x \\ P_y &= P_\theta \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (2.86)$$

При визначенні тангенціальних і нормальних зусиль у формули підставляються значення P_x і P_θ , отримані в процесі тензометрування і дуги контакту, що відповідають максимальній довжині.

Аналіз отриманих результатів показує, що основний вплив на величину потужності робить швидкість подачі.

Відсутність впливу окружної швидкості пояснюється тим, що P_z обернено пропорційно до V_p .

Зі збільшенням товщини зрізуваної стружки, тобто із зростанням швидкості подачі або зі зменшенням робочої швидкості, нормальні і тангенціальні зусилля збільшуються.

При цьому знижується енергоємність обробки, оскільки зменшується робота, що витрачається на диспергування зруйнованого матеріалу.

Встановлено, що при різанні і зачистці металу

$$K_{mp} = \frac{P_z}{P_y} = 0,35 \div 0,4$$

(2.87)

енергоємність

$$q_v = 3,6 \cdot 10^9 \text{ Дж} / \text{м}^3 \quad (2.88)$$

а неметалічних матеріалів відповідно

$$K_{mp} = \frac{P_z}{P_y} = 0,45 \div 0,5 \quad (2.89)$$

$$q_v = 6 \cdot 10^8 \text{ Дж} / \text{м}^3$$

(2.90)

Слід зазначити, що при виконанні зачисних операцій схема роботи визначається специфікою оброблюваного об'єкту.

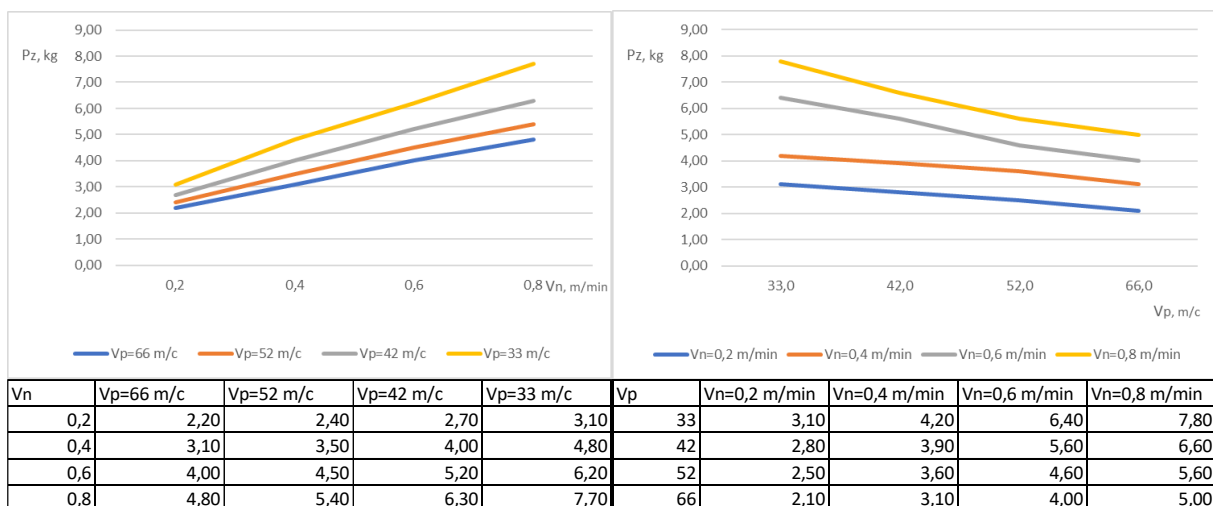
Так, наприклад, зачистку зварного шва доцільно робити бічною поверхнею внаслідок того, що в цьому випадку довжина дуги контакту максимальна.

В той же час необхідно також враховувати і вплив теплових процесів, тобто співвідношення часу проходження ділянкою круга зон нагріву і охолодження.

Встановлено, що сприятливий тепловий режим створюється у разі, якщо виконується умова

$$\frac{l_k}{R_0} \leq 0,2 \div 0,3 \quad (2.91)$$

На рисунку 2.12 показані залежності тангенціальних зусиль від робочих швидкостей (рис. 2.12 а), швидкості подачі (рис 2.13 б) і довжини дуги контакту



а)

б)

Рис. 2.12. Залежності тангенціальних зусиль: а) від робочої швидкості V_n ; б) швидкості подачі V_p .

Отримані результати за силовими параметрами використані при створенні приводних машин.

2.6. Висновки по розділу.

1. Досліджено механізм руйнування природного каменю при дії на нього абразивного робочого органу машини. Виявлення механізму руйнування природного каменю одиничними абразивними зернами при навантаженні відкриває шлях до визначення силових параметрів та режимів роботи машин для різання матеріалів.

2. В результаті досліджень теплових процесів при обробці матеріалів різанням враховані: пластичні деформації матеріалу в зоні основних пластичних деформацій, в результаті яких утворюється теплота деформації Q_0 ; тертя стружки по передній поверхні, в результаті якої утворюється теплота тертя по передній поверхні Q_{mn} абразивного зерна; тертя оброблюваного матеріалу по задній поверхні, в результаті чого утворюється теплота тертя по задній поверхні Q_{mz} абразивного зерна.

3. Отримані аналітичні залежності для визначення параметрів різання із урахуванням розподілу тепла в зоні взаємодії робочого органу і оброблювального матеріалу.

4. Здійснені аналітичні дослідження силових параметрів різання абразивними армованими кругами при руйнуванні і подоланню тертя між бічними поверхнями круга і матеріалом. Аналіз отриманих графіків (рис.2.13) показує, що при всіх значеннях колової швидкості різання залежності тангенціальної сили різання від швидкості подачі в межах від $V_n = 0,0005 \text{ м/с}$ до $V_n = 0,005 \text{ м/с}$ мають кривину, яка після значення швидкості подачі $V_n = 0,005 \text{ м/с}$ переходить в лінійну залежність.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МАШИНИ РІЗАННЯ ВИСОКОАБРАЗИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Програма експериментальних досліджень

З метою перевірки адекватності теоретичних досліджень проводяться експериментальні дослідження з наступним порівняльним аналізом результатів отриманих в процесі теоретичних і експериментальних досліджень.

Згідно з цим, програмою передбачено розгляд таких задач:

- визначення параметрів фізичної моделі;
- розробка конструкції фізичної моделі;
- експериментальне визначення характеру зміни кутової швидкості обертання абразивного круга установки;
- експериментальне визначення характеру зміни швидкості подачі абразивного круга в зону різання;
- експериментальне визначення тангенціальних зусиль різання абразивним армованим кругом високоабразивних матеріалів (вогнетривкої цегли).

Експериментальні дослідження проведені на розробленій фізичній дослідній моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом з регулюванням кутової швидкості обертання абразивного армованого круга та можливістю зміни швидкості подачі робочого органу в зону різання при постійній подачі води для обезпилювання процесу різання.

3.2. Побудова фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами.

Для проведення експериментальних досліджень, як правило, використовуються натурні об'єкти дослідження та їх моделі [41;53;54]. В

натурному експерименті засоби експериментального дослідження взаємодіють безпосередньо з об'єктом дослідження, а при модельному експерименті – з його змодельованим прототипом. При проведенні модельних експериментальних досліджень модель виступає як засіб експериментальних досліджень та безпосереднім об'єктом досліджень [42;43;66].

В наш час створення натуральної установки для різання високоабразивних матеріалів (вогнетривів) абразивним армованим кругом з метою проведення експериментальних досліджень привело б до значної затрати часу та коштів. Враховуючи це, постає задача створення фізичної моделі даної установки і проведення на ній повноцінних експериментальних досліджень.

3.2.1. Визначення параметрів фізичної моделі.

В якості критеріїв подібності для побудови фізичної моделі використовуються безрозмірні комплекси, які являють собою відношення відповідних складових рівнянь взаємодії робочого органу з середовищем реального об'єкта і моделі [41-44].

Використовуючи теорему подібності та фізичне моделювання [42], визначено умови подібності установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, в якій взаємодія робочого органу та робочого середовища описується рівнянням [6;7;17]:

$$N = K_z \cdot \frac{V_n^{1+x}}{V_p^y} \cdot \sigma_\epsilon \cdot H^{z_1} + K_n \cdot V_p^{x_1} \cdot \sigma_\epsilon \cdot H^{y_1}, \quad (3.1)$$

де N – потужність, що витрачається на процес взаємодії робочого органу з робочим середовищем; K_z – коефіцієнт, що залежить від складу абразивної маси круга, m ; x , x_1 , y , y_1 , z_1 – показники степені, які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем; σ_ϵ – тимчасовий опір одноосному стисканню породи, $\frac{H}{m^2}$; H – глибина різання, m ; V_n – швидкість подачі, $\frac{m}{c}$;

V_p – колова швидкість різання, $\frac{m}{c}$; K_n – коефіцієнт, що залежить від конструкції круга, m .

Колову швидкість різання можна представити через розміри робочого органу та кутову швидкість його обертання:

$$V_p = \omega \cdot \frac{d}{2}, \quad (3.2)$$

де d – діаметр робочого органу; ω – кутова швидкість обертання робочого органу.

Замінивши у формулі (3.1) колову швидкість різання V_p виразом (3.2), отримано:

$$N = K_z \cdot \frac{V_n^{1+x}}{\left(\omega \cdot \frac{d}{2}\right)^y} \cdot \sigma_\epsilon \cdot H^{z_1} + K_n \cdot \left(\omega \cdot \frac{d}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_\epsilon \cdot H^{y_1} \quad (3.3)$$

Для виконання умов подібності процесів, що відбуваються при взаємодії з середовищем фізичної моделі оригіналу робочого органу необхідне дотримання рівності геометричних і динамічних критеріїв подібності [41;42;68;69]. При цьому параметри натурального процесу взаємодії робочого органу та робочого середовища записано через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності:

$$\begin{aligned} N_H &= \lambda_N \cdot N_M; & K_{zH} &= \lambda_{K_z} \cdot K_{zM}; & V_{nH} &= \lambda_{V_n} \cdot V_{nM}; \\ \omega_H &= \lambda_\omega \cdot \omega_M; \\ d_H &= \lambda_d \cdot d_M; & \sigma_{\epsilon H} &= \lambda_{\sigma_\epsilon} \cdot \sigma_{\epsilon M}; & H_H &= \lambda_H \cdot H_M; \\ K_{nH} &= \lambda_{K_n} \cdot K_{nM}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

де $N_H, K_{zH}, V_{nH}, \omega_H, d_H, \sigma_{\epsilon H}, H_H, K_{nH}$ – параметри натурної установки;

$N_M, K_{zM}, V_{nM}, \omega_M, d_M, \sigma_{\epsilon M}, H_M, K_{nM}$ – параметри фізичної моделі;

$\lambda_N, \lambda_{K_z}, \lambda_{V_n}, \lambda_\omega, \lambda_d, \lambda_{\sigma_\epsilon}, \lambda_H, \lambda_{K_n}$ – відповідні коефіцієнти подібності.

Тоді можна записати рівняння, подібні рівнянню (3.3), для натурної установки та її моделі, які мають вигляд:

$$N_H = K_{zH} \cdot \frac{V_{nH}^{1+x}}{\left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\epsilon H} \cdot H_H^{z_1} + K_{nH} \cdot \left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\epsilon H} \cdot H_H^{y_1}; \quad (3.5)$$

$$N_M = K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{z_1} + K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{y_1}. \quad (3.6)$$

Виходячи з подібності моделі і натурної установки, поділено відповідні доданки рівнянь (3.5) і (3.6) між собою і записано співвідношення:

$$\frac{N_H}{N_M} = \frac{K_{zH} \cdot \frac{V_{nH}^{1+x}}{\left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\epsilon H} \cdot H_H^{z_1}}{K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{z_1}} = \frac{K_{nH} \cdot \left(\omega_H \cdot \frac{d_H}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\epsilon H} \cdot H_H^{y_1}}{K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{y_1}}. \quad (3.7)$$

Використавши для цих співвідношень параметри натурального процесу через параметри фізичної моделі та коефіцієнти подібності (4), отримано:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_N \cdot N_M}{N_M} &= \frac{(\lambda_{K_z} \cdot K_{zM}) \cdot \frac{(\lambda_{V_n} \cdot V_{nM})^{1+x}}{\left[(\lambda_{\omega} \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}\right]^y} \cdot (\lambda_{\sigma_{\epsilon}} \cdot \sigma_{\epsilon M}) \cdot (\lambda_H \cdot H_M)^{z_1}}{K_{zM} \cdot \frac{V_{nM}^{1+x}}{\left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^y} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{z_1}} = \\ &= \frac{(\lambda_{K_n} \cdot K_{nM}) \cdot \left[(\lambda_{\omega} \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}\right]^{x_1} \cdot (\lambda_{\sigma_{\epsilon}} \cdot \sigma_{\epsilon M}) \cdot (\lambda_H \cdot H_M)^{y_1}}{K_{nM} \cdot \left(\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}\right)^{x_1} \cdot \sigma_{\epsilon M} \cdot H_M^{y_1}}. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Згрупувавши у рівності (3.8) параметри за розмірностями, отримано:

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_N \cdot N_M}{N_M} &= \left(\frac{\lambda_{K_z} \cdot K_{zM}}{K_{zM}}\right) \left(\frac{\lambda_{V_n} \cdot V_{nM}}{V_{nM}}\right)^{1+x} \left[\frac{\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}}{(\lambda_{\omega} \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}}\right]^y \left(\frac{\lambda_{\sigma_{\epsilon}} \cdot \sigma_{\epsilon M}}{\sigma_{\epsilon M}}\right) \left(\frac{\lambda_H \cdot H_M}{H_M}\right)^{z_1} = \\ &= \left(\frac{\lambda_{K_n} \cdot K_{nM}}{K_{nM}}\right) \cdot \left[\frac{(\lambda_{\omega} \cdot \omega_M) \cdot \frac{(\lambda_d \cdot d_M)}{2}}{\omega_M \cdot \frac{d_M}{2}}\right]^{x_1} \cdot \left(\frac{\lambda_{\sigma_{\epsilon}} \cdot \sigma_{\epsilon M}}{\sigma_{\epsilon M}}\right) \cdot \left(\frac{\lambda_H \cdot H_M}{H_M}\right)^{y_1}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Скоротивши вирази в рівності (3.9), отримано співвідношення між

коефіцієнтами подібності:

$$\lambda_N = \frac{\lambda_{K_z} \cdot \lambda_{V_n}^{1+x} \cdot \lambda_{\sigma_\epsilon} \cdot \lambda_H^{z_1}}{(\lambda_\omega \cdot \lambda_d)^y} = \lambda_{K_n} \cdot (\lambda_\omega \cdot \lambda_d)^{x_1} \cdot \lambda_{\sigma_\epsilon} \cdot \lambda_H^{y_1}. \quad (3.10)$$

Розділивши всі елементи рівності (3.10) на λ_N , отримано систему рівнянь:

$$\frac{\lambda_{K_z} \cdot \lambda_{V_n}^{1+x} \cdot \lambda_{\sigma_\epsilon} \cdot \lambda_H^{z_1}}{\lambda_N \cdot \lambda_\omega^y \cdot \lambda_d^y} = 1; \quad \frac{\lambda_{K_n} \cdot \lambda_\omega^{x_1} \cdot \lambda_d^{x_1} \cdot \lambda_{\sigma_\epsilon} \cdot \lambda_H^{y_1}}{\lambda_N} = 1. \quad (3.11)$$

Система з двох рівнянь (3.11) зв'язує між собою вісім невідомих величин. Шість з цих величин можна задати довільно, а дві величини, що залишилися, можна визначити з системи рівнянь (3.11). Оскільки передбачається, що процес взаємодії робочого органу з робочим середовищем на фізичній моделі та на натурній установці ідентичні, приймаємо коефіцієнт подібності, що впливає на тимчасовий опір одноосному стисканню породи $\lambda_{\sigma_\epsilon} = 1$. Абразивний армований круг для фізичної моделі та натурної установки виготовляється за однією методикою та рецептурою [70-73], що дозволяє прийняти значення коефіцієнтів подібності, які впливають на склад абразивної маси круга та на його конструкцію $\lambda_{K_z} = 1$ та $\lambda_{K_n} = 1$. З конструктивних міркувань було задано коефіцієнти подібності $\lambda_d = 3,2$, $\lambda_N = 2,5$ та $\lambda_{V_n} = 1$.

Значення показників степенів системи рівнянь (3.11), які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем, прийнято з врахуванням праць [3.5-3.7]: $x = 0,75$, $x_1 = 0,7$, $y = 0,75$, $y_1 = 0,75$, $z_1 = 0,7$.

Підставивши задані коефіцієнти подібності та значення показників степенів в систему рівнянь (3.11), було визначено величини коефіцієнтів, що залишилися $\lambda_\omega = 0,312$ та $\lambda_H = 2,857$.

Отримані співвідношення дають можливість побудувати фізичну модель установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, що буде подібна натурній установці для різання високоабразивних матеріалів.

3.2.2. Розробка конструкції фізичної моделі.

В якості фізичної моделі установки з врахуванням коефіцієнтів подібності та передбачених задач досліджень було доопрацьовано динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА [40-44;86] для дослідження процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом (рис. 3.1), що дозволяє провести повноцінні експериментальні дослідження з врахуванням всіх чинних факторів взаємодії робочого середовища та робочого органу під час різання з подачею води в зону різання для забезпечення робочого процесу. Кінематична схема лабораторного стенду зображена на рис. 3.2.

Лабораторний стенд, що дозволяє виконувати динамометричні вимірювання, має таку будову: станина 1, на якій на направляючих балках за допомогою роликів 2 встановлено візок 3, до нього через тензометричні балки 4 і 5 закріплено утримувач 6, в якому через адаптер 7 закріплено ручну кутову шліфувальну машину потужністю $N = 2,2 \text{ кВт}$ з абразивним армованим кругом діаметром $d = 125 \text{ мм}$ та частотою обертання $n = 3000 \dots 11000 \text{ об/хв}$. Візок 3 оснащений механізмом підйому та опускання 8 з рукояткою 9. Можливість горизонтального переміщення візка 3 здійснена за допомогою передачі гвинт-гайка 11, клинопасової передачі 12 з передаточним числом $u = 2,5$ та електродвигуна 13 потужністю $N = 2,5 \text{ кВт}$ і частотою обертання ротора $n = 980 \text{ об/хв}$ з пультом керування 14 та кінцевими вимикачами 15. На візку 3 встановлено механізм тарування 16 для горизонтальної балочки 5 та механізм тарування 17 для вертикальної балочки 4. На монтажній поверхні 18, за допомогою механічних лещат 19, жорстко закріплюється дослідний матеріал 20.



Рис. 3.1. Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА.

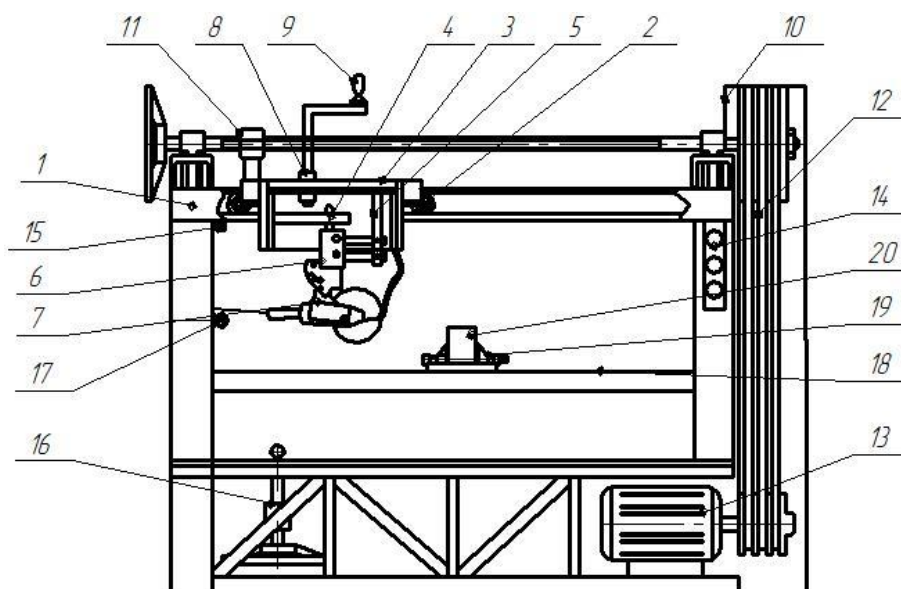


Рис. 3.2. Кінематична схема лабораторного стенда.

Адаптер дозволяє встановити на візок кутову шліфувальну машину з абразивним армованим кругом в якості робочого органу у режимі різання, як представлено на рис 3.3. Для подачі води в зону різання використовувалось додатково встановлене сопло з можливістю регулювання кількості подачі води з

приводом від електродвигуна.



Рис. 3.3 Встановлення дослідного зразка на стенді

Представлений лабораторний стенд дозволяє проводити повноцінні експериментальні дослідження по визначенню силових параметрів процесу взаємодії робочого органу з робочим середовищем, а саме: абразивний армований круг для різання високоабразивних матеріалів міцністю до 60МПа та вогнетривкої цегли.

3.3. Вимірювально-реєструюче обладнання для визначення параметрів фізичної моделі.

Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА [74] доопрацьовано для дослідження фізичної моделі процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом зображений на рисунку 3.4.



Рис. 3.4. Динамометричний візок.

На бокових поверхнях тензобалки 1 наклеєні тензодатчики Д1-Д4, що реєструють дотичну силу P , яка діє на абразивний армований круг. На горизонтальній тензобалці 2 – тензодатчики Д5-Д8, що реєструють нормальну силу N , яка діє під час різання вогнетривкої цегли на абразивний армований круг (рис. 3.5) [67; 74].

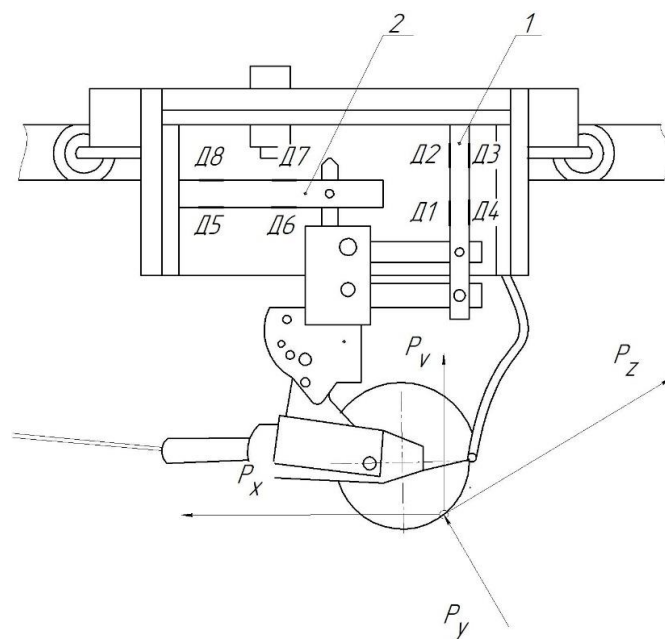


Рис. 3.5. Схема розташування тензодатчиків на динамометричному візку.

Групи тензодатчиків включено в електричні мостові схеми, що показані на рисунку 4. Сила різання через конструкцію абразивного армованого круга передається тензодатчикам, деформації яких трансформуються в зміну опору вимірювальних елементів, так у всіх мостових схемах з'являється розбаланс.

В основу методів вимірювання датчиками опору покладений тензометричний ефект – зміна електричного (тобто омичного) опору металевого дроту датчика при його пружній деформації [72;79].

Датчики наклеєні на поверхню тензометричної балки, що деформується, полімерним клеєм по спеціальній технології. При проходженні через датчики електричного струму в результаті деформації тензометричної балки змінюється опір датчиків. В результаті зміниться напруга в електричному ланцюзі. Оскільки деформація пропорційна силам, які її викликають, то їм буде пропорційна зміна напруги струму в електричному колі.

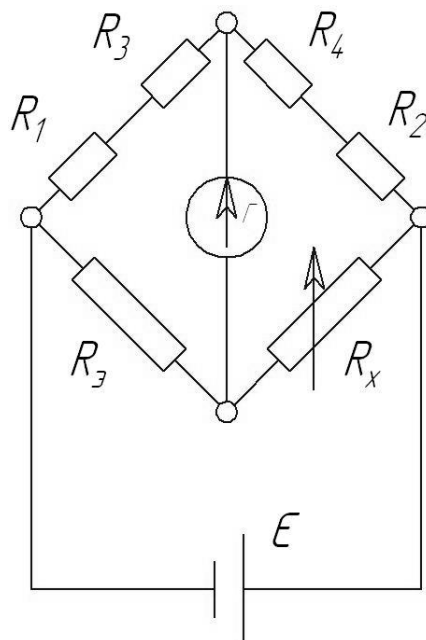


Рис. 3.6. Схема з'єднання тензометричних датчиків у вимірювальні мости.

Датчики з'єднуються в мостову схему. В даному випадку на кожен тензометричну балочку (рисунок 3.5) наклеєно по чотири датчики, які одночасно

виконують функції робочих та компенсаційних датчиків. Таке підключення датчиків дозволяє реєструвати тільки різницю напруги на базовій ділянці балочки l_i , замкненій між датчиками.

Станові балансу тензометричних схем (рисунок 3.6) вимірювання дотичної та нормальної складової сил, що діють на абразивний армований круг та відповідають рівності:

$$(R_1 + R_3)R_x = (R_2 + R_4)R_9; \quad (3.12)$$

$$(R_5 + R_7)R_x = (R_6 + R_8)R_9; \quad (3.13)$$

де $R_{1...8}$ – опір тензодатчиків (плечі моста опору); R_9 – еталонний опір; R_x – вимірювальний опір.

В комплект вимірювальної апаратури (рисунок 3.7) входить: блок живлення 1; кабель живлення 2; модуль АЦП (аналого-цифровий перетворювач); шестиканальний підсилювач та мікроконтролерний блок керування 3; кабель передачі сигналу (інтерфейс SCI – Serial Communication Interface) 4; та персональний комп'ютер (надалі ПК) 5.

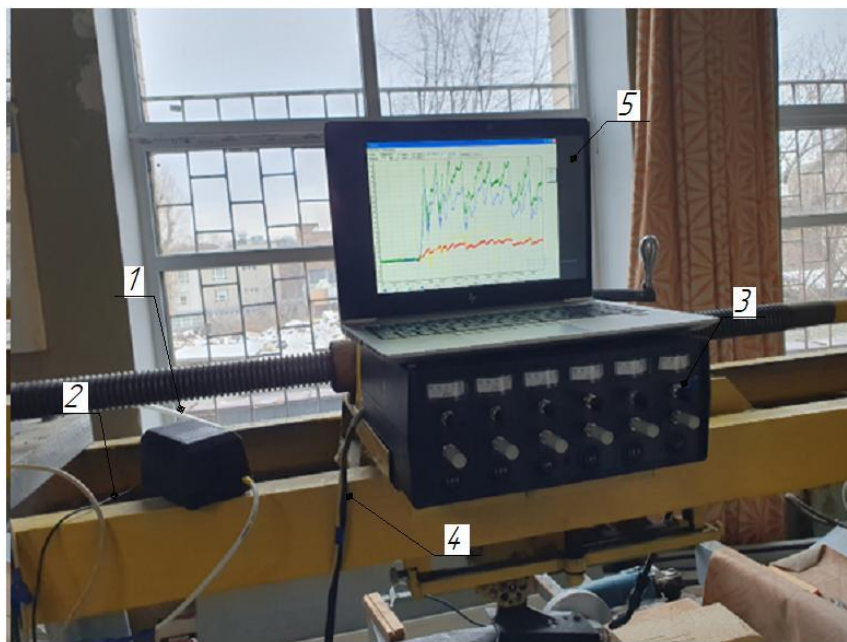


Рис. 3.7. Комплект вимірювальної апаратури.

Сигнал розбалансу моста з включенням тензодатчиків підсилюється за допомогою інструментальних операційних підсилювачів (рисунок 3.8), увімкнених за схемою диференціального підсилювача (рисунок 3.9) з погашенням синфазних перешкод.

Завдяки цьому вдається підсилити дуже малий рівень електричних коливань з уникненням зростання паразитних шумів та прямою передаточною характеристикою. Також, завдяки включенню за такою схемою, вдається уникнути дрейфу нуля, який притаманний звичайним схемам операційних підсилювачів.

За умови $R_4 R_7 = R_5 R_6$ передаточну функцію можна представити у вигляді:

$$U_{вих} = \frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_3}{R_2} \right) (U_{вх2} - U_{вх1}). \quad (3.14)$$

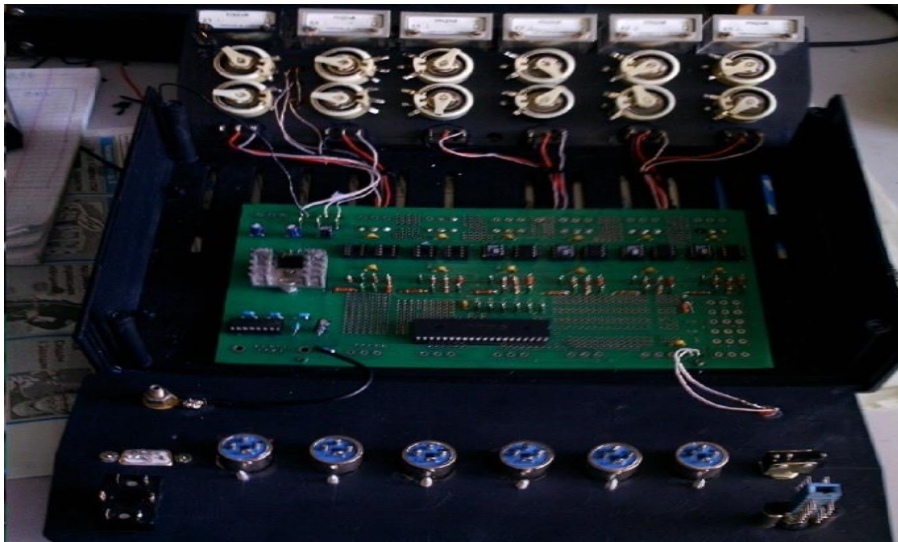


Рис. 3.8. АЦП з блоком підсилювачів.

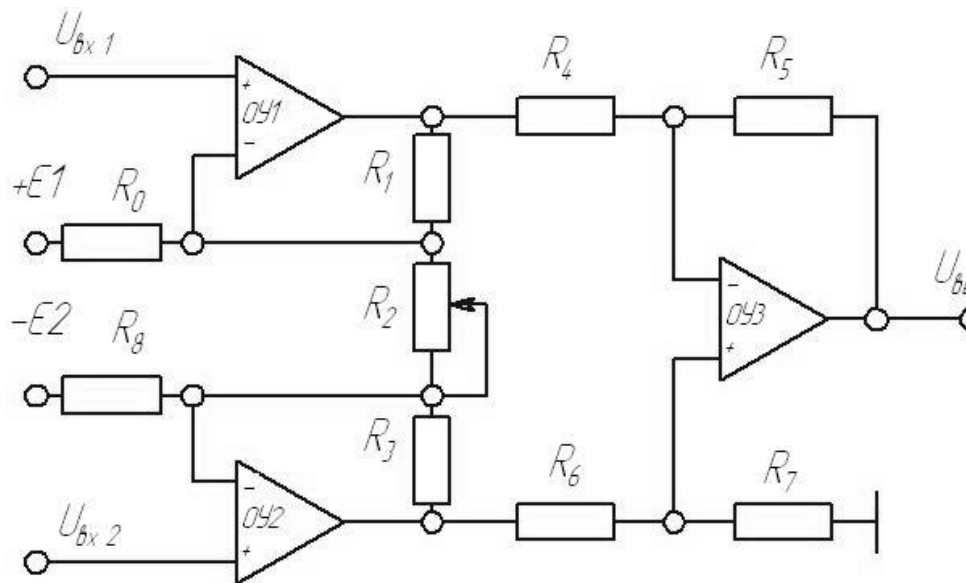


Рис. 3.9. Схема диференціального підсилювача.

Відмінною особливістю розглянутої схеми є повна незалежність регулювання коефіцієнта підсилення від виконання умови.

В якості операційних підсилювачів використані сучасні інструментальні підсилювачі виробництва Analog Devices.

Підсилений сигнал подається на модуль АЦП для подальшої обробки. Прилад працює в двох режимах з коефіцієнтом підсилення сигналу 1 та 2.

В якості АЦП використаний 10-ти розрядний модуль, який входить до складу мікроконтролера сімейства PIC (Peripheral Interface Controller) (рисунок 3.10).

Час перетворення АЦП для запропонованого контролера визначається за формулою:

$$T_{AD} = N \cdot T'_{AD} + (11 - n)(2T_{OSC}), \quad (3.15)$$

де T'_{AD} – час аналого-цифрового перетворення на один біт (рекомендовано $1,6 \cdot 10^{-6}$); n – кількість розрядів АЦП; T_{OSC} – тривалість одного такту синхронізуючих імпульсів.

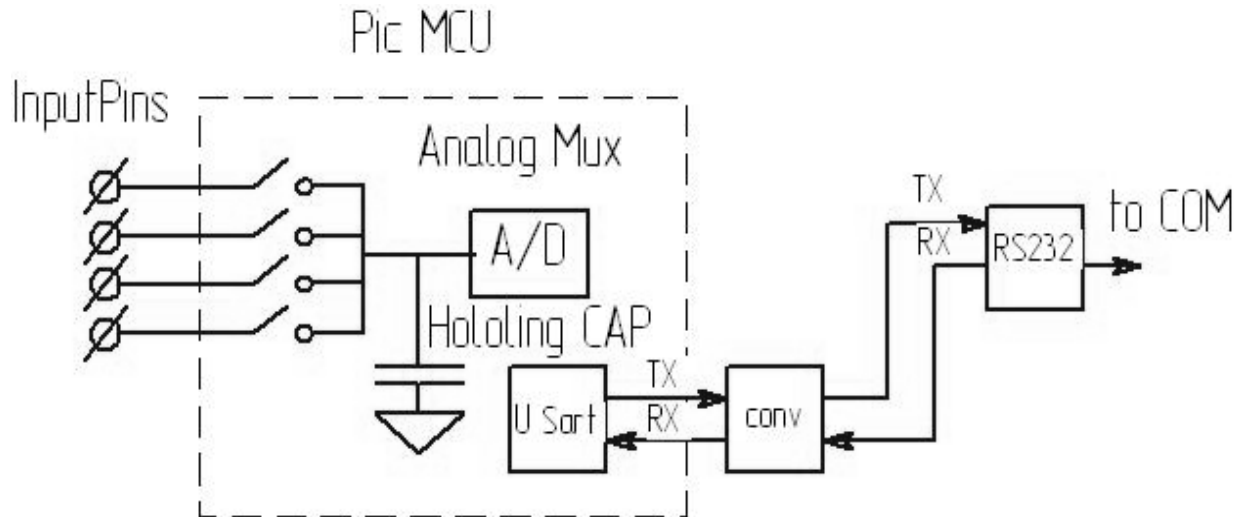


Рис. 3.10. Загальна схема пристрою для АЦП.

В середньому при частоті тактового генератора 20 МГц час перетворення по одному каналу складає $17,6 \cdot 10^{-6}$.

При цьому точність перетворення залежить від кроку квантування, який слід розрахувати за формулою:

$$\Delta_u = \frac{U_{REF}}{2^n}, \quad (3.16)$$

де U_{REF} – опорна напруга (5В);

$$\Delta_u = \frac{5}{2^{10}} = \frac{5}{1024} = 4.9mB \quad (3.17).$$

Інтерфейс RS232 має нетипові рівні напруг, тому для узгодження з рівнями інтерфейсу мікроконтролера необхідно використовувати перетворювач CONV (рисунок 3.10).

Цифровий сигнал подається на ПК для подальшої обробки за допомогою спеціально написаної програми, під назвою “Tenzo Cut” [78].

В результаті відбувається реєстрація сигналу в реальному часі та виведення його на екран у вигляді графіка (рис. 3.11).

Програма дозволяє:

- одночасно реєструвати дані з двох груп датчиків (рис. 3.11);

- приводити дані до загальної ординати зображення (рис. 3.12);
- проводити тарування, тобто перехід від ординати зображення до сили, що діють на абразивний армований круг (рис. 3.13);
- обробляти дані (знаходити середнє значення та середньоквадратичне відхилення на заданому проміжку) (рис. 3.14);
- зберігати дані в файлі на будь-якому етапі реєстрації та обробки;
- зберігати дані у вигляді таблиці чисел для подальшої обробки іншими програмами аналізу табличних даних (наприклад, Origin або Microsoft Excel).

Розроблене високотехнологічне вимірювально-реєструюче обладнання дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати точні оцінки взаємодії високоабразивної цегли з абразивним армованим кругом та дає можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що позбавить від трудомісткого процесу обробки даних.

Швидкість подачі абразивного армованого круга в зону різання встановлювалась за допомогою підключення привідного електродвигуна через частотний перетворювач «Freson» FR150A, схема підключення якого зображена на рисунку 3.15 [34].

Швидкість подачі робочого органу в зону різання V_n , визначається залежністю:

$$V_n = \frac{n_d P_z}{60 \cdot u_{к.п.}}, \quad (3.18)$$

де $u_{к.п.}$ – передаточне відношення клинопасової передачі; n_d – частота обертання валу двигуна; P_z – крок гвинта гвинтової передачі.

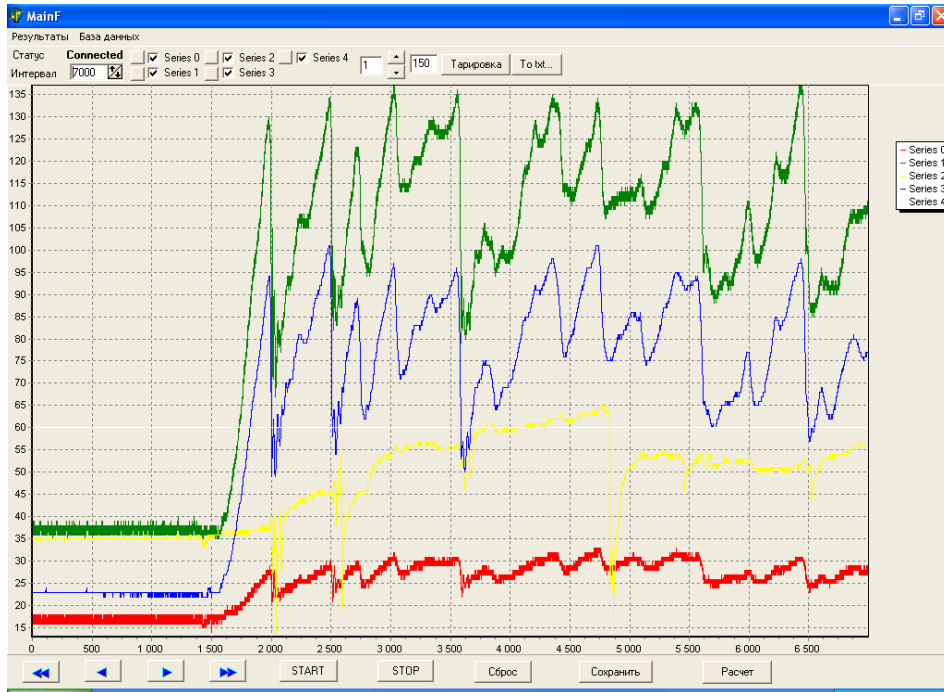


Рис. 3.11. Вигляд відтвореного сигналу на екрані.

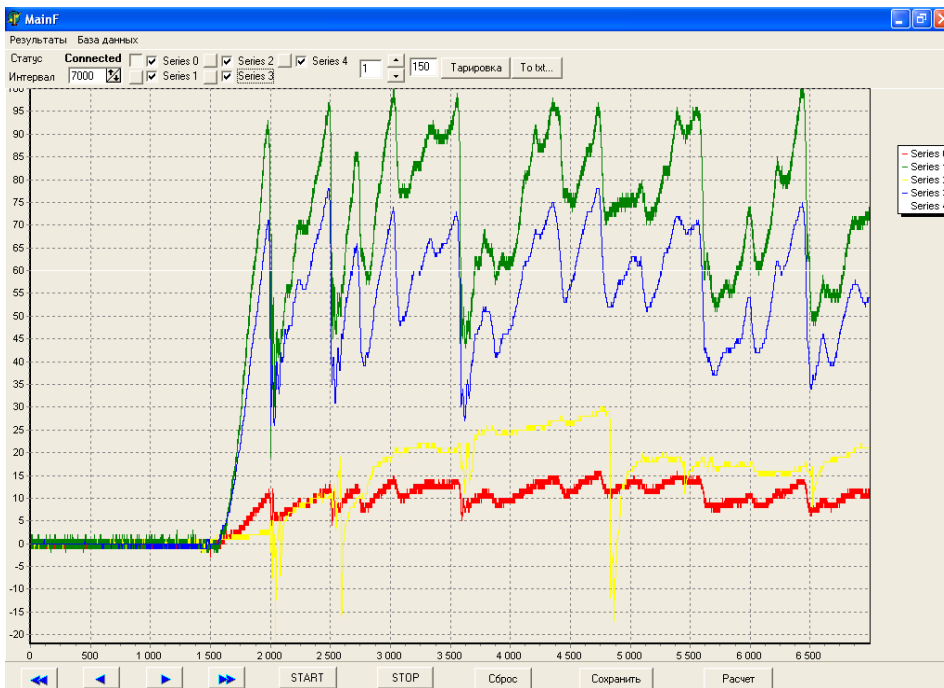
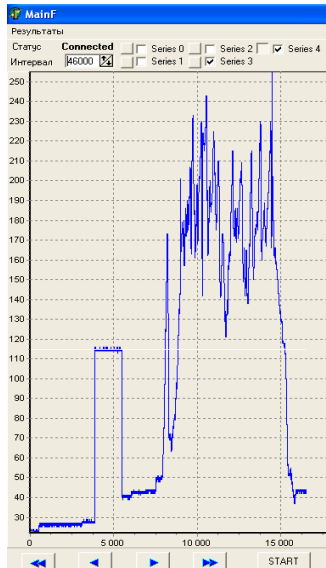
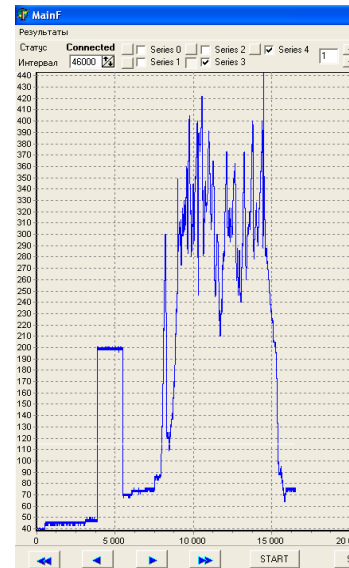


Рис. 3.12. Приведення даних до загальної ординати зображення.



а)



б)

Рис. 3.13. Тарування: а) до тарування, б) після тарування.

Розрахункові параметри		
	Середнє	Ср квадрат
Series 0	298,76718139	105,77115631
Series 1	148,48109436	56,751689910
Series 2	-77,272346498	128,64126586
Series 3	315,77423095	82,235198974
8000	14400	Розрах

Рис 3.14. Вікно «Розрахункові параметри» з результатами обрахунків.

Регулювання швидкості подачі виконувалось за допомогою зміни частоти струму двигуна f від якої залежить синхронна частота (частота обертання магнітного поля):

$$n_{\phi} = \frac{60f}{p}, \quad (3.19)$$

а частота обертання валу електродвигуна визначається наступним чином:

$$n_g = n_d \cdot k_k, \quad (3.20)$$

де k_k – ковзання електро двигуна [92].

Технічна характеристика електродвигуна представлена в таблиці 3.1.

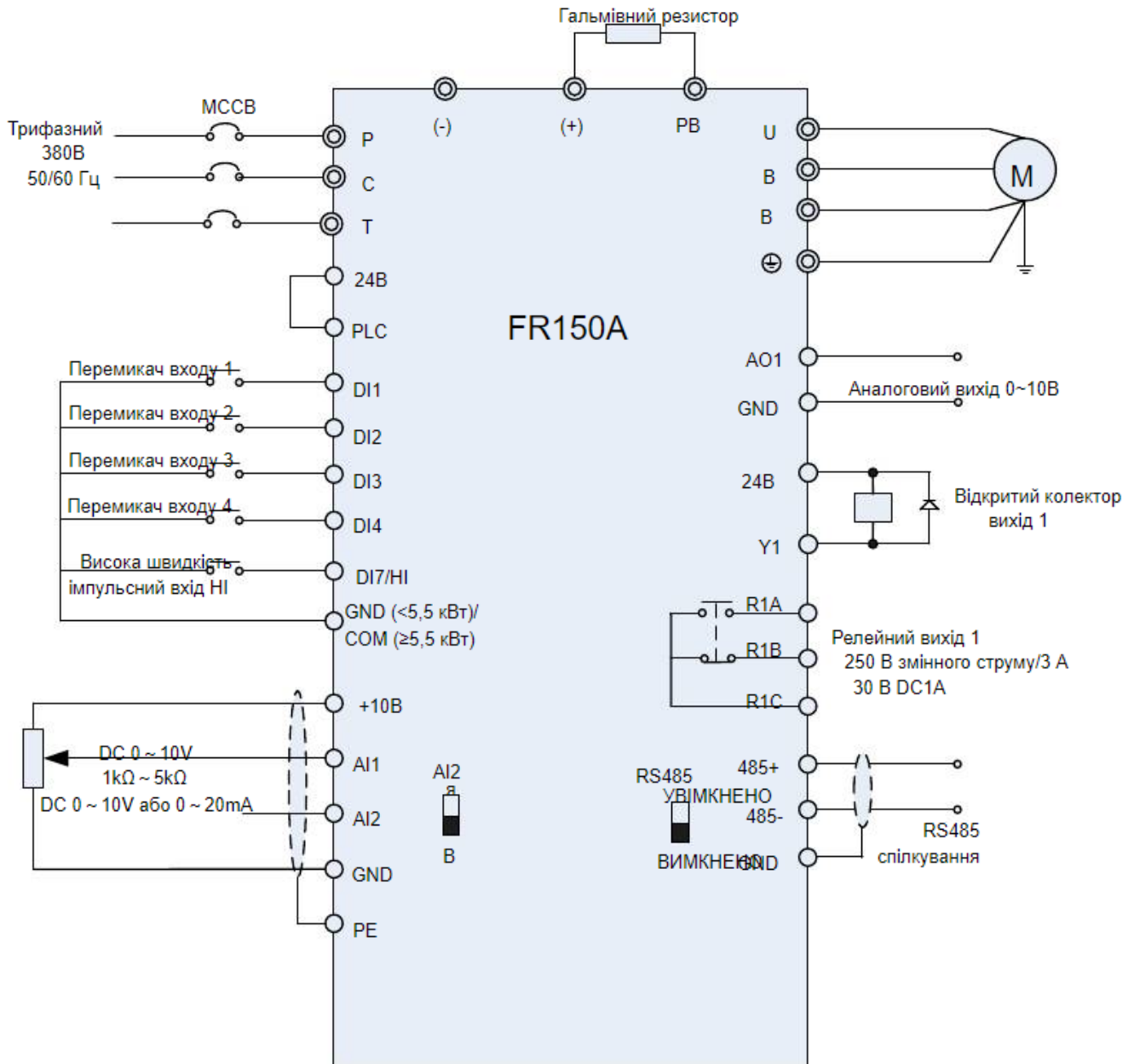


Рис. 3.15. Схема підключення трифазного інвертора 380 В.

Таблиця 3.1. Технічна характеристика електродвигуна.

Типо-розмір двигуна	Потужність, кВт	Ковзання %	Кількість пар	ККД, %	$\cos \varphi$	$M_{\max}/M_{\text{ном}}$ Нм	$M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$ Нм	$M_{\text{мін}}/M_{\text{ном}}$ Нм	$I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$ А
4A100L6Y3	2,2	5,1	3	81	0,7 3	2.2	2	1,6	5,5

Таким чином, задавши відповідну частоту струму за допомогою перетворювача частоти «Freson» FR150A ми досягаємо необхідної швидкості подачі робочого органу в робочу зону.

Кількість обертів абразивного армованого круга встановлювалась за допомогою регулятора приводної машини, в якості якої використовувалась ручна кутошліфувальна машина (рис. 3.16) [38]. Вимірювання кількості обертів виконувалось за допомогою цифрового фототахометра (рисунок 3.17) [39].



Рис. 3.16. Регулятор обертів на кутошліфувальній машині.



Рис. 3.17. Фототахометр.

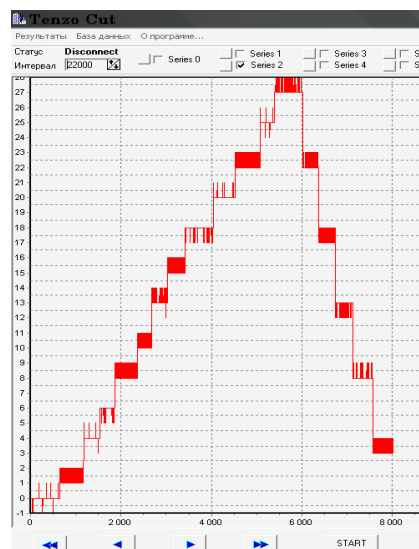
Тарування тензометричних балок перед проведенням дослідів (рис. 3.18) проводилось механічним навантаженням в напрямку кожної із складових повної сили різання за допомогою динамометра.

Динамометр одним фіксатором закріплювався до механізму тарування, а іншим – до тензобалки. За допомогою механізму пересування проводилось навантаження та фіксація сигналу реєструючою апаратурою [72].

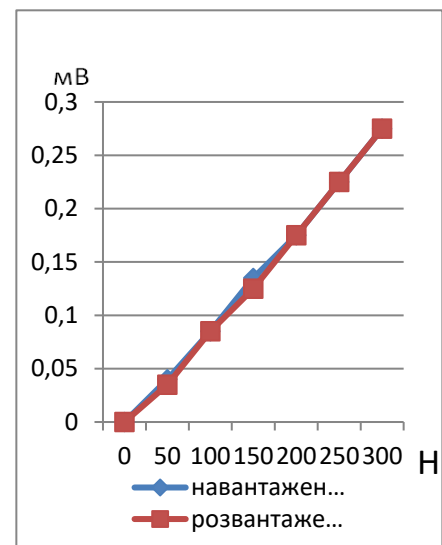
На рисунку 3.18, в зображений графік тарування тензобалок, де показано залежності величини сигналу від величини зусилля при навантаженні та розвантаженні.



а)



б)



в)

Рис. 3.18. Тарування тензометричних балок: а) покази динамометра на стенді; б) осцилограма; в) графік тарування.

Завдяки застосуванню запроектованим та розробленим: високоточній системі керування подачі робочого органу та високотехнологічному вимірювально-реєструючому обладнанню, яке дозволяє швидко і без повторювань з першочергових даних отримувати достатньо точні при відносному відхиленні $\Delta_x=0,1$ оцінки взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом та дало можливість обробляти їх за допомогою сучасного програмного забезпечення, що позбавило від трудомісткого процесу обробки даних. Це дало можливість мінімізувати число вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів досліду з вірогідністю отриманих даних від 0,90 до 0,95.

3.4. Планування експерименту та методика обробки даних експериментальних досліджень.

Оцінка взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом здійснювалась за основою однофакторного експерименту завдяки застосуванню високотехнологічного вимірювально-реєструючого обладнання, що дозволило швидко з першочергових даних отримувати точні результати.

Обробка осцилограм полягала у визначенні середньомаксимальної ординати сили різання P та знаходження її середнього значення.

Необхідне число повторень дослідів для визначення однофакторної залежності визначалося з рівняння [75]:

$$P^* \left\{ \left| \Delta_x \right| \leq \frac{z}{\sqrt{n}} W_x \right\} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (3.21)$$

де P^* – ймовірність виконання нерівності у фігурних дужках; Δ_x – відношення відхилення емпіричного середнього значення випадкової величини x від його істинного середнього значення; n – число вимірів величини x ; W_x – коефіцієнт

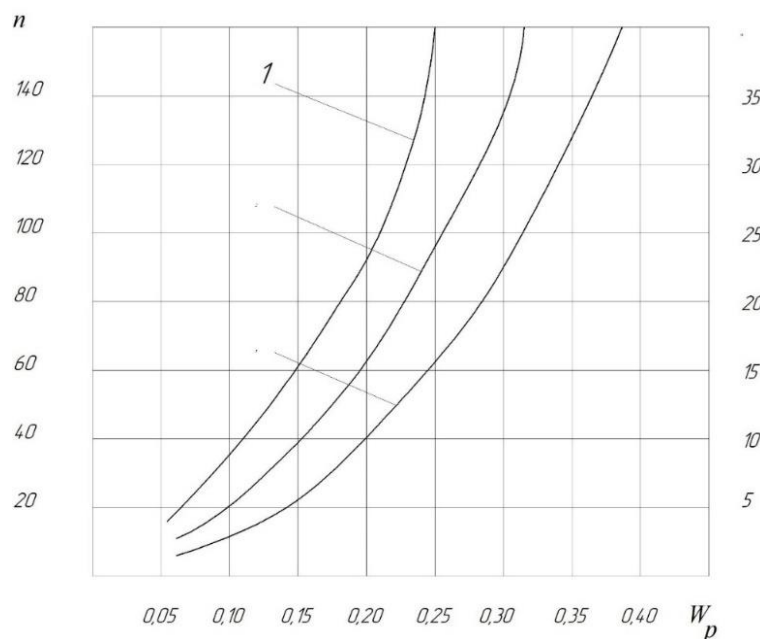
варіації величини x ; z – верхня межа інтегралу ймовірності, що характеризує ймовірність влучення середнього значення в заданий довірчий інтервал.

З виразу (3.21) визначаємо необхідне число вимірів сили різання при кожному сполученні умов дослідів:

$$n \geq \frac{z^2 W_x^2}{\Delta_x^2} \quad (3.22)$$

де величина z визначається по таблицях інтеграла ймовірності відповідно до заданої ймовірності P^* .

На рисунку 3.19 наведено графіки залежності $n(W_p)$ при різних значеннях Δ_x та P^* . Наприклад, при відносному відхиленні $\Delta_x=0,1$ та ймовірності $P^*=0,95$ необхідне число вимірювань сили різання для значень коефіцієнта варіації в межах 0,2 - 0,3 повинно бути 15-35. Повторність дослідів знаходилась в інтервалі від 3 до 5 (при числі вимірів у кожному досліді від 200 до 500), що при коефіцієнті варіації дослідних величин від 0,2 до 0,3 відповідає вірогідності отриманих даних від 0,90 до 0,95 [75].



Задана точність $\Delta_x = 0,05$ або $\Delta_x = 0,1$

Рис. 3.19. Графік для визначення необхідного числа вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів дослідів:

1 – $P^*=0,99$; 2 – $P^*=0,95$ 3 – $P^*=0,9$

3.4.1. Вибір матеріалу для проведення експериментальних досліджень

Межі зміни сили опору різанню, визначеної для натуральної установки при різанні високоабразивних матеріалів (вогнетривів) абразивним армованим кругом та для лабораторного стенду, однакові, а характер їх зміни також подібний і пов'язані між собою коефіцієнтом подібності [77].

З метою перевірки адекватності теоретичних розрахунків на динамометричному стенді (рис. 3.20) проведено експериментальні дослідження різання вогнетривкої цегли з тимчасовим опором одноосному стисканню породи $\sigma_s = 60 \text{ МПа}$, цегла вогнетривка динасова ДВ.



Рис. 3.20. Різання вогнетривкої цегли на динамометричному стенді.

Дінасова цегла, є видом вогнетривкої цегли, що виготовляється з дінасу - основного мінералу кремнезему. Дінас є натуральним мінералом, який складається з оксиду кремнію (SiO_2) та оксиду алюмінію (Al_2O_3). Цегла з дінасу має високу вогнетривкість і використовується в будівництві та промисловості для створення вогнетривких конструкцій, які піддаються високим температурам.

Основна перевага дінасової цегли полягає в її здатності витримувати дуже

високі температури без пошкодження. Вона здатна витримувати температури понад 1700 градусів Цельсія, що робить її ідеальним матеріалом для вогнетривких печей, печей для обпалу кераміки, топок, камінів та інших вогнетривких конструкцій.

Крім високої вогнетривкості, дінасова цегла має інші переваги, такі як механічна міцність, відмінна стійкість до корозії і хімічних агентів, а також довговічність. Ця цегла також має високу теплопровідність, що дозволяє ефективно передавати тепло від джерела до оточуючого середовища.

Загалом, дінасова цегла є важливим будівельним матеріалом у вогнетривкій промисловості і знаходить широке застосування в галузі будівництва та інших вогнетривких додатків, де вимагається висока термічна стійкість і механічна міцність.

За звичайних умов, міцність на стиск дінасової цегли може бути в діапазоні від 30 до 100 МПа. Однак, вона також може досягати значень вище 100 МПа, залежно від якості матеріалу та умов виготовлення.

Важливо зазначити, що дінасова цегла має високу вогнетривкість, але не обов'язково має дуже високу механічну міцність порівняно з іншими будівельними матеріалами. Оскільки основна функція дінасової цегли полягає у витримці високих температур, її міцність може бути менш важливою характеристикою з точки зору конструктивних аспектів.

Точні дані про міцність дінасової цегли можуть варіюватися в залежності від виробника та конкретних умов використання.

Дінасова цегла доступна в різних марках, які можуть варіюватися залежно від виробника і регіону. Основні марки дінасової цегли включають:

- ДГ (Дінасова глина): цегла цієї марки виготовляється з високоякісного дінасового матеріалу. Вона має високу вогнетривкість і використовується для будівництва вогнетривких конструкцій.

- ДА (Дінасова алюмінатна): Цегла марки ДА має високу міцність і вогнетривкість. Вона використовується у вогнетривкому будівництві, зокрема для печей і топок.
- ДК (Дінасова кремнеземиста): Ця марка цегли має високу вогнетривкість і використовується в будівництві вогнетривких печей, камінів і топок.
- ДШ (Дінасова шамотна): Цегла марки ДШ виготовляється з дінасу, з додаванням шамоту (пористого матеріалу). Вона має високу вогнетривкість і стійкість до швидких змін температур, і використовується у вогнетривкому будівництві.

3.4.2. Взаємодія робочого органу з оброблюваним матеріалом на динамометричному стенді.

В затискачі закріплювалась вогнетривка цегла (3.21), за допомогою механізму заглиблення встановлювалась глибина різання, значення якої відповідно коефіцієнту подібності дорівнює $H = 0,028_m$ [75].



Рис. 3.21. Встановлення вогнетривкої цегли на динамометричний стенд.

Під час проведення експериментальних досліджень, для кожного різку за допомогою частотного перетворювача (рис. 3.22) забезпечувалась швидкість подачі робочого органу в межах від $v_n = 0,005 \text{ м/с}$ до $v_n = 0,009 \text{ м/с}$ з кроком $\Delta v_n = 0,001 \text{ м/с}$ (рис. 3.23).



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 3.22. Значення сили струму на частотному перетворювачі у відповідності до зміни швидкості подачі: а) частота 000 = $v_n = 0,005 \text{ м/с}$; б) частота 000 = $v_n = 0,006 \text{ м/с}$; в) частота 000 = $v_n = 0,007 \text{ м/с}$; г) частота 000 = $v_n = 0,008 \text{ м/с}$; д) частота 000 = $v_n = 0,009 \text{ м/с}$



Рис.3.23. Кількість різів проведена на одному дослідному зразку.

Значення колової швидкості різання $v_p = 40 \text{ м/с}$, $v_p = 60 \text{ м/с}$, $v_p = 80 \text{ м/с}$ забезпечувалась регулятором обертів кутової шліфувальної машини (рис.3.24).

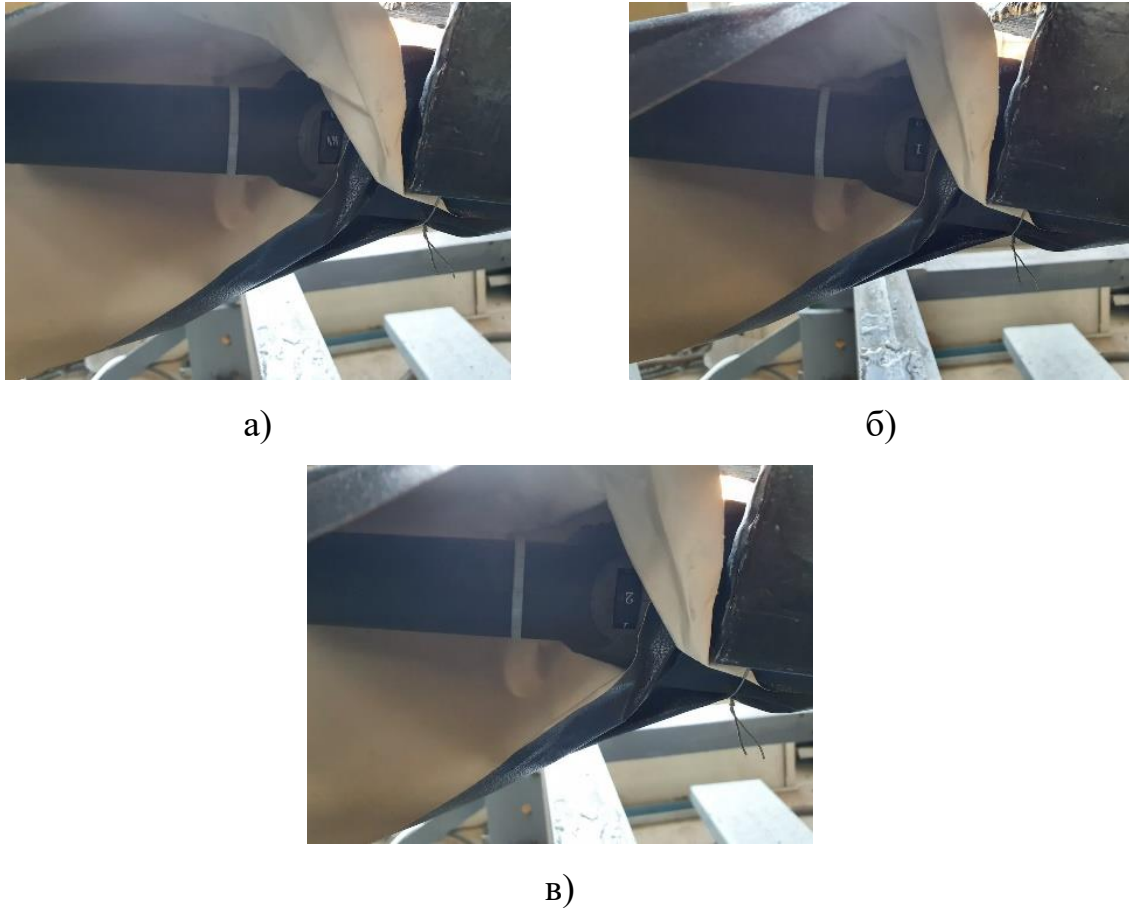


Рис. 3.24. Позиція регулятора кутової шліфувальної машинки у відповідності до колової швидкості різання а) $v_p = 40 \text{ м/с}$; б) $v_p = 60 \text{ м/с}$; в) $v_p = 80 \text{ м/с}$

3.5. Результати проведених досліджень.

При проведенні експериментальних досліджень одночасно проводилось вимірювання нормальних та тангенціальних зусиль, які виконують роботу з руйнування і подолання тертя між бічними поверхнями круга і матеріалом [108]. В основу методів вимірювання датчиками опору покладений тензометричний ефект [108] – зміна електричного (тобто омичного) опору металевого дроту датчика при його пружній деформації за допомогою тензометричних балок. Сигнал підсилювався сучасними інструментальними підсилювачами виробництва Analog Devices. В якості аналогоцифрового перетворювача (АЦП) використаний 10-ти розрядний модуль, який входить до складу мікроконтролера сімейства PIC (Peripheral Interface Controller). Отже, реєстрація даних вимірювань здійснювалась за допомогою високотехнологічного вимірювально-реєструючого

обладнання, що дозволило швидко і без повторювань з першочергових даних отримати достатньо точні оцінки взаємодії високоабразивних матеріалів з абразивним армованим кругом. Отримані результати у вигляді масиву точок зафіксовано в режимі реального часу (осцилограми) (рис.3.25-рис. 3.27).

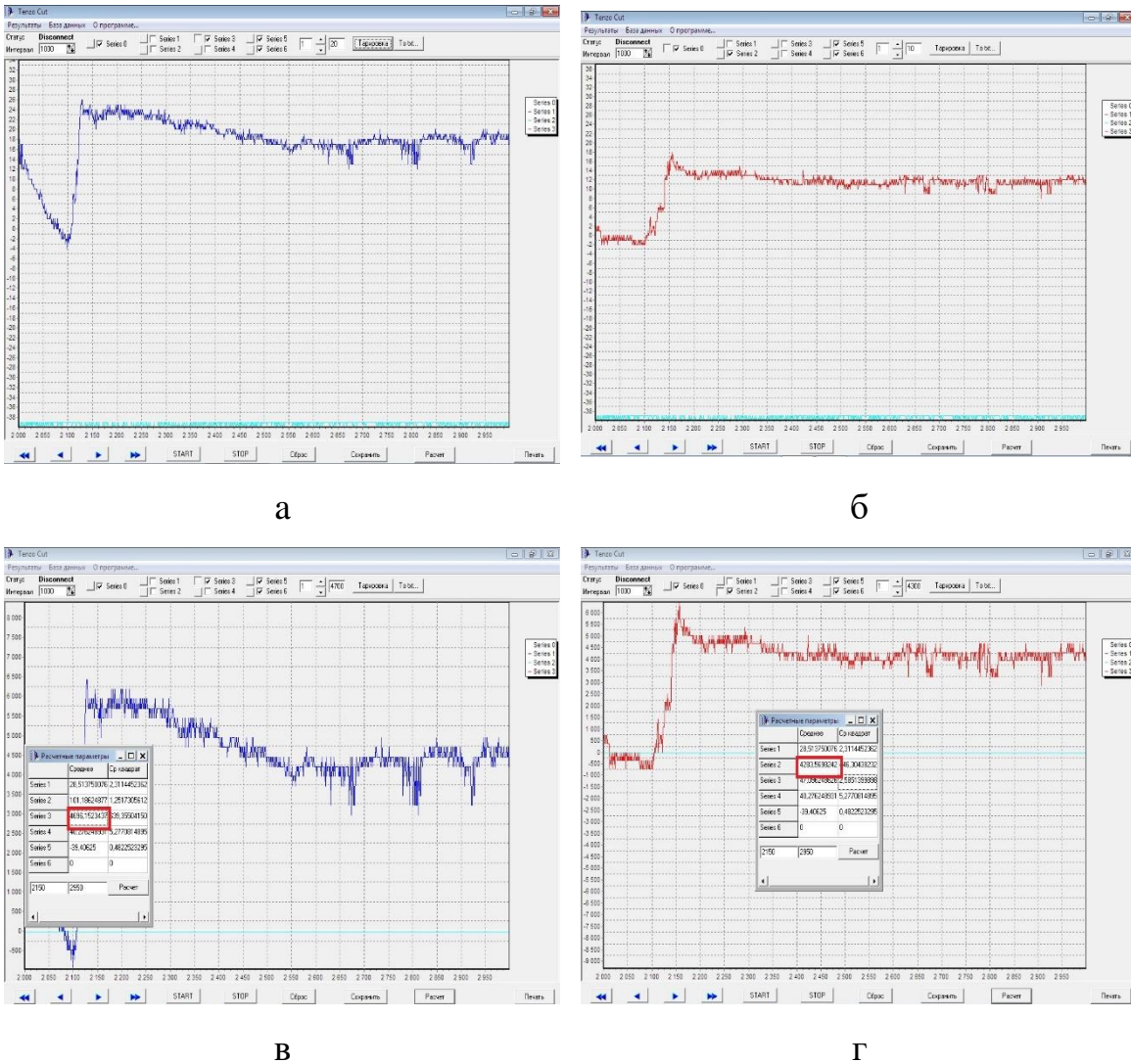
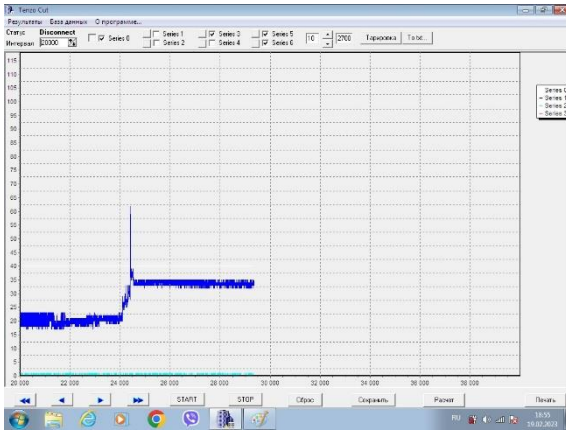


Рис. 3.25. Осцилограми тангенціальних зусиль різання вогнетривкої цегли на динамометричному стенді при $v_p = 40 \text{ м/с}$, $v_n = 0,007 \text{ м/с}$ (а, в) та

$$v_p = 40 \text{ м/с}, v_n = 0,008 \text{ м/с} \text{ (б, г):}$$

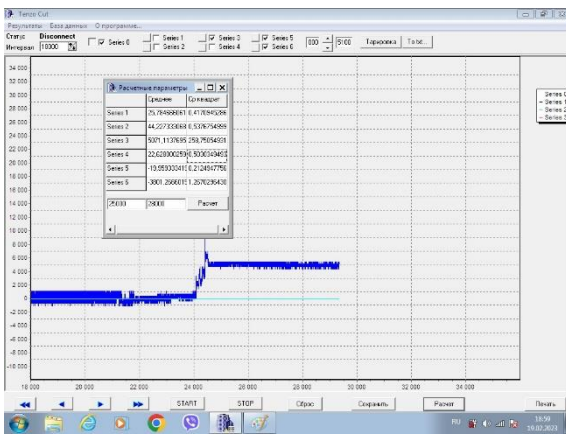
а, б – результати у вигляді масиву точок зафіксованих в режимі реального часу (осцилограми); в, г – осцилограми приведені до початку горизонтальної осі координат та програмно перераховані в силові значення (проведене тарування)



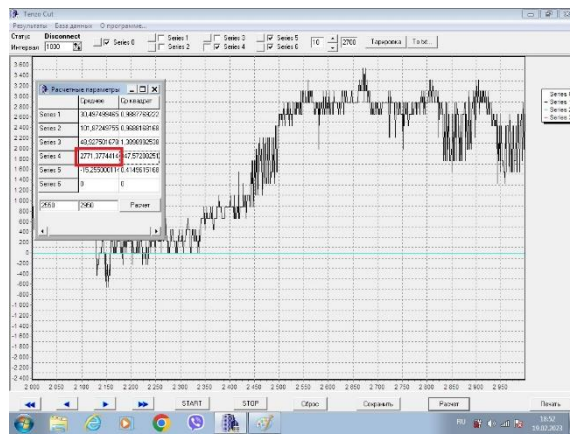
а



б



в



г

Рис. 3.26. Осцилограмми тангенціальних зусиль різання вогнетривкої цегли на динамометричному стенді при $V_p = 60 \text{ м/с}$, $V_n = 0,007 \text{ м/с}$ (а, в) та

$$V_p = 60 \text{ м/с}, \quad V_n = 0,008 \text{ м/с} \quad (\text{б, г}):$$

а, б – результати у вигляді масиву точок зафіксованих в режимі реального часу (осцилограмми); в, г – осцилограмми приведені до початку горизонтальної осі координат та програмно перераховані в сили значення (проведене тарування)

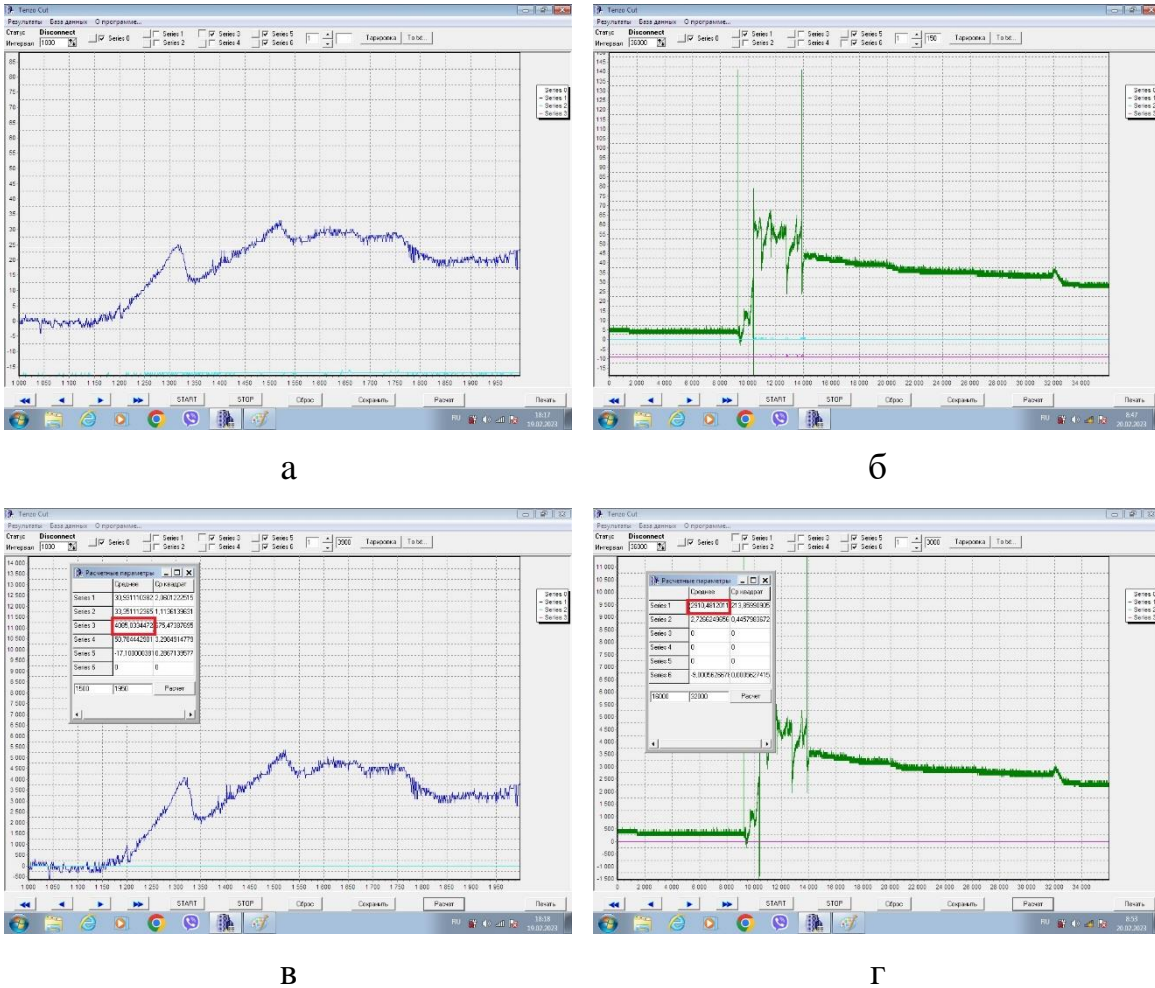


Рис. 3.27. Осцилограми тангенціальних зусиль різання вогнетривкої цегли на динамометричному стенді при $V_p = 80 \text{ м/с}$, $V_n = 0,007 \text{ м/с}$ (а, в) та

$$V_p = 80 \text{ м/с}, \quad V_n = 0,008 \text{ м/с} \quad (\text{б, г}):$$

а, б – результати у вигляді масиву точок зафіксованих в режимі реального часу (осцилограми); в, г– осцилограми приведені до початку горизонтальної осі координат та програмно перераховані в силові значення (проведене тарування)

В подальшому осцилограми оброблювались за допомогою сучасного програмного забезпечення, під назвою “Tenzo Cut”, що позбавило від трудомісткого процесу обробки даних. Завдяки цьому мінімізовано число вимірів сили різання при заданій точності і надійності результатів дослід з вірогідністю

отриманих даних від 0,90 до 0,95.

Основна увага приділялась осцилограмам тангенціальних (направлених по дотичній до робочого органу) зусиль, які виконують роботу по руйнуванню і подоланню тертя між бічними поверхнями круга і матеріалом. Отримані осцилограми приводились до початку горизонтальної осі координат, змістивши найменше значення на рівень нульової відмітки та програмно перераховані в силові значення H (проведене тарування).

3.6. Порівняння експериментальних та теоретичних досліджень.

Після тарування осцилограм за допомогою програмного модуля розрахунку визначено середнє значення тангенціальних зусиль на усталеному режимі різання вогнетривкої цегли на динамометричному стенді (рис. 3.26, с, d). Попередньо встановивши діапазон на тарованій осцилограмі, задано початкову і кінцеву відмітку на горизонтальній осі координат. Результати розрахунків наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Значення тангенціального зусилля різання P_z, H ,
отримані експериментальним шляхом

V_p , м/с	Швидкість подачі V_n , м/с				
	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
40	3411	3903	4320	4714	5113
60	2611	3013	3306	3618	3921
80	2215	2508	2713	3007	3206

На основі даних табл. 3.2. побудовано графіки зміни тангенціальної сили різання в залежності від швидкості подачі при значеннях колової швидкості

різання $v_p = 40 \text{ м/с}$, $v_p = 60 \text{ м/с}$ та $v_p = 80 \text{ м/с}$ (рис. 3.28).

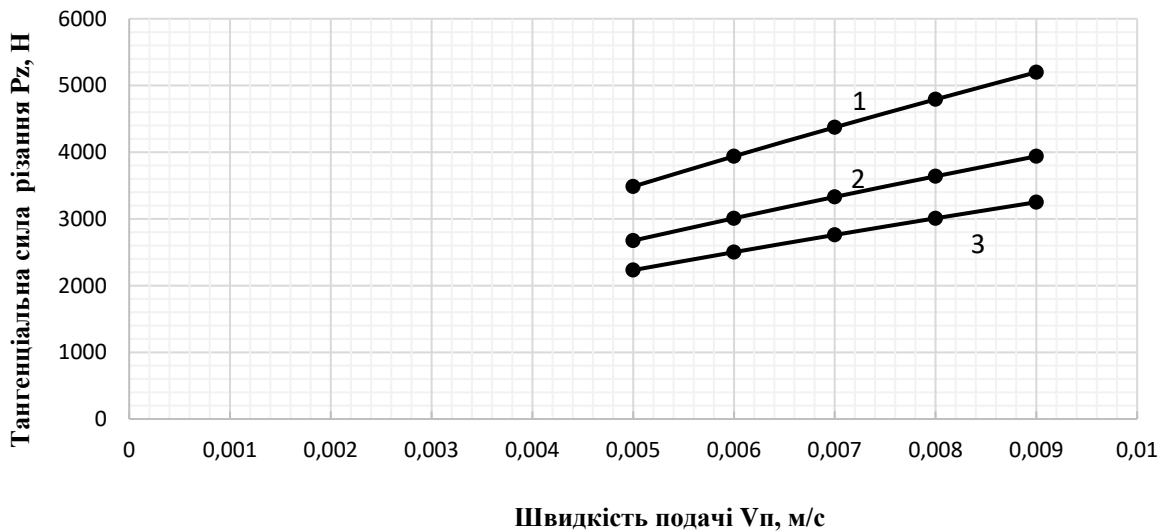


Рис. 3.28. Графіки зміни тангенціальної сили різання, отриманої експериментальним шляхом, в залежності від швидкості подачі: 1 — $v_p = 40 \text{ м/с}$; 2 — $v_p = 60 \text{ м/с}$; 3 — $v_p = 80 \text{ м/с}$.

Аналізуючи графіки на рис. 3.28 можна побачити, що при всіх значеннях колової швидкості різання залежності тангенціальної сили різання від швидкості подачі мають лінійну залежність.

Для перевірки адекватності результатів теоретичних розрахунків проведено порівняльний аналіз аналогічних параметрів, визначених експериментально. Величини тангенціальних зусиль різання, що виконують роботу по руйнуванню і подоланню сил тертя між бічними поверхнями круга і матеріалом, що визначались теоретичним шляхом із врахуванням коефіцієнтів подібності, використаних при фізичному моделюванні для наведеного лабораторного стенда реєстрації сил різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами, порівняно з результатами тангенціальних зусиль різання, визначених експериментальним шляхом на даному стенді (рис. 3.29).

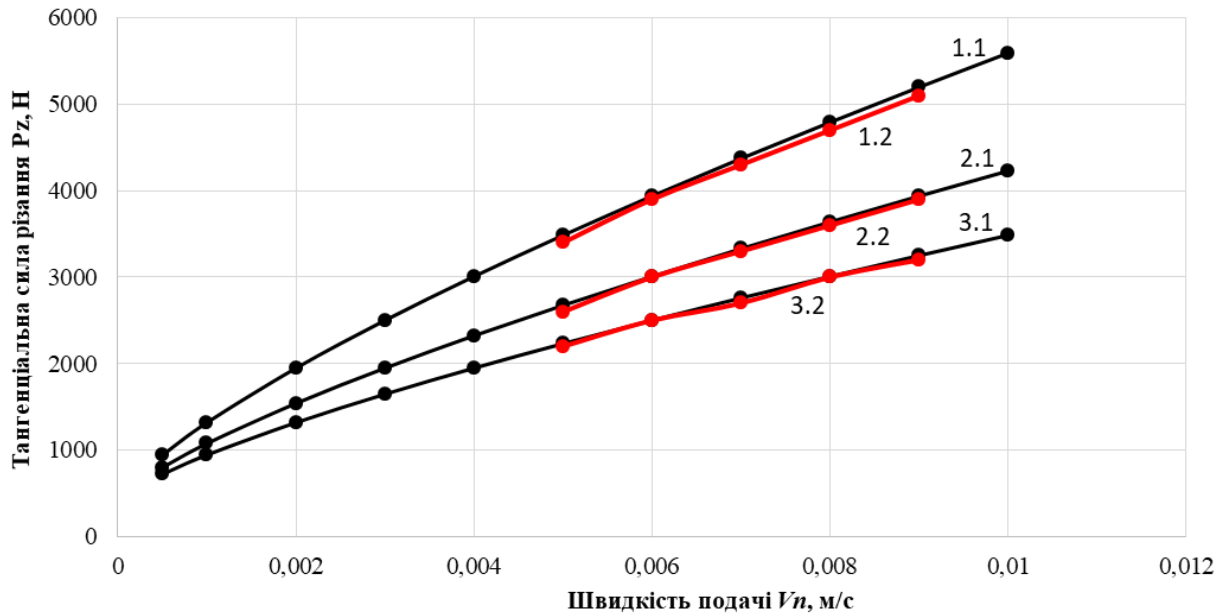


Рис. 3.29. Порівняльний аналіз теоретичних та експериментальними результатів тангенціальних зусиль різання:

1.1, 2.1, 3.1 – теоретичні дані при $v_p = 40 \text{ м/с}$, $v_p = 60 \text{ м/с}$ та $v_p = 80 \text{ м/с}$;

1.2, 2.2, 3.2 – експериментальні дані при $v_p = 40 \text{ м/с}$, $v_p = 60 \text{ м/с}$ та $v_p = 80 \text{ м/с}$

Похибка визначення тангенціальних зусиль різання, отриманих теоретичним та експериментальним шляхом, визначається залежністю:

$$\Delta_{\delta} = \frac{|\delta_E - \delta_T|}{\delta_E} \cdot 100, \quad (3.24)$$

де δ_E – значення з графіку, отримане експериментальним шляхом; δ_T – значення з графіку, отримане теоретичним шляхом.

Максимальне значення похибки визначення тангенціальних зусиль різання теоретичним та експериментальним шляхом на лабораторному стенді реєстрації сил різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами становить $\Delta_{\delta} = 13,8\%$.

Таким чином, в результаті проведених експериментальних досліджень визначено величину тангенціального зусилля різання при різних значеннях швидкості подачі робочого органу. Порівняння теоретичних та експериментальних результатів визначення тангенціальних зусиль різання показало їх достатню збіжність і, відповідно, правомірність використання

аналітичних виразів при розрахунку силових параметрів [машин з абразивним кругом](#).

3.7. Висновки по розділу.

1. Розроблено програму експериментальних досліджень.
2. Визначено параметри фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами.
3. Доопрацьовано конструкцію динамометричного стенду реєстрації силового навантаження авторської конструкції КНУБА для проведення дослідження процесу різання високоабразивних матеріалів абразивним армованим кругом.
4. Підбрано вимірювально-реєструюче обладнання для визначення експериментальним методом характеру зміни кутової швидкості обертання, зміни швидкості подачі абразивного круга в зону різання та визначення тангенціальних зусиль різання абразивним армованим кругом високоабразивних матеріалів (вогнетривкої цегли).
6. За результатами теоретичних досліджень встановлено, що межі зміни сили опору різанню, визначеної для натуральної установки для різання високоабразивних матеріалів (вогнетривів) абразивним армованим кругом та для лабораторного стенду, однакові, а характер їх зміни також подібний і пов'язані між собою коефіцієнтом подібності.
5. Розроблено план та методику обробки даних експериментальних досліджень.
6. Проведені експериментальні дослідження в повній мірі підтверджують адекватність теоретичних розрахунків, а порівняння теоретичних та експериментальних результатів визначення тангенціальних зусиль різання показало їх достатню збіжність і, відповідно, правомірність використання аналітичних виразів при розрахунку силових параметрів [машин з абразивним](#)

[кругом.](#)

7. Максимальне значення похибки визначення тангенціальних зусиль різання теоретичним та експериментальним шляхом на лабораторному стенді реєстрації сил різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами становить $\Delta_{\delta} = 13,8\%$.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОЦІНКА ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Параметри та режими робочого процесу машини із реалізацією підвищеної продуктивності та мінімізації енергії технологічного процесу різання високоміцних матеріалів.

Тангенціальні зусилля (рис. 4.1), які виконують роботу по руйнуванню і подоланню тертя між бічними поверхнями круга і матеріалом визначалися за формулою:

$$P_z = K_z \cdot \frac{V_n^x}{V_p^y} \cdot \sigma_v \cdot H^{z_1} + K_n \cdot \sigma_v \cdot H^{y_1} \quad , \quad (4.1)$$

де K_z – коефіцієнт, що залежить від складу абразивної маси круга, m ; v_n – швидкість подачі – горизонтального переміщення візка з кутовою шліфувальною машиною в зону різання, $\frac{m}{c}$; V_p – колова швидкість різання, $\frac{m}{c}$; σ_v – тимчасовий опір одноосному стисканню породи, Pa ; H – глибина різання, m ; K_n – коефіцієнт, що залежить від конструкції круга, m ; x , y , y_1 , z_1 – показники степені, які залежать від умов взаємодії робочого органу з робочим середовищем.

В результаті обробки експериментальних даних отримано значення, $K_z; x; y; z_1$. Таким чином, тангенціальні зусилля, що витрачаються на руйнування породи, можуть бути визначаємо із залежності:

$$P_{z \text{ різ}} = 35,5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{V_n^{0,75}}{V_p^y} \cdot \sigma_v \cdot H^{0,75} \quad (4.2)$$

В результаті обробки експериментальних даних визначені $K_n; x_1; y_1$. Таким чином, потужність, що витрачається на роботу бічних поверхонь круга, може бути визначена із залежності:

$$N_{mp} = 5,35 \cdot 10^{-5} \cdot V_p^{0,7} \cdot \sigma_v \cdot H^{0,75} \quad , \quad (4.3)$$

Підставляючи значення отримані експериментальним шляхом визначаємо тангенціальні сили та потужність, яка витрачається на різання:

$$P_z = \left(\frac{5,4 \cdot 10^{-3}}{V_p^{0,3}} + 35,5 \cdot 10^{-2} \frac{V_n^{0,75}}{V_p} \right) \sigma_6 H^{0,75} ; \quad (4.4)$$

$$N = \left(5,35 \cdot 10^{-5} V_p^{0,7} + 35 \cdot 10^{-4} V_n^{0,75} \right) \sigma_6 H^{0,75} . \quad (4.5)$$

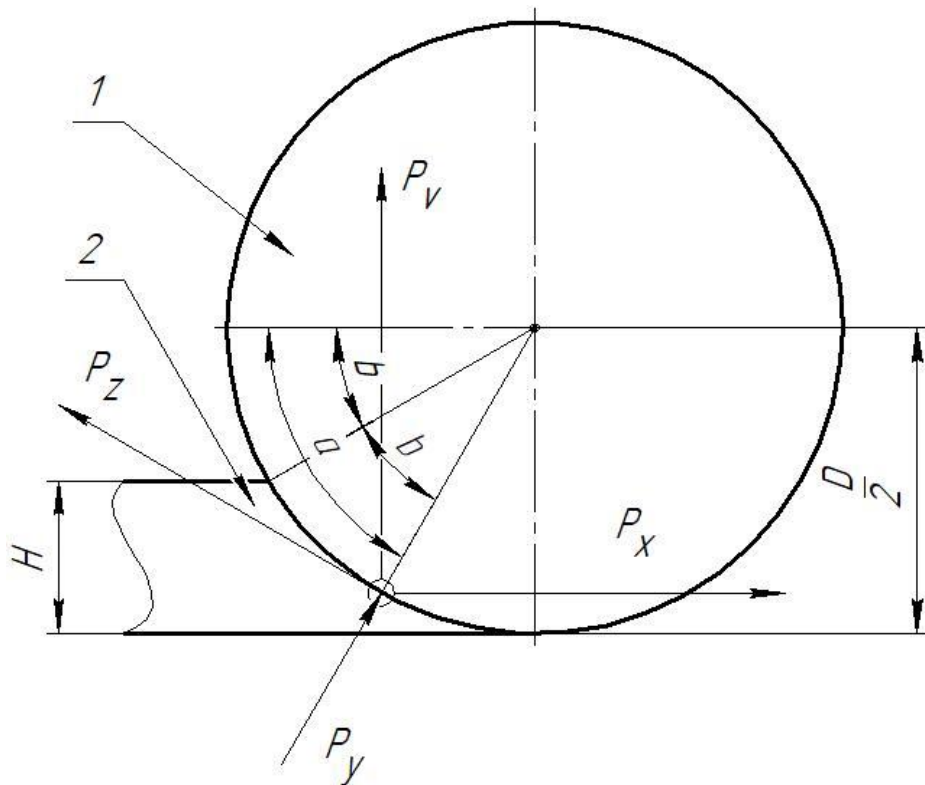


Рис. 4.1. Схема зусиль, що діють на абразивний круг.

Підставивши у рівність (4.4) швидкість подачі робочого органу в межах від $V_n = 0,0005 \text{ м/с}$ до $V_n = 0,02 \text{ м/с}$ з кроком $\Delta V_n = 0,001 \text{ м/с}$, розраховано тангенціальні зусилля різання при значеннях колової швидкості різання $V_p = 20 \text{ м/с}$, $V_p = 30 \text{ м/с}$, $V_p = 40 \text{ м/с}$, $V_p = 50 \text{ м/с}$, $V_p = 60 \text{ м/с}$, $V_p = 70 \text{ м/с}$, $V_p = 80 \text{ м/с}$ та $V_p = 90 \text{ м/с}$. Результати розрахунків наведено в табл. 4.1. На основі даних табл. 4.1 побудовано графіки зміни тангенціальної сили різання в залежності від швидкості подачі при різних

значеннях колової швидкості різання (рис.4.2).

Таблиця 4.1. Результати розрахунків тангенціального зусилля різання P_z, H

$V_p,$ м/с	Швидкість подачі $V_n, м/с$										
	0,0005	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,01
20	1319	1949	3009	3938	4792	5593	6355	7086	7791	8474	9138
30	1076	1541	2323	3009	3639	4230	4792	5331	5851	6355	6845
40	944	1319	1949	2502	3009	3485	3939	4373	4792	5198	5593
50	859	1176	1709	2177	2606	3009	3392	3760	4114	4458	4792
60	799	1076	1541	1949	2323	2675	3009	3330	3639	3939	4230
70	755	1002	1416	1779	2113	2426	2724	3009	3285	3552	3811
80	721	944	1319	1647	1949	2232	2502	2760	3009	3251	3486
90	693	897	1240	1541	1818	2077	2323	2560	2788	3009	3224
$V_p,$ м/с	Швидкість подачі $V_n, м/с$										
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,02	
20	9786	10419	11040	11648	12246	12833	13412	13982	14545	15100	
30	7323	7791	8248	8697	9138	9572	9999	10419	10834	11244	
40	5979	6355	6724	7086	7441	7791	8135	8474	8808	9138	
50	5118	5437	5749	6055	6355	6651	6942	7229	7511	7791	
60	4514	4792	5064	5331	5593	5851	6105	6355	6602	6845	
70	4064	4312	4554	4792	5026	5255	5481	5704	5924	6141	
80	3715	3939	4158	4373	4584	4792	4997	5198	5397	5593	
90	3434	3639	3840	4037	4230	4420	4608	4792	4974	5154	

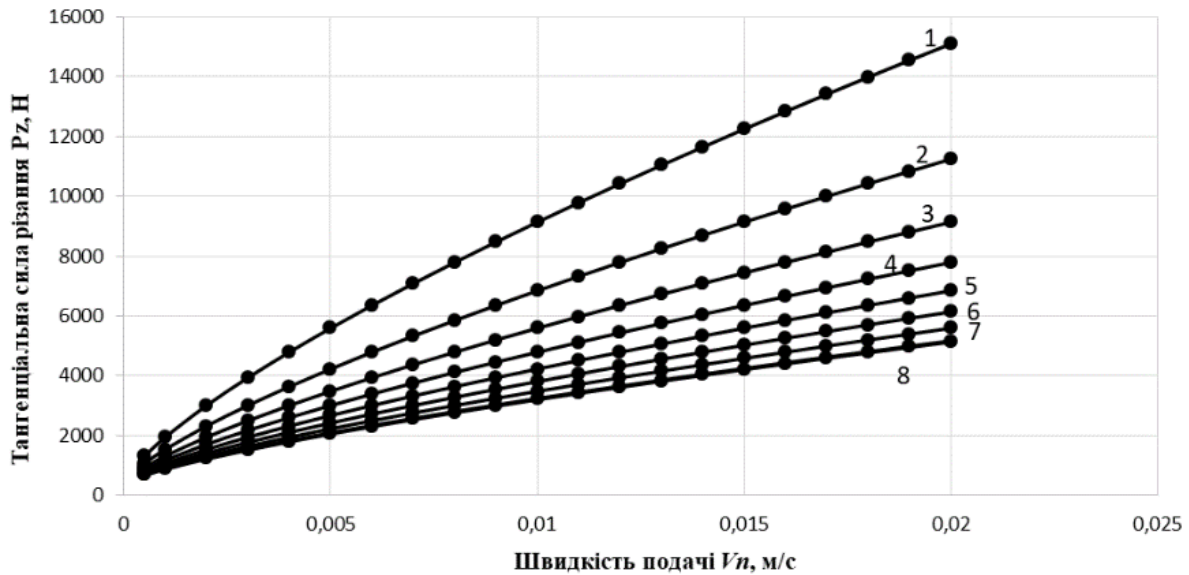


Рис.4.2 Графік зміни тангенціальної сили різання в залежності від швидкості подачі:

$$1 - v_p = 20 \text{ м/с}; 2 - v_p = 30 \text{ м/с}; 3 - v_p = 40 \text{ м/с}; 4 - v_p = 50 \text{ м/с};$$

$$5 - v_p = 60 \text{ м/с}; 6 - v_p = 70 \text{ м/с}; 7 - v_p = 80 \text{ м/с}; 8 - v_p = 90 \text{ м/с}$$

Аналіз графіків на рисунку 4.1 показує, що при всіх значеннях колової швидкості різання залежності тангенціальної сили різання від швидкості подачі в межах від $v_n = 0,0005 \text{ м/с}$ до $v_n = 0,005 \text{ м/с}$ мають кривину, яка після значення швидкості подачі $v_n = 0,005 \text{ м/с}$ переходить в лінійну залежність.

В результаті встановлено, що потужність приводу, необхідна для різання вогнетривів і природного каменю міцністю до 60 МПа складає 5 ... 5,5 КВт, а більш міцних матеріалів алмазними дисками близько 7 КВт. Виходячи з цього, потужність електродвигуна установки, для різання вогнетривів і природного каменю абразивними армованими кругами і алмазними дисками була прийнята рівною 7,5 КВт.

4.2. Алгоритм визначення основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень був сформований алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів (рис. 4.3.).

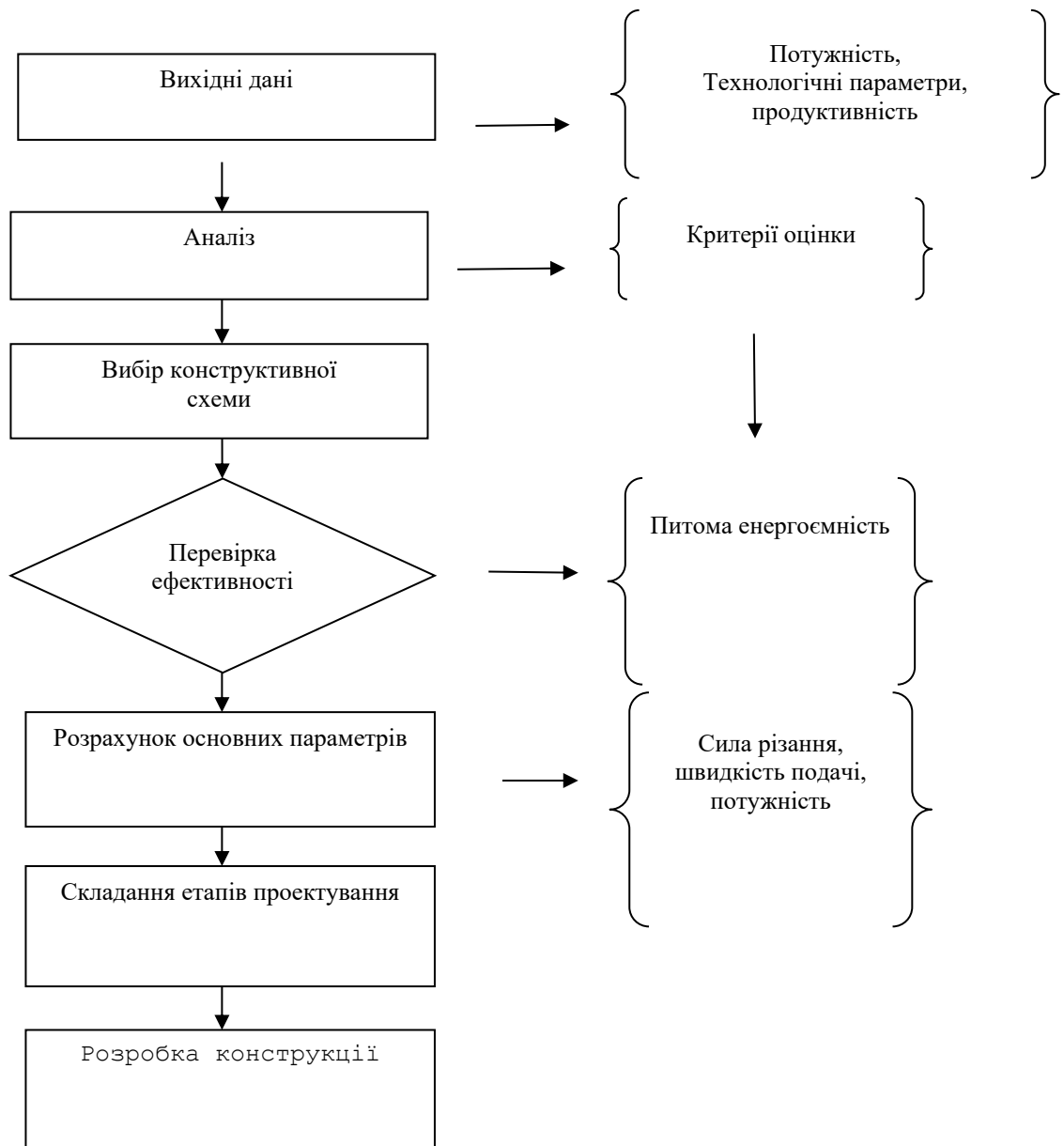


Рис. 4.3. Алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів.

4.3. Відрізний станок з системою слідкування.

Відрізний станок з системою слідкування [65;94] розроблений з метою підвищення якості роботи за допомогою системи автоматичного регулювання глибини різання в процесі зношення робочого органу.

Вказана мета досягається наступним чином: відрізний станок з системою слідкування складається зі станини, на якій встановлено робочий стіл, верхню частину рами з двигуном, який з'єднаний з робочим органом, наприклад абразивним диском, через клинопасову передачу, та має захисний кожух на бокових стінках якого, де знаходяться вікна, які виготовлені з прозорих матеріалів, розташовано фоторезистор, який складається з лівої та правої основ, де на правій основі, що має підкладку, розташовано напівпровідниковий шар з контактами по краям для подачі напруги, а на лівій основі розташований світловипромінювальний елемент, при чому контакти фоторезистора підключені до реле електромагнітного розподільника, який включений в гідросхему, що має напірну та зливну магістраль, які підходять до гідроциліндрів підйому та опускання верхньої частини рами, і, для забезпечення синхронної роботи гідроциліндрів, на напірній магістралі, де встановлено гідрозамок, розміщений подільник потоку та запірні клапани, при цьому, щоб уникнути перевантаження гідросистеми, до напірної магістралі, включені запобіжні клапани разом зі запірними.

На рис. 4.4. зображено відрізний станок з системою слідкування, вигляд з боку; на рис. 4.5 - захисний кожух з вмонтованим фоторезистором; на рис. 4.6 - гідравлічна схема.

Відрізний станок з системою слідкування складається зі станини 1, на якій встановлено робочий стіл 2, верхню частину рами 3 з двигуном 4, який з'єднаний з робочим органом 5, наприклад абразивним диском, через клинопасову передачу 6, та має захисний кожух 7.

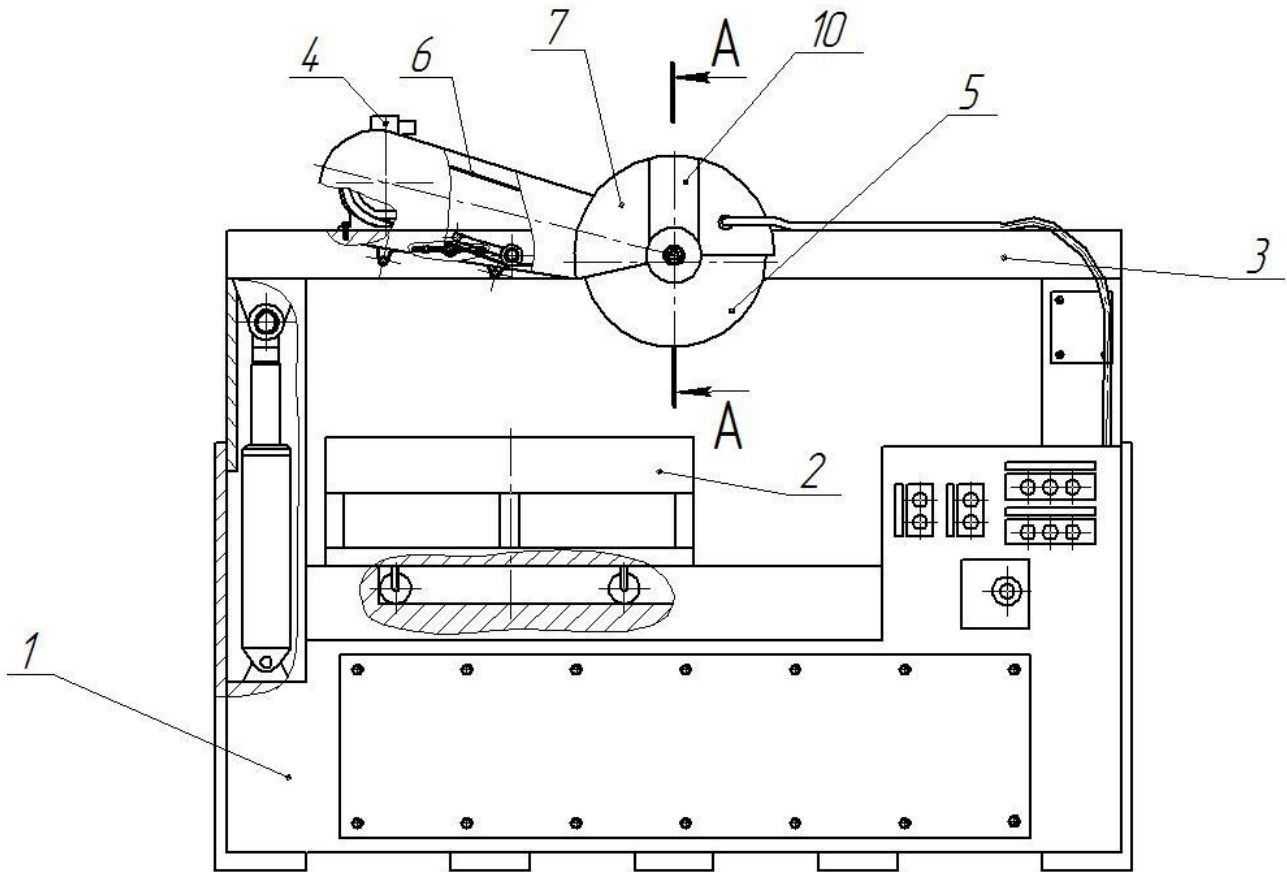


Рис.4.4. Відрізний станок з системою слідкування, вигляд з боку.

На бокових стінках захисного кожуха 7, що має вікна 8, 9, які виготовлені з прозорих матеріалів, розташовано фоторезистор 10. Фоторезистор 10 складається з лівої 11 та правої 12 основ. На правій 12 основі, що має підкладку 13, розташовано напівпровідниковий шар 14 з контактами 15 по краям для подачі напруги. На лівій 11 основі фоторезистора 10 розташований світловипромінювальний елемент 16. Контакти 15 фоторезистора 10 підключені до реле 17 електромагнітного розподільника 18, який включений в гідросхему.

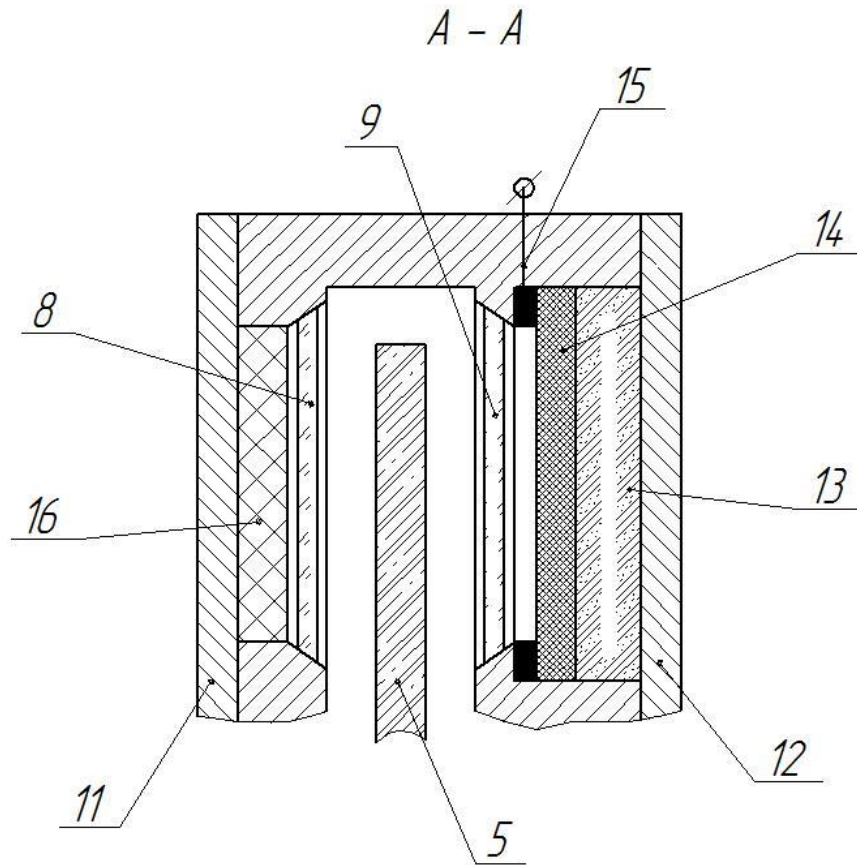


Рис. 4.5. Захисний кожух з вмонтованим фото резистором.

Гідросхема має напірну 19 та зливну 20 магістраль, що підходять до гідроциліндрів 21, 22 підйому та опускання верхньої частини рами 3. Для забезпечення синхронної роботи гідроциліндрів 21, 22 на напірній магістралі 19, де встановлено гідрозамок 23, розміщений подільник потоку 24 та запірні клапани 25, 26. Щоб уникнути перевантаження гідросистеми до напірної 19 магістралі включені запобіжні клапани 27, 28 разом зі запірними 29, 30.

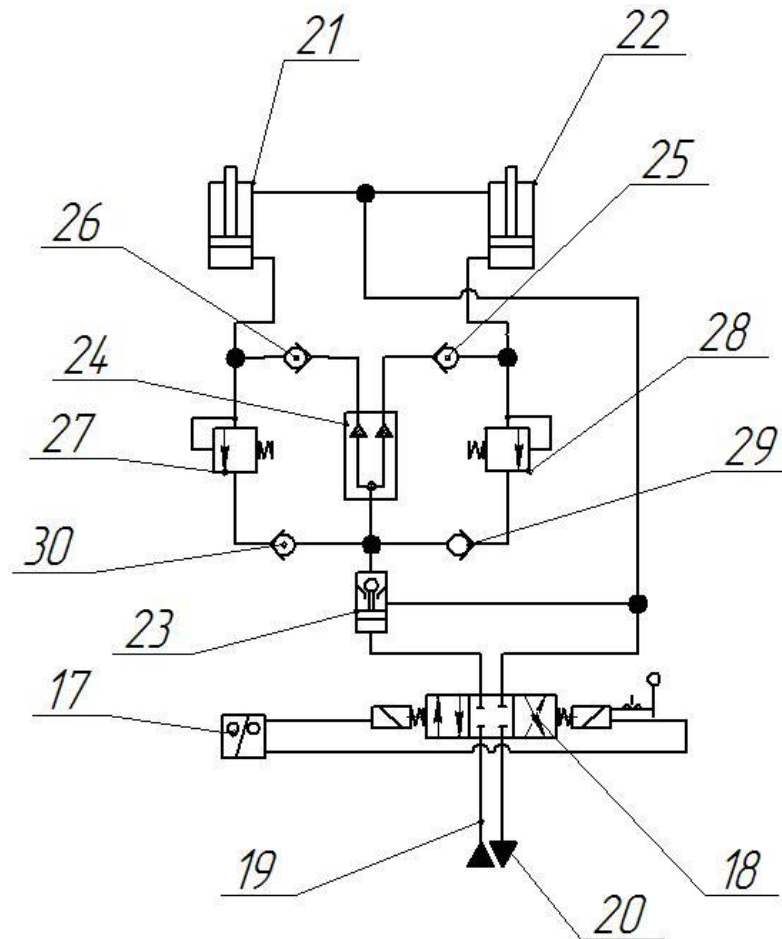


Рис. 4.6 Гідравлічна схема.

Відрізний станок з системою слідування працює наступним чином.

Вмикаємо електродвигун 4, який, за допомогою клинопасової передачі 6, передає крутний момент до робочого органу 5. Перемиканням позицій електромагнітного розподільника 18 приводимо в дію гідроциліндри 21, 22 підйому та опускання верхньої частини рами 3 з робочим органом 5 станка та встановлюємо глибину різання. Електромагнітний розподільник 18 переключаємо в нейтральне положення. Робочий стіл 2, на якому встановлюється заготовка, подається в зону різання. Виконується процес різання під час якого, робочий орган 5, наприклад, абразивний диск, що встановлений на верхній частині рами 3, підлягає стиранню. Таким чином, світловий потік, що випромінює світловипромінюючий елемент 16 фоторезистора 10, який проходить через

захисні вікна 8, 9 зі зменшенням робочого органу 5 збільшує своє потрапляння на напівпровідниковий шар 14. Відбувається розбалансування електричного сигналу, який через реле 17 здійснює перемикання позицій електромагнітного розподільника 18 та приводить в дію гідроциліндри 21, 22, що опускають верхню частину рами 3 станка разом з робочим органом 5 на задану глибину різання, після чого розподільник 18 повертається в нейтральне положення. Таким чином відрізний станок з системою слідкування забезпечує сталу глибину прорізи.

4.4. Спосіб виготовлення абразивного інструменту.

Розроблено спосіб виготовлення абразивного інструменту [64, 91] з метою спрощення процесу виготовлення та одночасним його здешевленням при розширенні області застосування для різання високоабразивних матеріалів.

Поставлена задача досягається тим, що спосіб виготовлення абразивних армованих інструментів, при якому до зв'язки на основі бакеліту вводять абразив, наповнювач і виготовлений на основі полівінілових зв'язувальних, із отриманої маси формують інструмент, в якості модифікатора використовують полівінілацетат в кількості 0,8-5,4 г. на 1 кг зерна, яким попередньо обробляють абразивні зерна, при чому полівінілацетат використовують у вигляді 19-20%-го водяного розчину.

Спосіб приготування абразивної маси відноситься до виробництва абразивних інструментів, що застосовується при різанні гірських порід (пісчаники, мрамор, туф, базальт) та будівельних матеріалів (гіносові та високоглиноземні вогнетривкі вироби) міцністю на одноосний стиск до 60 МПа та високою абразивністю.

Абразивний армований інструмент [36] являє собою складну багатокомпонентну композицію, що складається з абразивного зерна, закріпленого в органічній матриці, до складу якої входять зв'язувальні і

наповнювач.

Спосіб полягає в тому, що абразивне зерно попередньо обробляють готовим 19-20% водяним розчином полівінілацетату в співвідношенні 0,8-5,4 г. розчину на 1 кг. зерна. Полівінілацетат широко розповсюджений на ринку України у вигляді клею ПВА, що значно дешевше за полівініловий спирт. При обробленні полівінілацетом на поверхні зерна утворюється водорозчинна полімерна плівка потрібної товщини, необхідної для забезпечення процесу самозагострення інструменту та виключення засалювання під час роботи із змочуванням водою, що призводить до зниження температур, які виникають в процесі різання на границі зерна і зв'язки.

Спосіб приготування абразивної маси виконується наступним чином.

Абразивне зерно засипають в лопатеву мішалку, що обертається при температурі 21-25 °С. Потім готовим 19-20% водяним розчином полівінілацетату обробляють зерно. Змішування відбувається 3 хв. Після цього до обробленого зерна при температурі 21-25°С послідовно додають рідкий бакеліт, фенольні порошкоподібні зв'язувальні, кріоліт. Перемішування вказаних елементів відбувається відповідно протягом 2-х хвилин.

Отриману абразивну масу просіюють і використовують для формування кругів діаметром 500 мм. Проводять термічну обробку при температурі 20-180°С протягом 25 г.

Таким чином, запропонований спосіб попереднього оброблення абразивних зерен полівінілацетатом 0,8-5,4 г на 1 кг зерна у вигляді 19-20% водяного розчину дозволяє спростити та здешевити процес виготовлення абразивного інструменту з підвищенням самозагострення та збереженням працездатності при різанні високоабразивних матеріалів міцністю на одновісне стиснення до 60 МПа з використанням води.

4.5. Відрізний верстат.

Відрізний верстат[62] розроблений з метою зменшення енергоємності процесу різання заготовок.

Вказана мета досягається тим, що відрізний верстат, що має станину на якій встановлено стояк з пильним диском і двигуном, приводним пасом, має П-подібну раму, яка складається з бічних стінок і перекладини, причому, на перекладині встановлено на основі стояк з пильним диском і двигуном, з'єднаних приводним пасом, причому стояк з основою з'єднано опорою, крім того до перекладини, паралельно бічним стінкам приєднано циліндричний корпус горизонтального безштокового циліндру, у корпусі якого розташовано поршень, який поділяє внутрішню порожнину корпусу на ліву та праву, а у верхній частині корпусу виконано повздовжній паз у якому розташовано водило, що прикріплене до поршня, причому у повздовжньому пазу знаходиться гідроізоляція, ліва та права порожнині за допомогою трубопроводу з'єднується з гідравлічною системою, а зверху корпусу до водила приєднана платформа, на якій закріплено у вертикальних направляючих циліндричні корпуси ще двох вертикальних безштокових циліндрів, до водил яких через круговий шарнір закріплено затискуючі пристрої, які мають можливість переміщення вздовж корпусу вертикальних безштокових циліндрів разом з їх поршнями, крім того платформа з направляючими та циліндричними корпусами вертикальних безштокових циліндрів із закріпленими на них затискуючими пристроями мають можливість переміщення вздовж бічних стінок, крім того гідравлічна система подає рідину до розподільника, що керує роботою вертикальних безштокових гідро циліндрів, причому подача рідини здійснюється через подільник потоку, паралельно розподільнику, що керує роботою вертикальних безштокових гідро циліндрів до гідравлічної системи включено розподільник, який через гідрозамок живить горизонтальний безштоковий гідроциліндр.

На рис.4.7 зображено відрізний верстат, вигляд з боку; на рис. 4.8 відрізний

верстат, переріз А–А; на рис. 4.9 гідравлічна система.

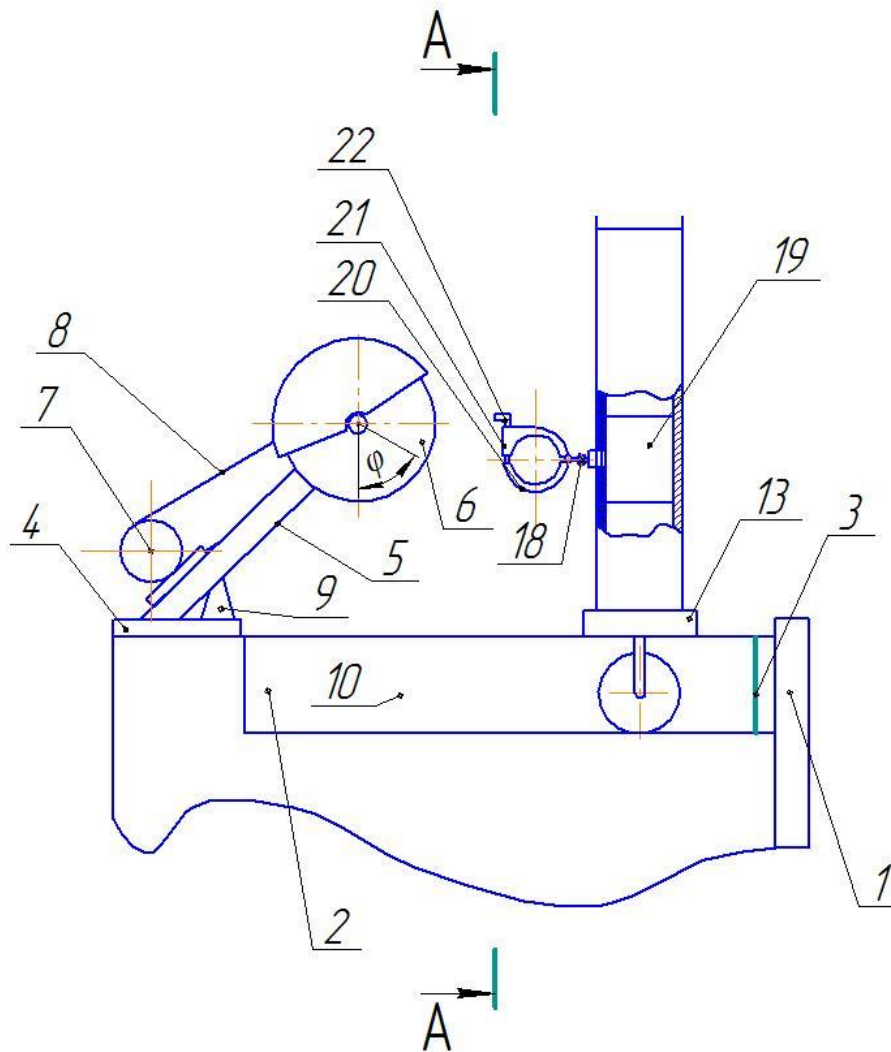


Рис.4.7. Відрізний пристрій, вид з боку.

Відрізний верстат має П-подібну раму 1, яка складається з бічних стінок 2 і перекладини 3. На перекладині 3 встановлено на основі 4 стояк 5 з пильним диском, наприклад, абразивним кругом 6 і двигуном 7, з'єднаних приводним пасом 8, стояк 5 з основою 4 з'єднано опорою 9.

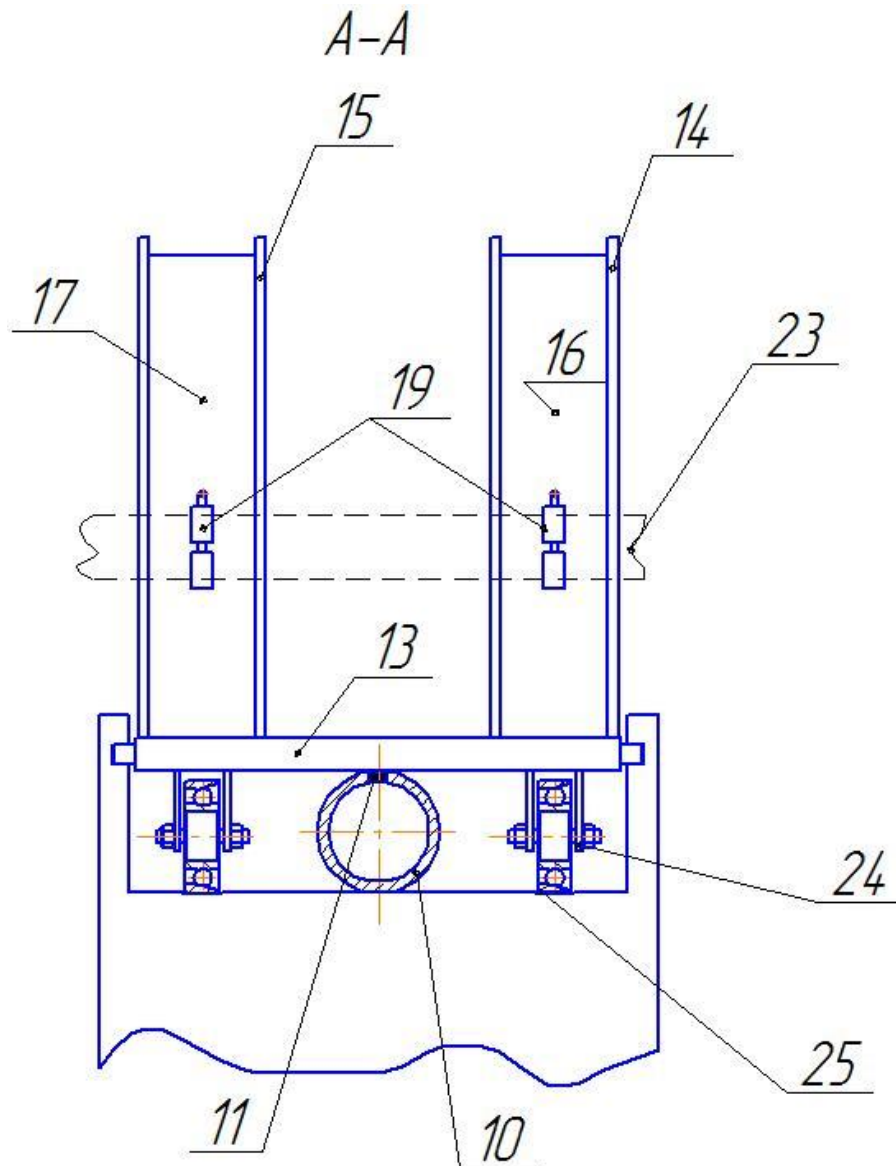


Рис.4.8. Відрізний верстат, переріз А–А.

До перекладини 3, паралельно бічним стінкам 2 приєднано циліндричний корпус безштокового циліндру 10. У корпусі 10 циліндра розташовано поршень, який поділяє внутрішню порожнину корпусу 10 на ліву та праву. У верхній частині корпусу 10 виконано повздовжній паз у якому розташовано водило 11, що прикріплене до поршня, причому у повздовжньому пазу знаходиться гідроізоляція (див. а.с. №1508016 А1 кл. F15 В 16/06). Ліві та праві порожнині за допомогою трубопроводу з'єднується з гідравлічною системою. Зверху корпусу 10 до водила 11 приєднана платформа 13, на якій закріплено в у вертикальних

направляючих 14 і 15 встановлено циліндричні корпуси безштокових циліндрів 16 і 17. До водил безштокових циліндрів 16 і 17 через круговий шарнір 18 закріплено затискуючі пристрої 19, які складаються з основи 20, до яких шарнірно приєднані притискуючі кришки 21. У притискуючих кришках 21 та основі 20 зроблено наскрізні отвори де знаходиться фіксатор 22. У затискуючі пристрої 10 встановлюється заготівка 23. Затискуючий пристрій 19 має можливість переміщення вздовж корпусу безштокового циліндра разом з їх поршнями.

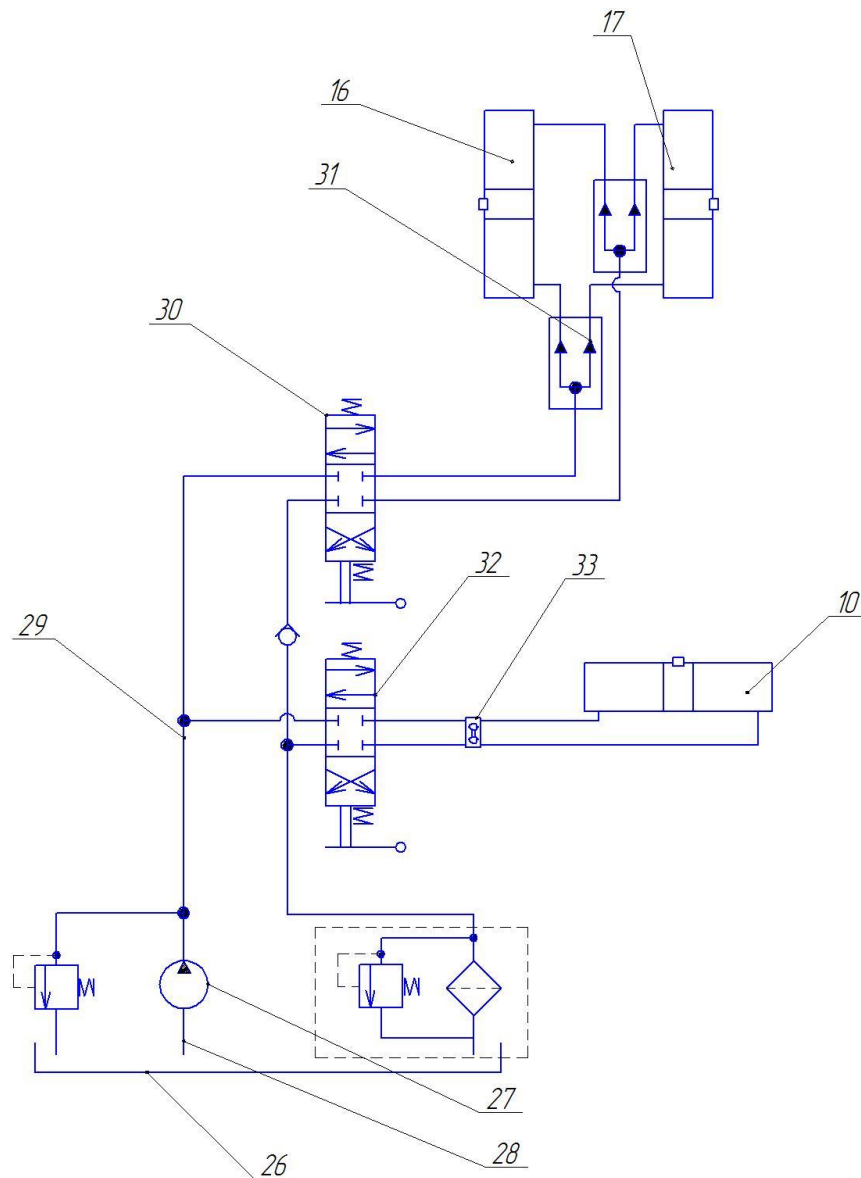


Рис. 4.9. Гідравлічна схема.

До платформи 13 приєднано направляючі 24 в яких змонтовані підшипники

кочення 25.

Платформа 13 з направляючими 14 і 15 з циліндричними корпусами 16 і 17 безштокових циліндрів із закріпленими на них затискуючими пристроями 19 і підшипниками кочення 25 мають можливість переміщення вздовж бічних стінок 2.

Гідравлічна система включає в себе гідробак 26 з якого до насосу 27 підходить всмоктуюча магістраль 28. З насосу 27 напірна магістраль 29 подає рідину до розподільника 30, що керує роботою безштокових гідроциліндрів 16 і 17. Причому подача рідини здійснюється через подільник потоку 31. Паралельно розподільнику 30 до напірної магістралі 29 включено розподільник 32, який через гідрозамок 33 живить безштоковий гідроциліндр 10.

При різанні заготовки, яка подається під кутом φ до вертикальної вісі абразивного круга, зменшується кількість енергії, яка витрачається безпосередньо на різання і знос абразивного круга. Це пояснюється зменшенням товщини стружки, яка знімається, а також перерозподілом термічних навантажень, що діють на круг.

Таким чином, розроблена конструкція, яка дозволяє встановити заготовку для різання під кутом φ до вертикальної вісі абразивного круга працює наступним чином.

Заготовку 23 встановлюють в основу 20 та фіксують притискуючи кришкою 21, яку закріплюють фіксатором 22.

Перед початком різання заготовку 23 встановлюють під заданим кутом. Для цього включають насос 27 гідросистеми і за допомогою розподільників 30 та 32 встановлюють заготовку в потрібне положення. Далі включають двигун 7 який надає оберти диску 6 через пасову передачу 8. Перемиканням позицій розподільника 32 надаємо рух поршня гідроциліндра 10, який переміщує заготовку в зону різання. Відбувається переріз заготовки.

4.6. Розпилювальний пристрій з гасінням коливань.

Розпилювальний пристрій з гасінням коливань [63] розроблений з метою спрощення конструкції, збільшенні стійкості пили та зниженні динамічних навантажень на рукоять робочого інструмента.

Вказана мета досягається тим, що розпилювальний пристрій з гасінням коливань має приводний фланець з отвором, у якому зроблено шпонковий паз, на зовнішній поверхні якого нарізана різьба, на якій знаходиться стопорна гайка, виконано кільцевий паз та на торці приводного фланцю кільцевий виступ при чому в кільцевому пазові розміщено стопорне кільце, а між стопорним кільцем та виступом розміщено ведений фланець, що у перерізі має повернуту на 90° Z-подібну форму, так що внутрішня коротка поличка має внутрішній діаметр, що дорівнює діаметру приводного фланця, довга поличка знаходиться над виступом, а зовнішня коротка поличка веденого фланця має зовнішній діаметр, що дорівнює зовнішньому діаметру стопорної гайки при чому на приводному фланці між кільцевим виступом, внутрішньою короткою поличкою та під довгою поличкою розміщена розрізна пружина, а на ведений фланець, ззовні на його довгу поличку встановлюється дискова пила та фіксується за допомогою стопорної гайки.

На рис. 4.10 зображено розпилювальний пристрій з гасінням коливань у перерізі; на рис. 4.11 розпилювальний пристрій з гасінням коливань, переріз А-А.

Розпилювальний пристрій з гасінням коливань має приводний фланець 1 з отвором, у якому зроблено шпонковий паз 2, на зовнішній поверхні якого нарізана різьба, на якій знаходиться гайка 3, виконано кільцевий паз 4 та на торці приводного фланцю 1 кільцевий виступ 5. В кільцевому пазові 4 розміщено стопорне кільце 6. Між стопорним кільцем 6 та виступом 5 розміщено ведений фланець 7, що у перерізі має повернуту на 90° Z-подібну форму, так що внутрішня коротка поличка 8 має внутрішній діаметр, що дорівнює діаметру приводного фланця 1, довга поличка 9 знаходиться над виступом 5, а зовнішня коротка поличка 10 веденого фланця 7 має зовнішній діаметр, що дорівнює зовнішньому

діаметру гайки 3. На приводному фланці 1 між кільцевим виступом 5, внутрішньою короткою поличкою 8 та під довгою поличкою 9 розміщена розрізна колова пружина стиснення 11. На ведений фланець 7, ззовні на його довгу поличку 9 встановлюється дискова пила 12 та фіксується за допомогою стопорної гайки 3.

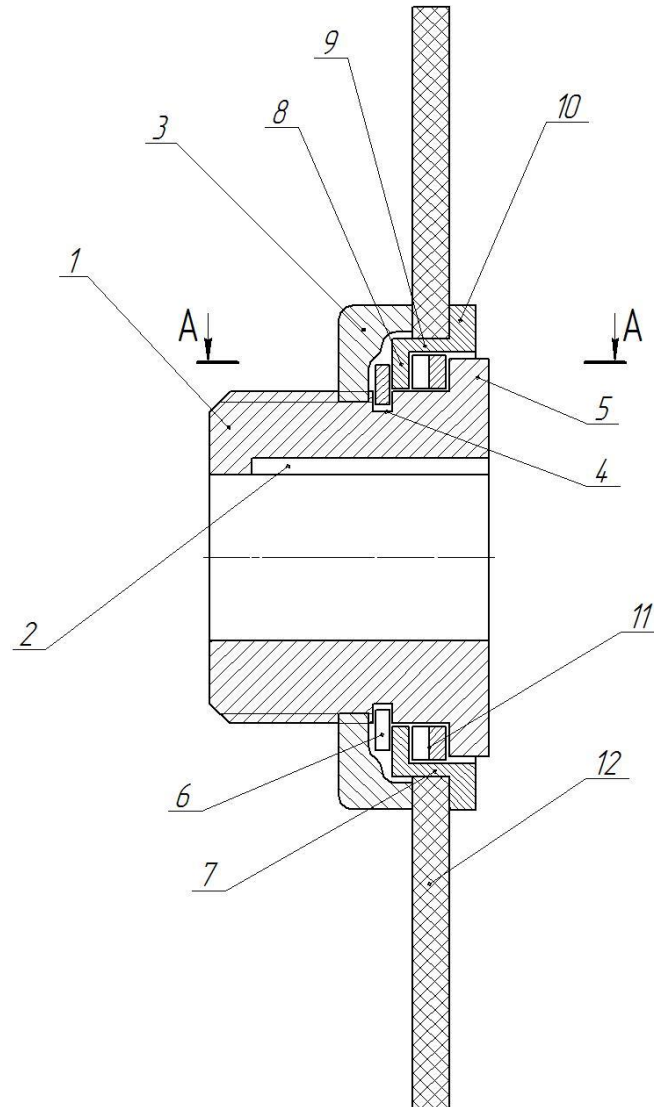


Рис. 4.10. Зображено розпилювальний пристрій з гасінням коливань у перерізі.

Таким чином розроблена конструкція, яка забезпечує зменшення динамічних навантажень робочого інструмента працює наступним чином.

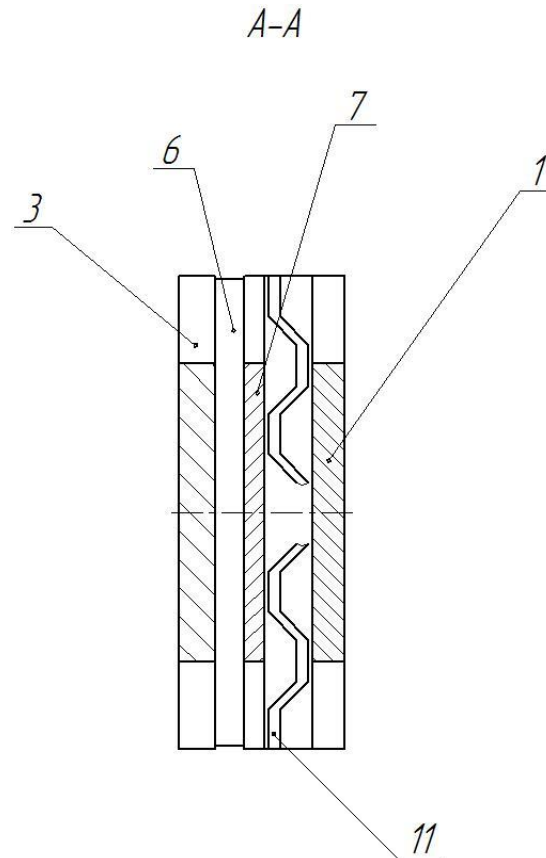


Рис.4.11. Розпилювальний пристрій з гасінням коливань, переріз А-А.

Перед початком роботи, на приводний фланець 1 встановлюється розрізна колова пружина стиснення 11 таким чином, щоб вона впиралася у кільцевий виступ 5, потім на приводний фланець 1 надягається ведений фланець 7 та фіксується стопорним кільцем 6. На довгу поличку 9, з зовнішньої сторони веденого фланця 7, встановлюється дискова пила 12, яка затискується стопорною гайкою 3.

В процесі різання породи або заготовки на дискову пилу 12, що обертається, діють сили різання та подачі, які викликають вібраційні динамічні навантаження, що передаються через ведений фланець 7 на розрізну колову пружину стиснення 11, яка поглинає їх і не передає до приводного фланця 1, що призводить до зменшення вібрації дискової пили, а значить і динамічних навантажень на рукоять робочого інструмента.

4.7. Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження.

Доопрацьовано динамометричний стенд авторської конструкції КНУБА з метою вимірювання зусиль різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами [74] з використання в ньому механізму горизонтального переміщення візка з адаптером через передачу гвинт-гайка та клинопасову передачу від електродвигуна з можливістю обезпилення робочого процесу та регулювання швидкості горизонтального переміщення робочого органу.

Поставлена задача вирішується тим, що динамометричний стенд реєстрації силового навантаження, який складається зі станини, на якій на направляючих балках за допомогою роликів встановлено візок, до нього через тензометричні балки закріплено утримувач з адаптером, при цьому візок оснащений механізмом підйому та опускання з рукояткою, а можливість горизонтального переміщення візка здійснена за допомогою передачі гвинт-гайка, клинопасової передачі від електродвигуна, для забезпечення різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами в адаптер вмонтовано механізм приводу обертання абразивного армованого круга, в зону різання забезпечено подачу води для здійснення обезпилення робочого процесу, привідний електродвигун підключений через частотний перетворювач, який дозволяє змінювати частоту струму, що в свою чергу приводить до зміни частоти обертання валу електродвигуна та швидкості горизонтального переміщення візка з робочим органом в зону різання.

На рис. 4.12 наведено динамометричний стенд реєстрації силового навантаження (вигляд з боку), який складається зі станина 1, на якій на направляючих балках за допомогою роликів 2 встановлено візок 3, до нього через тензометричні балки 4 і 5 закріплено утримувач 6, в якому через адаптер 7 вмонтовано механізм приводу 8 обертання абразивного армованого круга 9. Візок 3 оснащений механізмом підйому та опускання 10 з рукояткою 11. Можливість горизонтального переміщення візка 3 здійснена за допомогою передачі гвинт-

гайка 12-13, клинопасової передачі 14 та електродвигуна 15, підключеного через частотний перетворювач 16. На монтажній поверхні 17, за допомогою механічних лещат 18, жорстко закріплюється дослідний високоабразивний матеріал 19. Для здійснення обезпилення робочого процесу в зону різання високоабразивного матеріалу абразивним армованим кругом через трубопровід 20 подається вода.

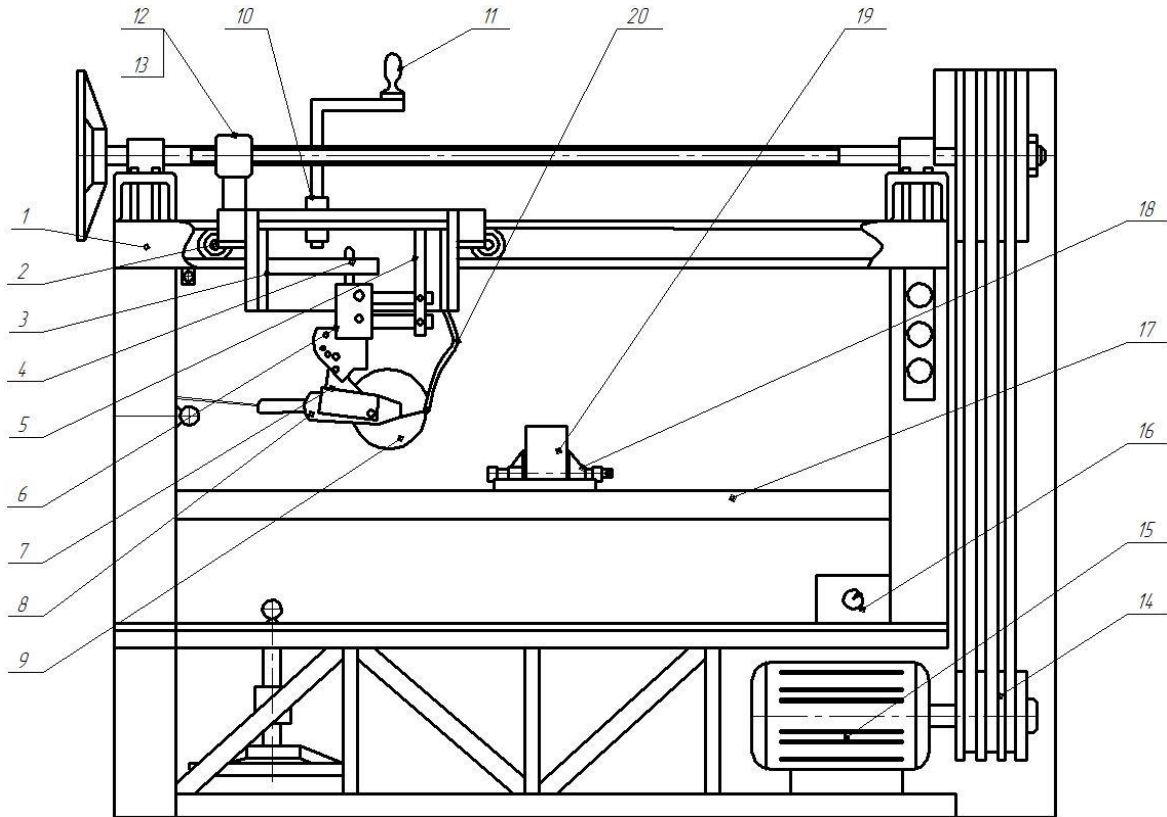


Рис. 4.12. Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження.

Установка працює таким чином.

Дослідний високоабразивний матеріал 19, за допомогою механічних лещат 18, жорстко закріплюється на монтажній поверхні 17. Задавши частотним перетворювачем 16 відповідну частоту струму електродвигуна 15, встановлюється необхідна швидкість горизонтального переміщення візка 3 з механізмом приводу обертання абразивного армованого круга.

Таким чином, внесені зміни до конструкції динамометричного стенду реєстрації силового навантаження дозволяють здійснювати вимірювання зусиль різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами,

здійснювати обезпилення робочого процесу та регулювати швидкість горизонтального переміщення робочого органу, закріпленого на візку.

4.8 . Висновки по розділу.

1. Приведені основні положення методів розрахунку режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, що базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень.

2. Запропоновано алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, розрахунки за які дають можливість вибору типу ріжучого органу, його раціональних параметрів на основі порівняння та оцінки різних типів.

3. Наведено конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами на корисну модель.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладну задачу обґрунтування режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів. Результати здійсненого аналізу існуючих робіт, виконані теоретичні та експериментальні дослідження надали можливість зробити наступні висновки.

1. Огляд та аналіз засвідчує охоплення значного застосування такого класу машин від нарізання пазів в конструкціях та стінах до різання легкого та важкого залізобетону, при улаштуванні та ремонту доріг, кладки та природного каменю з використанням алмазних ріжучих дисків. Існує низка різних конструктивних рішень машин для різання та обробки матеріалів, до яких відносяться також штучний та природний камінь. Основна конструктивна відмінність полягає у призначенні та способами керування роботою машин.

2. Розраховані критерії ефективності параметрів (1.1 -1.3), числові значення яких наведені в таблиці 1.8, засвідчують значну розбіжність між собою (наприклад, такий важливий критерій, як вплив витрат енергії на глибину різання h коливається в межах від 5,83 до 48,70). Очевидно, що це є свідченням різного підходу до конструювання робочих органів і машини в цілому та відсутністю загальноприйнятої моделі робочого процесу різання.

3. Оцінка експлуатаційних показників робочих органів машин для різання та обробки штучного і природного каменю показала наявність великої кількості технологічних факторів та їх сполучень, що виникають як в процесі їх виготовлення та і при експлуатації. Обумовлюється це тим, що абразивні армовані круги в процесі роботи знаходяться в складному напруженому стані, що виникає в результаті дії нормальних, відцентрових, згинаючих та тангенціальних сил.

4. Виконаними теоретичними та експериментальними дослідженнями визначені силові параметри та напружений стан абразивних робочих кругів із врахуванням фізико-механічних властивостей робочих органів машин в процесі

виникаючих діючих сил взаємодії із оброблювальним матеріалом.

5. Встановлені важливим аспектом реалізації ефективності різання природного й штучного каміння та нарізання пазів в конструкціях і стінах є виконані дослідження врахування процесів виділення тепла при взаємодії робочих органів машин із оброблювальним матеріалом.

6. Встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом та отримані аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням розподілу тепла в абразивному армованому крузі та мінімізацією робочого часу.

7. Розроблено основні положення методики та алгоритм розрахунку основних параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів, розрахунки за яким дають можливість вибору типу ріжучого органу, його раціональних параметрів на основі порівняння та оцінки різних типів.

8. Наведено конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами на корисну модель. Результати досліджень передано до впровадження у виробництво ТОВ «Вітал-Холдинг» (м. Кагарлик Київської обл.), ТОВ «ВП «ЕМКО» (м. Київ), ПП «КОРУНД» (м. Івано-Франківськ), ТОВ «НОВА Україна ТРЕЙД» (м. Золотоноша Черкаська обл.).

Методику проведення експериментальних досліджень впроваджено в освітній процес кафедри будівельних машин Київського національного університету будівництва і архітектури при виконанні лабораторних робіт «Реєстрація сил опору різанню високоміцних матеріалів» з дисципліни «Технічний експеримент та випробування».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрашкевич Ю. Д. Ефективна експлуатація полімерно-абразивної щітки / Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М. / Вестник Харьковського національного автомобільнодорожного університета [Текст] : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [редкол.: Богомолов В.А. (глав. ред.) и др.]. Харьков : ХНАДУ, 2016. Вып. 73. 59-62 с.
2. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Човнюк О.В. Вплив теплофізичних властивостей абразивного армованого круга на його зносостійкість. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №91. 2018. 51-57 с.
3. Абрашкевич Ю.Д. Дослідження впливу теплових процесів на роботоздатність відрізних інструментів / Абрашкевич Ю.Д., Поліщук А.Г. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2013. Вип. 81. 39-44 с.
4. Абрашкевич Ю.Д. Підвищення експлуатаційних показників абразивного інструменту. / Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2012. Вип. 80. 30-37 с.
5. Абрашкевич Ю.Д. Підвищення ефективності машин з абразивним інструментом / Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Човнюк О.В., Т.Ф. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. Вип. 87. 56-62 с.
6. Абрашкевич Ю.Д. Силові параметри машин з абразивним інструментом / Абрашкевич Ю.Д., Рашківський В.П., Поліщук А.Г., Човнюк О.В. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2015. Вип. 85. 67-71 с.
7. Абрашкевич Ю.Д. Силові параметри машина з абразивним інструментом / Абрашкевич Ю.Д., Рашківський В.П., Поліщук А.Г., Човнюк О.В. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2015. №85. 67-71 с.
8. Абрашкевич Ю.Д., Марченко О.А., Човнюк О.В. Визначення потреби в абразивних інструментах в будівельно-монтажних організаціях. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2011. 45-49 с.

9. Абрашкевич Ю.Д., Марченко О.А., Човнюк О.В. Пристрій для зачищення бетону фундаментів під технологічне обладнання. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №81. 45-49 с.
10. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Поліщук А.Г. Застосування алмазного та абразивного інструменту для різання кам'яних матеріалів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2010. №76. 45-49 с.
11. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А. Навантаження при різанні абразивним армованим кругом. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2019. 36-40 с.
12. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А. Силовий аналіз параметрів ручних машин під час роботи з відрізними абразивними армованими кругами. Промислове будівництво та інженерні споруди. №2. 38-47 с.
13. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А. Теплові процеси при різанні абразивними армованими кругами. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2020. №1. 22-27 с.
14. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А., Комоцька С.Ю. Механізована обробка будівельної техніки абразивними робочими органами. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. 2021. № 97. 36-46 с.
15. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Тишковець В.П. Вплив армування на безпеку експлуатації абразивних кругів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №86. 2015. 54-59 с.
16. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Щербина Т.Ф., Марченко А.О. Технологія виготовлення абразивних армованих кругів для різання кам'яних матеріалів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №92, 32-37 с.
17. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.Н. Технология изготовления полимерно-абразивного волокна. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. В73, 2016р, 63-67 с.
18. Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Марченко О.А. Силовий аналіз ручних кутових шліфувальних машин при роботі з зачисними абразивними

кругами. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. № 92. 38-48 с.

19. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П. Обладнання для монтажних робіт. Київ: КНУБА. 2006.

20. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Фомін А.В., Гаркавенко О.М. Основи теорії робочих процесів обробки будівельних матеріалів і конструкцій абразивним інструментом: монографія. К.: КНУБА. 2011. 176 с.

21. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М. Вплив конструкції привідної машини на зносостійкість абразивного інструменту. промислове будівництво та інженерні споруди № 1, 43-45с

22. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М. Зменшення енергетичних витрат при різанні металопрокату на монтажних ділянках. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2017. №2. 43-46 с.

23. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П. Визначення напружено-деформованого стану абразивних армованих кругів. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2011. №77. 45-49 с.

24. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П., Рябчик Є.Л. Особливості оптимізації механізованої ділянки на будівельному об'єкті. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. №73. 59-61 с.

25. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П., Соловей Д.А. Кінематичні та силові параметри машин з абразивними армованими кругами. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2011. №78. 59-65 с.

26. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П., Човнюк О.В. Дослідження експлуатаційних показників відрізного абразивного інструменту. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2009. №73. 53-58 с.

27. Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.П., Човнюк О.В. Визначення силових параметрів процесу різання абразивними армованими кругами. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2014. №79. 53-56 с.

28. Абрашкевич Ю.Д., Почка К.І., Пристайло М.О., Поліщук А.Г. Розробка установки для різання високоабразивних матеріалів алмазними дисками

та абразивними армованими кругами. / Current issues of science and integrated technologies: Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. Milan, Italy. January 10-13. 2023. 656-663 p.

29. Абрашкевич Ю.Д., Смірнов В.М., Пелевін Л.Є., Рашківський В.П. Механізація трудоміських процесів: навчальний посібник. К.: КНУБА, 2006. 180 с.

30. Андрианов И.В., Данишевский В.В., Иванков А.О. Асимптотические методы в теории колебаний балок и пластин. Днепропетровск: Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры. 2010. 217 с.

31. Баладінський В.Л., Тугай А.М., Гаркавенко О.М., Русан І.В. Будівельна техніка: Підручник. К.: КНУБА. 2002. 237 с.

32. Богатырева Г.П., Невструев Г.Ф., Ильиницкая Г.Д. Элитные алмазные порошки / Инструмент. світ. 1999. № 4,5. 26-27 с.

33. Богатырева Г.П., Шепелев А.А., Ильиницкая Г.Д., Маринич М.А., Петасюк Г.А., Билоченко В.А., Дуброва А.Е., Зайцева И.Н., Лещенко О.В. Получение алмазных шлифпорошков однородных по линейным размерам. / Международный сборник научных трудов «Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов» / Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины; редкол.: Н.В. Новиков (гл. ред.) и др. К.: Логос. 2010. 28–35 с.

34. Вказівки по швидкому монтажу та введення в дію перетворювача частоти на 4 кВт FRECON - FR150-4T-4.0 В - Вхідна напруга: 3-ф 380V Детальніше: <https://saeron.com.ua/ua/p1086136558-preobrazovatel-chastoty-kvt.html>

35. Горбатюк Є.В., Тетерятник О.А., Пристайло М.О. Обґрунтування конструктивних особливостей низькоенергоємних динамічних робочих органів та навісок землерийних машин. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. № 85. 99-103 с.

36. ДСТУ ГОСТ 21963:2003 Круги відрізнi. Технічні умови.

37. Засорнов О.С. Розробка приладу для керування обладнанням при дослідженні теплових властивостей матеріалів спеціального призначення /

Проблемы легкой и текстильной промышленности на пороге нового века. Сборник трудов всеукраинской научно-технической конференции. Херсон: ХГТУ. 1999. 33 с.

38. Інструкція з використання. Makita GA 9020 (2.2 кВт, Ø125мм) Кутова шліфувальна машина.

39. Інструкція з використання. Тахометр цифровий лазерний безконтактний dt-2234с+.

40. Ловейкін В.С. Динаміка роlikової формувальної установки. Монографія / Ловейкін В.С., Почка К.І. – К.-Ромни: КНУБА, «ІСА-Інтерпапір», 2009. 228 с.

41. Ловейкін В.С. Побудова фізичної моделі роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом. / Ловейкін В.С., Почка К.І. Техніка будівництва, 2007. № 20. 26-31 с.

42. Ловейкін В.С. Теорія технічних систем: навчальний посібник / Ловейкін В. С., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Київ-Полтава: ІЗМН-ПДТУ, 1998. 175 с.

43. Ловейкін В.С., Почка К.І. Лабораторний практикум з теорії механізмів і машин. Навчальний посібник. 2014. 266 с.

44. Ловейкін В.С., Почка К.І. Побудова фізичної моделі роlikової формувальної установки з рекупераційним приводом. Техніка будівництва. 2007. №20. 27-30 с.

45. Мартин Дж.М. Производство и применение резинотехнических изделий: пер. с англ. / Дж.М. Мартин. СПб.: Профессия. 2006. 477 с.

46. Мачишин Г. М. Визначення раціональної області застосування полімерно-абразивного інструмента / Г.М. Мачишин / Вестник Харьковского национального автомобильнодорожного университета. 2014. Вып. 65-66. 117-122 с.

47. Мачишин Г. М. Робочі органи машин та механізмів для очищення поверхонь будівельної техніки. Всеукраїнський збірник наукових праць "Гірничі,

будівельні, дорожні та меліоративні машини". Київ. 2014. №83. 69-79 с.

48. Мачишин Г.М. Робочі органи машини та механізмів для очищення поверхонь будівельної техніки. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2014. №83. 69-79 с.

49. Мачишин Г.М., Абрашкевич Ю.Д. Ефективне використання переносних відрізних машин. ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ. № 79.

50. Мачишин Г.М., Абрашкевич Ю.Д. Ефективне та безпечне застосування абразивних робочих органів. ЕНЕРГООЩАДНІ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ. 2022. 83 с.

51. Мачишин Г.М., Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Щербина Т.Ф. Визначення параметрів взаємодії полімерно-абразивної щітки (ПАЩ) з поверхнею. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. № 84. 47-53 с.

52. Мачишин Г.М., Абрашкевич Ю.Д., Човнюк О.В. Математична модель теплових процесів при роботі полімерно-абразивної щітки. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2014. №83. 91-96 с.

53. Надточій О.В., Тітова Л.Л., Роговський І.Л. Модель розпізнавання образів параметрів технічного стану машин для лісотехнічних робіт. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків В4. 8-15 с.

54. Назаренко І.І, Кузьмінець М.П., Берник І.М., Онищенко А.М. Технічні основи створення машин. К.: видавництво «Леся», 2017. 542 с.

55. Назаренко І.І., Онищенко А.М., Орищенко С.В., Федоренко О.В., Цепелев С.М., Тітова Л.Л. Дослідження технічних систем процесів сортування матеріалів. Динамічні процеси в технологічних технічних системах. Харків: РС ТЕШНОЛОГІЯ CENTER. 43-56 с.

56. Назаренко І.І., Дєдов О.П., Берник І.М., Бондаренко А.Є., Запривода А.В., Назаренко М.І., Перегінець І.І., Міщук Є.О., Кузьмінець М.П., Орищенко С.В., Федоренко О.В., Сергій Цепелев С.М., Онищенко А.М., Тітова Л.Л.,

Роговський І.Л., Ручинський М.М., Свідерський А.Т., Сліпецький В.В., Делембовський М.М., Заліско І.В., Нестеренко М.М. Динамічні процеси в технологічних технічних системах. Монографія.

57. Новиков Н.В., Ильницкая Г.Д., Богатырева Г.П., Невструев Г.Ф., Лещенко О.В., Зайцева И.Н. Металлические микро- и наночастицы в процессах разделения порошков сверхтвердых материалов. / Збірник наукових праць «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології». Київ: РВВ ІМФ. 2009. Том 7. Вип. 4. 1177–1194 с.

58. Новиков Н.В., Майстренко А.Л., Кулаковский В.Н. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов. Киев: Наукова думка. 1993. 220 с.

59. Новиков Н.В., Майстренко А.Л., Кулаковский В.Н. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов. Киев: Наукова думка. 1993. 220 с.

60. Новикова Ф.В., Якимова А.В. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технология машиностроения: у 10 т. / Под общей редакцией. Одесса: ОНПУ. 2002. Т. 4. Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов. 802 с.

61. Онищенко А.М., Кузьмінець М.П., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В. Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах: монографія. 2015. Том 323 К.: НТУ.

62. Патент України на корисну модель № 52979. МПК В23D 45/00 (2009). -т / Абрашкевич Ю.Д., Мачишин Г.М., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г., Щербина Т.Ф. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури. № u2009 13409; заявл. 23.12.2009; опубл. 27.09.2010. Бюл. № 18.

63. Патент України на корисну модель № 57929. МПК В23D 45/00 (2011.01). Розпилювальний пристрій з гасінням коливань / Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет

будівництва і архітектури. № u2010 05576; заявл. 07.05.2010; опубл. 25.03.2011. Бюл. № 6.

64. Патент України на корисну модель № 73906. МПК В24D 3/00 (2012.01). Спосіб виготовлення абразивного інструменту / Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури. № u 2012 03848; заявл. 29.03.2012; опубл. 10.10.2012. Бюл. № 19.

65. Патент України на корисну модель № 80173. МПК В23D 45/00 (2013.01). Відрізний станок з системою слідкування / Абрашкевич Ю.Д., Пелевін Л.Є., Поліщук А.Г. (Україна); заявник і патентовласник Київський національний університет будівництва і архітектури. № u 2012 15029; заявл. 27.12.2012; опубл. 13.05.2013. Бюл. № 9.

66. Пелевін Л. Є. Підвищення надійності і довговічності приводів динамічних робочих органів будівельної техніки на основі стендових випробувань: Монографія. - К.: Українська академія наук, «МП Леся». 2008. 196 с.

67. Пелевін Л.Є., Пристайло М.О., Пристайло Т.Ю. Стенд реєстрації зусиль різання. Патент України на корисну модель № 13846. Бюл. № 4, 17.04.06.

68. Пелевін Л.Є. Обґрунтування вибору геометричних та динамічних параметрів моделювання різання ґрунту наконечником з консоллю. / Пелевін Л.Є., Пристайло М.О. Техніка будівництва. 2012. № 28. 70-75 с.

69. Пелевін Л.Є., Балака М.М., Пристайло М.О., Мачишин Г.М., Аржаєв Г.О. Теоретичні основи взаємодії пружно-деформованих виконавчих елементів будівельної техніки і робочого середовища з врахуванням термореологічних процесів: монографія. К.: Інтерсервіс. 2015. 232 с.

70. Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Пристайло М.О., Мельниченко Б.М. Експериментальні дослідження заглиблення зуба розпушника при різних швидкостях переміщення базової машини. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. 2020. №95. 47-53 с.

71. Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М., Кузьмінець М.П. Технологічні умови роботи абразивного інструменту. Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини. 2019. 27-34 с.

72. Пелевін Л.Є., Пристайло М.О., Пристайло Т.Ю. Удосконалення реєстрації сил різання в лабораторних умовах. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини: Всеукраїнський міжвід. зб. наукових праць, К.:КНУБА, 2005. Вип. 65. 58-62 с.

73. Пелевін Л.Є., Мачишин Г.М., Маріонас Богдявічус, Карпенко М. М. Оцінка застосування рукавів високого тиску з використанням математичної моделі розрахунку розподілу навантаження між металевією опліткою. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. Всеукраїнський збірник наукових праць. №88. 64-70 с.

74. Позитивне рішення про державну реєстрацію корисної моделі «Динамометричний стенд реєстрації силового навантаження» / Абрашкевич Ю.Д., Пристайло М.О., Почка К.І., Поліщук А.Г. (Україна); заявник Київський національний університет будівництва і архітектури, № u2023 01862; заявл. 20.04.2023.

75. Почка К.І. Побудова фізичної моделі установки для різання високоабразивних матеріалів абразивними армованими кругами / Почка К.І. Абрашкевич Ю.Д. Пристайло М.О. Поліщук А.Г. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2022. № 3 (82). 30-36 с.

76. ПрАТ «Запорізький абразивний комбінат» <https://zak.ua/ua>

77. ПрАТ «Іршавський абразивний завод». URL: <http://abrazives.com/>

78. Пристайло М.О. Обґрунтування раціональних параметрів розпушника-кайлувальника з пружно-деформованим виконавчим елементом: автореф. дис. ... канд. техн. наук. 05.05.04 / Пристайло М.О. Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2014. 20 с.

79. Пристайло М.О., Марчук К.. Інноваційні шляхи вдосконалення будівельної техніки з огляду на потреби сучасної будівельної індустрії. Гірничі,

будівельні, дорожні і меліоративні машини. 2019. №94. 35-41 с.

80. Проволоцкий А. Е. Повышение производительности процесса обработки полимера абразивными инструментами / Проволоцкий А. Е., Негруб С.Л., Старостин Д. А. / Прогрессивные технологии и системы машиностроения (Донецк). 2006. №1(32). 193–199 с.

81. Роговський І.Л., Виговський С.М. Фактори впливу на абразивну зносостійкість деталей будівельних машин наплавлених титаноазотовмісним білим чавуном. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. №1. 189-194 с.

82. Роговський І.Л., Калініченко Д.Ю. Методика непараметричної побудови динаміки абразивного зношування робочих поверхонь деталей будівельних машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика. 2018. № 298. 137-147 с.

83. Роговський І.Л., Тітова Л.Л., Войнаш С.А., Мельник В.І., Ремшев С.Ю., Галієв Р.М., Нуретдінов Д.І., Ворначева І.В. Проектування посадки вузлів складального машинобудування з циркулюючими навантаженнями кільцями підшипників кочення. Журнал фізики: Серія конференцій. 2021.

84. Сівко В.Й., Кузьмінець М.П. Напружено-деформований стан будівельних матеріалів у технологічних процесах виробництва. Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. В.23(2). 132-138 с.

85. Смірнов В.М. Основи теорії різання ґрунтів просторово орієнтованими ножами робочих органів землерийних машин: Монографія. К.: «МП Леся», 2009. 260 с.

86. Стенд реєстрації зусиль різання: патент України №9931. МПК G01D 1/22 заявл.26.04.2005. Опубл. 17.10.2005. Бюл. №10.

87. Тітова Л.Л., Роговський І.Л. Система контролю параметрів технічного стану машин для лісогосподарських робіт Тека Komisji Motoryzacji i

Energetyki Rolnictwa. 2017. 73-81 с.

88. Тітова Л.Л. Математична модель оптимізації параметрів виробничих процесів машин для лісотехнічних робіт. Техніка та енергетика / Machinery & Energetics. В12. 77-85 с.

89. Пелевін Л. Є. Стабілізація режиму заглиблення робочого органу розпушувача/ АВ Фомін, ЛЄ Пелевін, БМ Мельниченк / Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2008. № 57. 174-179 с.

90. Щербина Т.Ф. Підвищення ефективності машин з абразивним інструментом Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. № 87. 56-62 с.

91. Оцінка застосування рукавів високого тиску з використанням математичної моделі розрахунку розподілу навантаження між металевією опліткою. Леонід Пелевін, Григорій Мачишин, Маріонас Богдявічус, М Карпенко Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2016. №88. 64-70 с.

92. Яцун М.А. Електричні машини: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. Львів. Видавн. Львівський національний Університет «Львівська політехніка», 2004. 439 с.

93. Abrashkevich Y. Mathematical model of heat distribution in an abrasive wheel / Abrashkevich Y. Prystaylo M., Polishchuk A. / Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2022. №100. 5-11 с.

94. Abrashkevich Y., Pochka K., Prystailo M., Polishchuk A. Technologies installation for cutting stone with abrasive and diamond tool ТЕКА. Semi-Annual Journal of Agri-Food Industry. 2022.

95. Bosch Power Tools Україна <https://www.bosch-professional.com/>

96. Chovnjuk Ju., Dikteruk M. Patent of Ukraine for an invention. № 105744. Installation for formation of products from concrete mixes. № a201309305 stated 25.07.2013; published 10.06.2014.

97. Fild J. E. The Properties of Natural and Syntetic Diamond. London. 1992.

98. Geovana Pereira Drumond. Study of an alternative material to manufacture

layered hydraulic hoses / Geovana Pereira Drumond, Ilson Paranhos Pasqualino, Marysilvia Ferreira da Costa. *Polymer Testing*. August 2016. Volume 53. 29-39 p.

99. Hintze W., Klingelhöller C. Analysis and Modeling of Heat Flux into the Tool 46. in *Abrasive Circular Cutting of Unidirectional CFRP*. *Procedia CIRP*. 2017. V. 66. 210-214 p.

100. <https://www.cedima.com/files/theme/Anwendungen/Fugenschneiden/>
CEDIMA Diamantwerkzeug- und Maschinenbaugesellschaft mbH

101. https://www.hilti.ua/c/CLS_POWER_TOOLS_7124/

102. <https://www.husqvarna.com/ua/>

103. <https://www.zipper-maschinen.at/en/concrete-cutter-3614>

104. <https://uk.ycequip.com/rock-saw>

105. <https://www.shijing.md/>



106. Liljelind I., Wahlström J., Nilsson L., Persson M., Nilsson T. Can we explain the exposure variability found in hand-arm vibrations when using angle grinders A round robin laboratory study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2010. № 83. 283-290 p.

107. Novikov N., Trefilov V., Maystrenko A., Kovtun V. Structure & Properties of Shock-Wave Sintered Diamond Composites / *Ind. Diamond Rev*. 1993. № 5. 278-281 p.

108. Pochka K., Abrashkevych Yu., Prystailo M., Polishchuk A. Method of experimental research of cutting highly abrasive materials with abrasive reinforced circles. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2023.

109. Wasserman D.E., Hudock S.D., Wasserman J.F., Mullinix L., Wurzelbacher S.J., Siegfried K.V. Hand-arm vibration in a group of handoperated grinding tools. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*. 2002. No. 12. 211-226 p.

Додаток А

	<p>ТОВ «ВІТАЛ-ХОЛДИНГ» 09200, м. Кагарлик, Київської обл., вул. Героїв Небесної Сотні, 7 Код ЄДРПОУ: 39587004 р/р UA84380805000000026007471599 в КРД АТ «РАЙФФАЙЗЕНБАНК-АВАЛЬ», МФО 380805 Тел.: +38 050 900 44 36; + 38 067 464 47 37</p>	
---	--	---

До спеціалізованої Вченої ради
Д 26.056.08 КНУБА


Довідка
про впровадження наукових результатів

Поліщука Андрія Григоровича у виробництво в ТОВ «ВІТАЛ-ХОЛДИНГ»

Впродовж 2018-2023 рр. авторським колективом у складі к.т.н. доц. Пристайло М.О. та асистента Поліщука А.Г. проводилася науково-дослідна робота, присвячена обґрунтуванню режимів і параметрів робочого органу машин для різання високоміцних будівельних матеріалів.

В результаті проведених досліджень запропоновано використання абразивних армованих кругів виготовлених у відповідності до Патенту України на корисну модель № 73906, МПК В24D 3/00 (2012.01). Спосіб виготовлення абразивного інструменту в якості робочого органу машини для різання високоміцних будівельних матеріалів дозволить зменшити енергоємність процесу різання та підвищити продуктивність роботи. Розроблено рекомендації з удосконалення приводу та конструкції машин, встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом.

Матеріали наукових досліджень прийнято до впровадження в товаристві з обмеженою відповідальністю «ВІТАЛ-ХОЛДИНГ».

Директор ТОВ «ВІТАЛ-ХОЛДИНГ»  Ірина СИЗОНЕНКО

Додаток Б

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ЗАВОД «ЕМКО»
м. Київ, вул. Олекси Тихого, 99

*До спеціалізованої Вченої ради
Д 26.056.08 КНУБА*

Довідка
про впровадження наукових результатів
Поліщука Андрія Григоровича у виробництво в ТОВ «ЗАВОД «ЕМКО»

Впродовж 2018-2023 рр. авторським колективом у складі к.т.н. доц. Пристайла М.О. та асистента Поліщука А.Г. проводилася науково-дослідна робота, присвячена обґрунтуванню режимів і параметрів робочого органу машин для різання високоміцних матеріалів.

В результаті проведених досліджень запропоновані конструктивні рішення машин для різання високоміцних матеріалів, новизна яких підтверджена патентами України на корисні моделі. Встановлено, що важливим аспектом реалізації ефективності різання природного і штучного середовища є врахування процесів виділення тепла при взаємодії робочих органів машин із оброблювальним матеріалом.

Матеріали наукових досліджень прийнято до впровадження в ТОВ «ЗАВОД «ЕМКО» для підвищення продуктивності різання високоміцних матеріалів.

Генеральний директор
ТОВ «ЗАВОД «ЕМКО»



Наталія МЕРЕЖКО

Додаток В

**П Р И В А Т Н Е
П І Д П Р И Є М С Т В О**



76495, м.Івано-Франківськ, вул. Пресмашівська, 8
тел.(0342) 787489, факс(0342) 787421
р/р 2600530620001 в Івано-Франківській філії
КБ «Приватбанк»,
МФО 336677, код 22193695,
код ПДВ 221936909158 Св. №100132778

*До спеціалізованої Вченої ради
Д 26.056.08 КНУБА*

Довідка
про впровадження наукових результатів
Поліщука А.Г. у виробництво в ПП «Корунд»

Впродовж 2013-2023 рр. авторським колективом у складі д.т.н. проф. Абрашкевича Ю.Д., к.т.н. доц. Пристайло М.О. Поліщука А.Г. проводилася науково-дослідна робота, присвячена обґрунтуванню режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних будівельних матеріалів.

В результаті проведених досліджень розроблено технологію виготовлення абразивних армованих кругів для різання високоабразивних будівельних матеріалів, отримано Патент України на корисну модель № 73906, МПК В24Д 3/00 (2012.01). Спосіб виготовлення абразивного інструменту.

На виробничих потужностях ПП «Корунд», в м. Івано-Франківськ були виготовлені дослідні зразки та проведені виробничі випробування.

Матеріали наукових досліджень прийнято до впровадження в ПП «Корунд».

Технічний директор



П.В. Йосипів

Додаток Г

ПП "Корунд"
Івано-Франківськ
вул. Пресмашівська, 8
Експедитор

Сертифікат якості № 3350

Договір №05-1/108 від 08.08.2013

Транспортний документ

Накладна .

Позначення	ГОСТ	Одиниця виміру	Кількість	Маса	Нетто
Круг відрізний на бакелітовій зв'язці Ф400*4*32 по каменю	21963-2002	шт	17	21,95	21,95

Позначення стандарту ТУ, Номер пункту ГОСТУ вид випробувань	Величини параметру і його максимкльне відхилення	Результати випробувань		
		1	2	3
ГОСТ 21963 п.2.3.4 Зовнішній діаметр мм	400 (+,-)5	400,5	400,2	400,4
Висота мм	4.0 (+,-) 0.6	4,3	4.05	4.15
Діаметр посадочного отвору, мм	32,0 (+) 0,21	32,22	32.10	32,15
ГОСТ 21963 п.2.3. Радіальне і торцеве биття , мм	1.6	1,2	1,35	1,28
ГОСТ 21963 п. 2.6. Площинність круга мм	0.4	0,35	0,25	0,2
ГОСТ 21963 п.2.7. Наявність калібрувальної втулки	так (ні)	так	так	так
ГОСТ 21963 п. 2.8.4.4. Клас нерівноваженості	1.2.3.	1	1	1
ГОСТ 21963 п.2.11.4.3. Контроль звукового Індексу, ЗІ	25-49	37	37	37.9
ГОСТ 21963 п.2.9. Пошкодження кромок	до 3мм 4шт	2,1	не має	2,2
ГОСТ 21963 п.2.13.4.5. Випробування на механічну міцність	102м/с 5хв.	витримали		
ГОСТ 21963 п..2.16.4.6. Коефіцієнт шліфування	1.6. – 1.9.	1,8	1,8	1,75

Вказаний в сертифікаті товар відповідає по якості діючим в Україні стандартам, технічним умовам.

Технічний директор

Йосипів П.В.



Додаток Д

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«НОВА УКРАЇНА ТРЕЙД»
Черкаська обл., місто Золотоноша
Види діяльності 42.11 Будівництво доріг і автострад

*До спеціалізованої Вченої ради
Д 26.056.08 КНУБА*

Довідка
про впровадження наукових результатів
Поліщука А.Г. у виробництво в ТОВ «НОВА УКРАЇНА ТРЕЙД»

Впродовж 2019-2023 рр. авторським колективом у складі д.т.н. проф. Абрашкевича Ю.Д., к.т.н. доц. Пристайла М.О. та поліщука А.Г. проводилася науково-дослідна робота, присвячена обґрунтуванню режимів та параметрів робочого органу при різанні високоміцних матеріалів, на основі врахування взаємодії робочого органу машини із оброблюваним матеріалом..

В результаті проведених досліджень встановлені закономірності руху абразивного армованого круга, як робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням процесу його взаємодії із оброблювальним матеріалом та отримані аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів машини для різання високоміцних матеріалів із врахуванням розподілу тепла в абразивному армованому крузі та мінімізацією робочого часу.

Матеріали наукових досліджень прийнято до впровадження в ТОВ «НОВА УКРАЇНА ТРЕЙД» для удосконалення обладнання для різання тротуарних та дорожніх бордюрів.

Директор
ТОВ «НОВА УКРАЇНА ТРЕЙД»



Сергій ЯНЧЕНКО

Додаток Е



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

03037, м. Київ, Повітрофлотський пр., 31, телефон: 241-55-80

31.10.2023 № 02-1.9/662
на № _____

До спеціалізованої Вченої ради
Д 26.056.08 КНУБА

Довідка

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Поліщука А.Г. в освітній процес КНУБА

Надана Поліщуку А.Г. в тому, що результати наукових досліджень, отримані в межах дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх та лісотехнічних робіт» за темою «Обґрунтування режимів і параметрів робочого органу машини для різання високоміцних матеріалів», застосовано при виконанні лабораторних робіт «Реєстрація сил опору різанню високоміцних матеріалів» з дисципліни «Технічний експеримент та випробування» на кафедрі Будівельних машин.

Ректор КНУБА
д.е.н., професор




Петро КУЛІКОВ