



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на магістерську роботу Дослідження силової взаємодії полімерно-абразивної щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів

Студент Мерліков Василь Сергійович

Спеціальність 131 Прикладна механіка

група М-113м

Обсяг проекту (роботи) Повний

Кількість аркушів креслень

Кількість сторінок пояснювальної записки 124

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень У роботі проведено аналіз дослідження силової взаємодії полімерно-абразивної щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню
Виконана робота повністю відповідає поставленому завданню

в) характеристика виконання кожного розділу магістерської роботи, рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи
Виконана робота на достатньому рівні відповідає останнім досягненням науки та техніки

г) негативні особливості виконання роботи
При перевірці виконаної роботи негативних особливостей не виявлено

ді позитивні особливості

Політичний досвід можна вважати визначення впливу різних факторів та параметрів на силову взаємодію дискових полімерно-абразивних шліфок та шліфків.

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи) Презентація та пояснювальна записка виконані у відповідності до діючих стандартів.

с) відгук про роботу загалом

В цілому магістерська робота студента групи М-131м Мерлікова Василя Сергійовича відповідає вимогам вищої школи.

ж) інші зауваження

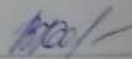
У якості зауважень можна привести наступне: Не обґрунтовано вибір запропонованих діапазонів режимів обробки для проведення досліджень.

з) оцінка роботи

В цілому магістерська робота студента групи М-131м Мерлікова Василя Сергійовича заслуговує оцінку «відмінно»

Рецензію склав к.т.н., доцент кафедри ТМБ Кононов В.В.

(посада, місце роботи, прізвище, ім'я та батько)



(підпис)

«10»

12

2018 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Технології машинобудування

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: «Дослідження силової взаємодії дискової полімерно-абразивної
щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів»

Виконав: студент VI курсу, групи М-113м
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладна механіка

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Мерліков В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Гончар Н.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кононов В.В.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний

Кафедра Технології машинобудування

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(код і назва)

Напрямок підготовки

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри **ТМБ**

С.І. Дядя, к.т.н., доц.

“ 10 ” 12 2018 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мерліков Василь Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження силової взаємодії дискової полімерно-абразивної щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів

керівник проекту (роботи) Гончар Наталя Вікторівна. к.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26”11 2018 року №366

2. Строк подання студентом проекту (роботи)

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження силової взаємодії

дискової полімерно-абразивної щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз наукової літератури.

2. Методика виконання досліджень.

3. Визначення сил, що виникають при обробці дисковими ПАЩ.

4. Аналіз проведених досліджень.

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

Презентація – 29 плакатів

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 4 частина	Гончар Н.В. к.т.н., доцент		
5 частина	Шмирко В.І. к.т.н., доцент		
Нормоконтроль	Козлова О.Б. доцент		
Рецензія	Кононов В.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 26.02.2018

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Полімерно-абразивні щітки як інструмент фінішної обробки	24.09.18-05.10.18	
2	Методика визначення силового взаємодії дискової полімерно-абразивної щітки	05.10.18-15.10.18	
3	Визначення сил, що виникають при обробці дисковими ПАЩ	15.10.18-22.10.18	
4	Аналіз результатів дослідження силового впливу	22.10.18-06.11.18	
5	Охорона праці	06.11.18-13.11.18	
6	Оформлення ПЗ та презентації	13.11.18-23.11.18	
7	Нормоконтроль та рецензія	23.11.18-05.12.18	
8	Захист магістерської роботи	11.12.18	

Студент _____
(підпис)

Мерліков В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Гончар Н.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 124 стор., 67 рис., 25 табл., 2 джерела, 2 додатки.

Об'єкт дослідження: дискова полімерно-абразивна щітка.

Методи дослідження: інженерний метод - для визначення радіальної сили взаємодії полімерно-абразивної щітки і оброблюваного зразка; метод математичної статистики - для обробки результатів експериментів; методи математичного аналізу - розрахунок сил, що діють в парі інструмент-зразок, проведення кореляційного аналізу та повного факторного експерименту.

Мета роботи: визначення радіальної складової (як найбільш суттєвої) сил, які виникають при обробці даним інструментом, а також подальше визначення та оцінювання факторів, що впливають на виникнення даних сил та зміни їх величини.

Задачі дослідження:

- визначити особливості застосування та принцип роботи дискових ПАЩ;
- підібрати оснащення та зразки для проведення досліджень;
- скласти методику та план експериментів по визначенню силової дії;
- проаналізувати результати досліджень радіальної складової сили різання ПАЩ за допомогою кореляційного аналізу та факторного експерименту; оцінити вплив різних факторів на силовий рівень;
- провести аналіз небезпек, які можуть виникнути при роботі у лабораторії та за персональним комп'ютером (ПК); розробити план кабінету для робітників працюючих за ПК.

ДИСКОВІ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНІ ЩІТКИ, РАДІАЛЬНА СИЛА, ЗРАЗОК, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ДІНАМОМЕТР, РЕЖИМИ ОБРОБКИ, ФІЗИЧНІ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів...	7
Вступ.....	9
1 Полімерно-абразивні щітки як інструмент фінішної обробки.....	10
1.1 Особливості застосування дискових ПАЩ.....	11
1.2 Визначення сил інструменту.....	13
1.3 Висновки.....	15
2 Методика визначення силового впливу дискової полімерно-абразивної щітки.....	16
2.1 Принцип роботи дискових ПАЩ.....	16
2.2 Експериментальне обладнання і принцип його роботи.....	16
2.2.1 Тарирування динамометра.....	17
2.2.2 Експериментальне обладнання.....	18
2.3 Зразки для експериментів.....	21
2.4 Методика проведення дослідження.....	21
2.5 План проведення експерименту по визначенню силової дії.....	23
2.6 Висновки.....	24
3 Визначення сил, що виникають при обробці дисковими ПАЩ.....	25
3.1 Проведення експериментальних досліджень.....	25
3.2 Дія різноманітних факторів на силовий рівень.....	31
3.2.1 Вплив режимі обробки та параметрів щітки.....	31
3.2.2 Вплив фізичних та механічних властивостей матеріалів.....	38
3.3 Висновки.....	42
4 Аналіз результатів дослідження силового впливу.....	43
4.1 Визначення загальних факторів, що діють на силову взаємодію дискових ПАЩ і зразків, виготовлених з різних матеріалів.....	43
4.1.1 Кореляційний аналіз.....	43
4.1.2 Повний факторний експеримент.....	51

4.2 Висновки.....	71
5 Охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	72
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	72
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	75
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	78
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	84
5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	85
5.6 Висновки.....	88
Висновок.....	90
Перелік посилань.....	91
Додаток А. Експериментальні результати.....	94
Додаток Б. Презентація.....	97

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ. СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЦП	Аналогово-цифровий перетворювач
ВЯУ	Вогнище ядерного ураження
ГОСТ	Державний стандарт
ДБН	Державні будівельні норми
ДНАОП	Державний нормативно-правовий акт з охорони праці
ДСанПіН	Державні санітарні правила і норми
ДСН	Державні санітарні норми
ДСП	Державні санітарні правила
ДСТУ	Державний стандарт України
ЗЗР	Загони забезпечення руху
ЗОТС	Змащувально-охолоджуючі технологічні середовища
ЗПМД	Загони першої медичної допомоги
НАПБ	Нормативний акт з пожежної безпеки
НПАОП	Нормативно-правовий акт з охорони праці
ОГ	Об'єкт господарювання
ОП	Охорона праці
ПА	Полімерно-абразивні
ПАВ	Полімерно-абразивні волокна
ПАІ	Полімерно-абразивний інструмент
ПАЩ	Полімерно-абразивні щітки
ПЕОМ	Персональна електронно-обчислювальна машина
ПК	Персональний комп'ютер
ППД	Поверхнево-пластичне деформування
РЗ	Радіоактивне зараження
РІНР	Рятувальні та інші невідкладні роботи
СНиП	Будівельні норми і правила

ССБТ	Система стандартів безпеки праці
ТП	Технологічний процес
ЦЗ	Цивільний захист

ВСТУП

Розвинення науки не стоїть на одному місці. З кожним роком до деталей авіа- та машинобудування пред'являються більш високі вимоги. При обробці складнопрофільних і/або тонкостінних деталей, які мають високий клас точності поверхонь, велике значення має фінішна обробка, для якої необхідна розробка інструментів, а також інноваційних та високопродуктивних методів обробки.

Одним з високопродуктивних інструментів фінішно-оздоблювальної обробки, який до того ж, імовірно, забезпечує легкий зміцнюючий ефект є щітковий полімерно-абразивні інструменти або полімерно-абразивні щітки. Із їх застосуванням для фінішно-абразивних робіт з'являється можливість проводити обробку тонкостінних і складнопрофільних елементів деталей, рівномірно округляти гострі кромки, при цьому точно слідуючи контурам деталі без порушення форми вихідного виробу.

Важливий напрямок вивчення роботи дискових полімерно-абразивних щіток є дослідження виникнення радіальної сили.

Для визначення радіальної сили застосовували спеціальний динамометр. За його допомогою з'явилась можливість отримувати точні результати у широкому діапазоні.

З визначенням величин радіальної сили, що діє в області різання, і знаючи ступінь зношення щітки з'являється можливість підбирати полімерно-абразивний інструмент з відповідними характеристиками та раціональними режимами обробки для отримання відповідної якості поверхні та властивостей матеріалів.

1 ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНІ ЩІТКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФІНІШНОЇ ОБРОБКИ

У всіх галузях сучасної промисловості застосовуються різні методи фінішної обробки для надання необхідних параметрів якості поверхневого шару деталі. Розрізняють фінішно-зміцнюючу і фінішно-оздоблювальну обробки. Фінішний етап технологічного процесу (ТП) становить в цілому 10...20% від загальної трудомісткості виготовлення деталі [1].

Фінішно-оздоблювальна обробка деталей застосовується для розмірної і декоративної обробки поверхонь, очищення, зняття задирок, заокруглення гострих кромek, поліпшення якості поверхонь.

Фінішно-зміцнююча обробка широко використовується для підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару, а, відповідно, і експлуатаційних властивостей, таких як, наприклад, опору втоми, за допомогою механічного впливу і поверхнево-пластичного деформування (ППД) як деталей без концентратора напружень, так і деталей з концентраторами, що працюють при помірних температурах нагріву. Це один з найстаріших технологічних напрямків підвищення опору втоми деталей [2]. Також за допомогою ППД можна збільшити зносостійкість, корозійностійкість тощо.

Для забезпечення необхідної заданої якості поверхні вибирають певний метод, виходячи з матеріалу і форми поверхні оброблюваної деталі.

Одним з високопродуктивних інструментів фінішно-оздоблювальної обробки, якщо до того ж, імовірно, забезпечує легкий зміцнюючий ефект є щітковий полімерно-абразивні інструменти (ПАІ) або полімерно-абразивні щітки (ПАЩ). Із застосуванням ПАЩ для фінішних робіт з'являється можливість проводити обробку тонкостінних і складнопрофільних елементів деталей.

ПАІ за мірками розвитку машино- і авіабудівної промисловості використовуються у виробництві нещодавно. На даний момент у

виробництві їх застосовують з обмеженістю, тому що властивості і характеристики ПАЩ вивчено недостатньо.

ПАЩ складаються з полімерно-абразивних волокон (ПАВ) і маточини, в яку встановлюються волокна. ПАВ являють собою полімерну основу і рівномірно розподілені в ній абразивні зерна певної зернистості (F90 - F320). Матеріал абразиву - електрокорунд нормальний (14А) або карбід кремнію (63С) [3]. Процентне співвідношення зерен в полімерному матеріалі досягає 30%. При такому співвідношенні полімеру і абразиву ПАВ отримує можливість виконувати роль ріжучого елемента [4], зберігаючи пружні властивості волокон.

На даний момент ПАІ включає в себе сім видів щіток (рис. 1.1) різної конфігурації.



а) дискова



б) йоршикова



в) циліндрична



г) торцева



д) пелюсткова



е) чашкова



ж) кінцева

Рисунок 1.1 - Види полімерно-абразивних щіток

1.1 Особливості застосування дискових ПАЩ

Важливу роль у виборі ПАЩ грає матеріал, характеристики заданої якості поверхонь оброблюваної деталі, а також умови, при яких буде проходити обробка.

ПАЩ має ряд наступних переваг:

- 1) комбінування твердих і гострих кромок зерна з гнучкістю полімерної основи [5];
- 2) властивість «самозагострення»;
- 3) відсутність засолювання під час обробки;
- 4) невисока теплова та силова дія на поверхню оброблюваної деталі;
- 5) можливість роботи як при застосуванні змащувально-охолоджуючих технологічних середовищ (ЗОТС), так і без них.

ПАЩ можуть рівномірно скругляти гострі кромки, в тому числі складних геометричних форм, при цьому точно слідуючи контурам деталі без порушення форми вихідного виробу. Одночасно з цим вони здатні витримувати екстремальні навантаження, створювані сильно профільованими і гострокромковими деталями [5].

Недоліком даних щіток є необхідність в суворому дотриманні температурного режиму в зоні обробки, через те, що основа ПАВ має низьку температуру плавлення. Для даного інструменту ця температура регламентується виробником, її перевищення призведе до налипання плівки полімерної основи, яка з легкістю видаляється на наступному проході, з оброблюваної поверхні, однак це зменшує період стійкості інструменту.

На виробництві найчастіше використовують дискові ПАЩ. При експлуатації даного виду інструменту необхідно підбирати раціональні режими різання для того, щоб, з одного боку, отримати максимальну продуктивність, а з іншого - не перевищити гранично допустиму контактну температуру в зоні обробки вище точки плавлення волокна, тобто забезпечити високу працездатність і стійкість інструменту.

Дискові ПАЩ застосовуються для полірування різних прутків, складнопрофільних деталей, зварних швів, заокруглення крайок, обробки зубчатих коліс, пазів, вузьких і широких поверхонь тощо [5]. Також їх застосовують для видалення іржі, фарби, покриттів і слідів попередньої обробки.

1.2 Визначення сил інструменту

Усі види ПАІ відносяться до класу абразивних інструментів з нежорсткими робочими елементами. До таких інструментів можна віднести, наприклад шліфувальні стрічки, щітки з металевим ворсом, абразивні піскоструйні установки, пелюсткові круги, псевдо-киплячих (кипящий) або згущений абразив, віброгалтовка тощо.

Такий інструмент застосовується для фінішної обробки деталей з складнопрофільними і/або тонкостінними елементами з метою придання оброблюваній поверхні необхідної шорсткості, підготовки її під різні покриття, видалення задирок, заокруглення гострих кромek, попередньої обробки перед глянцюванням тощо. При цьому оброблятися можуть різні матеріали і сплави [6].

У процесі виконання обробки силова дія інструменту впливає на отримання якості поверхневого шару деталі, а також на інтенсивність і вид зношення інструменту.

Тому виникає необхідність для вимірювання силової дії інструментів на оброблювану поверхню для вибору або, навпаки, обмеження застосування фінішного методу, інструменту або визначення раціональних режимів обробки [7].

У процесі вивчення полімерно-абразивних (ПА) щіток були спроби аналітично обчислити енергію удару волокон для розрахунку продуктивності ПАЩ і питомий тиск на 1 мм^2 плями контакту, силу ударної дії одиничного ПА волокна, за допомогою віртуального моделювання, а також експериментально визначити потужність процесу і статичний тиск одного ПА волокна [8, 9, 10 та інші].

Однак, для експериментального визначення дійсного значення силової дії з боку ПА інструменту, як представника вище перерахованих нежорстких інструментів і методів, необхідно було запропонувати пристрій, що враховує їх специфіку.

З огляду на те, що силова дія таких інструментів набагато слабкіше, ніж звичайних ріжучих інструментів і абразивних кругів, чутливість вимірювального приладу підвищеною.

Для вимірювання сили і моменту сили, що виникають при обробці деталей можна використовувати динамометр. Динамометри бувають декількох видів:

- гідравлічні;
- електричні;
- механічні (важільні або пружинні).

Принцип роботи гідравлічного динамометра заснований на тому, що відбувається фіксація кількості видавленої з циліндра рідини, і цей показник потім перетворюється у показник вимірювальної сили [12].

Гідравлічні динамометри знаходять обмежене застосування через велику інерційність важеля поршневої системи, через що показання відстають від швидкоплинних процесів і спотворюють картину зміни сил різання в часі і за величиною, а також з причини малої чутливості. До того ж вони мають великі габарити в порівнянні з пружинними.

Механічні динамометри застосовуються переважно для одиничних вимірювань постійних сил в тих випадках, коли вимоги до точності порівняно невеликі.

Існує два види механічних динамометрів:

- пружинний;
- важільний.

У пружинному динамометрі сила або момент сили передається пружині, яка в залежності від напрямку сили стискається або розтягується. Величина пружної деформації пружини пропорційна силі впливу. У важільному динамометрі дія сили деформує важіль, величина деформації якого реєструється.

Механічні динамометри мають ті ж недоліки, що і гідравлічні. Тому, незважаючи на простоту конструкції, вони широкого поширення не

отримали. Основний недолік всіх цих приладів - неможливість запису свідчень.

Електричні динамометри є найбільш чутливими приладами, через те, що вони є малоінерційними і дозволяють за допомогою осцилографа проводити запис швидкоплинних процесів за тисячні і сотисячні частки секунди. Такі динамометри перетворюють механічний вплив сил різання в легко вимірювані електричні величини. У склад електричних динамометрів входять датчики ємності, конденсаторні; електромагнітні або тензометричні.

Завдяки високим власним частотам вони здатні точно вимірювати навіть дуже швидкі процеси. Електричні динамометри не потребують встановлення нульового значення - вони відразу готові до вимірювань "натисканням кнопки".

Переваги електричних динамометрів:

- 1) велика жорсткість і висока власна частота;
- 2) великий діапазон виміру;
- 3) лінійність і відсутність гістерезису;
- 4) малі перехресні наведення (менше 1%);
- 5) простота в експлуатації (вимір по "натискання кнопки");
- 6) компактність.

У ході виконання магістерської роботи буде застосовуватись динамометр електрично-механічного типу з важільним механізмом [13].

1.3 Висновки

1. Проаналізовано літературні джерела за заданою темою.
2. Розглянуто полімерно-абразивні щітки як інструмент для фінішної обробки.
3. Визначено особливості та сили діючі на інструмент бід час обробки.

2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ ДИСКОВОЇ ПОЛІМЕРНО-АБРАЗИВНОЇ ЩІТКИ

2.1 Принцип роботи дискових ПАЩ

На даному етапі вивчення роботи ПАЩ актуальним є дослідження силового впливу дискових ПАЩ і оброблюваних деталей.

Дискові полімерні щітки можна використовувати як індивідуально так і збирати їх в циліндричну необхідної ширини. Дані щітки при використанні їх, наприклад, на обробних центрах, безпосередньо встановлюються в магазин верстата, обробка може відбуватися декількома видами щіток по черзі. Робота дисковими ПАЩ виконується також і на шліфувальних або заточних верстатах.

Для проведення полірування ПАЩ необхідно здійснити вибір технологічних параметрів обробки з урахуванням поставленої мети, продуктивності процесу, стійкості інструменту і якості оброблюваної поверхні [6].

При обробці деталей волокна ПАЩ вступають в безпосередній контакт з деталлю: спочатку ударна дія, потім мікрорізання, і в результаті відбувається зняття певного шару матеріалу, надання поверхні деталі закінченого вигляду і необхідної якості.

2.2 Експериментальне обладнання і принцип його роботи

Дослідження в ході виконання наукової роботи проводили в умовах лабораторій і навчальних аудиторій, розташованих на базі Запорізького національного технічного університету.

Експериментальна частина проекту виконувалась на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Б71М, в шпиндель якого встановлювали щітковий ПАІ.

2.2.1 Тарирування динамометра

Перед кожною серією експериментів проводиться перевірка роботи верстата. Потім необхідно провести тарировку вимірювального приладу - динамометра.

Тарирування - це компенсація більшої частини систематичної похибки всієї вимірювальної системи від входу вимірюваної фізичної величини до виходу виміряного значення цієї величини. Тарирування робиться шляхом подачі на датчик еталонної величини фізичного впливу [8].

Тарирування контрольних елементів для вимірювань сил різання проводиться зазвичай статично, використовуючи силове навантаження різними засоби. Для оцінки коливань сил різання в області частот, близьких до власних, потрібна динамічна тарировка. У таких випадках при тарировці вимірювальна система навантажується періодичною силою з різною частотою [9].

Тарирування для перерахунку сил, що діють на каретку, з аналогового сигналу, що характеризує зміну величини зазору δ , проводили за допомогою мір ваги статично, тому, що конструкція скоби динамометра була розрахована таким чином, щоб власна частота коливань верхнього плеча не співпадала з робочими частотами, які наводяться можливим биттям щітки. Отримана тарирувальна залежність вихідної напруги U від зусилля P перед кожним комплексом експериментів [7] у випадку коли каретку переміщували вздовж плеча динамометра:

$$U = f(P) \quad (2.1)$$

Тарирувальний графік змінювався в зв'язку із зміною жорсткості плеча через перестановку каретки.

2.2.2 Експериментальне обладнання

Для перевірки частоти обертання шпинделя використовується тахометр годинного типу - ТЧ-10Р (рис. 2.1) стандартного виготовлення. Він безпосередньо приєднується до верстата і має похибку вимірювань не більше 1%. Для вимірювання частоти обертів ніжку тахометра необхідно встановити в центральний отвір шпинделя і зняти свідчення.



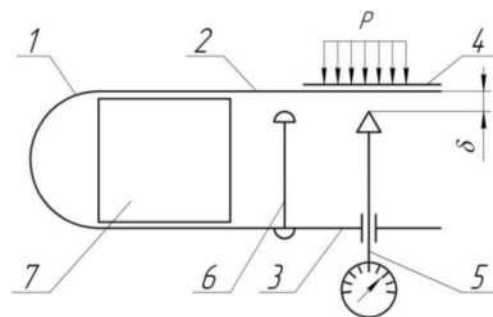
Рисунок 2.1 - Тахометр годинного типу ТЧ-10Р

Вимірювання сил, що виникають при обробці деталей ПАЩ, проводиться динамометром (рис. 2.2, 2.3) [7], який дозволяє вимірювати навіть незначний силовий вплив і задовольняє наступним вимогам:

- 1) простота і зручність у використанні;
- 2) висока чутливість до сил від постійних, непостійних і періодичних навантажень;
- 3) висока чутливість до розподілених сил;
- 4) можливість гасити надмірні коливання в разі їх виникнення;
- 5) моніторинг і реєстрація сил в реальному часі;
- 6) подальше проведення обробки результатів.

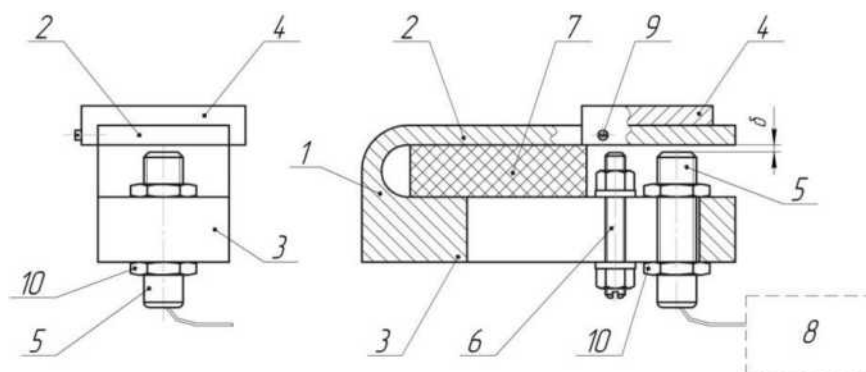
Принцип дії динамометра наступний. Під дією навантаження на каретку 4 відбувається деформація верхнього плеча 2 скоби 1, що викликає зміну величини зазору δ , безперервно вимірюваного безконтактним індуктивним датчиком. Сигнал датчика передається в реєструючий прилад 8,

що складається з підсилювача, аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) і персонального комп'ютера (ПК) з програмним забезпеченням, наприклад, демо-версією «PowerGraph 3.3 Demo». З його допомогою можна записувати сигнал в режимі реального часу, його перерахування в величину зусилля, прикладеного до каретки, збереження отриманих результатів для обробки накопиченої інформації в зручній формі.



- 1 - скоба; 2, 3 - верхнє і нижнє плечі скоби; 4 - каретка;
 5 - вимірювальний пристрій; 6 - запобіжний пристрій;
 7 - буферна прокладка

Рисунок 2.2 - Схема динамометра



- 1 - скоба; 2, 3 - верхнє і нижнє плечі скоби; 4 - каретка;
 5 - струмовихровий безконтактний датчик XS4P12AB110;
 6 - запобіжний пристрій; 7 - буферна прокладка;
 8 - реєструючий прилад; 9 - гвинт; 10 - гайка

Рисунок 2.3 - Ескіз динамометра

Каретка 4 має П-подібну форму, що дає можливість переміщення її вздовж верхнього плеча. Якщо навантаження дуже великі, її переміщують, зменшуючи виліт плеча до місця прикладання сили, і, відповідно, збільшуючи його жорсткість. При вимірі невисокого силового впливу каретку переміщують ближче до краю скоби, тим самим збільшуючи чутливість приладу. Каретка фіксується трьома гвинтами 9, запобігаючи її довільне зміщення від можливої тангенціальної складової навантаження. Датчик 5 при необхідності можна переміщати уздовж паза, проте його крайнє положення забезпечує найбільшу чутливість вимірювання

Вихідну шорсткість зразків вимірювали на стандартному профілометрі моделі 130 (рис. 2.4), призначеного для вимірювання 28 параметрів шорсткості зовнішніх і внутрішніх поверхонь і 4 параметрів хвилястості (пази, отвори) поверхонь, перетини яких в площині вимірювання представляють собою як прямі, так і вигнуті по радіусу лінії (кульки, вали і т.д.), з вимірюванням цього радіусу. Чутливість індуктивного датчика профілометра моделі 130 має рекордну величину в 0.002 мкм, що дозволяє описувати рельєф нерівностей висотою від 0.005 мкм.



Рисунок 2.4 - Профілометр стандартного типу моделі 130

2.3 Зразки для експериментів

В ході проведення експериментів використовувалися плоскі лабораторні зразки (рис. 2.5) з різних матеріалів. Матеріали вибирали зі значно відрізняючимися властивостями, щоб захопити якомога ширший діапазон значень фізичних і механічних властивостей матеріалів.

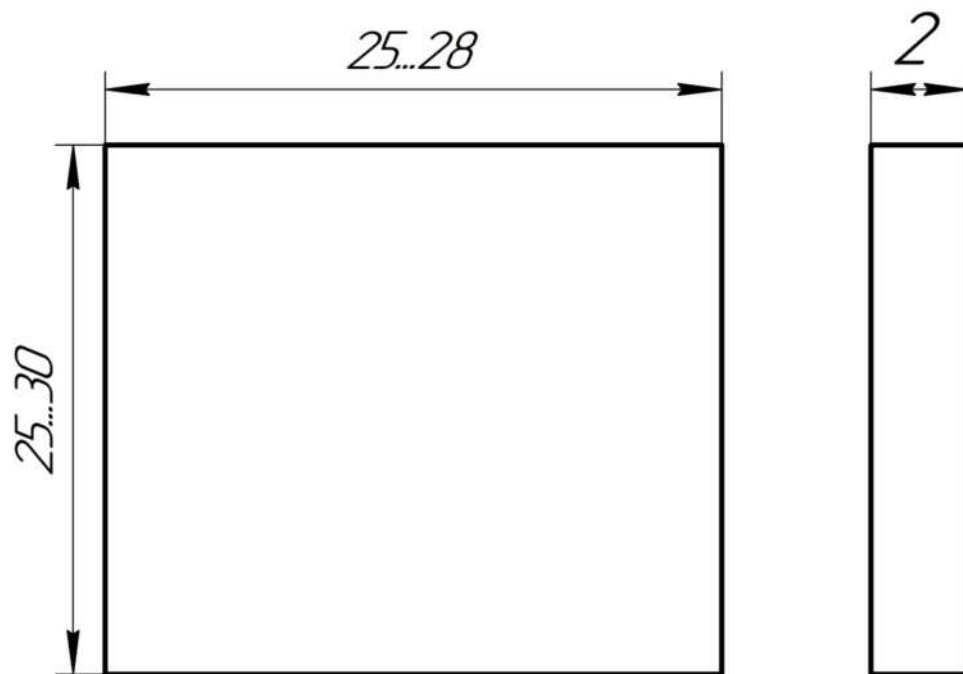


Рисунок 2.5 - Ескіз зразка для експерименту

Твердість зразків - 45...600 НВ, вихідна шорсткість $Ra=1,6...12,5$. Обробку проводили без ЗОТС.

2.4 Методика проведення дослідження

Завдання дослідження - знайти максимально допустимі «жорсткі» (з точки зору сили) режими обробки, які збільшать продуктивність, але не зменшують термін служби щітки. А також переконатись у тому, що рівень сил при обробці недостатній, щоб деформувати тонкостінні елементи оброблюваних деталей, наприклад, лопаток і їх кромки.

В процесі експерименту обробку зразків проводили дисковим ПАІ ($D=150$ мм), які відрізнялися вилітом волокна (L). Виліт волокна змінювали за допомогою спеціальних накладок, тим самим змінюючи жорсткість інструменту.

Необхідно:

- спочатку підключити апаратуру;
- провести тарировки динамометра;
- результати кожного експерименту записати на ПК для подальшої обробки;
- отримані осцилограми (приклад показаний на рис. 2.6) проаналізувати: визначити середню і максимальну радіальну силу. Середня в кожному досліді - постійна; змінні сили виникають через биття шпинделя верстата;
- по кожному фактору визначити раціональне значення з точки зору силового рівня тиску на зразок;
- провести статистичну обробку результатів експериментів щодо всіх матеріалів зразків;
- дати технологічні рекомендації по обробці щітковими ПАІ.

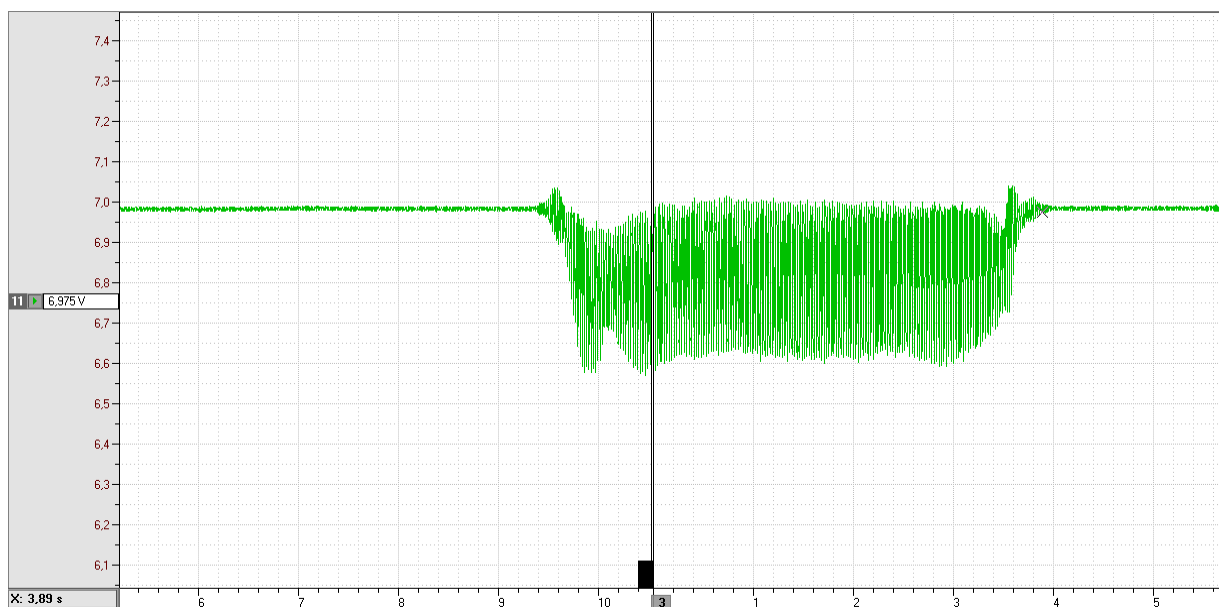


Рисунок 2.6 – Осцилограма - графік изменения зазора δ по времени

2.5 План проведення експерименту по визначенню силової дії

Для дослідів використовували зразки, виготовлені з наступних матеріалів: сталь 3, латунь Л63, мідь М2, алюміній АМГ3, сталь У12. Фізичні і механічні властивості цих матеріалів наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Властивості використаних для експериментів матеріалів

Матеріал зразку	Марка матеріалу	Межа міцності σ_B , МПа	Ударна в'язкість a_n , Дж/см ²	Межа текучість σ_T , МПа	Відносне видовження δ , %	Густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/мК	Твердість HB , МПа	Модуль Юнга k , ГПа
Алюміній	АМГ3	245	900	195	15	2660	230	45	70
Латунь	Л63	290	900	110	38	8440	110	70	95
Мідь	М2	350	1400	200	32	8940	380	95	110
Сталь	Ст 3	425	-	225	26	7850	52	156	200
Сталь	У12	1420	270	1230	10	7839	52	600	250

При виконанні серії експериментів варіювали наступними режимами обробки:

- гранична подача $S=1,2...10$ м/хв;
- натяг $i=0,5...3,0$ мм;
- окружна швидкість різання $V=20,4...39,2$ м/с.
- виліт волокна $L=8...30$ мм.

Експерименти розбили на п'ять серій в залежності від параметрів інструментів:

- 1) серія 1: $D=150$ мм; $L=30$ мм; $V=20,4$ м/с;
- 2) серія 2: $D=150$ мм; $L=30$ мм; $V=27,4$ м/с;
- 3) серія 3: $D=150$ мм; $L=30$ мм; $V=39,2$ м/с;
- 4) серія 4: $D=150$ мм; $L=16$ мм; $V=20,4$ м/с;
- 5) серія 5: $D=150$ мм; $L=8$ мм; $V=20,4$ м/с;

План дослідження для першої серії з шістнадцяти експериментів наведено в таблиці 2.2. Для інших серій експериментів план аналогічний.

Таблиця 2.2 - План експериментального дослідження, для однієї серії експериментів.

Номер експерименту	Натяг i , мм	Подача S , м/хв
1	0,5	1,2
2	0,5	3,5
3	0,5	5,5
4	0,5	10
5	1	1,2
6	1	3,5
7	1	5,5
8	1	10
9	2	1,2
10	2	3,5
11	2	5,5
12	2	10
13	3	1,2
14	3	3,5
15	3	5,5
16	3	10

2.6 Висновки

1. Визначено принцип виконання роботи дисковими полімерно-абразивними щітками;
2. Підібрано спеціальне обладнання;
3. Розроблено методику проведення дослідження та запропоновано план проведення експериментів.

3 ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ ОБРОБЦІ ДИСКОВИМИ ПАЩ

3.1 Проведення експериментальних досліджень

Експериментальна частина магістерської роботи включає в себе дослідження силового впливу дискової ПАЩ на зрази, виготовлені з п'яти різноманітних матеріалів (табл. 2.1).

Метою проведення експериментального дослідження було визначення радіальної складової (як найбільш суттєвої) сил, які виникають при обробці даним інструментом, а також подальше визначення та оцінювання факторів, що впливають на виникнення даних сил та зміни їх величини.

Для проведення експериментів використовували дискову ПАЩ з різним вилітом волокон, регульованих накладками. Так, перша серія експериментів проводиться «найм'якшими» дисковими ПАЩ с $L=30$ мм, а остання серія «найжорсткішими» з вилітом $L=8$ мм.

У відповідності із складеним раніше планом дослідницької частини роботи, змінювали такі параметри:

- натяг $i=0,5; 1; 2; 3$ мм;
- швидкість обробки $V=20,4; 27,4; 39,2$ м/с;
- подача $S=1,2; 3,5; 5,5; 10$ м/хв;
- виліт $L=30; 16; 8$ мм.

В результаті було визначено силовий вплив дискових щіткових ПАІ при зміні режимів обробки та матеріалу зразків (табл. 3.1).

Первинний аналіз змінення подачі показав, що на відміну від інших факторів подача практично не має впливу на рівень сил у робочій зоні.

Виходячи з цього, виключаємо подачу, як незначний фактор, та виводимо середнє значення виникаючих сил у кожній серії експериментів без урахування подачі. З отриманих даних формуємо таблицю 3.2.

Таблиця 3.1 – Результати експериментального дослідження силового впливу ПАЩ

Матеріал	Швидкість обробки / ВИЛІТ ВОЛОКОН	Натяг i , мм															
		0,5				1				2				3			
		Подача S , м/хв															
		1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10
		Радіальна сила P_r , Н															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Сталь 3	$V=20,4$ м/с $L=30$ мм	11,2	11,2	11,2	11,2	18,2	18,2	18,2	18,2	33,3	33,3	33,3	33,3	36,3	36,3	36,3	36,3
	$V=27,4$ м/с $L=30$ мм	25,9	25,9	24,2	25,9	29,4	31,1	31,1	29,4	34,6	35,4	34,6	35,4	40,4	39,6	40,4	39,6
	$V=39,2$ м/с $L=30$ мм	26,3	26,3	28,0	26,3	31,1	32,9	32,9	31,1	40,4	39,6	39,6	40,4	47,1	46,2	47,1	47,1
	$V=20,4$ м/с $L=16$ мм	11,7	11,7	11,7	11,7	20,2	20,2	20,2	20,2	36,1	36,1	36,1	36,1	45,4	45,4	45,4	45,4
	$V=20,4$ м/с $L=8$ мм	11,8	11,8	11,8	11,8	22,3	23,1	23,1	23,1	46,7	46,7	45,0	45,0	67,4	66,6	67,4	67,4
Сталь У12	$V=20,4$ м/с $L=30$ мм	12,2	12,2	12,2	12,2	22,6	22,6	22,6	22,6	34,6	34,6	34,6	34,6	38,0	38,0	38,0	38,0
	$V=27,4$ м/с $L=30$ мм	28,5	26,8	26,8	28,5	32,1	33,8	32,1	32,1	35,4	36,3	35,4	36,3	40,4	40,4	42,2	40,4
	$V=39,2$ м/с $L=30$ мм	27,6	27,6	29,3	27,6	34,5	34,5	36,3	34,5	41,7	43,4	43,4	41,7	48,4	48,4	50,1	48,4
	$V=20,4$ м/с $L=16$ мм	13,0	13,0	13,0	13,0	23,3	23,3	23,3	23,3	38,9	38,9	38,9	38,9	48,4	48,4	48,4	48,4
	$V=20,4$ м/с $L=8$ мм	13,8	13,8	13,8	13,8	24,2	24,2	24,2	24,2	51,1	49,4	51,1	51,1	70,6	68,8	70,6	70,6

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
М2	V=20,4 м/с L=30 мм	8,6	8,6	8,6	8,6	17,3	17,3	17,3	17,3	31,9	31,9	31,9	31,0	34,6	34,6	34,6	34,6
	V=27,4 м/с L=30 мм	22,5	20,7	22,5	22,5	25,9	27,6	25,9	25,9	33,7	34,5	33,7	34,5	38,7	38,7	40,4	38,7
	V=39,2 м/с L=30 мм	27,6	27,6	29,3	27,6	34,5	34,5	36,3	34,5	41,7	43,4	43,4	41,7	48,4	48,4	50,1	48,4
	V=20,4 м/с L=16 мм	10,4	10,4	10,4	10,4	19,7	19,7	19,7	19,7	34,6	34,6	34,6	34,6	42,3	42,3	42,3	42,3
	V=20,4 м/с L=8 мм	10,4	10,4	10,4	10,4	20,2	21,9	21,9	21,9	43,2	43,2	43,2	43,2	65,7	65,7	65,7	65,7
Л63	V=20,4 м/с L=30 мм	7,8	7,8	7,8	7,8	14,7	14,7	14,7	14,7	30,3	30,3	30,3	30,3	33,7	33,7	33,7	33,7
	V=27,4 м/с L=30 мм	20,2	20,2	20,2	21,9	25,1	25,1	23,3	25,1	33,5	33,5	34,4	33,5	38,9	38,0	38,9	38,0
	V=39,2 м/с L=30 мм	22,5	22,5	22,5	24,2	27,6	27,6	25,9	27,6	34,3	34,3	36,0	34,3	43,2	43,2	41,5	43,2
	V=20,4 м/с L=16 мм	8,1	8,1	8,1	8,1	17,5	17,5	17,5	17,5	32,3	32,3	32,3	32,3	37,6	37,6	37,6	37,6
	V=20,4 м/с L=8 мм	7,8	8,6	8,6	8,6	20,7	20,7	20,7	20,7	40,6	40,6	40,6	39,8	64,0	64,0	64,0	64,0
АМГ3	V=20,4 м/с L=30 мм	6,9	6,9	6,9	6,9	13,8	13,8	13,8	13,8	27,7	27,7	27,7	27,7	32,9	32,9	32,9	32,9
	V=27,4 м/с L=30 мм	19,0	17,3	19,0	19,0	22,5	22,5	22,5	24,2	31,1	30,2	30,2	31,1	37,1	37,1	36,3	37,1

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
АМГЗ	V=39,2 м/с L=30 мм	22,5	20,7	20,7	22,5	25,1	25,1	23,3	23,3	34,6	33,7	34,6	32,8	41,9	41,9	43,6	41,9
	V=20,4 м/с L=16 мм	7,4	7,4	7,4	7,4	15,5	15,5	15,5	15,5	29,8	29,8	29,8	29,8	35,9	35,9	35,9	35,9
	V=20,4 м/с L=8 мм	7,8	7,8	7,8	7,8	17,3	17,3	17,3	18,2	39,8	38,9	38,9	38,9	62,2	62,2	62,2	62,2

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця результатів експериментального дослідження силового впливу (без врахування подачі)

Матеріал	Швидкість обробки, виліт волокон	Натяг i , мм			
		0,5	1	2	3
		Радіальна сила P_y , Н			
Сталь 3	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	11,2	18,2	33,3	36,3
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	25,5	30,3	35,0	40,0
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	26,7	32,0	40,0	46,9
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	11,7	20,2	36,1	45,4
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	11,8	22,9	45,8	67,2
Сталь У12	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	12,2	22,6	34,6	38,0
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	27,7	32,5	35,9	40,9
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	28,0	35,0	42,6	48,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	13,0	23,3	38,9	48,4
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	13,8	24,2	50,7	70,1
М2	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	8,6	17,3	31,7	34,6
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	22,0	26,3	34,1	39,2
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	28,0	35,0	42,6	48,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	10,4	19,7	34,6	42,3
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	10,4	21,5	43,2	65,7
Л63	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	7,8	14,7	30,3	33,7
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	20,6	24,6	33,7	38,4
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	22,9	27,2	34,7	42,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	8,1	17,5	32,3	37,6
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	8,4	20,7	40,4	64,0
АМГ3	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	6,9	13,8	27,7	32,9
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	18,6	22,9	30,6	36,9
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	21,6	24,2	33,9	42,3
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	7,4	15,5	29,8	35,9
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	7,8	17,5	39,1	62,2

3.2 Дія різноманітних факторів на силовий рівень

3.2.1 Вплив режимі в обробки та параметрів щітки

У процесі експериментів було спочатку досліджено вплив режимів різання ПАІ, і потім властивостей 5 матеріалів на радіальну складову сили різання.

Результати вимірів силового впливу при обробці дисковими ПАЩ на зразки показують, що з підвищенням подачі від 1,2 до 10 м/хв (табл. 3.1, рис. 3.1–3.4) силовий вплив не змінюється. Це можна пояснити тим, що вимірювання проводились радіальної складової сили різання, на зміну якої подача не впливає тому, що величина подачі ($1,2 \dots 10 \text{ м/хв} = 0,02 \dots 0,16 \text{ м/с}$) дуже мала в порівнянні з дотичною швидкістю дискової ПАЩ ($20 \dots 40 \text{ м/с}$).

Зміна натягу від 0,5 до 3 мм дає збільшення радіальної сили, це пояснюється підвищенням жорсткості інструменту внаслідок деформації волокон. На рисунку 3.1–3.4 показано залежність радіальної сили при обробці дисковими ПАЩ зразків, при швидкості обробки $v=20,4 \text{ м/с}$ та виліту волокна $L=30 \text{ мм}$.

Невелике збільшення сили виникає при використанні ПАЩ з натягом $i=2 \text{ мм}$ та $i=3 \text{ мм}$ (рис. 3.5–3.7). Дана особливість виникає через те, що при використанні щіткового ПАІ з довжиною ворса $L=30 \text{ мм}$ дані види натягу є максимально допустимими, тому що росте доля роботи боковими поверхнями волокон, що зменшує ефективність полірування.

Зменшення довжини волокна від 30 до 8 мм (рис. 3.5–3.7) викликає підвищення силового впливу на зразок з 45 до 75 Н. Це відбувається із-за збільшення жорсткості волокон ПАІ.

На рисунках 3.8–3.12 показано залежності радіальної сили від натягу ($i=0,5; 1; 2; 3 \text{ мм}$) при різних швидкостях різання ($V=20,4; 27,4; 39,2 \text{ м/с}$) та виліту волокна ($L=30; 16; 8 \text{ мм}$) для усіх матеріалів зразків окремо.

Експерименти показали, що вище тенденції впливу подачі, натягу, швидкості та довжини волокна на силовий рівень під час обробки щіткового

ПАІ та зразків у відповідних серіях зберігаються для усіх матеріалів.

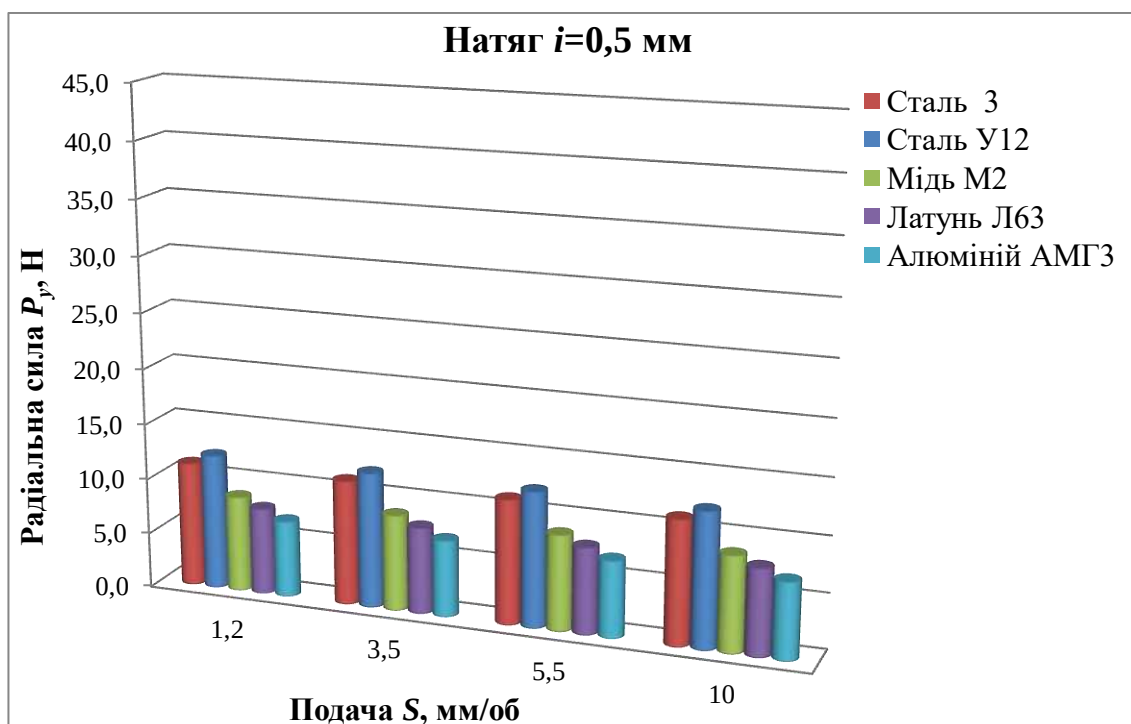


Рисунок 3.1 – Залежність радіальної сили від подачі, при натягу $i=0,5$ мм, швидкості обробки $V=20,4$ м/с та виліті волокна $L=30$ мм.

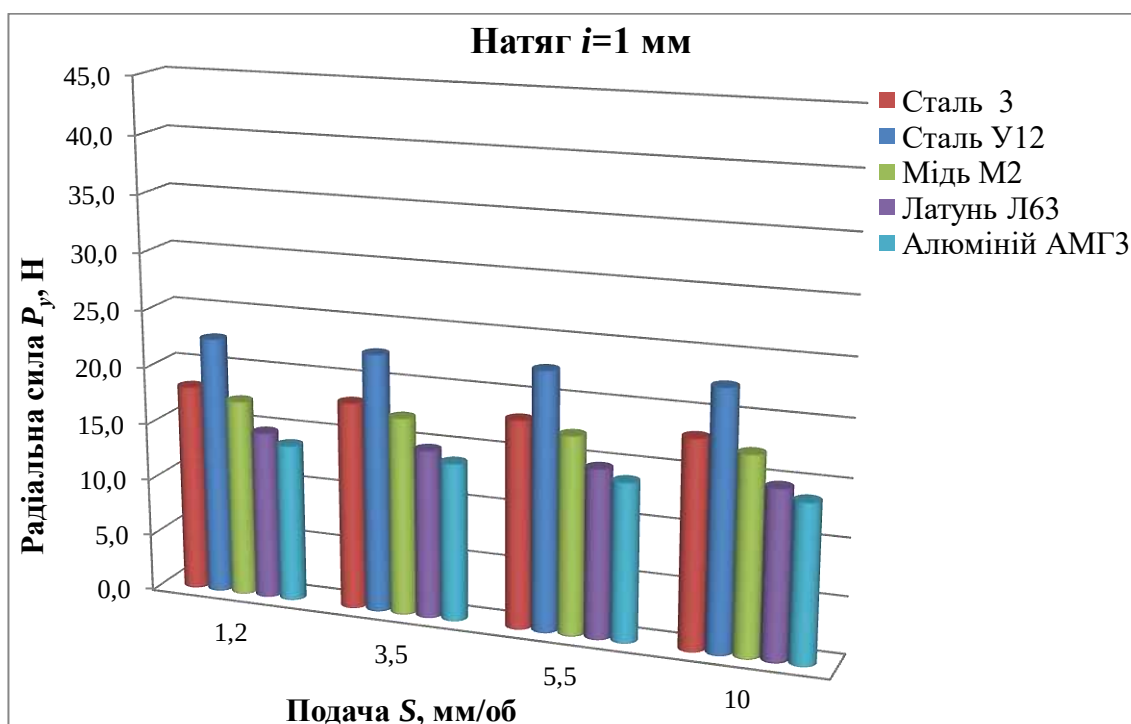


Рисунок 3.2 – Залежність радіальної сили від подачі при натягу $i=1$ мм, швидкості обробки $V=20,4$ м/с та виліті волокна $L=30$ мм.

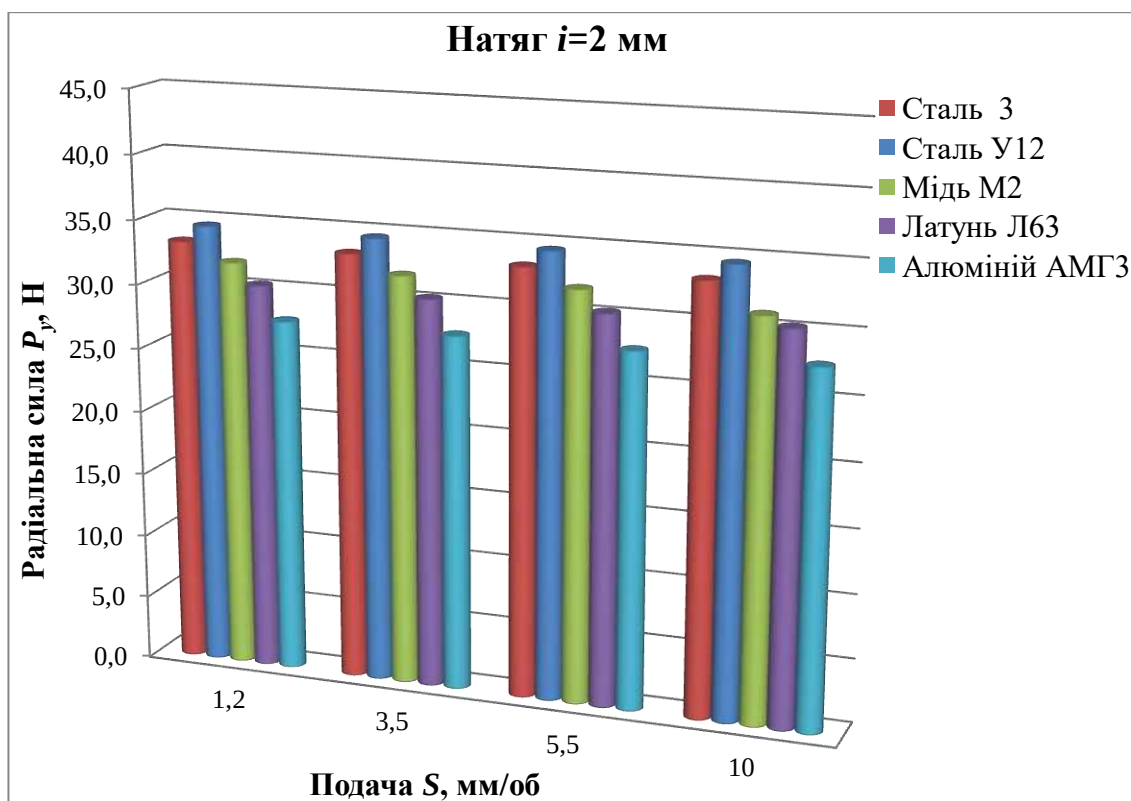


Рисунок 3.3 - Залежність радіальної сили від подачі при натягу $i=2$ мм, швидкості обробки $V=20,4$ м/с та виліті волокна $L=30$ мм.

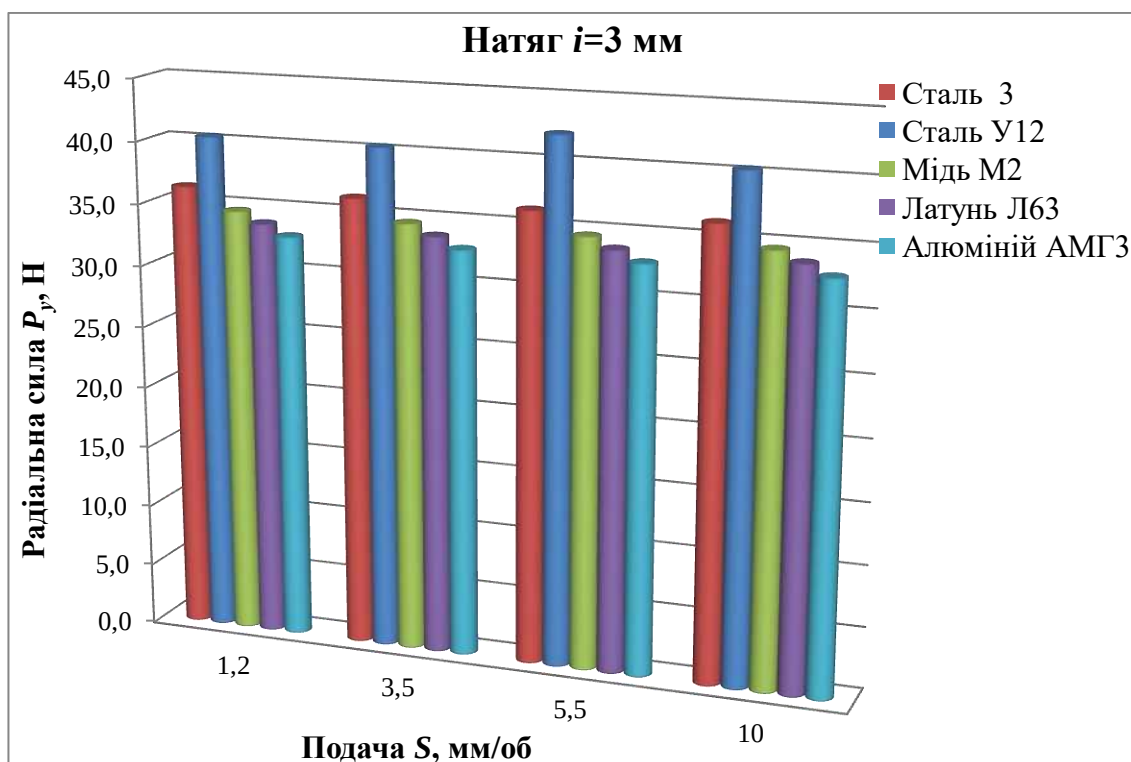


Рисунок 3.4 - Залежність радіальної сили від подачі при натягу $i=3$ мм, швидкості обробки $V=20,4$ м/с та виліті волокна $L=30$ мм.

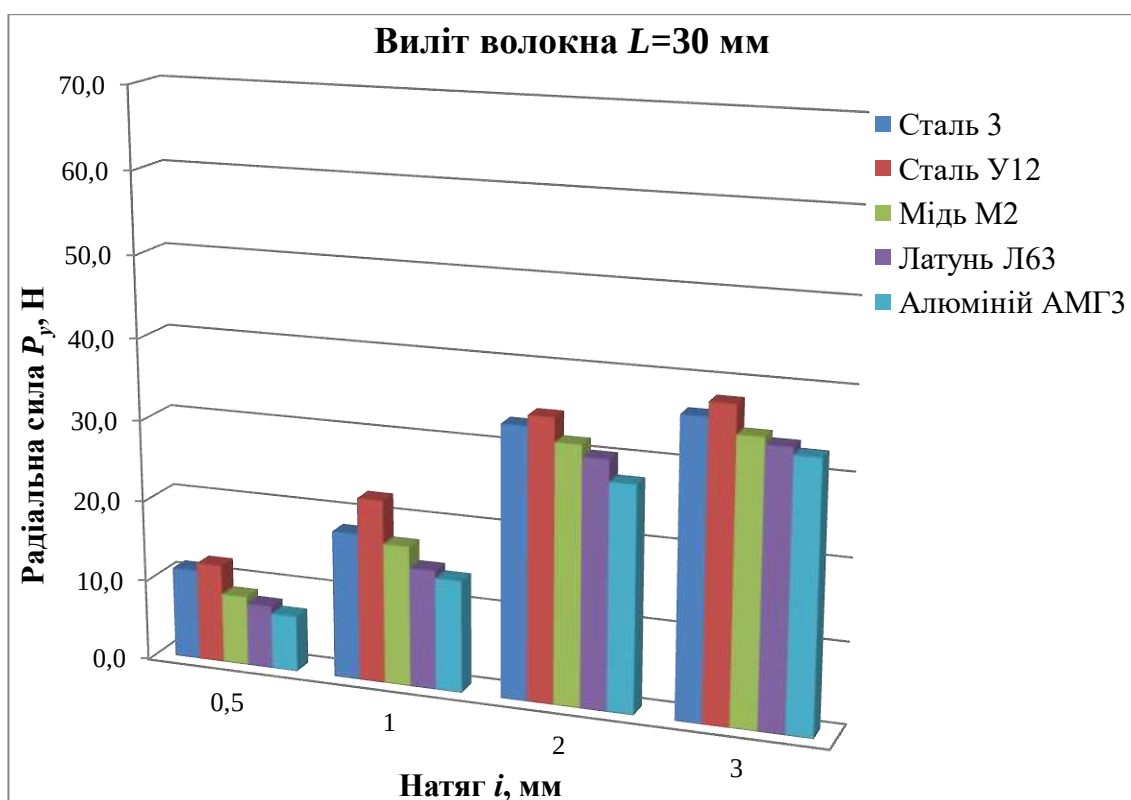


Рисунок 3.5 – Залежність росту радіальної сили від натягу, при довжині волокна $L=30$ мм та швидкості обробки $V=20,4$ м/с.

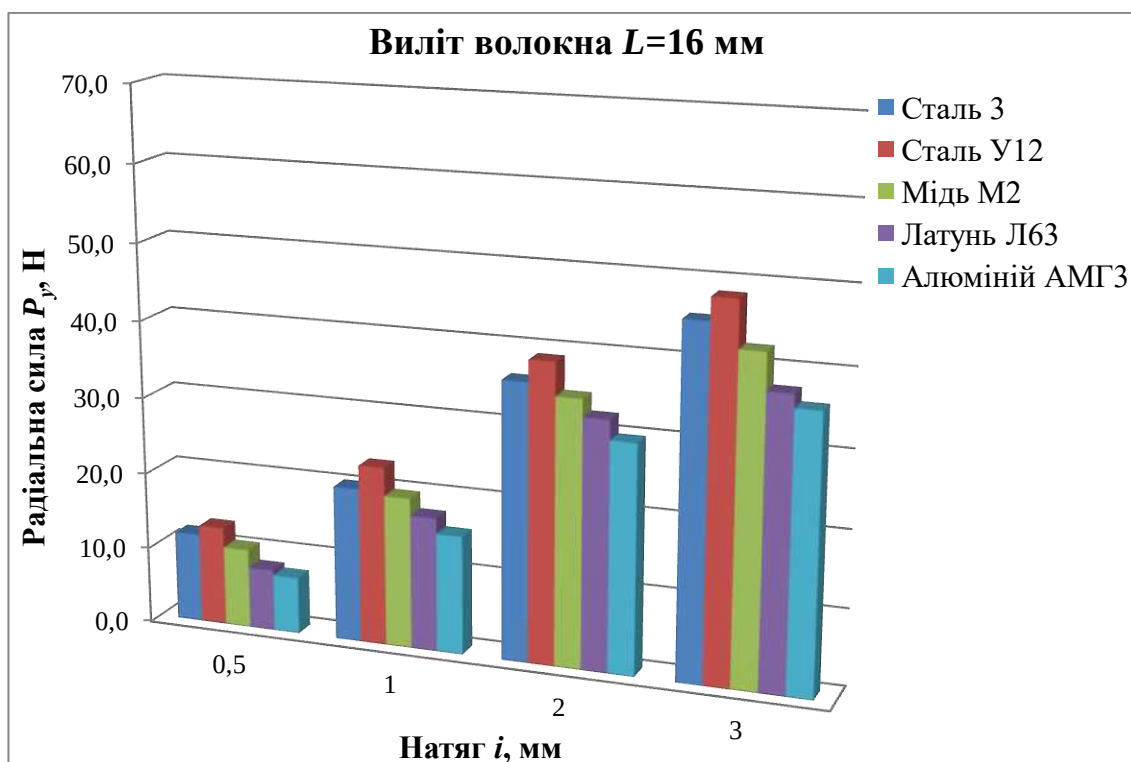


Рисунок 3.6 – Залежність росту радіальної сили від натягу, при довжині волокна $L=16$ мм та швидкості обробки $V=20,4$ м/с.

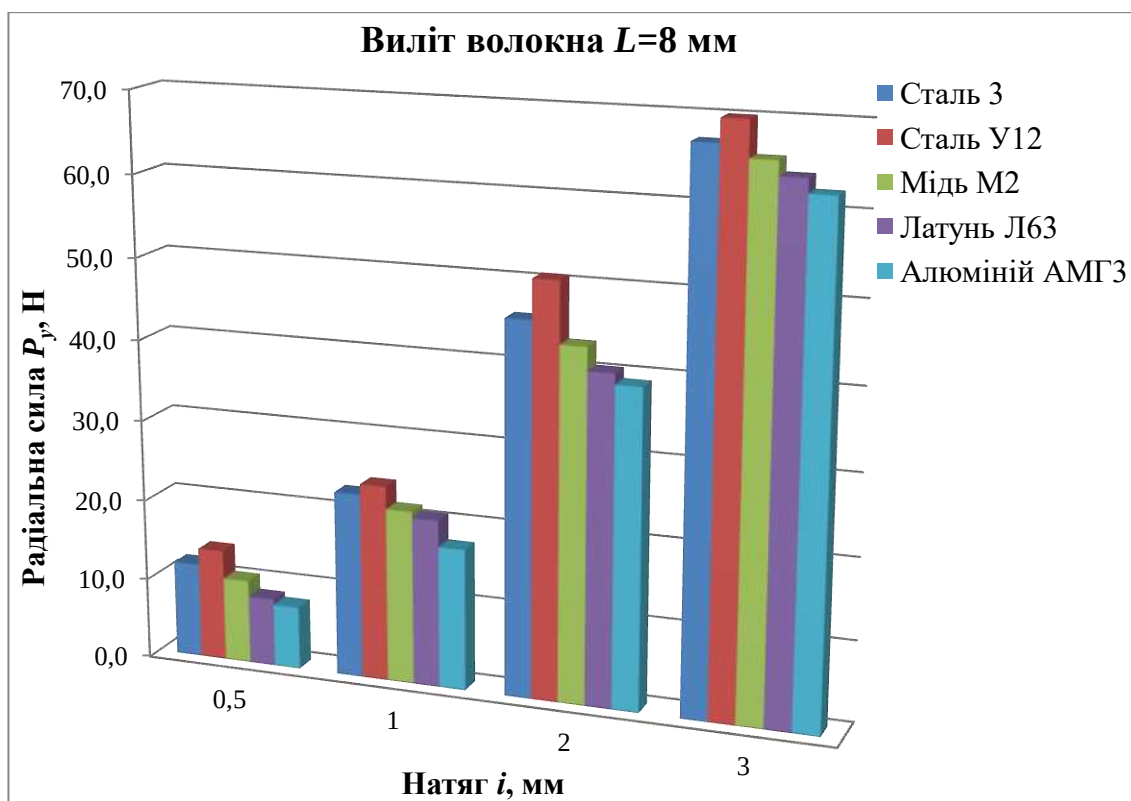


Рисунок 3.7 – Залежність росту радіальної сили від натягу, при довжині волокна $L=8$ мм та швидкості обробки $V=20,4$ м/с.

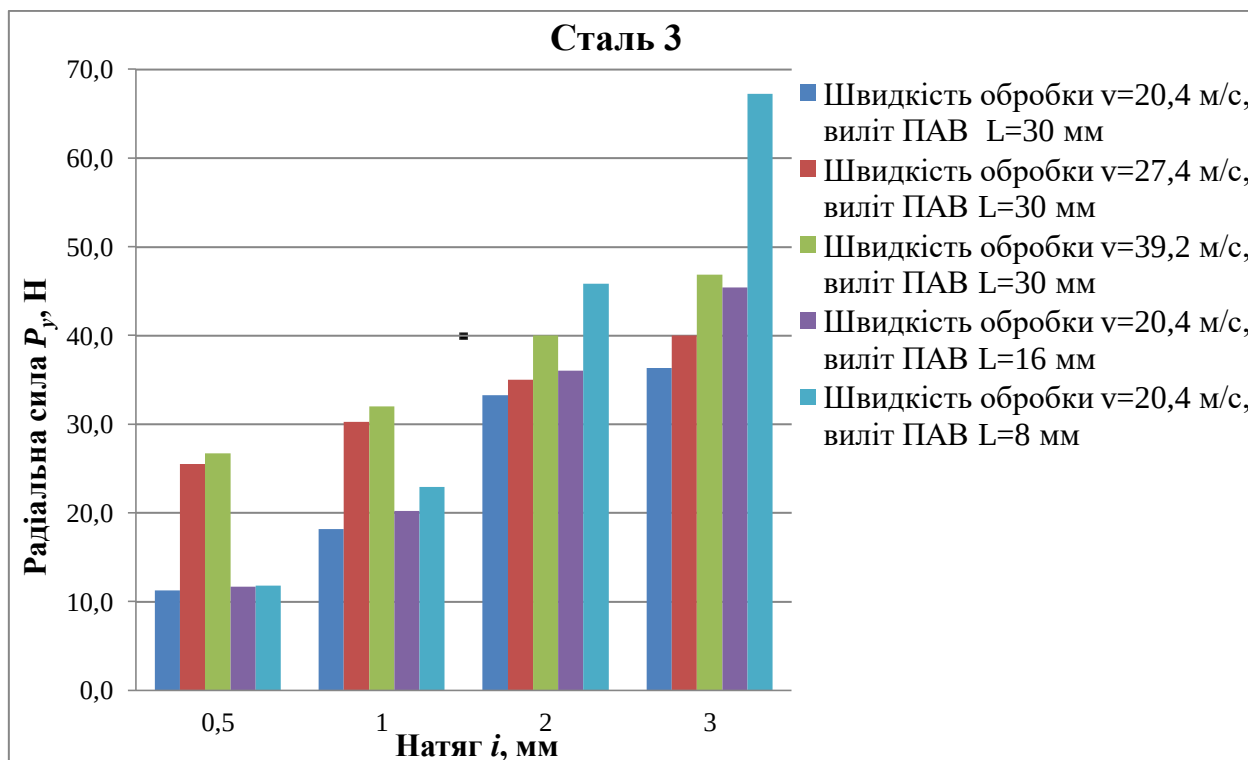


Рисунок 3.8 – Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і вилітах; матеріал - сталь 3.

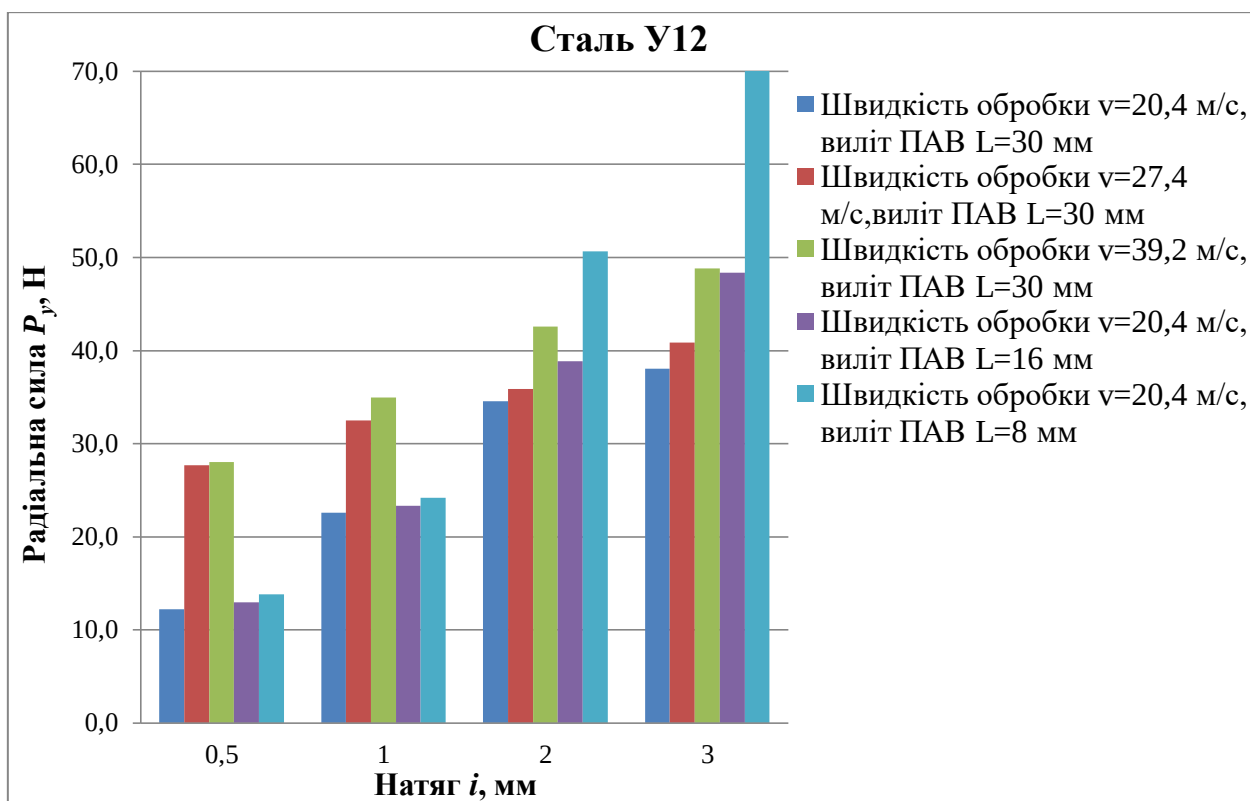


Рисунок 3.9 – Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і вилітах; матеріал - сталь У12.

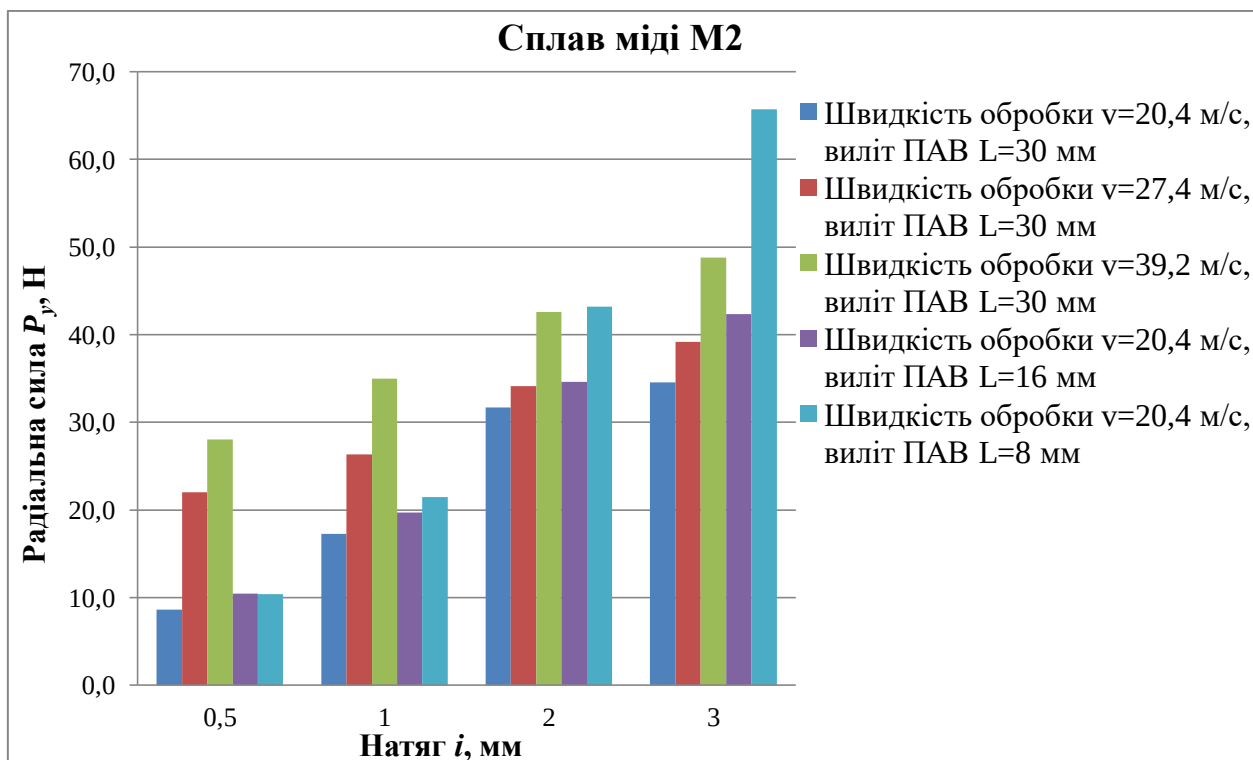


Рисунок 3.10 – Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і вилітах; матеріал - сплав міді М2.

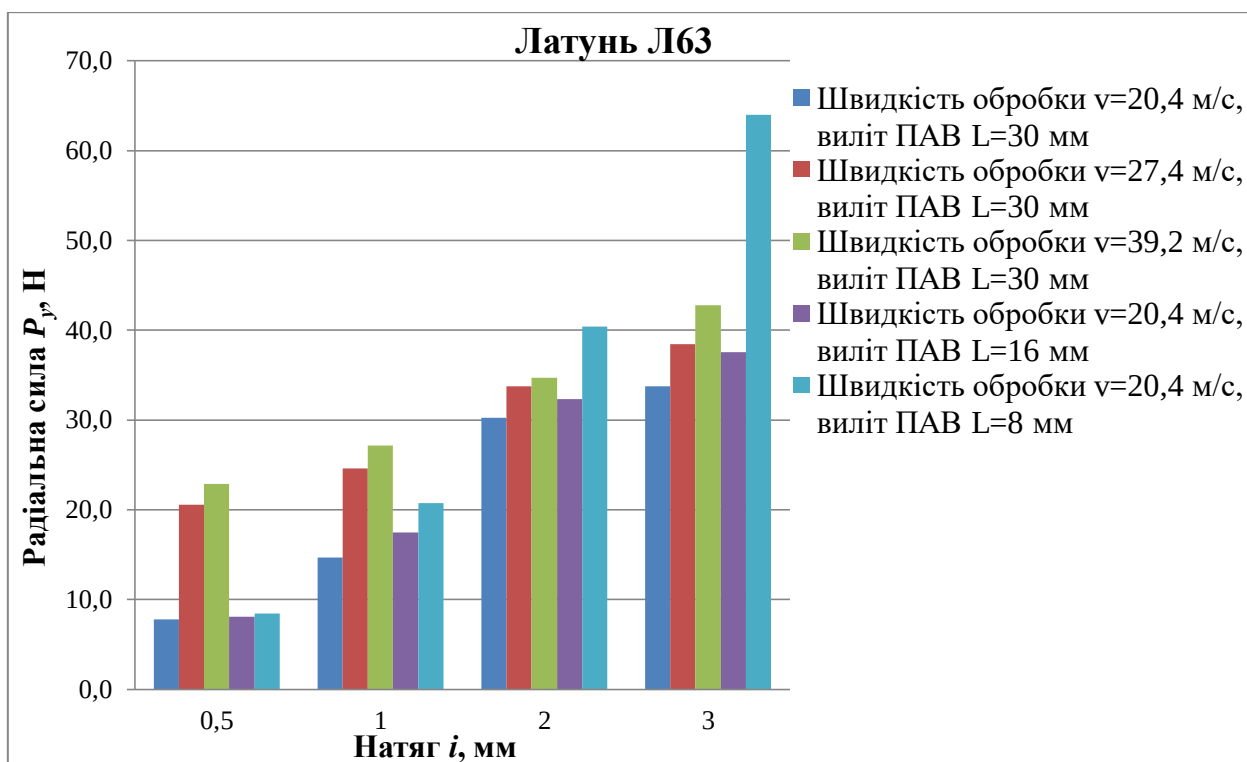


Рисунок 3.11 – Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і вилітах; матеріал - латунь Л63.

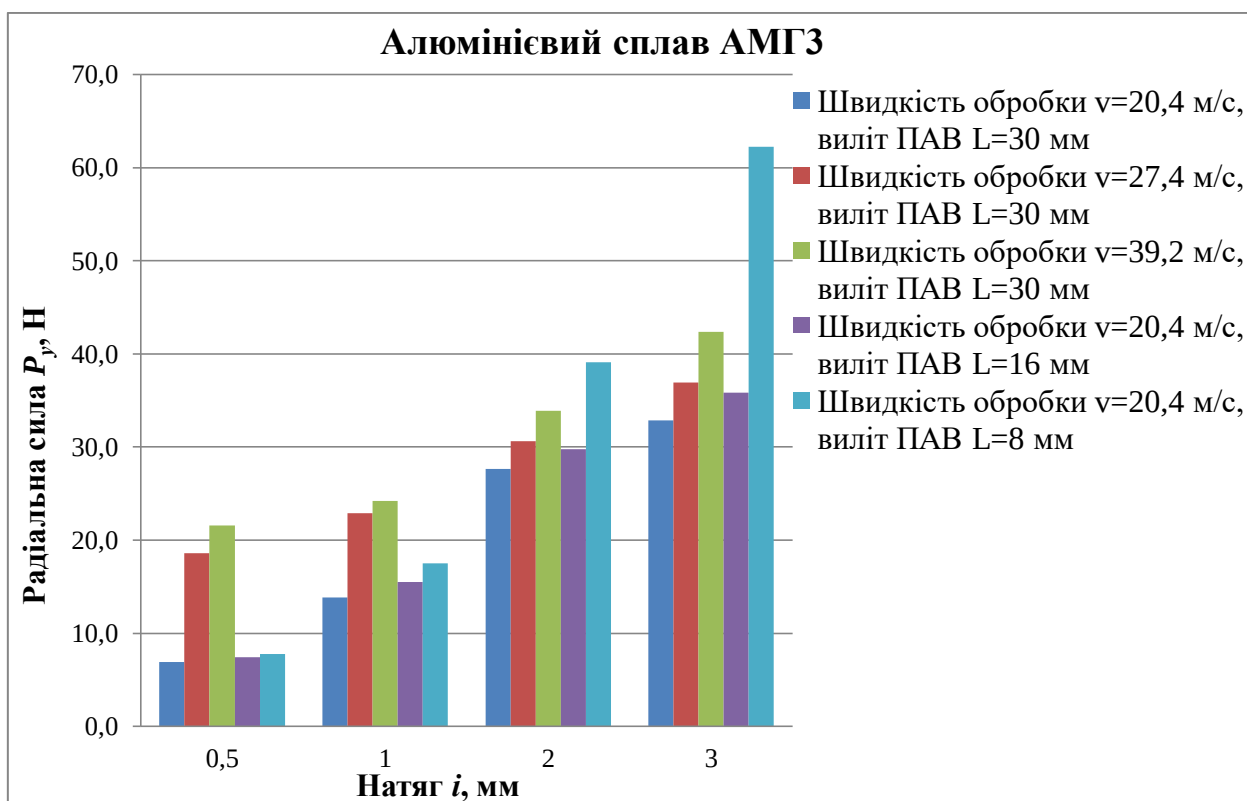


Рисунок 3.12 – Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і вилітах; матеріал - алюмінієвий сплав АМГ3.

3.2.2 Вплив фізичних та механічних властивостей матеріалів

Раніше розглядалася залежність радіальної сили P_y від режимів обробки та параметрів щітки. Але необхідно врахувати фізичні та механічні властивості матеріалу, з якого виготовлені деталі.

Залежність радіальної сили від властивостей матеріалів перевіряли при раціональних з точки зору ефективності обробки значеннях натягу ($i=1$ мм), швидкості обробки ($V=20,4$ м/с), подачі ($S=1,2$ м/хв.) для виліту волокон ($L=30$ мм). Данні наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Данні для визначення залежності радіальної сили від фізичних і механічних властивостей матеріалів

Марка матеріалу	Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ , %	Твердість HB , МПа	Густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/мК	Модуль Юнга k , ГПа	Радіальна сила P_y , Н
АМГЗ	245	195	15	45	2660	230	70	13,832
Л63	290	110	38	70	8440	110	95	14,719
М2	350	200	32	95	8940	380	110	17,29
Сталь 3	425	225	26	156	7850	52	200	18,154
Сталь У12	1420	1230	10	600	7839	52	250	22,574

На рисунках 3.13 – 3.19 показано залежність радіальної сили і таких параметрів як межа міцності та текучості, відносне видовження та твердість, густина, коефіцієнт теплопровідності і модуль Юнга. На цих графіках досліджувані матеріали розташовано в порядку за зростанням величини радіальної складової P_y сили різання: АМГЗ, Л63, М2, сталь 3, сталь У12.

На рисунку 3.13 видно, що чим більше межа міцності тим вище радіальна сила, виникаюча під час обробки. Так алюмінієвий сплав АМГЗ

має найменшу межу міцності при його обробці виникає найменша радіальна сила, у сталі У12 навпаки. Таку саму практично пряму залежність можливо побачити у твердості (рис. 3.14) і модулі пружності (Юнга) (рис. 3.15).

Розглядаючи ці графіки можна сказати, що спостерігається майже лінійна залежність між зростанням радіальної сили та розглянутих трьох параметрів. Зі зростанням модуля Юнга, твердості чи межі міцності у 2...3 рази радіальна сила зростає у 1,5...2 рази

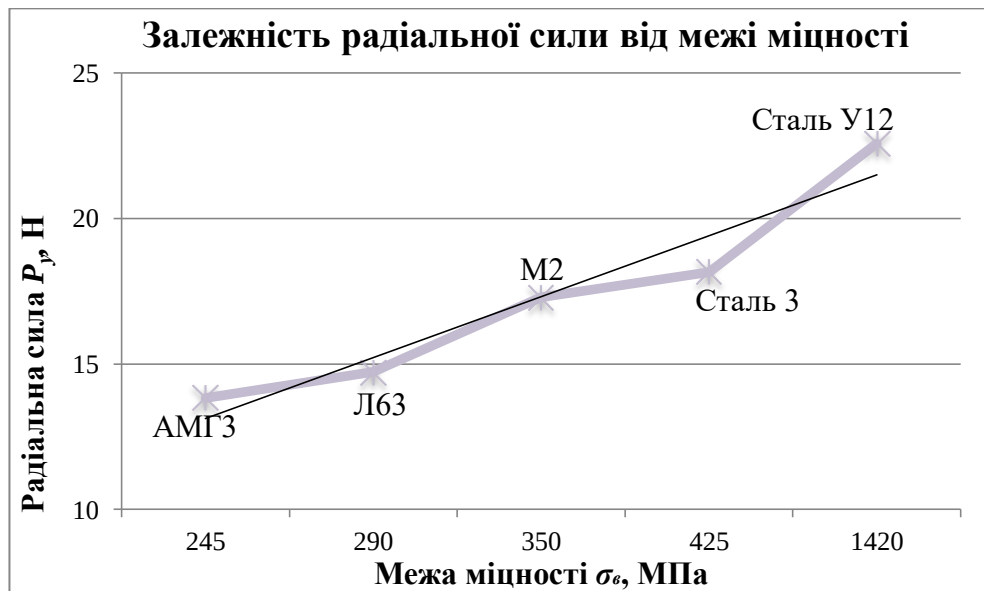


Рисунок 3.13 – Залежність радіальної сили від межі міцності

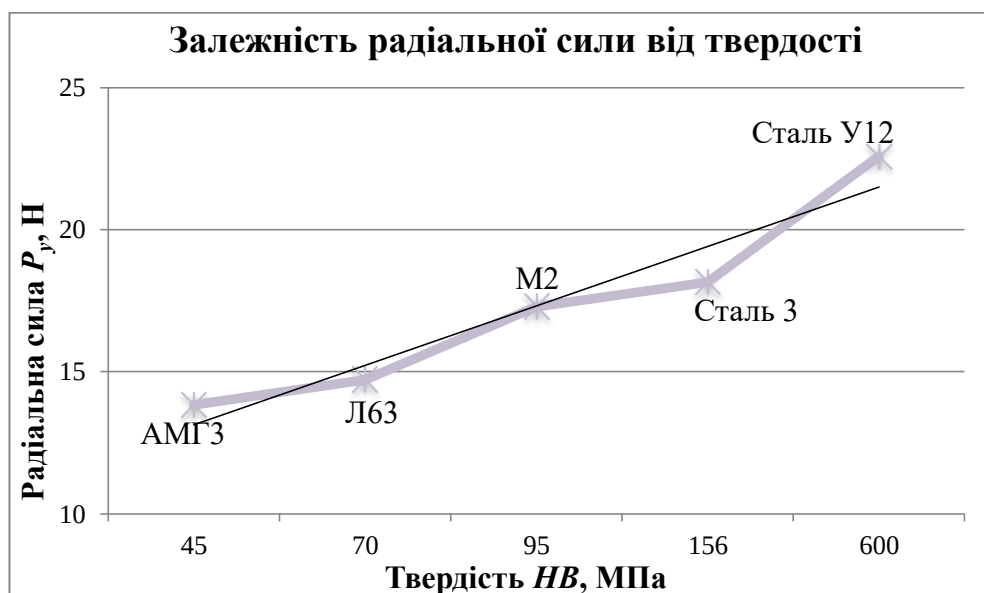


Рисунок 3.14 – Залежність радіальної сили від твердості

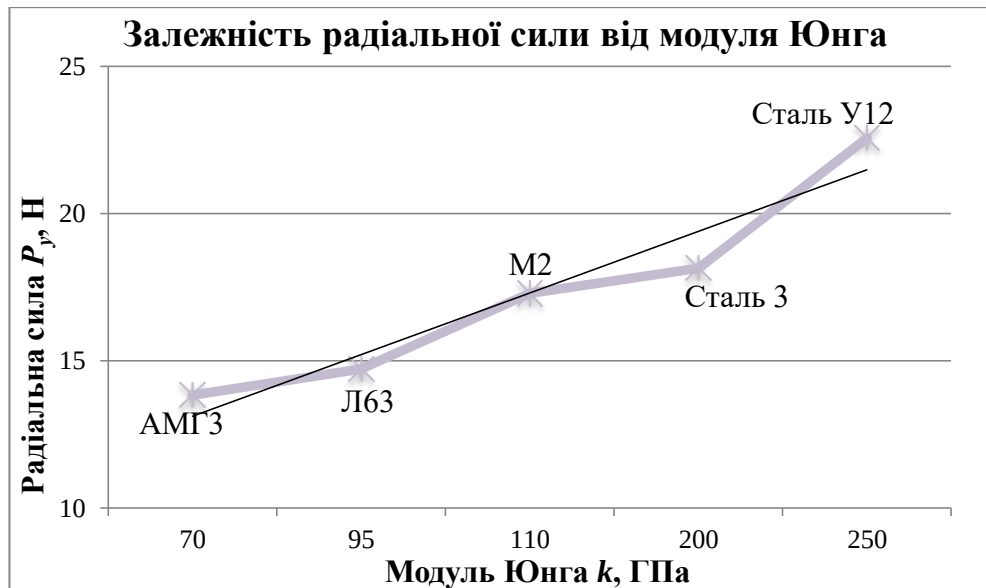


Рисунок 3.15 – Залежність радіальної сили від модуля Юнга

Залежність величини радіальної сили від межі текучості показано на рисунку 3.16. Можливо побачити, що величина радіальної сили буде рости при зростанні межі текучості.

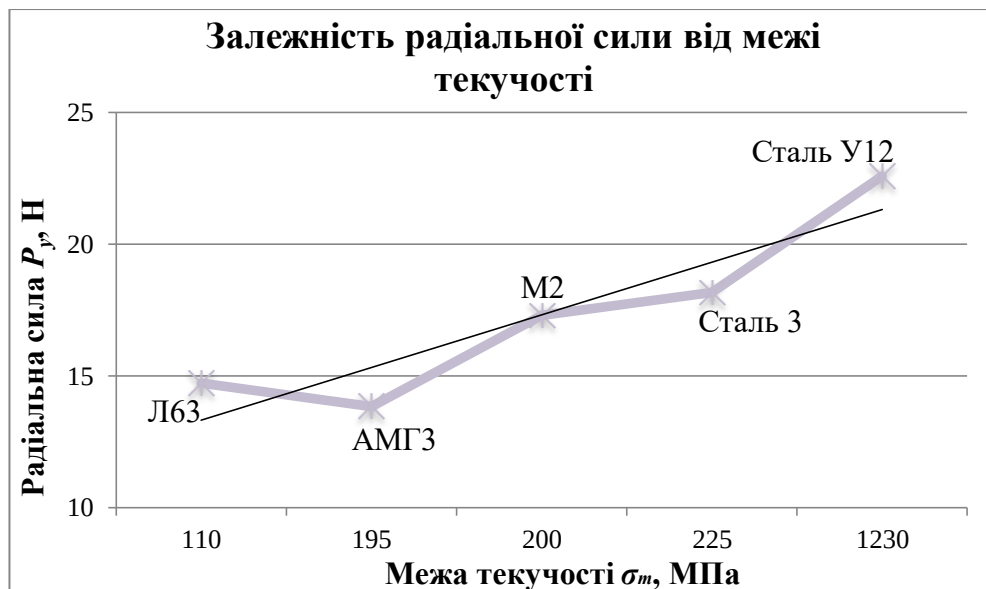


Рисунок 3.16 – Залежність радіальної сили від межі текучості

На рисунках 3.17–3.19 показано залежність радіальної сили від коефіцієнта теплопровідності, густини та відносного видовження. На даних рисунках можливо побачити відсутність будь-якої прямої залежності.

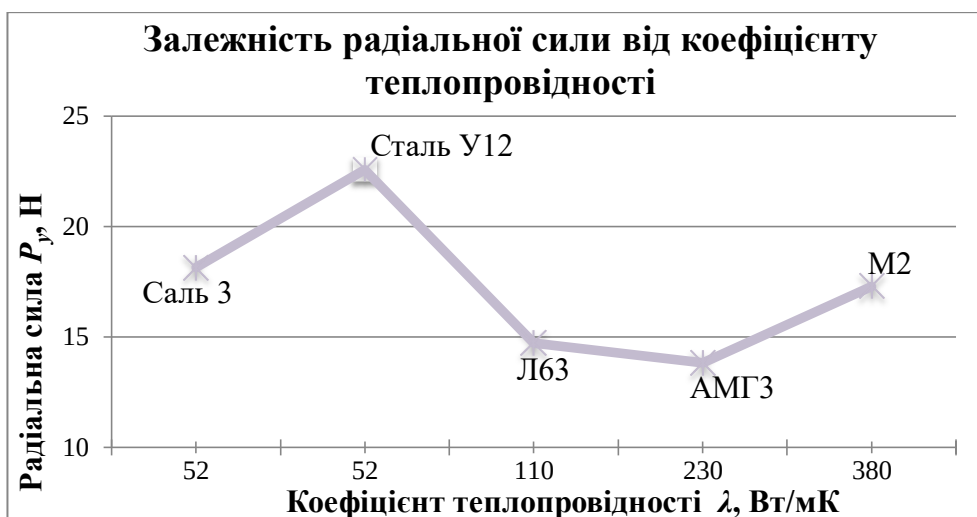


Рисунок 3.17 – Залежність радіальної сили від коефіцієнта теплопровідності

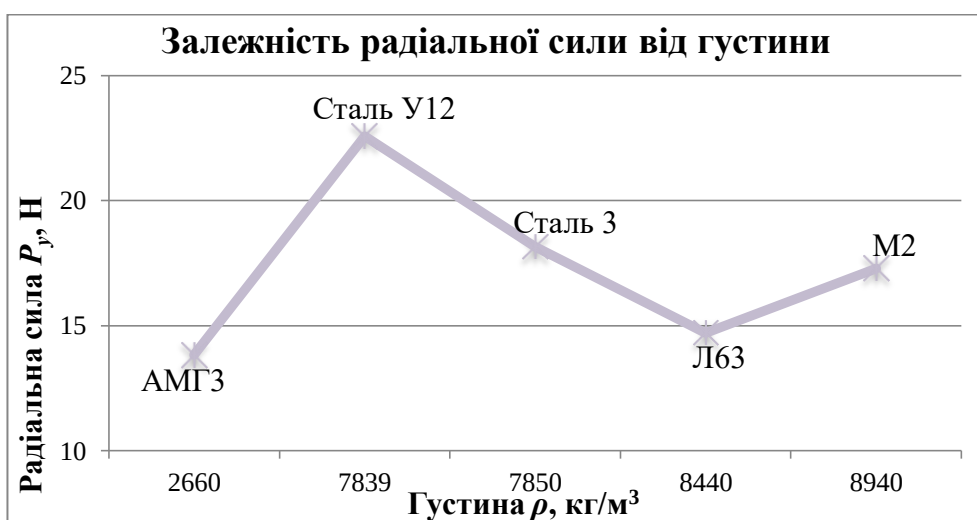


Рисунок 3.18 – Залежність радіальної сили від густини

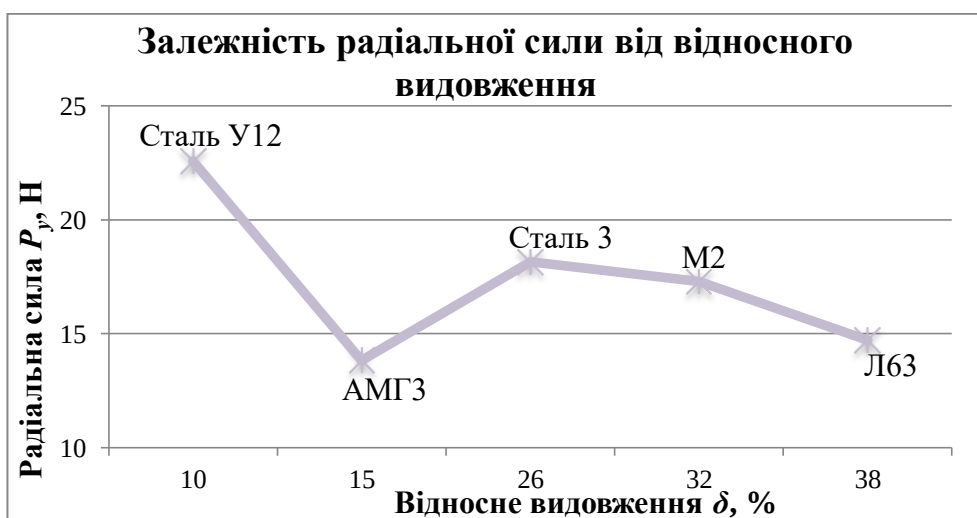


Рисунок 3.19 – Залежність радіальної сили від відносного видовження

Розглянувши дані залежності можливо зробити висновок, що від деяких параметрів можливо спостерігати лінійну залежність

3.3 Висновки

1. Визначено радіальні сили, які виникають при обробці дисковими полімерно-абразивними щітками.
2. Описано та проаналізовано результати експериментальних досліджень.
3. Визначено вплив різних факторів (режимів обробки, параметрів інструменту, властивостей матеріалу, що обробляється) на величину радіальної складової сили різання ПАЩ.

4 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ

4.1 Визначення загальних факторів, що діють на силову взаємодію дискових ПАЩ і зразків, виготовлених з різних матеріалів

У ході проведених експериментів було встановлено, що при даних режимах обробки (див. п. 2.5) розплавлення ПАІ не спостерігалось. При раціональних швидкостях до 40 м/с з довжиною волокна 8...30 мм обробка без ЗОТС можлива.

Для визначення найбільших значимих факторів, що впливають на рівень сил ПАЩ, а також на взаємозв'язок факторів між собою застосовуємо кореляційний аналіз.

4.1.1 Кореляційний аналіз

Термін «кореляція» з'явився у XIX с. завдяки роботам англійського математика Карла Пірсона та англійського антрополога та психолога Френсіса Гальтона [10].

Кореляційний зв'язок є частим випадком статистичного зв'язку, при якому зміна середнього значення результативного признаку обумовлено зміною значень факторного ознаку (парна кореляція) чи множинних факторних ознаків (множинна кореляція). Для оцінки тісноти зв'язку (зв'язок відсутній, слабкий, помірний, сильний), визначення його направленості (зв'язок прямий чи зворотній), а також форми (зв'язок лінійний, параболічний, гіперболічний, ступневий та т.д.) використовується кореляційно-регресивний метод [11].

Кореляційно–регресивний аналіз дозволяє кількісно виміряти тісноту, направлення зв'язку (кореляційний аналіз), а також встановити аналітичне вираження залежності результату від конкретних факторів при сталості інших діючих на результативну ознаку факторних ознак (регресійних аналіз).

Основні умови застосування кореляційно–регресивного методу:

1) наявність достатньо великого по об'єму вибіркової сукупності. Вважається, що число спостережень повинне перевищувати більш ніж у 10 разів число факторів, що впливають на результат;

2) наявність якісної однорідної дослідної сукупності;

3) підпорядковування розподіленню сукупності за результативними та факторними ознаками нормального закону чи близькість до нього.

Основні задачі кореляційно–регресивного аналізу:

1) вимірювання тісноти зв'язку між результативною і факторною ознакою. У залежності від кількості діючих на результат факторів задача вирішується шляхом обчислення кореляційного відношення, коефіцієнтів парної, частоті, множинної кореляції чи детермінації;

2) оцінка параметрів рівняння регресії, що виражають залежність середніх значень результативного ознаку від значень факторного ознаку. Задача вирішується шляхом обчислення регресії;

3) визначення найважливіших факторів, що впливають на результативний признак. Задача вирішується шляхом оцінки тісноти зв'язку факторів з результатом;

4) прогнозування можливих значень результативного ознаку при заданих значеннях факторних ознак. Задача вирішується шляхом підстановки очікуваних значень факторів в регресійне рівняння та обчисленням прогнозованих значень результату.

На підставі кореляції можна стверджувати лише про ступінь зв'язку між перемінними, проте не про існування причино–слідчої залежності між ними. Іншими словами, факт кореляції змінних аж ніяк не означає, що одна з них викликає іншу, однак дає можливість висунути таку гіпотезу.

Величина коефіцієнту кореляції змінюється при збільшенні чи зменшенні на одне й те саме число, чи в одне й теж число разів усіх значень змінних.

Коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона використовується для оцінки сили зв'язку між двома змінними у випадках, якщо:

- 1) розглянутий зв'язок лінійний;
- 2) обидві змінні виміряні у сильних шкалах (реляційній чи інтервальній).

Коефіцієнт лінійної кореляції Пірсона розраховується за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.1)$$

де x, y – чисельне значення змінних;

n – число проведених опитів;

i – номер експерименту;

$\bar{x}, \bar{y}$ – середнє арифметичне значення досліджуваних параметрів.

Величина вибіркового коефіцієнту лінійної кореляції Пірсона, як і генерального, змінюється у межах від -1 до +1. При цьому, якщо значення знаходиться ближче до 1 або -1, то це означає наявність сильного зв'язку, а якщо ближче до 0, то слабкого [14].

Якщо коефіцієнт кореляції негативний, це означає наявність протилежного зв'язку: чим вище значення однієї змінної, тим нижче значення іншої. Сила зв'язку характеризує так само й абсолютну величину коефіцієнта кореляції. Для словесного опису зв'язку (величини коефіцієнта кореляції) використовуються наступні градації, наведені у таблиці 4.1:

Таблиця 4.1 – Градації величини коефіцієнта кореляції

Значення коефіцієнта кореляції	Характер зв'язку
- 1	функціональний
от - 1 до - 0,7	зворотній сильний
от - 0,7 до - 0,5	зворотній помірний
от - 0,5 до 0	зворотний слабкий
0	відсутній
от 0 до + 0,5	прямий слабкий
от + 0,5 до + 0,7	прямий помірний
от + 0,7 до + 1	прямий сильний
+ 1	функціональний

Також коефіцієнт кореляції можливо розрахувати за допомогою електронних таблиці Excel або комп'ютерного пакету «Statistica».

Вихідні дані для аналізу наводяться у таблиці А.1.

Порівняння проводимо за такими групами факторів:

а) фізичні властивості матеріалів (див. табл. 2.1):

- ρ – густина, кг/м³;
- λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/мК;
- k – модуль Юнга, ГПа;

б) механічні властивості матеріалів (див. табл. 2.1):

- σ_e – межа міцності, МПа;
- a_n – коефіцієнт тертя;
- σ_T – межа плинності;
- δ – відносне видовження, %;
- HB – твердість, МПа;

в) режими обробки (див. табл. 3.1):

- V – швидкість обробки, м/с;
- i – натяг волокна, мм;

г) параметри інструмента (див. табл. 3.1):

- L – виліт волокон, мм;

д) результуюча ознака (див. табл. 3.2):

- P_y – радіальна складова сили різання, Н.

У таблиці 4.2 наведена матриця парних кореляційних зв'язків між всіма вихідними параметрами і результативною ознакою.

Провівши аналіз отриманої матриці парних кореляцій між вихідними параметрами, можна зробити висновок, що залежність між змінними, виділеними жирним шрифтом, найбільш значущі (критичний коефіцієнт кореляції для даної кількості експериментів $r_{кр}=0,6$).

Проаналізувавши взаємозв'язок між заданими параметрами та силою, виникаючою при взаємодії дискових ПАЩ та зразків, можна зробити висновок, що найбільш тісним є взаємодія між силою та натягом ($r=0,82$).

Таблиця 4.2 – Загальна матриця парних кореляцій

	σ_{ϵ}	a_n	σ_T	δ	λ	HB	ρ	k	i	V	L	P_y
σ_{ϵ}	-	-0,53	0,99	-0,65	-0,48	1,00	0,24	0,84	0,00	-0,19	0,00	0,15
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	0,91	-0,57	-0,02	-0,79	0,00	-0,18	0,00	-0,10
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	-0,43	0,99	0,13	0,80	0,00	-0,17	0,00	0,14
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,26	-0,65	0,54	-0,47	0,00	-0,14	0,00	-0,06
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-	-0,51	-0,09	-0,64	0,00	-0,07	0,00	-0,07
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	-0,51	-	0,25	0,87	0,00	-0,18	0,00	0,16
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-0,09	0,25	-	0,41	0,00	-0,32	0,00	0,12
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	-0,64	0,87	0,41	-	0,00	-0,06	0,00	0,18
i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,82
V	-0,19	-0,18	-0,17	-0,14	-0,07	-0,18	-0,32	-0,06	0,00	-	0,31	0,06
L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	-	-0,09
P_y	0,15	-0,10	0,14	-0,06	-0,07	0,16	0,12	0,18	0,82	0,06	-0,09	-

Примітка. Жирним шрифтом виділені значення кореляційного зв'язку для ймовірності 95%.

Також з даних видно, що режими обробки, як й більшість фізико-механічних властивостей матеріалів є не такими впливовими на величину радіальної сили. Однак, прямий взаємозв'язок деяких властивостей матеріалів між собою є доволі сильним, наприклад межа міцності σ_{ϵ} зв'язана з межею текучості σ_m коефіцієнтом кореляції $r=0,99$, а з твердістю HB $r=1,0$.

Але з точки зору впливу на радіальну силу вплив режимів різання більш суттєвий, тому для ретельного вивчення впливу таких факторів, як

фізико-механічних властивостей обробляємих матеріалів необхідно усунути з розрахунку режими різання. Для цього з загальної таблиці експериментальних результатів виберемо експерименти з однаковими режимами різання і параметрами щіткових інструментів. Таким чином ми зможемо оцінити «чистий» вплив властивостей матеріалу зразків на радіальну силу P_y .

У таблицях 4.3–4.5 наведено окремі випадки з однаковими умовами експериментів. Так, у таблиці 4.3 приведені результати розрахунку коефіцієнтів кореляції при обробці деталей на раціональних режимах. А у таблиці 4.4 та 4.5 наведено коефіцієнти кореляції при обробці деталей з застосуванням «м'якого» і «жорсткого» режимів, відповідно.

Таблиця 4.3 – Матриця парних кореляцій для режимів і параметрів $i=1$ мм, $S=1,2$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=30$ мм

	σ_ϵ	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_y
σ_ϵ	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,91
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,55
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,88
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,48
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,47
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,40
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,93
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,94
P_y	0,91	-0,55	0,88	-0,48	0,47	-0,40	0,93	0,94	-

Примітка. Жирним шрифтом виділені значення кореляційного зв'язку для ймовірності 95%.

Так на раціональних режимах обробки ($i=1$ мм, $S=1,2$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=30$ мм) найбільш тісним є взаємозв'язок між силою і такими параметрами, як, межа міцності ($r=0,91$), межа текучості ($r=0,88$), твердість ($r=0,93$) і модуль Юнга ($r=0,94$). Усі взаємозв'язки – прямі.

Таблиця 4.4 – Матриця парних кореляцій для режимів і параметрів $i=0,5$ мм, $S=3,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=30$ мм

	σ_ϵ	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_y
σ_ϵ	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,79
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,77
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,74
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,40
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,47
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,60
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,82
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,99
P_y	0,79	-0,77	0,74	-0,40	0,47	-0,60	0,82	0,99	-

Примітка. Жирним шрифтом виділені значення кореляційного зв'язку для ймовірності 95%.

Так при «м'яких» режимах обробки ($i=0,5$ мм, $S=3,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=30$ мм) найбільш тісним є взаємозв'язок між радіальною силою і такими параметрами, як, межа міцності ($r=0,79$), ударна в'язкість ($r=-0,77$), межа текучості ($r=0,74$), коефіцієнт теплопровідності ($r=-0,60$), твердість ($r=0,82$) та модуль Юнга ($r=0,99$). Так обернена залежність значень сили P_y

спостерігається від ударної в'язкості та коефіцієнта теплопровідності. Підвищення в'язкості матеріалу гасить енергію удару волокон, що знижує значення радіальної складової сили інструменту в цілому. Як можна побачити, коефіцієнт кореляції між ударною в'язкістю та теплопровідністю складає $r=0,91$ у всіх випадках. Це означає, що зв'язок між ними сильний, тому не є несподіваністю доволі високий вплив на силу удару коефіцієнта теплопровідності.

Таблиця 4.5 – Матриця парних кореляцій для режимів і параметрів $i=3$ мм, $s=6,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=8$ мм

	σ_g	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_y
σ_g	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,88
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,60
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,83
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,39
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,55
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,48
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,90
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,96
P_y	0,88	-0,60	0,83	-0,39	0,55	-0,48	0,90	0,96	-

Примітка. Жирним шрифтом виділені значення кореляційного зв'язку для ймовірності 95%.

При «жорстких» параметрах обробки ($i=3$ мм, $S=6,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=8$ мм) найбільш тісним взаємозв'язком між силою і такими параметрами,

як, межа міцності ($r=0,88$), ударна в'язкість ($r=-0,60$), межа текучості ($r=0,83$), твердість ($r=0,90$) та модулем Юнга ($r=0,96$). Так обернена залежність спостерігається від ударної в'язкості, вплив якої значно менше, ніж в попередніх випадках. Це означає, що стиснутий накладками щітковий інструмент стає подібним до шліфувального круга і доля ударів при обробці падає. Тому падає і дія ударної в'язкості.

Також можна зробити висновок, чим вище твердість і міцність матеріалу, тим вище значення радіальної сили P_y .

4.1.2 Повний факторний експеримент

Як бачимо з таблиці 4.2, марка матеріалу, а точніше фізичні і механічні властивості матеріалів, мають менший вплив на величину радіальної сили ніж режими та параметри, при яких відбувається обробка, тому отримаємо математичну модель залежності радіальної сили від режимів різання за допомогою повного факторного аналізу.

Факторний експеримент вважається повним, якщо в ньому враховані всі можливі комбінації на двох або трьох рівнях. Рівнями називаються деякі кількісні або якісні співвідношення фактора. Загальна кількість дослідів при реалізації всіх комбінацій факторів виражається наступною залежністю [15]:

$$N = 2^k \quad (4.2)$$

де k - число розглянутих факторів.

Під факторами, розуміють ті чи інші параметри, що впливають на результативність процесу. Наприклад, натяг (1-й фактор) і швидкість обробки (2-й фактор) на виникнення сили при обробці.

При плануванні експерименту зазначені фактори кодуються. В цьому випадку натуральним значенням привласнюють кодовані значення в межах від -1 до +1 шляхом лінійного перетворення координат факторного простору

з перенесенням початку координат в нульову точку і вибором масштабів по осях в одиницях інтервалів варіювання факторів. Використовують тут співвідношення:

$$x_i = \frac{C_i - C_{0i}}{\varepsilon} \quad (4.3)$$

де x_i - кодоване значення фактора (безрозмірна величина);

C_i, C_{0i} - натуральні значення фактора (відповідно поточне значення і на нульовому рівні);

ε - натуральне значення інтервалу варіювання факторів.

Таким чином, кодовані значення x , приймають значення -1 (верхній рівень) і +1 (нижній рівень), відповідно, а безліч всіх точок в просторі, координати яких є комбінаціями «+» і «-», називається планом повного факторного експерименту типу 2^k .

Умови експерименту можна записати у вигляді таблиці, де рядки відповідають різним дослідом, а стовпці - значенням факторів. Будемо називати такі таблиці матрицями планування експерименту [16].

Розрахунок повного факторного експерименту, можливо, проводити з використанням програмного пакету «Statistica-12.0».

Для побудови математичної моделі залежності радіальної сили від параметрів обробки використовували повний факторний експеримент типу 2^k .

Дослідження проводились у два етапи. У кожному етапі використовували по п'ять математичних моделей (п'ять матеріалів зразків). Для першого етапу вихідними факторами технологічні параметри процесу з дворівневою варіацією – натяг ($i=0,5; 3$ мм), вилітом волокна ($L=8; 30$ мм), Для другого етапу – натяг ($i=0,5; 3$ мм), швидкість обробки ($V=20,4; 39,2$ м/с). У проведених дослідженнях встановлено, що подача істотно не впливає на виникнення та величину радіальної сили, тому її при розрахунках не

враховуємо. Для визначення максимальної сили, що може виникнути, обробку у ході досліджень поводити без ЗОТС. У якості цільової функції було обрано радіальну силу (P_r), яку визначили експериментальним шляхом.

Перший етап розрахунків відбувався для даних при сталій швидкості обробки $V=20,4$ м/с, тому що вона є раціональною. Вихідні данні наведено у таблиці 4.6.

Відповідно до даних з таблиці 4.6 було сформовано експериментальну матрицю (табл. 4.7) для першого етапу розрахунків, у якій наведені матриці для п'яти експериментів.

Таблиця 4.6 – Вихідні данні для першого етапу розрахунків

Фактор	Натяг i , мм		Виліт ПАВ L , мм	
	X1		X2	
Рівень	-1	+1	-1	+1
Значення коефіцієнту	0,5	3,0	8	30

Таблиця 4.7 - Експериментальна матриця

№ математичної моделі	Марка матеріалу	Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_r , Н
1	2	3	4	5
1	Алюмінієвий сплав АМГЗ	0,5	30	6,9
		0,5	8	7,8
		3	30	32,9
		3	8	62,2
2	Сталь 3	0,5	30	11,2
		0,5	8	11,8
		3	30	36,3
		3	8	67,2
3	Сталь У12	0,5	30	12,2
		0,5	8	13,8
		3	30	38
		3	8	70,1
4	Мідний сплав М2	0,5	30	8,6
		0,5	8	10,4
		3	30	34,6
		3	8	65,7

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5
5	Латунь Л63	0,5	30	7,8
		0,5	8	8,4
		3	30	33,7
		3	8	64

Проведено розрахунок моделі другого порядку. Отримані у результаті п'ять формул цільової функції мають загальний вигляд $\Delta P = f(i, L)$:

$$\Delta P = a + a_1 \cdot i + a_2 \cdot L + a_3 \cdot i \cdot L \quad (4.4)$$

де a, a_1, a_2, a_3 – знайдені коефіцієнти.

Для спрощення формули проводимо математичне округлення отриманих даних, через це коефіцієнт кореляції моделей становить $R=0,97...0,98$.

Для алюмінієвого сплаву АМГЗ отримана математична модель (рис. 4.11) зі співпадінням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.12). Отримана поверхня (рис. 4.13, а, б).

Regr. Coefficients; Var.: P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design ([No active dataset]) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Intercept	-4.81818
(1)L	0.21727
(2)i	25.89091
1 by 2	-0.51636

Рисунок 4.11 – Коефіцієнти математичної моделі. Алюмінієвий сплав АМГЗ

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -4,818 + 25,89 \cdot i + 0,217 \cdot L - 0,516 \cdot i \cdot L$$

Також проводиться визначення похибки поведених розрахунків:

$$\delta = \frac{[P_y - \Delta P]}{P_y} \cdot 100, \% \quad (4.5)$$

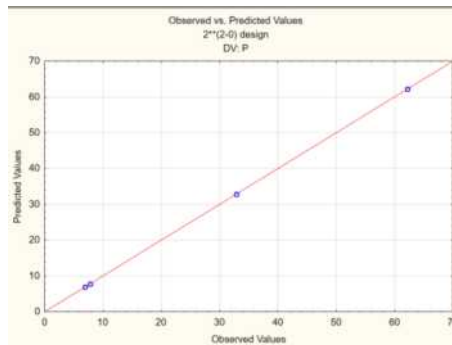
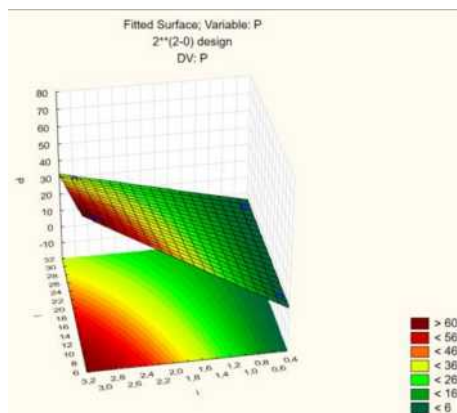
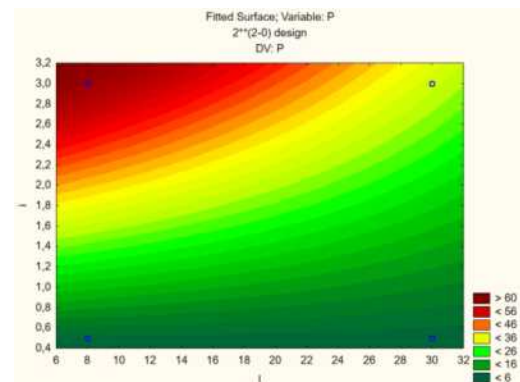


Рисунок 4.12 – Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Алюмінієвий сплав АМГЗ



а)



б)

а – у плоскій проекції; б – у трьохмірній проекції

Рисунок 4.13 – Отримана поверхня. Алюмінієвий сплав АМГЗ

Данні заносимо у таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати розрахунків для алюмінієвого сплаву АМГЗ.

Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	30	6,9	6,898	0,04
0,5	8	7,8	7,800	0,01
3	30	32,9	32,925	0,08
3	8	62,2	62,207	0,01

Для сталь 3 отримана математична модель (рис. 4.14) зі співпадінням спостережуваних значень моделі другого порядку (рис. 4.15). Отримана поверхня (рис. 4.16, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design ([No active dataset]) in Workbook1) DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-1,26545
(1)i	26,56727
(2)L	0,24818
1 by 2	-0,55091

Рисунок 4.14 – Коефіцієнти математичної моделі. Сталь 3

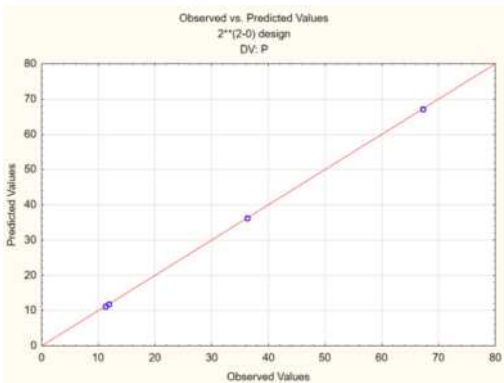
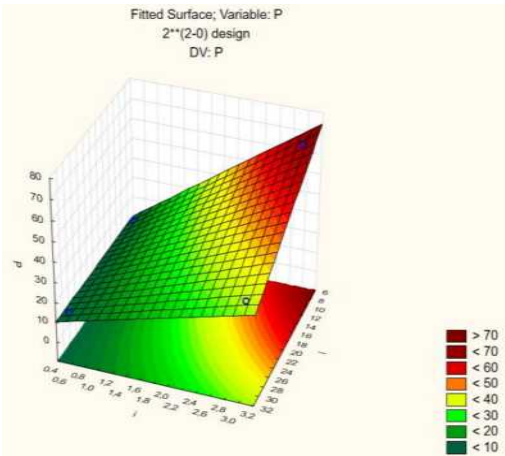
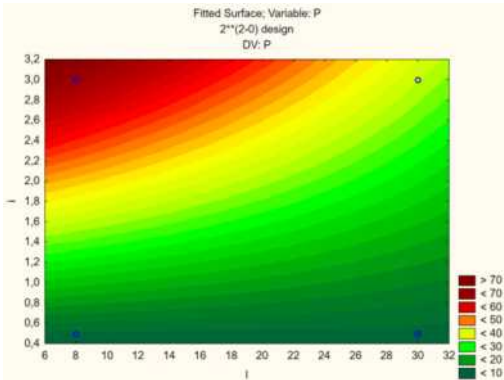


Рисунок 4.15 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Сталь 3



а)



б)

а – у плоскій проекції; б – у трьохмірній проекції

Рисунок 4.16 – Отримана поверхня. Сталь 3

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -1,265 + 26,567 \cdot i + 0,248 \cdot L - 0,551 \cdot i \cdot L$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Результати розрахунків для сталі 3

Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	30	11,2	11,194	0,06
0,5	8	11,8	11,799	0,01
3	30	36,3	36,286	0,04
3	8	67,2	67,196	0,01

Для сталі У12 отримана математична модель (рис. 4.17) зі співпадинням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.18). Отримана поверхня (рис. 4.19, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design ([No active dataset]) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	0,90364
(1)i	0,20455
(2)L	26,95636
1 by 2	-0,55455

Рисунок 4.17 – Коефіцієнти математичної моделі. Сталь У12

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = 0,904 + 26,956 \cdot i - 0,205 \cdot L - 0,555 \cdot i \cdot L$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні

заносяться у таблицю 4.10.

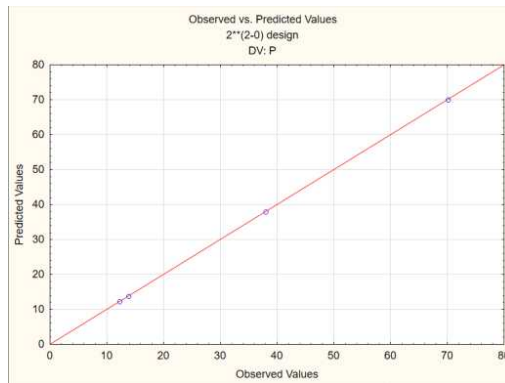
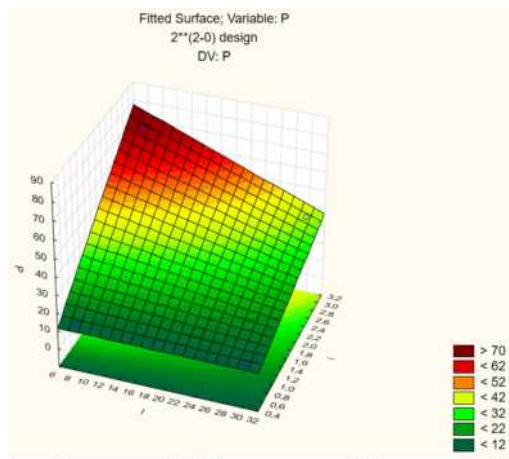
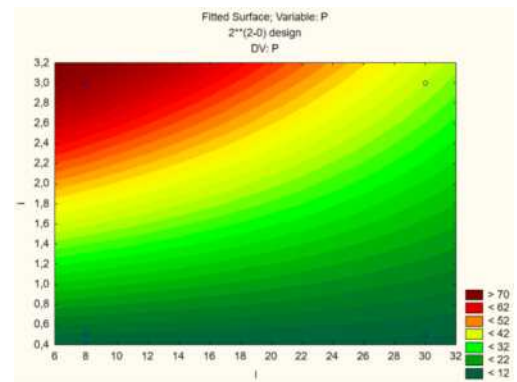


Рисунок 4.18 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Сталь У12



а)



б)

а – у плоскій проекції; б – у трьохмірній проекції

Рисунок 4.19 – Отримана поверхня. Сталь У12

Таблиця 4.10 – Результаті розрахунків для сталі У12.

Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	30	12,2	12,206	0,05
0,5	8	13,8	13,801	0,01
3	30	38	37,971	0,08
3	8	70,1	70,091	0,01

Для мідного сплаву М2 отримана математична модель (рис. 4.20) зі

співпадінням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.21).
Отримана поверхня (рис. 4.22, а, б)

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design ([No active dataset]) in Workbook1) 2**(2-0) design DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-2,13636
(1)i	26,38182
(2)L	0,18455
1 by 2	-0,53273

Рисунок 4.20 – Коефіцієнти математичної моделі. Мідний сплав М2

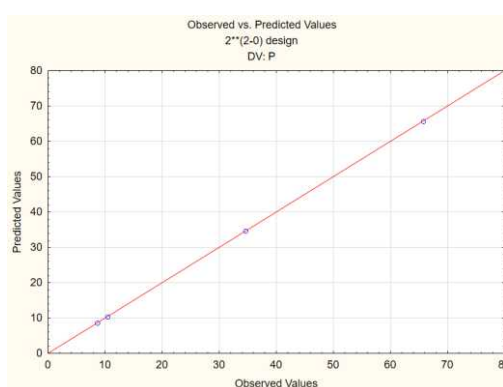
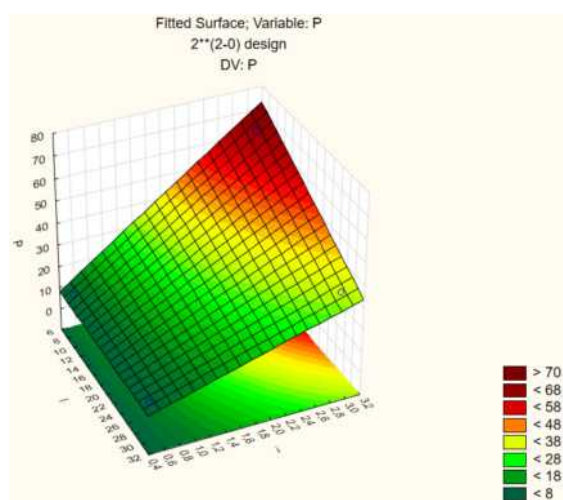
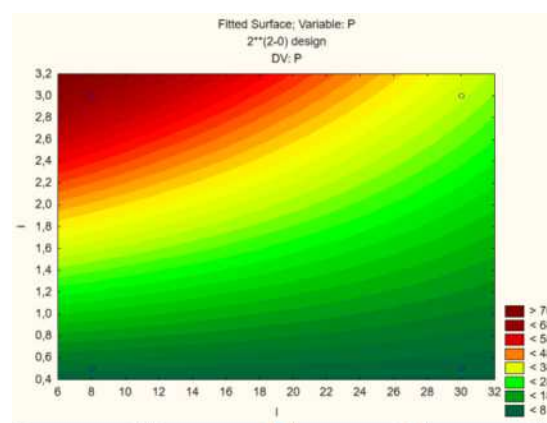


Рисунок 4.21 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Мідний сплав М2



а)



б)

а – у плоскій проекції; б – у трьохмірній проекції

Рисунок 4.22 – Отримана поверхня. Мідний сплав М2

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -2,136 + 26,382 \cdot i + 0,185 \cdot L - 0,533 \cdot i \cdot L$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.11.

Таблиця 4.11 – Результати розрахунків для міді М2.

Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	30	8,6	8,610	0,12
0,5	8	10,4	10,403	0,03
3	30	34,6	34,590	0,03
3	8	65,7	65,698	0,00

Для латунь Л63 отримана математична модель (рис. 4.23) зі співпадинням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.24). Отримана поверхня (рис. 4.25, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design ([No active dataset]) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-4,66182
(1)i	26,56000
(2)L	0,24273
1 by 2	-0,54000

Рисунок 4.23 – Коефіцієнти математичної моделі. Латунь Л63

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -4,662 + 26,56 \cdot i + 0,243 \cdot L - 0,54 \cdot i \cdot L$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні

заносяться у таблицю 4.12

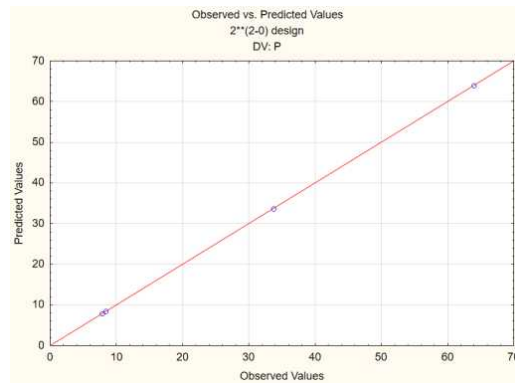
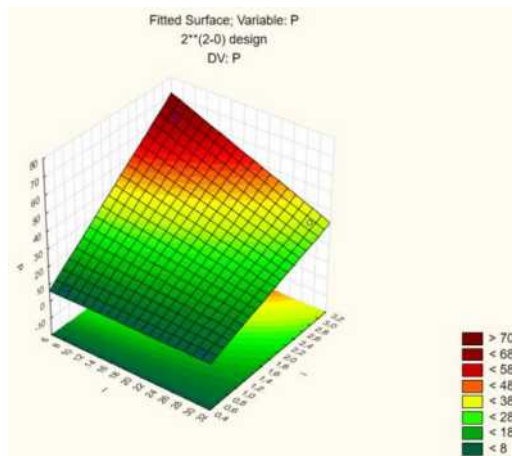
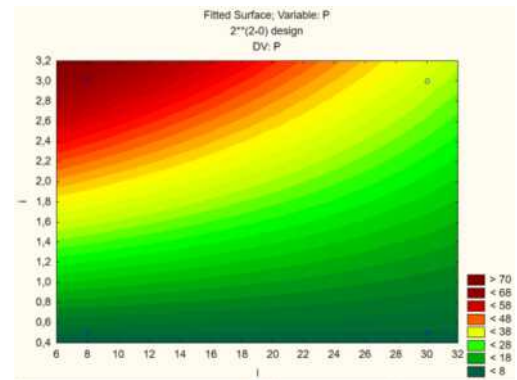


Рисунок 4.24 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Латунь Л63



а)



б)

а – у плоскій проєкції; б – у трьохмірній проєкції

Рисунок 4.25 – Отримана поверхня. Латунь Л63

Таблиця 4.12 – Результаті розрахунків для латуні Л63.

Натяг i , мм	Виліт волокна L , мм	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	30	7,8	7,808	0,10
0,5	8	8,4	8,402	0,02
3	30	33,7	33,708	0,02
3	8	64	64,002	0,00

Другий етап розрахунків відбувався для даних при сталому виліті ПАВ обробки $L=30$ мм, тому що експериментальна частина для ПАЩ з вилітом $L=16$ мм та $L=8$ мм до кінця не була проведена.

Вихідні данні наведено у таблиці 4.13.

Відповідно до даних з таблиці 4.13 була сформована експериментальна матриця (табл. 4.14) для другого етапу розрахунків, у якій наведені матриці для п'яти експериментів.

Таблиця 4.13 – Вихідні данні для другого етапу розрахунків

Фактор	Натяг i , мм		Швидкість обробки V , м/с	
	X1		X2	
Рівень	-1	+1	-1	+1
Значення коефіцієнту	0,5	3,0	20,4	39,2

Таблиця 4.14 - Експериментальна матриця

№ математичної моделі	Марка матеріалу	Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_y , Н
1	2	3	4	5
1	Алюміній АМГ3	0,5	20,4	6,9
		0,5	39,2	21,6
		3	20,4	32,9
		3	39,2	42,3
2	Сталь ст.3	0,5	20,4	11,2
		0,5	39,2	26,7
		3	20,4	36,3
		3	39,2	46,9
3	Сталь У12	0,5	20,4	12,2
		0,5	39,2	28
		3	20,4	38
		3	39,2	48,8
4	Мідь М2	0,5	20,4	8,6
		0,5	39,2	28
		3	20,4	34,6
		3	39,2	48,8
5	Латунь Л63	0,5	20,4	7,8

Продовження таблиці 4.14

1	2	3	4	5
5	Латунь Л63	0,5	39,2	22,9
		3	20,4	33,7
		3	39,2	42,8

Цільова функція матиме аналогічний вигляд:

$$\Delta P = a + a_1 \cdot i + a_2 \cdot V + a_3 \cdot i \cdot V$$

Для спрощення формули проводимо математичне округлення отриманих даних, через це коефіцієнт кореляції моделей становить $R=0,98\dots 0,99$.

Для алюмінієвий сплав АМГЗ отримана математична модель (рис. 4.26) зі співпадінням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.27). Отримана поверхня (рис. 4.28, а, б).

Regr. Coefficients; Var.: P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (Design: 2**(2-0) design (Spreadsheet28) in Workbook1) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Inter.	-15,4013
(1)	12,7004
(2)	0,8383
1 by 2	-0,1128

Рисунок 4.26 – Коефіцієнти математичної моделі. Алюмінієвий сплав АМГЗ

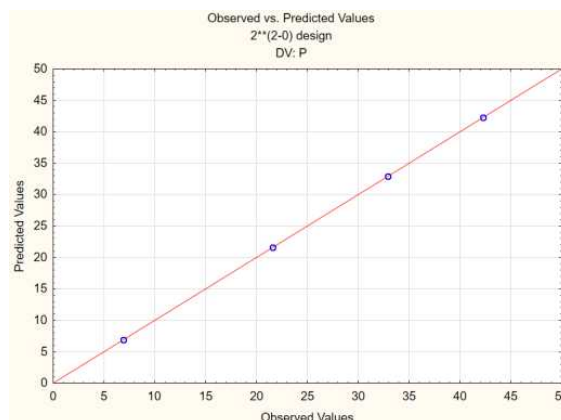
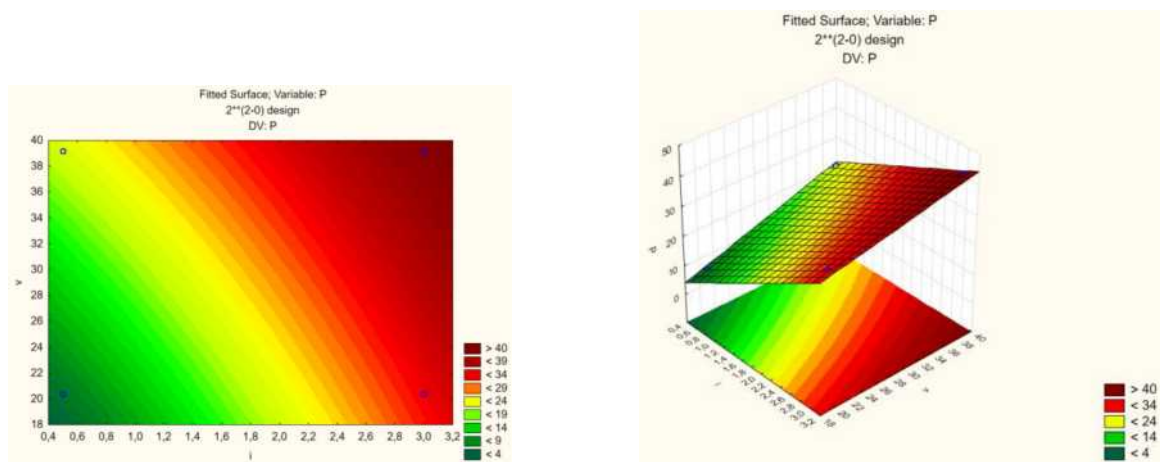


Рисунок 4.27 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Алюмінієвий сплав АМГЗ



а) б)
а – у плоскій проєкції; б – у трьохмірній проєкції

Рисунок 4.28 – Отримана поверхня. Алюмінієвий сплав АМГЗ

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -15,401 + 12,7 \cdot i + 0,838 \cdot V - 0,113 \cdot i \cdot V$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.15.

Таблиця 4.15 – Результаті розрахунків для алюмінієвого сплаву АМГЗ.

Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_v , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	20,4	6,9	6,892	0,12
0,5	39,2	21,6	21,584	0,08
3	20,4	32,9	32,879	0,07
3	39,2	42,3	42,260	0,10

Для сталі 3 отримана математична модель (рис. 4.29) зі співпадінням спостережуваних значень моделі другого порядку (рис. 4.30). Отримана поверхня (рис. 4.31, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (Spreadsheet17) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn
	Coeff.
Mean/Interc.	-11,7026
(1)i	12,1668
(2)v	0,8766
1 by 2	-0,1043

Рисунок 4.29 – Коефіцієнти математичної моделі. Сталь 3

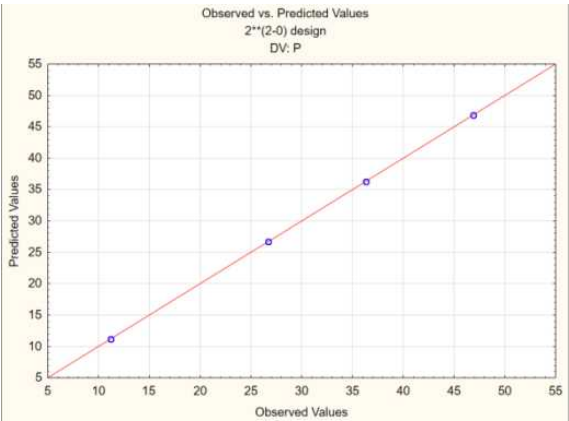
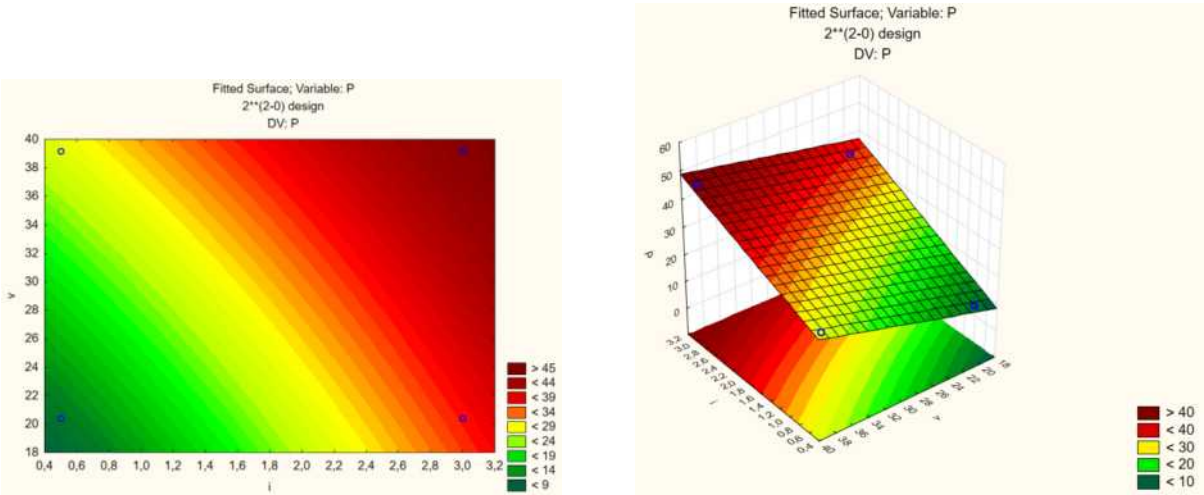


Рисунок 4.30 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Сталь 3



а) б)
а – у плоскій проєкції; б – у трьохмірній проєкції

Рисунок 4.31 – Отримана поверхня. Сталь 3

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -11,703 + 12,167 \cdot i + 0,877 \cdot V - 0,104 \cdot i \cdot V$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.16.

Таблиця 4.16 – Результати розрахунків для сталі 3.

Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_r , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	20,4	11,2	11,211	0,09
0,5	39,2	26,7	26,721	0,08
3	20,4	36,3	36,324	0,07
3	39,2	46,9	46,946	0,10

Для сталі У12 отримана математична модель (рис. 4.32) зі співпадінням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.33). Отримана поверхня (рис. 4.34, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (Spreadsheet23) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-11,1898
(1)i	12,4902
(2)v	0,8936
1 by 2	-0,1064

Рисунок 4.32 – Коефіцієнти математичної моделі. Сталь У12

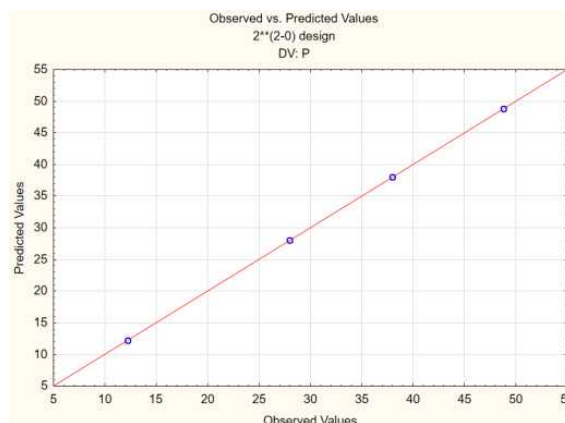
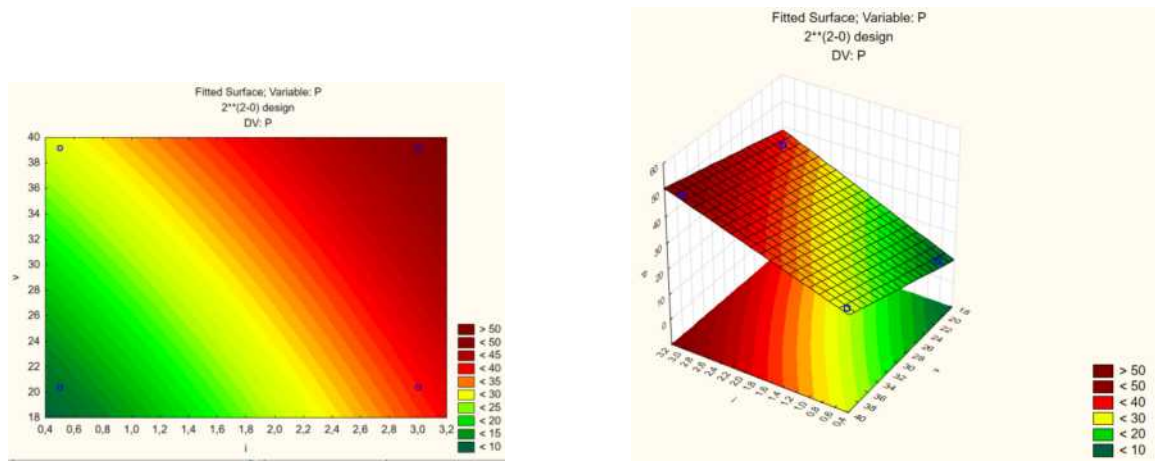


Рисунок 4.33 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Сталь У12



а) б)
а – у плоскій проєкції; б – у трьохмірній проєкції

Рисунок 4.34 – Отримана поверхня. Сталь У12

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -11,12 + 12,49 \cdot i + 0,894 \cdot V - 0,106 \cdot i \cdot V$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.17.

Таблиця 4.17 – Результаті розрахунків для сталі У12.

Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	20,4	12,2	12,211	0,09
0,5	39,2	28	28,022	0,08
3	20,4	38	38,030	0,08
3	39,2	48,8	48,859	0,12

Для мідний сплав М2 отримана математична модель (рис. 4.35) зі співпадінням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.36). Отримана поверхня (рис. 4.37, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (Spreadsheet28) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-18,7796
(1)i	12,6570
(2)v	1,0872
1 by 2	-0,1106

Рисунок 4.35 – Коефіцієнти математичної моделі. Мідний сплав М2

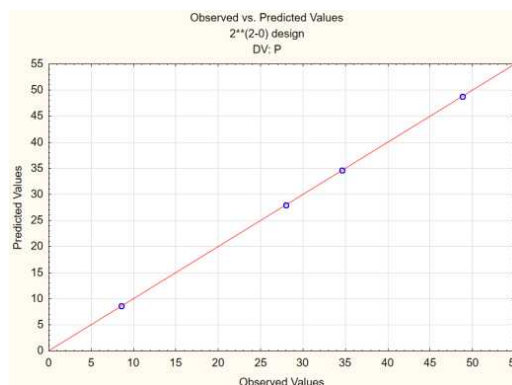
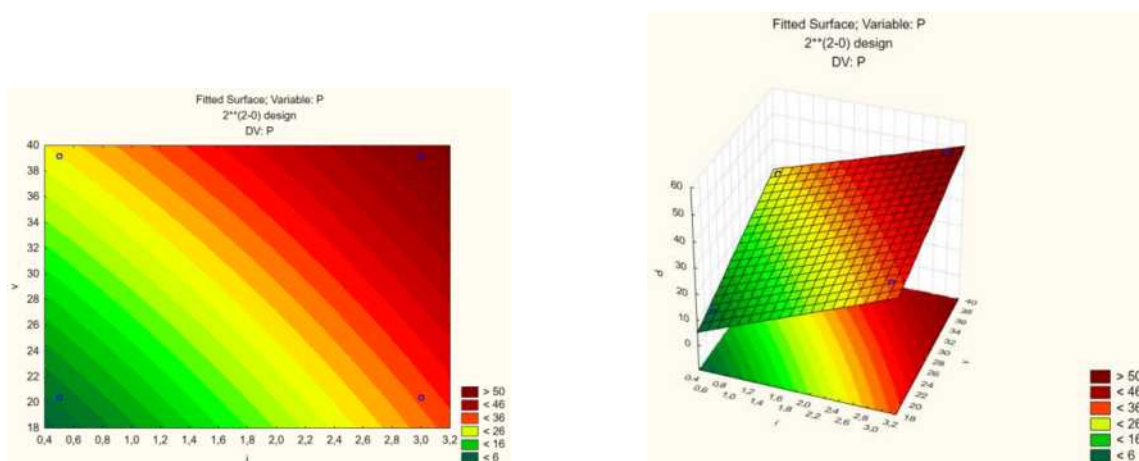


Рисунок 4.36 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Мідний сплав М2



а)

б)

а – у плоскій проєкції; б – у трьохмірній проєкції

Рисунок 4.37 – Отримана поверхня. Мідний сплав М2

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд,

виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -18,78 + 12,657 \cdot i + 1,087 \cdot V - 0,112 \cdot i \cdot V$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.18.

Таблиця 4.18 – Результати розрахунків для міді М2.

Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_y , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	20,4	8,6	8,591	0,10
0,5	39,2	28	27,983	0,06
3	20,4	34,6	34,573	0,08
3	39,2	48,8	48,748	0,11

Для латунь Л63 отримана математична модель (рис. 4.38) зі співпадинням спостерігаємих значень моделі другого порядку (рис. 4.39). Отримана поверхня (рис. 4.40, а, б).

Regr. Coefficients; Var.:P; R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (Spreadsheet33) in Workbook1)	
2**(2-0) design	
DV: P	
Factor	Regressn Coeff.
Mean/Interc.	-15,0672
(1)i	12,9643
(2)v	0,8670
1 by 2	-0,1277

Рисунок 4.38 – Коефіцієнти математичної моделі Латунь Л63

З отриманими даними математична модель буде мати вигляд, виходячи з формули (4.4):

$$\Delta P = -15,067 + 12,964 \cdot i + 0,867 \cdot V - 0,128 \cdot i \cdot V$$

Та проводимо розрахунок похибки за формулою (4.5). Данні заносяться у таблицю 4.19.

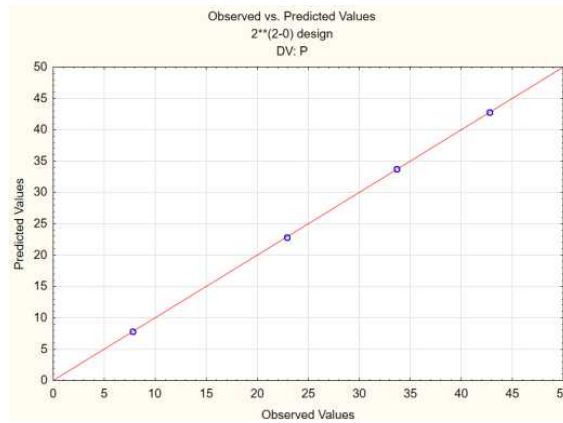
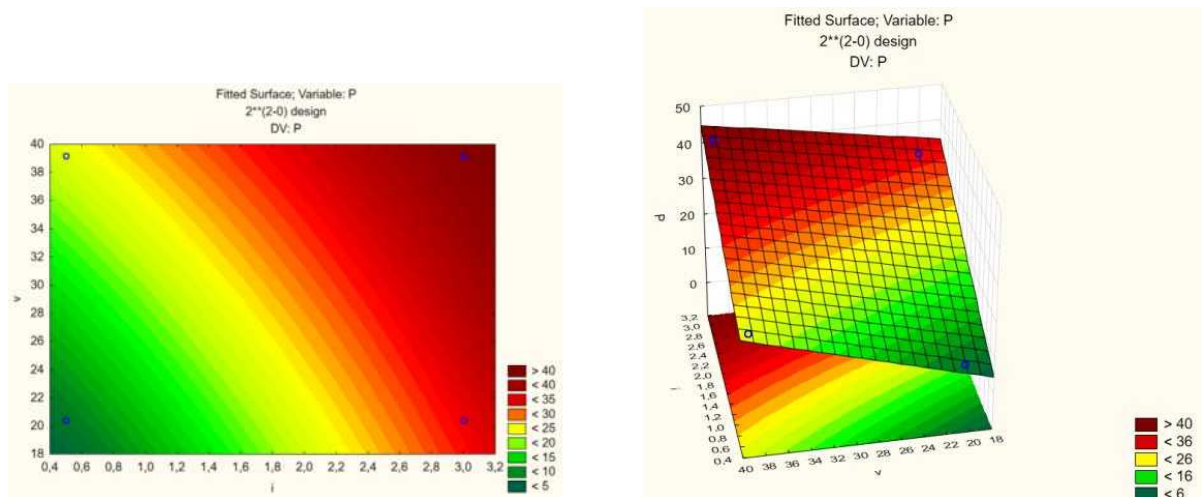


Рисунок 4.39 - Співпадіння розрахункових та експериментальних значень моделі. Латунь Л63



а) б)
а – у плоскій проекції; б – у трьохмірній проекції

Рисунок 4.40 – Отримана поверхня. Латунь Л63

Таблиця 4.19 – Результаті розрахунків для латуні Л63.

Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_r , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
0,5	20,4	7,8	7,796	0,05
0,5	39,2	22,9	22,893	0,03
3	20,4	33,7	33,678	0,06
3	39,2	42,8	42,759	0,10

Для перевірки кожної з десяти отриманих моделей було визначено розрахункове значення радіальної сили при проміжному значенні режимів (i ,

V та L), та порівняно з експериментально отриманими значеннями рівня радіальної сили під час контрольних експериментів.

Середня похибка контрольної перевірки моделей не перевищувала 7,35 %.

У результаті проведення експериментів було отримано математичні моделі силової дії ПАЩ на поверхню зразків в залежності від параметрів щітки, режимів обробки та матеріалу оброблюваної деталі. Коефіцієнт кореляції високий і становить $R=0,97...0,99$. Дані експерименти являються важливими, наприклад для визначення рівня силової дії на деталі виготовлені з подібних дослідженим матеріалів, наприклад, які мають тонкостінні елементи конструкції, які необхідно полірувати, але не можна піддавати зависокій силовій дії, щоб їх не деформувати.

4.2 Висновки

1. Проведено аналіз отриманих даних дослідження виникнення радіальної сили;
2. Виконано кореляційний аналіз та визначено коефіцієнт впливу різних факторів на виникнення радіальної сили;
3. Проведено двофакторний експеримент та визначено математичні моделі взаємодії ПАЩ на поверхні зразків в залежності від параметрів щітки, режимів обробки та матеріалу оброблюваної деталі.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Для досягнення безпеки на усіх виробництвах введені нормативні документи з охорони праці (ОП). Їх затверджують на законодавчому рівні, але деякі акти затверджують безпосередньо на підприємствах, в залежності від їх напрямку роботи. Кожного року вносяться зміни до деяких нормативних актів та положень. Це робиться через постійне вдосконалення та розробку нових методів виробництва.

Під час виконання магістерської роботи було розроблено методику дослідження силової взаємодії дискової ПАЩ та зразків. Дослідження проводилися на верстаті моделі 3Г71 (експериментальна частина) та персональному комп'ютері (теоретична частина).

У даному розділі магістерської роботи приводиться аналіз потенційно небезпечних факторів які можуть виникнути під час роботи, у лабораторія, за верстатом, та на ПК. В цьому розділі будуть розглянуті такі питання:

- аналіз потенційних небезпек;
- заходи по забезпеченню техніки безпеки;
- заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці;
- заходи по пожежній безпеці;
- заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Окрім перерахованих вище питань, також розглянуто порядок дії сил цивільного захисту у вогнищі ядерного ураження.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час виконання дослідів у лабораторіях робота проводилась на плоскошліфувальному верстаті моделі 3Г71 та ПК. Також використовувались додаткові прилади, такі як, інструмент – дискова ПАЩ, зразки (п'ять видів), а також динамометр і тахометр годинникового типу. Робота з цими приладами потребує дотримання правил експлуатації та безпеки.

Можливо виділити декілька потенційно небезпечних та шкідливих факторів які виникають під час роботи у лабораторії.

Потенційні небезпеки фізичного характеру при роботі на верстаті можуть поділятися на такі пункти:

- механічне травмування робітника, яке може виникнути по багатьом причинам, таким як: вихід з ладу рухомих частин верстата; неправильне закріплення інструменту або деталі на верстаті; руйнування інструменту; виліт стружки з незакритої зоні обробки. Це може привести як до легких (незначних) травм, так і до летальних випадків;

- ураження струмом, яке можливе при перевантаженні мережі чи не коректній роботі на верстаті, може привести до отримання травм від електричного струму;

- травмування робочого через людський фактор, яке може виникнути через неувважність чи втому робітника, наслідки можуть бути будь які, від легкої поломки обладнання до тяжких травм робітника.

При роботі за ПК потенційні небезпеки фізичного характеру можуть поділятися на такі пункти:

- перевищений вплив електромагнітних та іонізуючих випромінень, може виникнути через неправильне використання комп'ютерного обладнання чи його застарілу модель, приводить до хвороб які визиває перевищене опромінення;

- травмування шкірних покривів (порізи, подряпини, та ін.) через неувважне поводження з обладнанням.

Потенційні небезпеки психофізіологічного характеру:

- перевищення норми фізичних та психологічних навантажень, виникаючих через безперервну зайнятість, що приводить до порушення повної або часткової діяльності робітника, погіршення розумової діяльності;

- перенавантаження спинного та шийного відділів, виникає через фізичні перенапруження чи неправильне сидіння за робочим місцем;

- підвищене навантаження на нервову та психологічну систему, виникає через постійні стреси та перенавантаження;
- емоційне перенавантаження, через постійне виконання однієї і тієї ж роботи;
- погіршення зору, через довгу роботу без перерв, неправильне освітлення приміщення, використання застарілих моніторів;

Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру включають у себе:

- захаращення робочої зони за рахунок неправильного розміщення ПК та інших інструментів, що може привести до отримання травм під час роботи;
- підвищений вміст пилу у робочій зоні, виникає через погане провітрювання приміщення та відсутність або виведення з ладу вентиляції, що призводить до виникнення у працюючого проблем з легенями;
- підвищений вміст шуму у робочій зоні, через зневагу до використання захисних засобів, що може привести до погіршення слуху у робочих;
- погане освітлення, може виникнути через погане планування розміщення ламп, відсутність вікон у приміщенні.

Потенційні небезпеки, які можуть виникнути при порушенні правил пожежної безпеки:

- займання обладнання, може виникнути через коротке замикання у проводці, несправність обладнання, призводить до опіків;
- порушення правил експлуатації електронного обладнання, що може привести до короткого замкнення та початку пожежі;
- несправність системи протипожежної безпеки, знищення матеріальної бази лабораторії та отримання ушкоджень робітниками.

Надзвичайні ситуації можуть виникнути найрізноманітніші. Так у лабораторіях вони виникають через некоректне зберігання різних хімічних речовин (наприклад СОТС). Також надзвичайні ситуації можуть виникнути

через природні фактори (землетрус, наводнення та ін.).

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Щоб забезпечити належні умови праці необхідно дотримуватися усіх нормативно-правових актів з техніки безпеки України.

Для уникнення будь якого роду травмування під час виконання наукової роботи необхідно дотримуватись положень нормативно-правового акту з ОП (НПАОП) 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» зі змінами від 30.01.2017 № 140.

Проведення дослідів відбувається на металорізальному верстаті, тому для забезпечення техніки безпеки при виконанні робіт необхідно дотримуватись певних положень.

Так у державному стандарті (ГОСТ) 12.2.003-91 «Система стандартів безпеки труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности» описується, що обладнання повинно забезпечувати безпеку працюючих. Описуються правила користування органами управління верстатів, безпечним поводженням з ними, органи управління верстата треба перевіряти перед початком кожної роботи.

У ГОСТ 12.2.009-80 «ССБТ. Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности» і ГОСТ 12.2.062-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Ограждения защитные» приведені вимоги безпеки при роботі на металорізальних верстатах. Перед початком робіт верстат повинен проходити перевірку на справність. Усі рухомі органи верстата, робоча зона (зона виконання обробки), ріжучий інструмент повинні бути огорожені захисною огорожею. Деякі захисні ограни повинні бути рухомими, для поліпшення доступу робітника к заготовкам та інструменту. Перед запуском верстата необхідно перевіряти надійність закріплення ріжучого інструменту та заготовки (деталі, зразка).

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» опір захисного заземлення не перевищує 40 Ом. Усі устаткування, що виробляють магнітне поле повинні бути оснащені захисними екранами, аби обмежити дію даного поля на робочих.

Згідно ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» існують декілька класів електричної безпеки: 0, 0І, І, ІІ, ІІІ. Згідно цього лабораторія у якій проводились досліді належить до ІІІ класу електричної безпеки, а кабінет з ПК до ІІ класу.

При обробці деталей різанням, на верстатах, робітники повинні дотримуватись НПАОП 0.00-1.68-13 «Правила охраны труда при холодной обработки металлов» Згідно з цим положенням уся відповідальність за справній стан і безпечна експлуатація верстатів лягає на керівника групи (підрозділу).

Рівень шуму та вібрації повинні вдовольняти вимогам ГОСТ 12.1.003-2014 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» і ГОСТ 12.1.012-2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования».

Вимоги до індивідуального захисту робітників наведені у НПАОП 0.00-4.01-08 «Положение о порядке обеспечения работников специальной одеждой, специальной обув'ю и другими средствами индивидуальной защиты», ГОСТ 12.4.001-80 «ССБТ Очки защитные. Термины и определяя», ГОСТ 12.4.010-75 «ССБТ Средства индивидуальной защиты. Рукавицы специальные. Технические условия», ГОСТ 12.4.002-97 «ССБТ. Средства защиты рук от вибрации. Технические требования и методы испытаний», ГОСТ 12.4.034-2017 «ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Классификация и маркировка».

Працедавець повинен забезпечувати своїх робочих спеціалізованим захисним одягом. Так для безпечного переміщення деталей необхідно використовувати спеціалізовані рукавиці, для уникнення поранень рук. Також для уникнення будь якого виду травмування під час роботи на верстаті необхідно використовувати спеціалізований одяг. Щоб не допустити

пошкодження очей, слуху, органів дихання необхідно використовувати під час роботи захисні окуляри, респіратори та навушники. Данні засоби захисту застосовують при роботі на відкритих верстатах, при перевищенні рівня шуму допустимого значення.

Користуючись електрообладнанням та електроустаткуванням треба дотримуватись таких стандартів, як ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», державний нормативно-правовий акт з ОП (ДНАОП) 1.1.10-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок», ДНАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление». Згідно даних актів необхідно перевіряти цільність ізоляції усіх струмоведучих частин. Усі устаткування, що виробляють магнітне поле повинні бути оснащені захисними екранами, аби обмежити дію даного поля на робочих.

Для мінімізації травм, негативних впливів та наслідків необхідно дотримуватися наступних вимог державного стандарту України (ДСТУ) 7950:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги» та ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования».

У державних санітарних правилах (ДСП) 173-96 «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Зі змінами» розписані правила проектування виробничих приміщень.

Для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійних захворювань та підтримки працездатності слід дотримуватись державних санітарних правил і норм (ДСанПіН) 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», а також Згідно Плану імплементації Директиви Ради 90/270/ЕЕС від 29 травня 1990 року про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями, треба підбирати монітори з відповідною контрастністю та яскравістю, також необхідно використовувати

лише справні монітори, на екрані яких відсутні відблиски та миготіння.

Потрібно робити перерви на відпочинок тривалістю 15...20 хвилин хоча б кожную годину-півтори. Тривалість безперервної роботи не повинна перевищувати чотирьох годин, а з перервами не більше восьми годин.

Працюючі з персональними електронно-обчислювальними машинами (ПЕОМ) підлягають обов'язковим медичним оглядам згідно Закону України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення. Періодичні огляди мають проводитися раз на два роки. Основними критеріями оцінки стану придатності до роботи є стан органів зору, при цьому необхідно враховувати також стан організму в цілому. Медичний огляд може проводитись як за рахунок працедавця, так і за рахунок працівника.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

На всіх підприємствах, учбових закладах повинні дотримуватись виробничої санітарії та гігієни праці згідно державних санітарних норм та правил.

Данні норми обов'язкові для виконання нормативно-правових актів центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я, що встановлюють медичні вимоги безпеки щодо середовища життєдіяльності та окремих його факторів, недотримання яких створює загрозу здоров'ю і життю людини та майбутніх поколінь, а також загрозу виникнення і розповсюдження інфекційних хвороб та масових неінфекційних захворювань (отруєнь) серед населення [17].

До умов які необхідно забезпечити для виконання санітарно-гігієнічних заходів можливо віднести: мікрокліматичні умови; освітленість робочої зони; рівень шуму у робочий зоні; виробничі вібрації; іонізуючі випромінювання; вимоги до приміщень обладнаних ПК та їх організація; вимоги до режимів праці; вимоги до санітарно-побутових приміщень.

Мікрокліматичні умови у робочому приміщенні та їх забезпечення

аргументується у ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», державних санітарних нормах (ДСН) 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та державних будівельних норм (ДБН) В.2.5-67-2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Виходячи з стандартів можна сказати, що мікрокліматичні умови повинні відповідати деяким параметрам, таким як температура повітря, відносна вологість повітря, інтенсивність теплового (інфрачервоного) опромінення, температура поверхні. Мікрокліматичні умови можуть бути оптимальні чи допустимі. Так оптимальні умови мікроклімату встановлюються для постійних робочих місць, допустимі встановлюються у випадках, коли на робочих місцях не можна забезпечити оптимальні величини мікроклімату за технологічними вимогами виробництва, технічною недосяжністю та економічно обґрунтованою недоцільністю [18].

Раціональна температура у лабораторному приміщенні, де проводяться експерименти для магістерської роботи, в холодну пору року повинна становити 18-20 °С, а у теплу 21-23 °С, з відотною вологістю повітря 40-60%.

Згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ГОСТ 12.4.021-75 «ССБТ. Системы вентиляционные. Общие требования» можливо визначити вимоги для систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Наведені данні системи повинні у різну пору року створювати відповідний мікроклімат у робочому приміщенні. Система вентиляції повинна забезпечувати повну очистку повітря від зайвих домішок. Подача повітря повинна відбуватися постійно, без перебоїв. Так вміст пилу у повітрі робочої зони повинен не перевищувати 30%.

Норми освітлення робочої зони та її забезпечення приведені у ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Робочі приміщення повинні використовувати комбіноване освітлення, якщо даного світла не вистачає, можливо використовувати додаткове місцеве освітлення. Відсоток

природнього освітлення повинен становити не менше ніж 1,5%. Якщо природнє освітлення повністю відсутнє у приміщенні то треба використовувати лампи денного світла. Освітленість робочого місця робочого повинно бути від 300 лк до 500 лк.

Рівень шуму у робочій зоні регламентується за ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», ГОСТ 12.2.107-85 «ССБТ. Шум. Станки металлорежущие. Допустимые шумовые характеристики» та ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности». Данні норми встановлюють методи оцінки виробничого шуму; параметри, які нормуються, та їх допустимі величини. Так рівень шуму у лабораторії не повинен перевищувати 80 дБ, при перевищенні час роботи скорочується. Треба використовувати прилади та верстати з шумоізоляційними корпусами. Також необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту, під час роботи на верстаті.

Оцінку впливу рівня вібрацій проводять за ДСТУ ISO 2631-1:2004 «Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину» та ДСН 3.3.6.039-99. «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрацій».

Під час виконання робіт, що супроводжуються вібраціями необхідно робити перерви кожні 10-15 хвилин, в залежності від рівня вібрацій. Так як повністю виключити вібрації майже не можливо, їх рівень знижують застосовуючи спеціальні віброізоляції та вібропоглинання, також необхідно проводити перевірку та ремонти обладнання. Щоб знизити негативний вплив від вібрацій на людину треба вчасно проходити огляди у лікаря та профілактичне лікування, вживати вітаміни. При проведенні робіт на верстаті необхідно робити розслабляючий масаж у спеціальній установці за допомогою сухого теплого повітря. Ця процедура допоможе зняти з м'язів рук перенавантаження.

Приміщення у яких розташовуються робочі місця з ПК повинні бути спроектовані відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та

захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями». Для проведення аналітичних робіт необхідно провести розрахунок кабінету обладнаного ПК. Знаючи, що у кабінеті необхідно розмістити вісім робочих місць обладнаних ПК, і те, що згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислюваних машин» на одне таке робоче місце повинно приходити не менше $6,0 \text{ м}^2$ площі та об'єму не менше 20 м^3 [19].

Спочатку необхідно розрахувати площу та об'єм які приходяться на вісім робочих місць.

Так розрахункова площа визначається по формулі:

$$S_{\text{р.пр.}} = n \cdot S_{\text{о.р.м.}}, \text{ м}^2 \quad (5.1)$$

де n – кількість робочих місць, шт.;

$S_{\text{о.р.м.}}$ – розрахункова площа, яка приходить на одне робоче місце, м^2 .

Виконуємо розрахунок площі приміщення за формулою (5.1):

$$S_{\text{р.пр.}} = 8 \cdot 6 = 48 \text{ м}^2$$

Розрахований об'єм визначається за формулою:

$$V_{\text{р.пр.}} = n \cdot V_{\text{о.р.м.}}, \text{ м}^3 \quad (5.2)$$

де $V_{\text{о.р.м.}}$ – розрахунковий об'єм, яка приходить на одне робоче місце, м^3 .

Виконуємо розрахунок об'єму приміщення по формулі (5.2):

$$V_{\text{р.пр.}} = 8 \cdot 20 = 160 \text{ м}^3$$

Знаючи об'єм та площу приміщення можливо вираховувати висоту стелі за формулою (5.3):

$$h = \frac{V_{\text{о.р.м.}}}{S_{\text{р.пр.}}}, \text{ м} \quad (5.3)$$

Виконуємо розрахунок висоти стелі приміщення по формулі (5.3):

$$h = \frac{160}{48} = 3.3 \text{ м}$$

Знаючи висоту стелі і розраховану площу приміщення можемо побудувати план виробничого приміщення з комп'ютерними робочими місцями (рис. 5.1). Треба враховувати, що робочі місця необхідно розташовувати не ближче 1 м від вікон, проходом між рядами не менше 1 м, відстанями між стінками столів не менше 1,2 м. Також треба враховувати розміри меблів. Приймаємо, що робочі столи мають такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм, висота – 725 мм.

Побудувавши план-схему виробничого приміщення перерахуємо загальну площу та об'єм побудованого приміщення за формулами:

$$S_{\text{пр}} = A \cdot B, \text{ м}^2 \quad (5.4)$$

$$V_{\text{пр}} = S_{\text{пр}} \cdot h, \text{ м}^3 \quad (5.5)$$

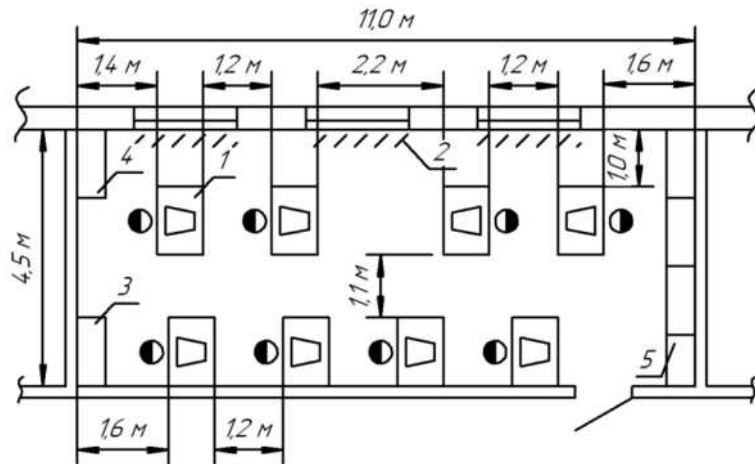
де $A=11$ м – довжина кабінету;

$B=4,5$ м – ширина кабінету;

$h=3,3$ м – висота приміщення.

Виконуємо розрахунок отриманої площі приміщення за формулою (5.4):

$$S_{\text{пр}} = 11 \cdot 4,5 = 49,5 \text{ м}^2$$



1 – комп'ютерне робоче місце; 2 – сонцезахисні жалюзі; 3 шафа для зберігання верхнього одягу; 4 – шафа для зберігання наукової літератури; 5 – шафа для зберігання документів.

Рисунок 5.1 - План виробничого приміщення з комп'ютерними робочими місцями

Виконуємо розрахунок об'єму спланованого приміщення по формулі (5.5):

$$V_{\text{пр}} = 49,5 \cdot 3,3 = 163,35 \text{ м}^3$$

Спроектоване виробниче приміщення цілком відповідає вимогам зазначеним у ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислюваних машин», так як розміри даного приміщення більші ніж розраховані.

Можливо зробити висновок, що на схемі показано найбільш оптимальне розміщення робочих місць з ПК.

Згідно цього ж нормативу при написанні магістерської роботи і восьмигодинному робочому дні необхідно робити перерви на 10-15 хвилин

після кожної робочої години, а при дванадцятигодинному робочому дні слід робити 15-хвилинні перерви, також через кожну годину. Якщо не має можливості робити перерви, то слід скоротити робочий день до чотирьох годин. Виконання цих заходів застереже людину від нервового перенапруження та проблем з зором.

Випромінювання усіх видів не повинні перевищувати допустимі значення на робочих місцях, вимоги до яких наведені у ГОСТ 12.1.045-84 «ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля». Перевищення даних значень може привести до погіршення стану самопочуття робітника.

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Забезпечення пожежної безпеки є одними з найбільш важливіших. Заходи по забезпеченню протипожежної системи приведені у державному нормативному акті з пожежної безпеки (НАПБ) А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Вони встановлюють загальні вимоги з пожежної безпеки до будівель, споруд різного призначення та прилеглих до них територій, іншого нерухомого майна, обладнання, устаткування, що експлуатуються. Особи, відповідальні за забезпечення пожежної безпеки на підприємствах та об'єктах, їх права та обов'язки визначаються відповідно до законодавства [20].

Згідно ДСТУ EN 2:2014 «Классификация пожаров (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT)» класи можливих пожеж діляться на такі класи: А - що супроводжуються горінням твердих матеріалів, зазвичай органічного походження, під час горіння яких, як правило, утворюються тліючі вуглини; В - що супроводжуються горінням рідин або твердих речовин, які переходять у рідкий стан; С - що супроводжуються горінням газів; D - що супроводжуються горінням металів; F - що супроводжуються горінням

речовин, які використовують для приготування їжі (рослинних і тваринних олій та жирів) і містяться в кухонних приладах [21].

З ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та Будівельні норми і правила (СНиП) 2.09.02-85* «Производственные здания. С изменениями» усі будови поділяються на такі категорії виробництва з пожежної небезпеки: А та Б – вибухопожежонебезпечна; В – пожежонебезпечна; Г – помірно пожежонебезпечна; Д – знижено пожежонебезпечна [20]. Вогнегасники підбираються згідно ДСТУ 4297:2004 «Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги.» вогнегасники поділяються на газові, водні та водопінні, порошкові. Вогнегасники зберігають у вертикальному положенні у місці доступному усім працюючим.

Проаналізувавши дані норми можливо сказати, що лабораторія з верстатами відноситься до категорії виробництва з пожежної небезпеки «Д» та класу можливої пожежі «D», а кабінет з ПК до класу пожежної небезпеки «Д» і класу можливої пожежі «А». У даних приміщеннях необхідно використовувати вогнегасник порошкові.

Для швидкого попередження про пожежу та початку пожежогасіння необхідно облаштовувати приміщення системою протипожежної безпеки, згідно ДБН В.2.5-56:2014 «Системы противопожарной защиты». Дана система повинна попереджувати про розпочату пожежу або велике задимлення, і почати тушіння пожежі до приїзду пожежних.

5.5 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

У даному підрозділі розглянемо порядок дії сил цивільного захисту у вогнищі ядерного ураження [22].

Після нанесення супротивником ядерних ударів необхідно оцінити обстановку, що склалася на території області (краю), міст і районів; ужити

заходів до відновлення порушеного управління; забезпечити приведення в готовність до дій сил, які потрапили під вплив зброї, і організувати проведення рятувальних робіт у вогнищах ураження.

Данні про ядерні вибухи чи застосування інших засобів ураження і дані про обстановку, отримані з різних джерел, надходять на пункти управління відповідних начальників цивільного захисту (ЦЗ), де вони узагальнюються й аналізуються. На основі аналізу штабами підготовляються висновки і проекти рішень, у яких відбивається таке: якими силами і засобами міст, сільських районів і об'єктів, коли і де можна починати проведення рятувальних та інших невідкладних робіт (РІНР) у вогнищах уражень; розрахунок часу початку і тривалості робіт; до якого часу повинне бути завершене відновлення порушеного управління і створені угруповання сил і які необхідно провести для цього заходи; завдання розвідки, загонів забезпечення руху, сил першого, другого ешелонів і резерву; порядок підтримки постійної взаємодії і забезпечення дій сил; організація управління.

При визначенні режимів захисту населення і діяльності об'єктів господарювання (ОГ) в умовах радіоактивного зараження (РЗ) місцевості встановлюється час перебування людей у захисних спорудах, житлових і виробничих будинках, можливість і час залучення формувань і населення до рятувальних робіт, порядок організації їхнього відпочинку.

Своєчасне висунання основних сил ЦЗ у вогнищах ураження забезпечується швидкими і рішучими діями загонів забезпечення руху (ЗЗР), дорожньо-відбудовних формувань і протипожежних сил. Першими висуваються розвідувальні підрозділи військових частин і розвідувальні команди міста (міських районів), за ними слідують загони забезпечити руху, протипожежні підрозділи, спеціальна розвідка служб ЦЗ. До завдання цих сил входить проведення розвідки маршрутів і виявлення обстановки у вогнищах ураження.

За спеціальною розвідкою служб йдуть головні загони першої медичної допомоги (ЗПМД). Потім висуваються сили ЦЗ перших І, у міру

необхідності, наступних змін перших і других ешелонів.

Після виконання своїх завдань ЗЗР залучаються до рятувальних робіт на найбільш важливих об'єктах.

Час початку рятувальних робіт і тривалість роботи змін визначаються по кожному об'єму окремо, виходячи з радіаційної обстановки на місці робіт, вже отриманих раніше особовим складом формувань доз опромінення і встановленої припустимої дози.

Послідовність виконання робіт, практичні прийоми і способи дій формувань у вогнищах ураження визначаються командирами формувань безпосередньо на об'єктах (ділянках) робіт з урахуванням характеру руйнувань захисних споруд, комунально-енергетичних мереж і технологічних ліній, наявності завалів, рівнів радіації, вогнищ пожеж й інших умов, що впливають на організацію і проведення рятувальних робіт. З усього комплексу робіт у першу чергу організовується ті, від яких залежить порятунок людей і їхня безпека. Особливе значення в ході РІНР мають інженерні роботи з розкриття завалених захисних споруд, подачі в них повітря, улаштування переходів, сходів, трапів та іншого обладнання для порятунку потерпілих, а також з облаштування тимчасових шляхів для їх евакуації.

Сили протипожежної служби в першу чергу ведуть боротьбу з пожежами, які ускладнюють проведення рятувальних робіт, рятують і евакуюють людей з палаючих будинків і споруд, потім гасять пожежі, що загрожують уцілілим об'єктам.

Найважливішими заходами в ході проведення РІНР є надання медичної допомоги ураженим і евакуація їх у лікувальні установи. Усі формування і військові підрозділи повинні здійснювати пошук уражених, надавати їм першу медичну допомогу виносити до місць посадки на транспорт для відправлення в медичні установи; до цих робіт залучається також неушкоджене населення.

В умовах РЗ ОГ і житлових масивів здійснюється дезактивація доріг,

проходів для руху людей, місць посадки людей на транспорт і шляхів їхньої евакуації.

Роботи ведуться безупинно, вдень і вночі, з максимальним використанням наявних сил ЦЗ, техніки, транспорту і механізмів. Щоб забезпечити це, зміна працюючих відбувається безпосередньо на місцях робіт.

В результаті повинно бути виконано: розкрито всі завалені захисні споруди; надана медична допомога ураженим і довершена їхня евакуація в лікувальні установи; проведена санітарна обробка населення; здійснене знезаражування території, споруд і техніки.

Основні заходи безпеки під час РІНР у вогнищі ядерного ураження (ВЯУ): будинки і споруди, що загрожують обвалом, оглядаються і відгороджуються видимими попереджувальними знаками; у темний час доби на об'єктах робіт організовується освітлення; у завалах, шахтах, прорізах будинків і споруд встановлюються ліхтарі (лампи) з червоним світлом; робота кранів допускається тільки на освітленій місцевості; при веденні рятувальних робіт уночі необхідно організувати комендантську службу і забезпечити зустріч формувань і підрозділів на підступах до вогнища ураження з виділенням провідників для їх супроводження до об'єктів робіт. Успішне проведення РІНР у ВЯУ досягається ретельно продуманою і спланованою в мирний час організацією заходів і уточненням їх у залежності від сформованої обстановки у воєнний час, чітким і постійним керівництвом силами з боку начальників, штабів і служб ЦЗ всіх ступенів.

5.6 Висновки

1. Проведено аналіз потенційних небезпек, що можуть виникнути при проведенні робіт в лабораторії на верстатом та ПК.

2. Проведено ряд заходів з забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці, а також електричної та пожежної безпеки з урахуванням вимог нормативних документів та стандартів

3. Було розраховано параметри кабінету для робітників працюючих за ПК, а також розроблено схему .

4. Проаналізовано порядок дії сил цивільного захисту у вогнищі ядерного ураження.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних джерел щодо особливості застосування дискових полімерно-абразивних щіток.
2. Обрано обладнання та зразки для проведення дослідження.
3. Складено методику та план проведення експерименту по визначенню силової дії.
4. Визначено ступінь дії різноманітних факторів на силовий рівень.
5. Проаналізовано результати силового впливу, та встановлено загальні фактори, що діють на силову взаємодію дискових ПАЩ і зразків, виготовлених з різних матеріалів.
6. Проведено кореляційний аналіз для визначення більш значущих факторів, які впливають на рівень силі та взаємозв'язок між ними.
7. Виконано факторний експеримент для визначення математичної моделі залежності радіальної силі від параметрів обробки.
8. Проведено аналіз небезпечних факторів, які можуть виникнути при роботі у лабораторії за верстатом та на ПК. Було розраховано параметри кабінету для робітників працюючих за ПК, а також розроблено схему.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Степанов Д.Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 1. анализ финишно-отделочных методов / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудіванні. - 2015. - № 1. – С. 122-125. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2015_1_26.
2. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А. М. Сулема, В. А. Шулов. Ю. Д. Ягодкин. – М.: Машиностроение. 1988. – 240 с. – ISBN5-217-00060-0.
3. Степанов Д.Н. Финишная обработка тонкостенных и сложнопрофильных деталей. Сообщение 2. Щеточные инструменты на основе полимерно-абразивных волокон / Д. Н. Степанов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудіванні. - 2015. - № 1. – С. 126-129. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nmt_2015_1_27.
4. Яковлев Д. Р. Теоретическое и экспериментальное исследование технологических возможностей полимерно-абразивных щеток с определением эффективных областей их использования / Д. Р. Яковлев // Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров». – М. : МГТУ. – 2010. – С.293 – 299.
5. «Техника и технологии машиностроения» Материалы V Международной студенческой научно-практической конференции. Омский государственный технический университет, 04-10 апреля 2016 г. - С. 251-256.
6. Димов Ю.В. Силы резания при обработке эластичными абразивными кругами / Ю. В. Димов, Д. Б. Подашев // Вестник ИрГТУ. №7 (102). С. 47-54.
7. Measurement of non-rigid tools action force during finishing / N. Honchar, A. Kachan, D. Stepanov and others // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2018. – Part F2. – P. 23-32.

8. Терминология: кабировка, тарировка, градуировка [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.lcard.ru/lexicon/calibration_gauging
9. Кремень З. И. Технология шлифования в машиностроении / З. И. Кремень, В. Г. Юрьев, А. Ф. Бабошкин ; под ред. З. И. Кремня. - Санкт-Петербург : Политехника, 2007. - 422 [1] с.
10. Харченко М.А. Корреляционный анализ: Учебное пособие для вузов. - Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. - 31 с.
11. Статистика: Корреляционно-регрессионный анализ статистических связей на персональном компьютере: Методические указания к практическим занятиям для студентов всех форм обучения специальности «Менеджмент» / Калинингр. ун-т; Сост. Н.Ю. Лукьянова. - Калининград, 1999. - 35 с.
12. Динамометр. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://gk-drawing.ru/line-module/mechanisms/dynamometer.php>
13. Патент №110930 Украины, МПК G01L 1/22. Динамометр / Внуков Ю.М., Степанов Д.М. Гончар Н. В.; заявитель и патентовладелец ЗНТУ; заяв. 15.04. 2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. №20.
14. Глава 15. Корреляционный анализ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.datuapstrade.lv/rus/spss/section_15
15. Полный факторный эксперимент [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://studref.com/364082/geografiya/polnyy_faktorny_eksperiment
16. Полный факторный эксперимент [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://appmath.narod.ru/page6.html>
17. Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/4004-12>.
18. ДНАОП [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://dnaop.com>.
19. ДСП 173-96 Государственные санитарные правила планирования и застройки населенных пунктов. С изменениями. – Взамен СН 245-71

(ДНАОП 0.03-3.01-71); введен 1996-06-19. – М. Изд-во стандартов, 2009. – 13 с.

20. БУДСТАНДАРТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://online.budstandart.com/ua>

21. Правила эксплуатации огнетушителей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://хсс.ua/index.php/themeum/19-joomla/196-nova-klasifikatsiya-pozhezh.html>

22. Шоботов В. М. Цивільна оборона: навч. посібник / В. М. Шоботов. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 439 с.

ДОДАТОК А

Експериментальні результати

Таблиця А.1 – Зведена таблиця вихідних та досліджуваних параметрів

№ досліду	Властивості матеріалу зразків									Режими обробки		Параметри інструменту	Радіальна сила, P , Н
	Марка матеріала	механічні					фізичні						
		Межа міцності σ_e , МПа	Ударна в'язкість f , Дж/м ²	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ , %	Твердість HB , МПа	Щільність ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/мК	Модуль Юнга k , ГПа	Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Виліт волокна L , мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Алюмінієвий сплав АМГ3	245	900	195	15	45	2660	230	70	0,5	20,4	30	6,9
2		245	900	195	15	45	2660	230	70	0,5	27,4	30	18,6
3		245	900	195	15	45	2660	230	70	0,5	39,2	30	21,6
4		245	900	195	15	45	2660	230	70	0,5	20,4	16	7,4
5		245	900	195	15	45	2660	230	70	0,5	20,4	8	7,8
6		245	900	195	15	45	2660	230	70	1	20,4	30	13,8
7		245	900	195	15	45	2660	230	70	1	27,4	30	22,9
8		245	900	195	15	45	2660	230	70	1	39,2	30	24,2
9		245	900	195	15	45	2660	230	70	1	20,4	16	15,5
10		245	900	195	15	45	2660	230	70	1	20,4	8	17,5
11		245	900	195	15	45	2660	230	70	2	20,4	30	27,7
12		245	900	195	15	45	2660	230	70	2	27,4	30	30,6
13		245	900	195	15	45	2660	230	70	2	39,2	30	33,9
14		245	900	195	15	45	2660	230	70	2	20,4	16	29,8
15		245	900	195	15	45	2660	230	70	2	20,4	8	39,1
16		245	900	195	15	45	2660	230	70	3	20,4	30	32,9
17		245	900	195	15	45	2660	230	70	3	27,4	30	36,9
18		245	900	195	15	45	2660	230	70	3	39,2	30	42,3
19		245	900	195	15	45	2660	230	70	3	20,4	16	35,9
20		245	900	195	15	45	2660	230	70	3	20,4	8	62,2
21	Сталь 3	425	-	225	26	156	7850	52	200	0,5	20,4	30	11,2
22		425	-	225	26	156	7850	52	200	0,5	27,4	30	25,5
23		425	-	225	26	156	7850	52	200	0,5	39,2	30	26,7
24		425	-	225	26	156	7850	52	200	0,5	20,4	16	11,7
25		425	-	225	26	156	7850	52	200	0,5	20,4	8	11,8
26		425	-	225	26	156	7850	52	200	1	20,4	30	18,2
27		425	-	225	26	156	7850	52	200	1	27,4	30	30,3
28		425	-	225	26	156	7850	52	200	1	39,2	30	32

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
29	Сталь 3	425	-	225	26	156	7850	52	200	1	20,4	16	20,2
30		425	-	225	26	156	7850	52	200	1	20,4	8	22,9
31		425	-	225	26	156	7850	52	200	2	20,4	30	33,3
32		425	-	225	26	156	7850	52	200	2	27,4	30	35
33		425	-	225	26	156	7850	52	200	2	39,2	30	40
34		425	-	225	26	156	7850	52	200	2	20,4	16	36,1
35		425	-	225	26	156	7850	52	200	2	20,4	8	45,8
36		425	-	225	26	156	7850	52	200	3	20,4	30	36,3
37		425	-	225	26	156	7850	52	200	3	27,4	30	40
38		425	-	225	26	156	7850	52	200	3	39,2	30	46,9
39		425	-	225	26	156	7850	52	200	3	20,4	16	45,4
40		425	-	225	26	156	7850	52	200	3	20,4	8	67,2
41	Сталь У12	1420	270	1230	10	600	7839	52	250	0,5	20,4	30	12,2
42		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	0,5	27,4	30	27,7
43		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	0,5	39,2	30	28
44		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	0,5	20,4	16	13
45		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	0,5	20,4	8	13,8
46		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	1	20,4	30	22,6
47		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	1	27,4	30	32,5
48		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	1	39,2	30	35
49		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	1	20,4	16	23,3
50		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	1	20,4	8	24,2
51		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	2	20,4	30	34,6
52		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	2	27,4	30	35,9
53		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	2	39,2	30	42,6
54		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	2	20,4	16	38,9
55		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	2	20,4	8	50,7
56		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	3	20,4	30	38
57		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	3	27,4	30	40,9
58		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	3	39,2	30	48,8
59		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	3	20,4	16	48,4
60		1420	270	1230	10	600	7839	52	250	3	20,4	8	70,1
61	Мідний сплав М2	350	1400	200	32	95	8940	380	110	0,5	20,4	30	8,6
62		350	1400	200	32	95	8940	380	110	0,5	27,4	30	22
63		350	1400	200	32	95	8940	380	110	0,5	39,2	30	28
64		350	1400	200	32	95	8940	380	110	0,5	20,4	16	10,4
65		350	1400	200	32	95	8940	380	110	0,5	20,4	8	10,4
66		350	1400	200	32	95	8940	380	110	1	20,4	30	17,3
67		350	1400	200	32	95	8940	380	110	1	27,4	30	26,3
68		350	1400	200	32	95	8940	380	110	1	39,2	30	35
69		350	1400	200	32	95	8940	380	110	1	20,4	16	19,7
70		350	1400	200	32	95	8940	380	110	1	20,4	8	21,5
71		350	1400	200	32	95	8940	380	110	2	20,4	30	31,7
72		350	1400	200	32	95	8940	380	110	2	27,4	30	34,1
73		350	1400	200	32	95	8940	380	110	2	39,2	30	42,6
74		350	1400	200	32	95	8940	380	110	2	20,4	16	34,6
75		350	1400	200	32	95	8940	380	110	2	20,4	8	43,2

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
76	М2	350	1400	200	32	95	8940	380	110	3	20,4	30	34,6
77		350	1400	200	32	95	8940	380	110	3	27,4	30	39,2
78		350	1400	200	32	95	8940	380	110	3	39,2	30	48,8
79		350	1400	200	32	95	8940	380	110	3	20,4	16	42,3
80		350	1400	200	32	95	8940	380	110	3	20,4	8	65,7
81	Латунь Л63	290	900	110	38	70	8440	110	95	0,5	20,4	30	7,8
82		290	900	110	38	70	8440	110	95	0,5	27,4	30	20,6
83		290	900	110	38	70	8440	110	95	0,5	39,2	30	22,9
84		290	900	110	38	70	8440	110	95	0,5	20,4	16	8,1
85		290	900	110	38	70	8440	110	95	0,5	20,4	8	8,4
86		290	900	110	38	70	8440	110	95	1	20,4	30	14,7
87		290	900	110	38	70	8440	110	95	1	27,4	30	24,6
88		290	900	110	38	70	8440	110	95	1	39,2	30	27,2
89		290	900	110	38	70	8440	110	95	1	20,4	16	17,5
90		290	900	110	38	70	8440	110	95	1	20,4	8	20,7
91		290	900	110	38	70	8440	110	95	2	20,4	30	30,3
92		290	900	110	38	70	8440	110	95	2	27,4	30	33,7
93		290	900	110	38	70	8440	110	95	2	39,2	30	34,7
94		290	900	110	38	70	8440	110	95	2	20,4	16	32,3
95		290	900	110	38	70	8440	110	95	2	20,4	8	40,4
96		290	900	110	38	70	8440	110	95	3	20,4	30	33,7
97		290	900	110	38	70	8440	110	95	3	27,4	30	38,4
98		290	900	110	38	70	8440	110	95	3	39,2	30	42,8
99		290	900	110	38	70	8440	110	95	3	20,4	16	37,6
100		290	900	110	38	70	8440	110	95	3	20,4	8	64

ДОДАТОК Б
Презентація



Запорізький національний технічний університет
Кафедра «Технології машинобудування»



Дослідження силової взаємодії дискової полімерно-абразивної щітки та зразків, виготовлених з різних матеріалів

Мерліков В.С.

Робота виконана під керівництвом к.т.н., доц. Гончар Н.В.

Мета та задачі дослідження

Мета роботи: визначення радіальної складової (як найбільш суттєвої) сил, які виникають при обробці даним інструментом, а також подальше визначення та оцінювання факторів, що впливають на виникнення даних сил та зміни їх величини

Задачі дослідження:

1. Визначити особливості застосування та принцип роботи дискових ПАЩ;
2. Підібрати оснащення та зразки для проведення досліджень;
3. Скласти методику та план по визначенню силової дії;
4. Проаналізувати результати досліджень силового впливу за допомогою кореляційного аналізу та факторного експерименту;
5. Провести аналіз небезпек які можуть виникнути при роботі у лабораторії та за персональним комп'ютером (ПК); розробити план кабінету для робітників працюючих за ПК.

Види фінішної обробки

Фінішно-оздоблювальна обробка деталей застосовується для розмірної і декоративної обробки поверхонь, очищення, зняття задирок, заокруглення гострих кромek, поліпшення якості поверхонь.

Фінішно-зміцнююча обробка широко використовується для підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару, а, відповідно, і експлуатаційних властивостей, таких як, наприклад, опору втомі, за допомогою механічного впливу і поверхнево-пластичного деформування (ППД) як деталей без концентратора напружень, так і деталей з концентраторами, що працюють при помірних температурах нагріву.

Полімерно-абразивні щітки



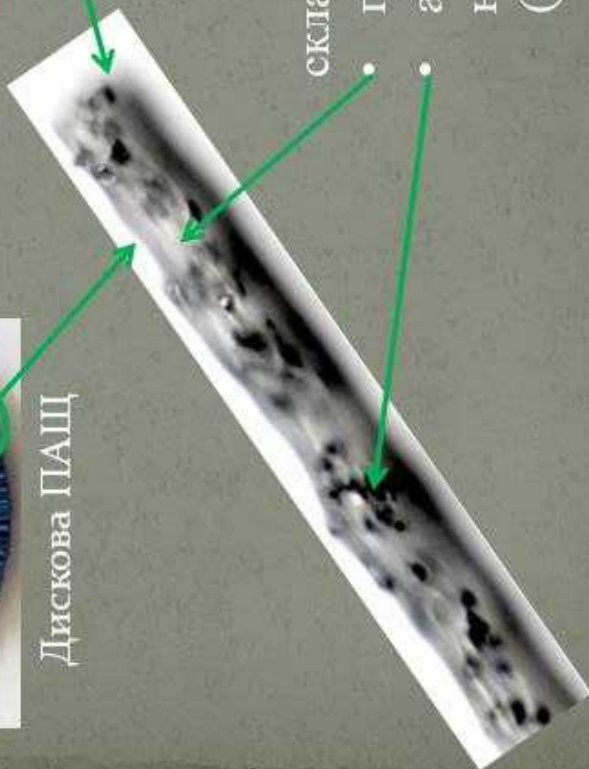
Дискова ПАЩ

ПАЩ складається з:

- полімерно-абразивні волокна (ПАВ);
- маточина.



Циліндрична ПАЩ



Полімерно-абразивні волокна (ПАВ)

складаються з:

- полімерна основа;
- абразивні зерна (електрокорунд нормальний (14A) або карбід кремнію (63C)) з зернистістю F90 - F320.

Переваги та недоліки дискових ПАЩ

Переваги:

- 1) комбінування твердих і гострих кромок зерна з гнучкістю полімерної основи;
- 2) властивість «самозагострення»;
- 3) відсутність засолювання під час обробки;
- 4) невисока теплова та силова дія на поверхню оброблюваної деталі;
- 5) можливість роботи як при застосуванні змашувально-охолоджуючих технологічних середовищ (ЗОТС), так і без них.

Недоліком даних шіток є необхідність в суворому дотриманні температурного режиму в зоні обробки, через те, що основа ПАВ має низьку температуру плавлення.

Експериментальне обладнання

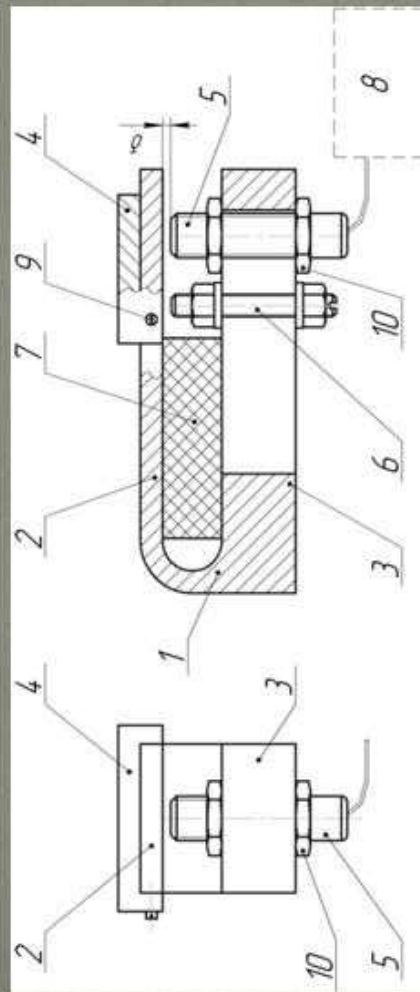


Профілометр стандартного типу
моделі 130 – для вимірювання вихідної
шорсткості зразків

Тахометр годинного типу ТЧ-10Р
- для перевірки частоти обертання
шпинделя



Динамометр (патент України №110930)



- 1 - скоба; 2, 3 - верхнє і нижнє плечі скоби;
 4 - каретка; 5 - струмовихровий безконтактний датчик XS4P12AB110;
 6 - запобіжний пристрій; 7 - буферна прокладка;
 8 - ресструючий прилад; 9 - гвинт; 10 - гайка

План експериментального дослідження

При виконанні серії експериментів варіювали наступними режимами обробки:

- подача $S=1, 2, 3, 5, 5, 5, 10$ м/хв,
- натяг $i=0, 5, 1, 2, 3$ мм,
- окружна швидкість різання $V=20, 4, 27, 4, 39, 2$ м/с
- витіт волокна $L=8, 16, 30$ мм.

Експерименти розбили на п'ять серій в залежності від параметрів інструментів:

- 1) серія 1: $D=150$ мм, $L=30$ мм, $V=20, 4$ м/с,
- 2) серія 2: $D=150$ мм, $L=30$ мм, $V=27, 4$ м/с,
- 3) серія 3: $D=150$ мм, $L=30$ мм, $V=39, 2$ м/с,
- 4) серія 4: $D=150$ мм, $L=16$ мм, $V=20, 4$ м/с,
- 5) серія 5: $D=150$ мм, $L=8$ мм, $V=20, 4$ м/с,

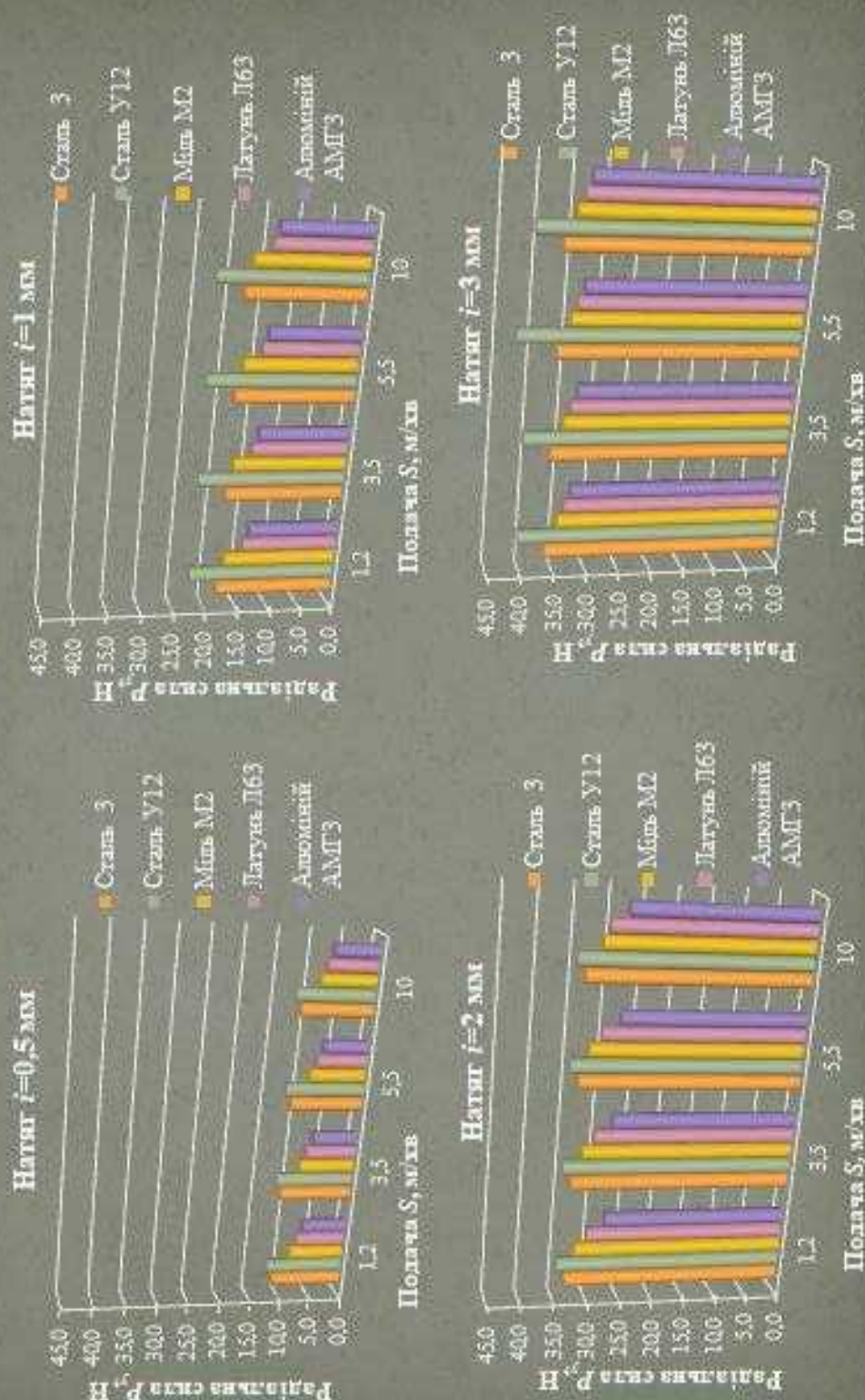
Марка матеріалів зразків:

- сталь 3;
- латунь Л63;
- мідь М2;
- алюміній АМГ3;
- сталь У12.

Результати експериментального дослідження сигнатурного впливу ПАЩ

Матриця	Швидкість обробки / висліт волокон	Навант, мм														
		1					2					3				
		Потужн. S, м.кВт														
		Розмірність сили Р, Н														
1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10	1,2	3,5	5,5	10	
Сила 3	T=20,4 м/с; L=30 мм	11,2	11,2	11,2	11,2	18,2	18,2	18,2	18,2	33,3	33,3	33,3	33,3	36,3	36,3	36,3
	T=27,4 м/с; L=30 мм	23,9	23,9	24,2	23,9	31,1	29,4	31,1	29,4	34,6	35,4	34,6	33,4	40,4	39,6	40,4
	T=39,2 м/с; L=30 мм	16,3	26,3	28,0	26,3	31,1	32,9	32,9	31,1	40,4	39,6	39,6	40,4	47,1	46,2	47,1
	T=20,4 м/с; L=16 мм	11,7	11,7	11,7	11,7	20,2	20,2	20,2	20,2	36,1	36,1	36,1	36,1	45,4	45,4	45,4
	T=20,4 м/с; L=8 мм	11,8	11,8	11,8	11,8	22,3	23,1	23,1	23,1	46,7	46,7	46,7	45,0	67,4	66,6	67,4
Сила 12	T=20,4 м/с; L=30 мм	12,2	12,2	12,2	12,2	22,6	22,6	22,6	22,6	34,6	34,6	34,6	34,6	38,0	38,0	38,0
	T=27,4 м/с; L=30 мм	28,5	26,8	26,8	28,5	32,1	33,8	32,1	32,1	35,4	36,3	35,4	36,3	40,4	40,4	40,4
	T=39,2 м/с; L=30 мм	27,6	27,6	29,3	27,6	34,5	34,5	36,3	34,5	41,7	43,4	43,4	41,7	48,4	48,4	48,4
	T=20,4 м/с; L=16 мм	13,0	13,0	13,0	13,0	23,3	23,3	23,3	23,3	38,9	38,9	38,9	38,9	48,4	48,4	48,4
	T=20,4 м/с; L=8 мм	13,8	13,8	13,8	13,8	24,2	24,2	24,2	24,2	51,1	49,4	51,1	51,1	70,6	69,8	70,6
Сила 30	T=20,4 м/с; L=30 мм	8,6	8,6	8,6	8,6	17,3	17,3	17,3	17,3	31,9	31,9	31,9	31,9	34,6	34,6	34,6
	T=27,4 м/с; L=30 мм	22,5	20,7	22,5	22,5	25,9	27,6	25,9	25,9	33,7	34,5	33,7	34,5	38,7	40,4	38,7
	T=39,2 м/с; L=30 мм	27,6	27,6	29,3	27,6	34,5	34,5	36,3	34,5	41,7	43,4	43,4	41,7	48,4	48,4	48,4
	T=20,4 м/с; L=16 мм	10,4	10,4	10,4	10,4	19,7	19,7	19,7	19,7	34,6	34,6	34,6	34,6	42,3	42,3	42,3
	T=20,4 м/с; L=8 мм	10,4	10,4	10,4	10,4	20,2	21,9	21,9	21,9	43,2	43,2	43,2	43,2	65,7	65,7	65,7
Сила 60	T=20,4 м/с; L=30 мм	7,8	7,8	7,8	7,8	14,7	14,7	14,7	14,7	30,3	30,3	30,3	30,3	33,7	33,7	33,7
	T=27,4 м/с; L=30 мм	20,2	20,2	20,2	21,9	25,1	25,1	23,3	25,1	33,5	33,5	34,3	33,5	38,9	38,9	38,9
	T=39,2 м/с; L=30 мм	22,5	22,5	22,5	24,2	27,6	27,6	25,9	27,6	34,3	34,3	36,0	34,3	43,2	43,2	43,2
	T=20,4 м/с; L=16 мм	8,1	8,1	8,1	8,1	17,3	17,3	17,3	17,3	32,3	32,3	32,3	32,3	37,6	37,6	37,6
	T=20,4 м/с; L=8 мм	7,8	8,6	8,6	8,6	20,7	20,7	20,7	20,7	40,6	40,6	40,6	40,6	64,0	64,0	64,0
Сила 120	T=20,4 м/с; L=30 мм	6,9	6,9	6,9	6,9	13,8	13,8	13,8	13,8	27,7	27,7	27,7	27,7	32,9	32,9	32,9
	T=27,4 м/с; L=30 мм	19,0	17,3	19,0	19,0	22,5	22,5	22,5	24,2	31,1	30,2	30,2	31,1	37,1	36,3	37,1
	T=39,2 м/с; L=30 мм	22,5	20,7	20,7	22,5	25,1	25,1	23,3	23,3	34,6	33,7	34,6	32,8	41,9	43,6	41,9
	T=20,4 м/с; L=16 мм	7,4	7,4	7,4	7,4	15,5	15,5	15,5	15,5	29,8	29,8	29,8	29,8	35,9	35,9	35,9
	T=20,4 м/с; L=8 мм	7,8	7,8	7,8	7,8	17,3	17,3	17,3	18,2	39,8	38,9	38,9	38,9	62,2	62,2	62,2

Залежність радіальної сили від подачі і натягу, при $V=20.4$ м/с та $L=30$ мм.

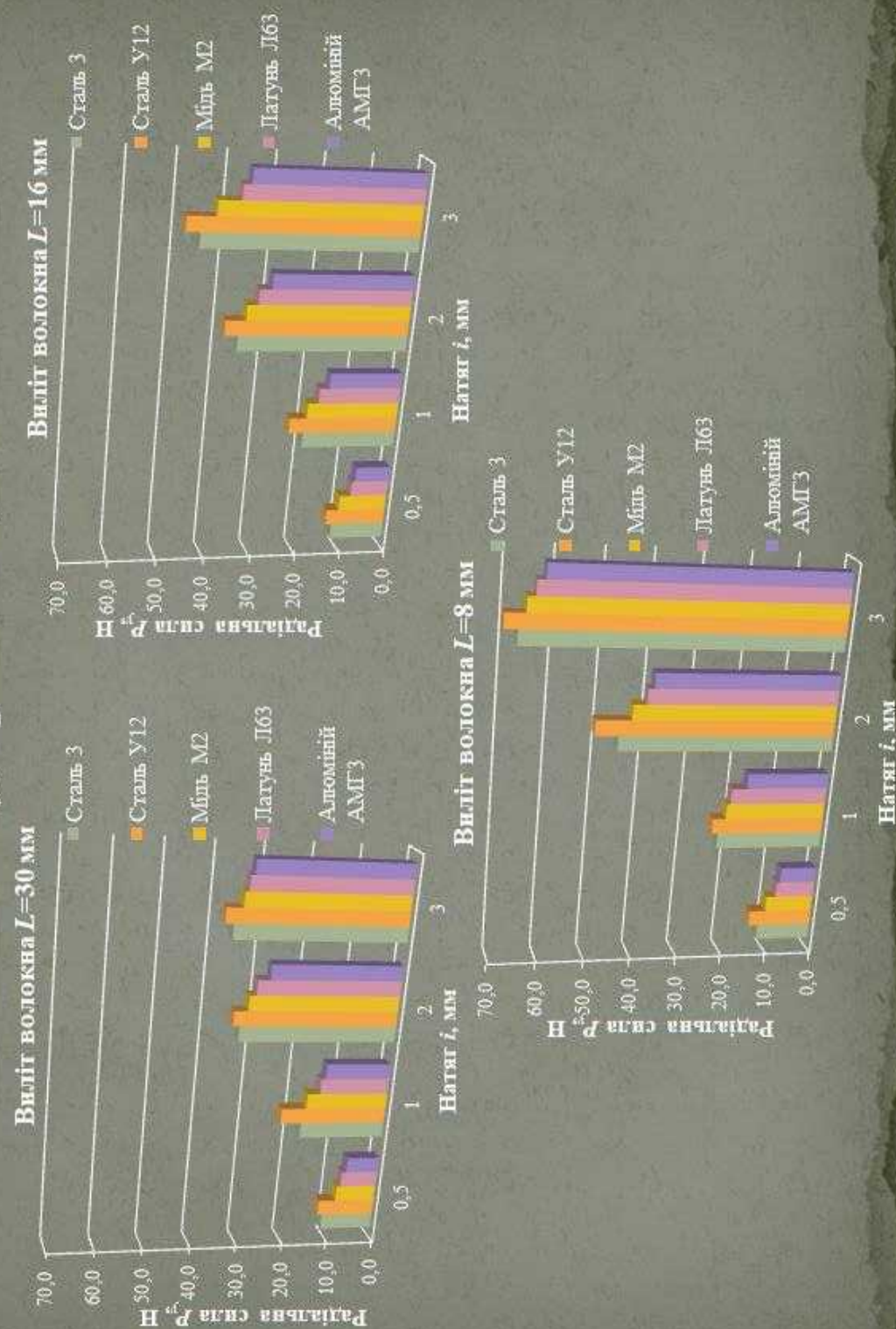


Зведена таблиця результатів експериментального дослідження силового впливу

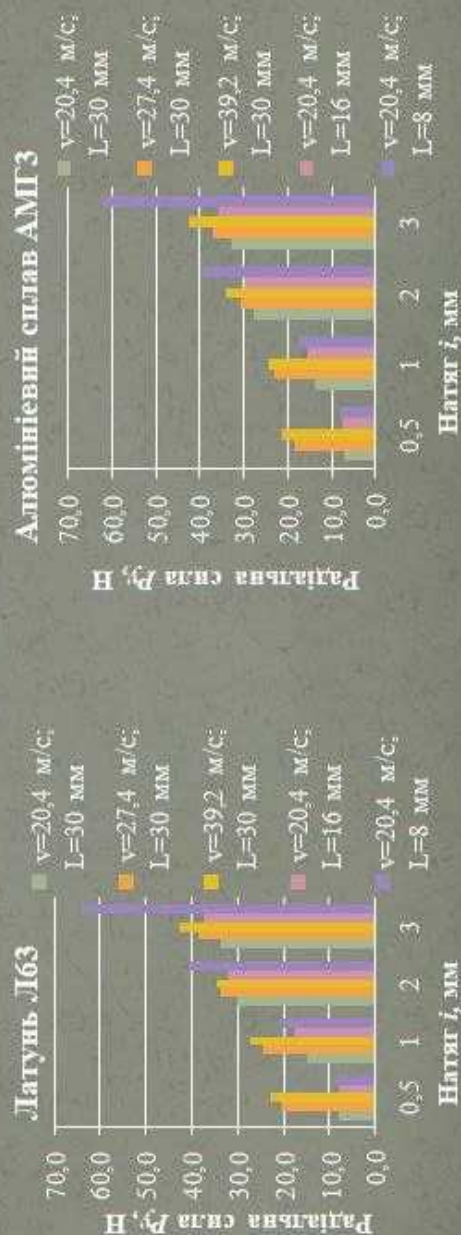
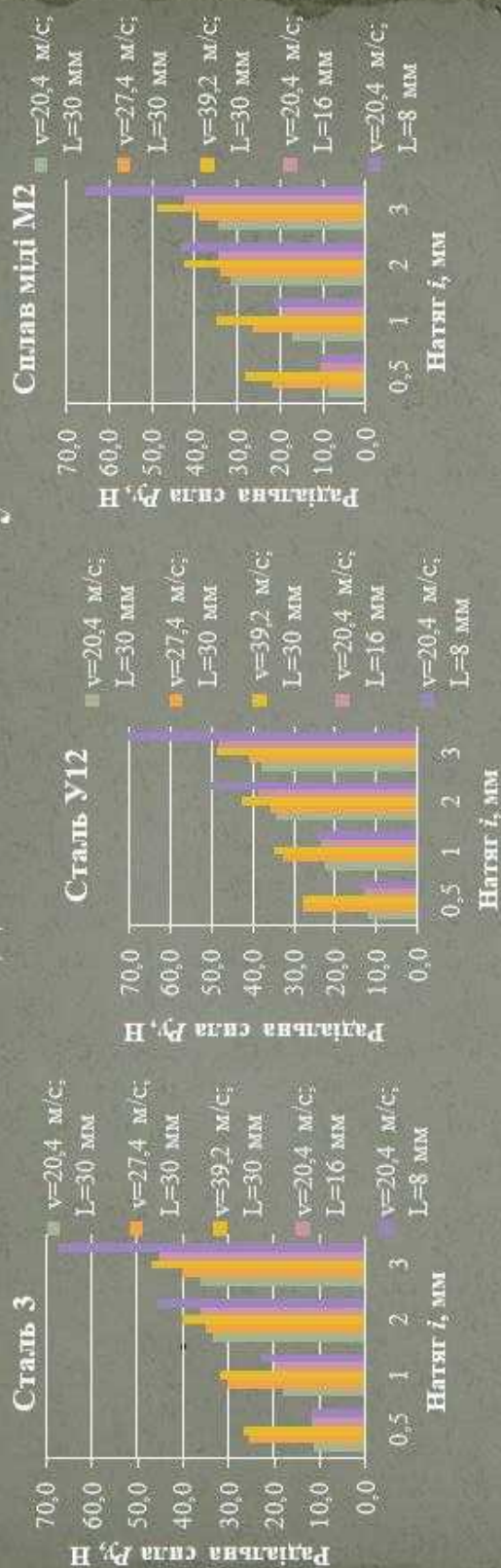
Матеріал	Швидкість обробки	Напруга σ , МПа			
		0,5	1	2	3
		Радіальна сила P_r , Н			
Сталь 3	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	11,2	18,2	33,3	36,3
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	25,5	30,3	35,0	40,0
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	26,7	32,0	40,0	46,9
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	11,7	20,2	36,1	45,4
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	11,8	22,9	45,8	67,2
Сталь У12	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	12,2	22,6	34,6	38,0
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	27,7	32,5	35,9	40,9
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	28,0	35,0	42,6	48,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	13,0	23,3	38,9	48,4
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	13,8	24,2	50,7	70,1
М2	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	8,6	17,3	31,7	34,6
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	22,0	26,3	34,1	39,2
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	28,0	35,0	42,6	48,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	10,4	19,7	34,6	42,3
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	10,4	21,5	43,2	65,7

Матеріал	Швидкість обробки	Напруга σ , МПа			
		0,5	1	2	3
		Радіальна сила P_r , Н			
Л63	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	7,8	14,7	30,3	33,7
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	20,6	24,6	33,7	38,4
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	22,9	27,2	34,7	42,8
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	8,1	17,5	32,3	37,6
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	8,4	20,7	40,4	64,0
АМГ3	$V=20,4$ м/с; $L=30$ мм	6,9	13,8	27,7	32,9
	$V=27,4$ м/с; $L=30$ мм	18,6	22,9	30,6	36,9
	$V=39,2$ м/с; $L=30$ мм	21,6	24,2	33,9	42,3
	$V=20,4$ м/с; $L=16$ мм	7,4	15,5	29,8	35,9
	$V=20,4$ м/с; $L=8$ мм	7,8	17,5	39,1	62,2

Залежність росту радіальної сили від натягу та випіт, при $V=20,4$ м/с



Залежність радіальної сили від натягу, при різних швидкостях і виліту



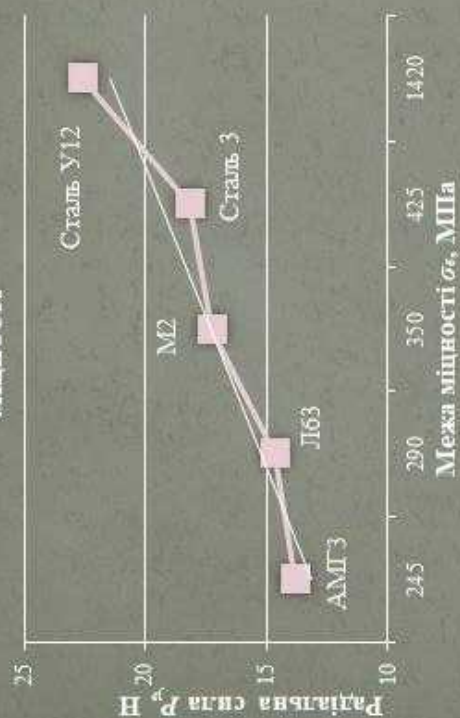
14 Фізичні та механічні властивості матеріалів, які впливають на радіальну силу

Залежність радіальної сили від властивостей матеріалів перевіряли при середніх значеннях натягу ($i=1$ мм), швидкості обробки ($V=20,4$ м/с), подачі ($S=1,2$ м/хв.)

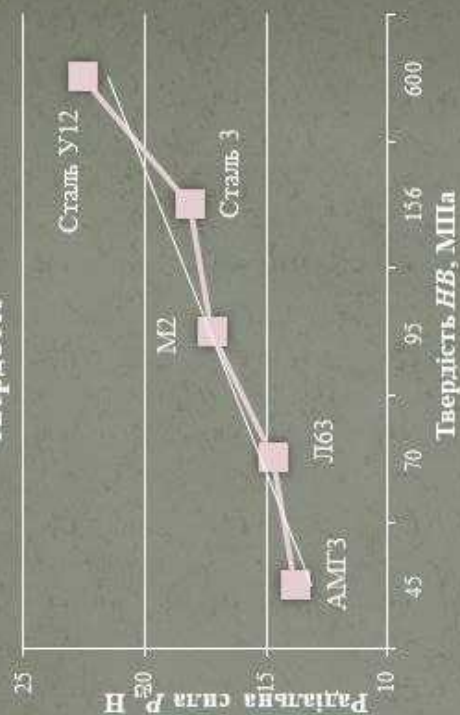
Марка матеріалу	Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	Відносне видовження δ , %	Твердість HV , МПа	Густина ρ , кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/мК	Модуль Юнга E , ГПа
АМГ3	245	195	15	45	2660	230	70
Сталь 3	425	225	26	156	7850	52	200
Сталь У12	1420	1230	10	600	7839	52	250
М2	350	200	32	95	8940	380	110
Л63	290	110	38	70	8440	110	95

Пряма залежність

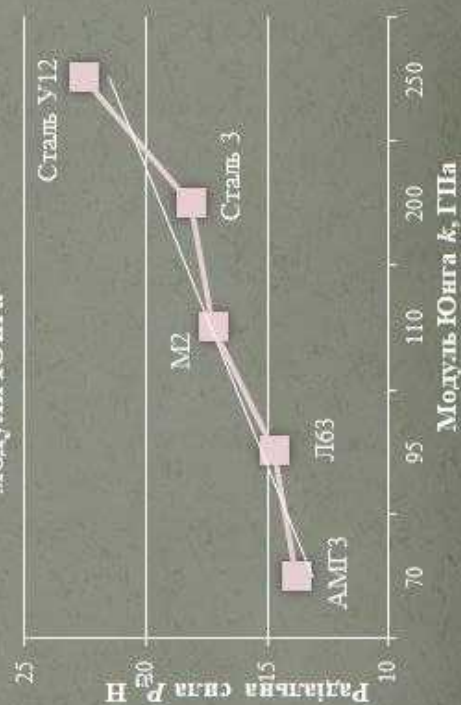
Залежність радіальної сили від межі міцності



Залежність радіальної сили від твердості

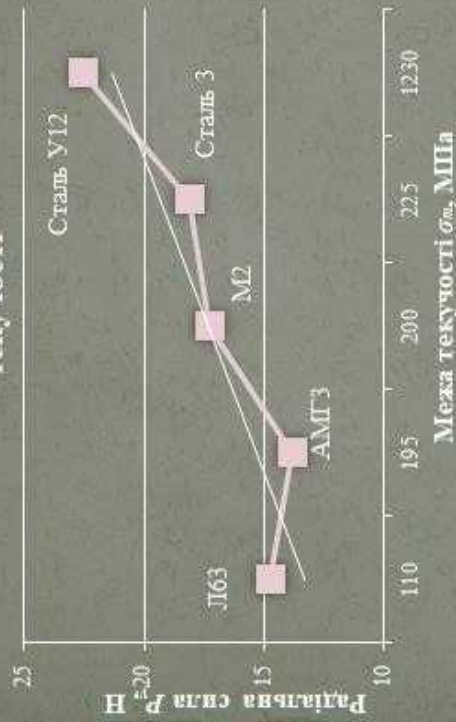


Залежність радіальної сили від модуля Юнга

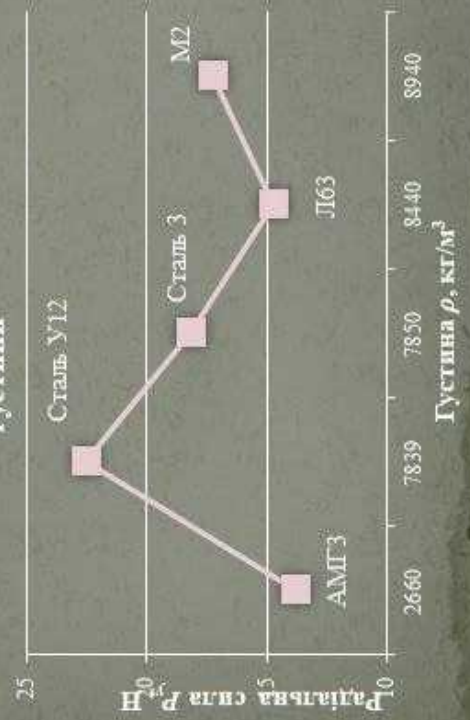


Непряма залежність

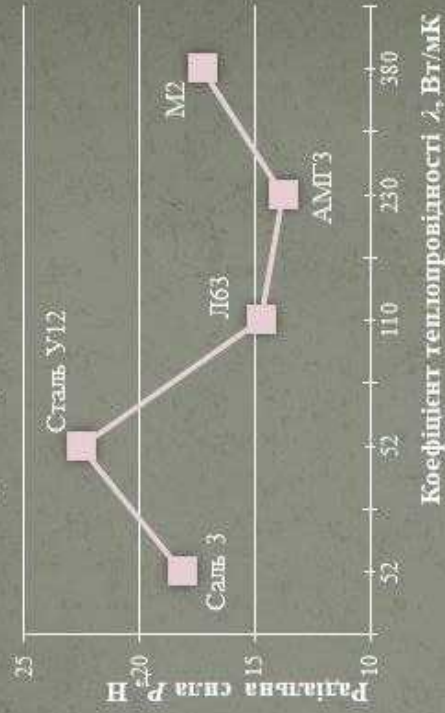
Залежність радіальної сили від межі текучості



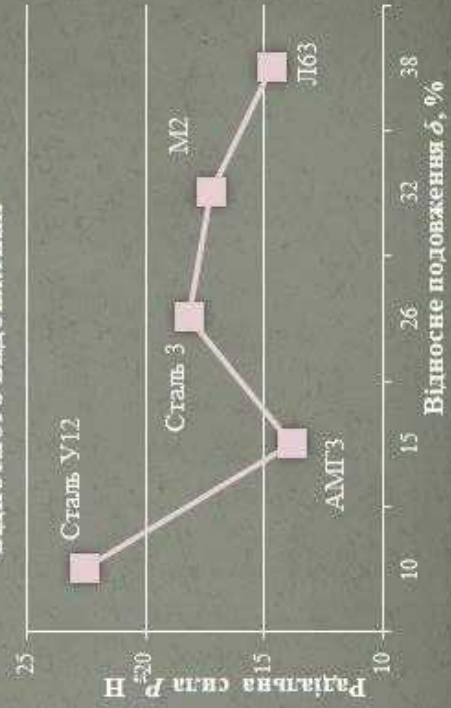
Залежність радіальної сили від густини



Залежність радіальної сили від коефіцієнту теплопровідності



Залежність радіальної сили від відносного видовження



Загальна матриця парних кореляцій

	σ_ϵ	a_n	σ_I	δ	λ	HB	ρ	k	i	V	L	P_y
σ_ϵ	-	-0,53	0,99	-0,65	-0,48	1,00	0,24	0,84	0,00	-0,19	0,00	0,15
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	0,91	-0,57	-0,02	-0,79	0,00	-0,18	0,00	-0,10
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	-0,43	0,99	0,13	0,80	0,00	-0,17	0,00	0,14
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,26	-0,65	0,54	-0,47	0,00	-0,14	0,00	-0,06
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-	-0,51	-0,09	-0,64	0,00	-0,07	0,00	-0,07
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	-0,51	-	0,25	0,87	0,00	-0,18	0,00	0,16
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-0,09	0,25	-	0,41	0,00	-0,32	0,00	0,12
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	-0,64	0,87	0,41	-	0,00	-0,06	0,00	0,18
i	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,82
V	-0,19	-0,18	-0,17	-0,14	-0,07	-0,18	-0,32	-0,06	0,00	-	0,31	0,06
L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	-	-0,09
P_y	0,15	-0,10	0,14	-0,06	-0,07	0,16	0,12	0,18	0,82	0,06	-0,09	-

Активация

Матриця парних кореляцій для режимів і параметрів $i=1$ мм, $S=1,2$ м/хв, $V=20,4$ м/с,

$L=30$ мм

	σ_g	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_y
σ_g	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,91
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,55
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,88
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,48
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,47
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,40
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,93
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,94
P_y	0,91	-0,55	0,88	-0,48	0,47	-0,40	0,93	0,94	-

Матриця парних кореляцій для режимів і
параметрів $i=0,5$ мм, $S=3,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с,

$L=30$ мм

	σ_e	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_{γ}
σ_e	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,79
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,77
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,74
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,40
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,47
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,60
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,82
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,99
P_{γ}	0,79	-0,77	0,74	-0,40	0,47	-0,60	0,82	0,99	-

Матриця парних кореляцій для режимів і параметрів $i=3$ мм, $S=6,5$ м/хв, $V=20,4$ м/с, $L=8$ мм

	σ_e	a_n	σ_m	δ	ρ	λ	HB	k	P_y
σ_e	-	-0,53	0,99	-0,65	0,24	-0,48	1,00	0,84	0,88
a_n	-0,53	-	-0,49	0,47	-0,02	0,91	-0,57	-0,79	-0,60
σ_m	0,99	-0,49	-	-0,72	0,13	-0,43	0,99	0,80	0,83
δ	-0,65	0,47	-0,72	-	0,54	0,26	-0,65	-0,47	-0,39
ρ	0,24	-0,02	0,13	0,54	-	-0,09	0,25	0,41	0,55
λ	-0,48	0,91	-0,43	0,26	-0,09	-	-0,51	-0,64	-0,48
HB	1,00	-0,57	0,99	-0,65	0,25	-0,51	-	0,87	0,90
k	0,84	-0,79	0,80	-0,47	0,41	-0,64	0,87	-	0,96
P_y	0,88	-0,60	0,83	-0,39	0,55	-0,48	0,90	0,96	-

21 Перший етап розрахунків

Вихідні данні для першого етапу розрахунків

Фактор	Напряг i , мм X1	Витіг ПАВ L , мм X2
Рівень	-1	+1
Значення коефіцієнту	0,5	3,0
		8
		30

Формула цільової функції має загальний вигляд $\Delta P = f(i, L)$:

$$\Delta P = a + a_1 \cdot i + a_2 \cdot L + a_3 \cdot i \cdot L$$

де a, a_1, a_2, a_3 – знайдені коефіцієнти.

Похибка поведених розрахунків

$$\delta = \frac{|P_y - \Delta P|}{P_y} \cdot 100, \%$$

Експериментальна матриця

Марка матеріалу	Напряг i , мм	Витіг волокна L , мм	Радіальна сила P , Н
Алюмінієвий сплав АМГ 3	0,5	30	6,9
	0,5	8	7,8
	3	30	32,9
	3	8	62,2
Сталь 3	0,5	30	11,2
	0,5	8	11,8
	3	30	36,3
	3	8	67,2
Сталь У12	0,5	30	12,2
	0,5	8	13,8
	3	30	38
	3	8	70,1
Мідний сплав М2	0,5	30	8,6
	0,5	8	10,4
	3	30	34,6
	3	8	65,7
Латунь Л63	0,5	30	7,8
	0,5	8	8,4
	3	30	33,7
	3	8	64

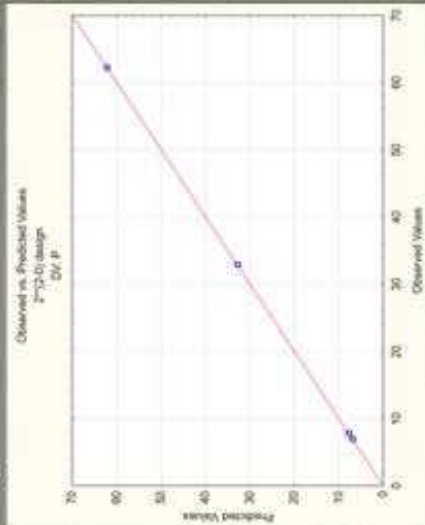
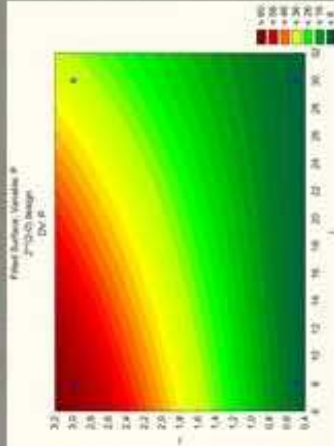
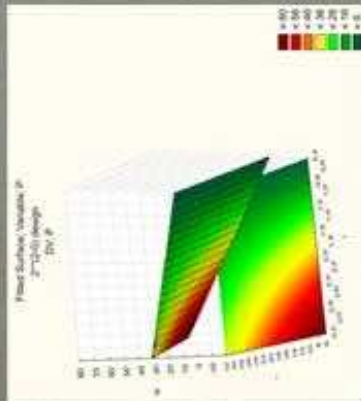
Алюмінієвий сплав АМГЗ

22

Коефіцієнти математичної моделі

Regr. Coefficients, Var. P, R-sqr=1, (Design: 2**(2-0) design (No active dataset)) in Workbook1		
Factor	Mean/Interc.	Regress. Coeff.
(1) L	0.21727	-4.81818
(2) i	25.89091	0.21727
1 by 2	-0.51636	0.21727

Отримана поверхня



Математична модель

$$\Delta P = -4,818 + 25,89 \cdot i + 0,217 \cdot L - 0,516 \cdot i \cdot L$$

Результати розрахунків

Натяг i, мм	Виліт волокна L, мм	Радіальна сила P _r , Н	Розрахована сила ΔP, Н	Похибка δ, %
0,5	30	6,9	6,898	0,04
0,5	8	7,8	7,800	0,01
3	30	32,9	32,925	0,08
3	8	62,2	62,207	0,01

Активация

Результати розрахунків і коефіцієнти математичних моделей для різних матеріалів

Матеріал	Значення коефіцієнтів математичної моделі			
	a	a ₁	a ₂	a ₃
Алюміній АМГ 3	-4,81818	25,89091	0,21727	-0,51636
Сталь У12	0,90364	26,95636	0,20455	-0,55455
Латунь Л63	-4,66182	26,56000	0,42473	-0,54000
Міп. М2	-2,13636	26,38182	0,18455	-0,53273
Сталь 3	-1,26845	26,56727	0,24818	-0,55091

Коефіцієнт кореляції моделей становить $R=0,97\dots0,98$.

Матеріал	Назв. i , мм	Видт. волокна L , мм	Радіальна сила P_r , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Похибка δ , %
Алюмінієвий супин АМГ 3	0,5	30	6,9	6,898	0,04
	0,5	8	7,8	7,800	0,01
	3	30	32,9	32,925	0,08
Сталь 3	3	8	62,2	62,207	0,01
	0,5	30	11,2	11,194	0,06
	0,5	8	11,8	11,799	0,01
Сталь У12	3	30	36,3	36,286	0,04
	3	8	67,2	67,196	0,01
	0,5	30	12,2	12,206	0,05
Сталь М2	0,5	8	13,8	13,801	0,01
	3	30	38	37,971	0,08
	3	8	70,1	70,091	0,01
Міпін супин М2	0,5	30	8,6	8,610	0,12
	0,5	8	10,4	10,403	0,03
	3	30	34,6	34,590	0,03
Латунь Л63	3	8	65,7	65,698	0,00
	0,5	30	7,8	7,808	0,10
	0,5	8	8,4	8,402	0,02
Латунь Л63	3	30	33,7	33,708	0,02
	3	8	64	64,002	0,00

Другий етап розрахунків

24

Вихідні данні для першого етапу розрахунків

Фактор	Нагят i , мм		Швидкість обробки V , м/с	
	X1		X2	
Рівень	-1	+1	-1	+1
Значення коефіцієнту	0,5	3,0	20,4	39,2

Формула цільової функції має

загальний вигляд $\Delta P = f(i, V)$:

$$\Delta P = a + a_1 \cdot i + a_2 \cdot V + a_3 \cdot i \cdot V$$

де a, a_1, a_2, a_3 – знайдені коефіцієнти.

Похибка поведених розрахунків

$$\delta = \frac{|P_y - \Delta P|}{P_y} \cdot 100, \%$$

Експериментальна матриця

Марка матеріалу	Нагят i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_y , Н
Алюмінієвий сплав АМГ 3	0,5	20,4	6,9
	0,5	39,2	21,6
	3	20,4	32,9
	3	39,2	42,3
Сталь 3	0,5	20,4	11,2
	0,5	39,2	26,7
	3	20,4	36,3
	3	39,2	46,9
Сталь У12	0,5	20,4	12,2
	0,5	39,2	28
	3	20,4	38
	3	39,2	48,8
Мідний сплав М2	0,5	20,4	8,6
	0,5	39,2	28
	3	20,4	34,6
	3	39,2	48,8
Латунь Л63	0,5	20,4	7,8
	0,5	39,2	22,9
	3	20,4	33,7
	3	39,2	42,8

Активация

Результати розрахунків і коефіцієнти математичних моделей для різних матеріалів

25

Матеріал	Значення коефіцієнтів математичної моделі			
	a	a _i	a _s	a _v
Алюміній АМГ3	-15,4012	12,7004	0,8383	-0,1128
Сталь У12	-11,1898	12,4902	0,88936	-0,1064
Латунь Л63	-15,0672	12,9643	0,8670	-0,1277
Мідь М2	-18,7796	12,6570	1,0872	-0,1106
Сталь 3	-11,7026	12,1668	0,8766	-0,1043

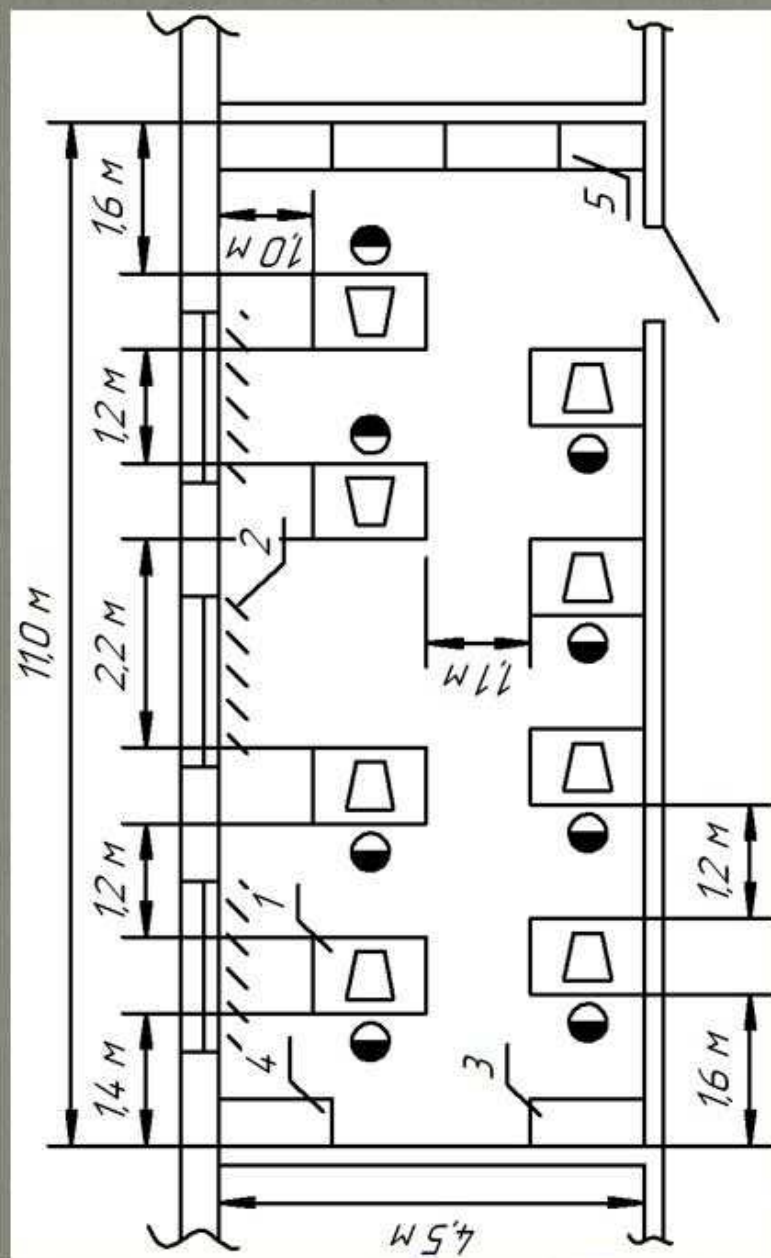
Математична модель:
матеріал – Алюмінієвий сплав АМГ3

$$\Delta P = -15,4 + 12,7 \cdot i + 0,838 \times V - 0,113 \cdot i \cdot V$$

Коефіцієнт кореляції моделей становить $R=0,98 \dots 0,99$.

Матеріал	Натяг i , мм	Швидкість обробки V , м/с	Радіальна сила P_r , Н	Розрахована сила ΔP , Н	Помилка δ , %
Алюмінієвий сплав АМГ3	0,5	20,4	6,9	6,892	0,12
	0,5	39,2	21,6	21,584	0,08
	3	20,4	32,9	32,879	0,07
	3	39,2	42,3	42,260	0,10
Сталь 3	0,5	20,4	11,2	11,211	0,09
	0,5	39,2	26,7	26,721	0,08
	3	20,4	36,3	36,324	0,07
	3	39,2	46,9	46,946	0,10
Сталь У12	0,5	20,4	12,2	12,211	0,09
	0,5	39,2	28	28,022	0,08
	3	20,4	38	38,030	0,08
	3	39,2	48,8	48,859	0,12
Мідний сплав М2	0,5	20,4	8,6	8,591	0,10
	0,5	39,2	28	27,983	0,06
	3	20,4	34,6	34,573	0,08
	3	39,2	48,8	48,748	0,11
Латунь Л63	0,5	20,4	7,8	7,796	0,05
	0,5	39,2	22,9	22,893	0,03
	3	20,4	33,7	33,678	0,06
	3	39,2	42,8	42,759	0,10

План виробничого приміщення з комп'ютерними робочими місцями ²⁶



1 – комп'ютерне робоче місце; 2 – сонцезахисні жалюзі;

3 – шафа для зберігання верхнього одягу; 4 – шафа для зберігання наукової літератури;

5 – шафа для зберігання документів.

Висновки

1. Проведено аналіз літературних джерел щодо особливості застосування дискових полімерно-абразивних шіток.
2. Обрано обладнання та зразки для проведення дослідження.
3. Складено методику та план проведення експерименту по визначенню силової дії.
4. Визначено ступінь дії різноманітних факторів на силовий рівень.
5. Проаналізовано результати силового впливу, та встановлено загальні фактори, що діють на силову взаємодію дискових ПАЩ і зразків, виготовлених з різних матеріалів.
6. Проведено кореляційний аналіз для визначення більш значущих факторів, які впливають на рівень сили та взаємозв'язок між ними.
7. Виконано факторний експеримент для визначення математичних моделей залежності радіальної сили від параметрів обробки, для всіх видів інструментів.
8. Проведено аналіз небезпечних факторів, які можуть виникнути при роботі у лабораторії за верстатом та на ПК. Було розраховано параметри кабінету для робітників працюючих за ПК, а також розроблено схему.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ