

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
кафедра МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «Дослідження впливу режимів різання на силу різання при
токарній обробці»

Виконав: студент групи Маш-63

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Листвак Павло Петрович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., в.о. доцента Шеремета Р.Б.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет природокористування
факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій
кафедра МАШИНОБУДУВАННЯ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

«___» _____ 202_ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувачу

Листвак Павло Петрович

1. Тема роботи: «Дослідження впливу режимів різання на силу різання при токарній обробці»

Керівник роботи к.т.н., в.о. доцента Шеремета Роман Богданович
затверджені наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/к-с.

2. Строк подання здобувачем роботи 06.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики токарно-гвинорізного верстату та обладнання необхідного для визначення сили різання; літературні джерела які стосуються автоматизації технологічних процесів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Аналіз напрямку досліджень.
2. Теоретичні основи процесу токарної обробки.
3. Методика експериментального дослідження.
4. Результати експериментальних досліджень.
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки.

Бібліографічний список

5. Перелік ілюстраційного матеріалу:

Стенд для дослідження сили різання.

Робоче вікно та блок-схема системи вимірювання сили різання.

Використане обладнання.

Результати експериментального дослідження.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	Шеремета Р. Б., в.о. доц. каф. машинобудування		
4	Городецький І. М. доц. каф. УПБВ		

7. Дата видачі завдання 13.09.2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Терміни виконання етапів роботи	При-мітка
1	Написання першого розділу	13.09.24-27.09.24	
2	Написання другого розділу	28.09.24-11.10.24	
3.	Написання третього розділу	12.10.24-25.10.24	
4.	Написання четвертого розділу	26.10.24-22.11.24	
5.	Написання п'ятого розділу	23.11.24-29.11.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу. Завершення роботи в цілому	30.11.24-06.12.24	

Здобувач _____.(Павло ЛИСТВАК)
(підпис)

Керівник роботи _____ (Роман ШЕРЕМЕТА)
(підпис)

УДК: 658.51:631.3

Кваліфікаційна робота: с. 57 текст. част., 20 рис., 2 табл., 16 джерел.

Дослідження впливу режимів різання на силу різання при токарній обробці. Листвак П.П. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Дипломна робота присвячена дослідженню впливу режимів різання (швидкості, подачі та глибини) на силу різання при токарній обробці сталі 40Х. Метою роботи є встановлення закономірностей зміни силових характеристик процесу та розробка рекомендацій щодо оптимізації технологічних параметрів.

Експериментальні дослідження проводилися на токарному верстаті 1Б61А із використанням динамометра ДК-1 для точного вимірювання сили різання. Виявлено, що глибина різання є основним фактором, який суттєво впливає на силу різання, тоді як підвищення швидкості зменшує силові характеристики завдяки термічному розм'якшенню матеріалу.

Результати роботи мають практичне значення для вдосконалення технологічних процесів у машинобудуванні, зокрема для підвищення ефективності обробки, зниження зносу інструменту та енергетичних витрат. Запропоновані рекомендації можуть бути використані на підприємствах для оптимізації процесів токарної обробки.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Актуальність теми дослідження	8
1.2 Характеристика токарної обробки	9
1.3 Аналіз існуючих методів дослідження режимів різання	11
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ	14
2.1 Фізичні основи процесу різання	14
2.2 Фактори, що впливають на силу різання	17
2.3 Сила різання	20
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	24
3.1 Обладнання та методи дослідження	24
3.2 Вибір режимів різання	33
3.3 План експерименту	35
3.4 Методика вимірювання сили різання	37
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
4.1 Результати експериментальних досліджень сили різання	40
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	43
5.1 Аналіз можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів проектованого об'єкта	43
5.2 Заходи щодо усунення впливу на працюючих небезпечних і зниженню шкідливих виробничих факторів	44

5.3	Забезпечення і захист інженерно-технічного комплексу у надзвичайному стані	51
	ВИСНОВОКИ	55
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	56

ВСТУП

Сучасне машинобудування висуває надзвичайно високі вимоги до точності, продуктивності та економічності механічної обробки деталей. Токарна обробка залишається одним з основних технологічних процесів виготовлення деталей машин, від ефективності якої безпосередньо залежать якісні показники готової продукції, її експлуатаційні характеристики та собівартість виробництва.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю поглибленого вивчення впливу режимів різання на силові параметри процесу токарної обробки. Оптимізація режимів різання дозволяє не лише підвищити продуктивність механічної обробки, але й забезпечити мінімальні витрати енергії, знос різального інструменту та покращити якість обробленої поверхні.

Мета кваліфікаційної роботи встановлення закономірностей впливу режимів різання на силу різання під час токарної обробки сталевих заготовок та розробка практичних рекомендацій щодо вибору оптимальних технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- Провести аналіз сучасних наукових досліджень у галузі теорії різання;
- Розробити методику експериментального дослідження впливу режимів різання на силу різання;
- Виконати серію експериментів з варіюванням параметрів режиму різання;
- Здійснити обробку отриманих експериментальних даних;

Практичне значення роботи визначається можливістю використання отриманих результатів для:

- Підвищення ефективності технологічних процесів механічної обробки;
- Оптимізації режимів різання з метою зменшення енерговитрат;
- Прогнозування зносу різального інструменту;
- Покращення якості обробленої поверхні деталей машин.

Експериментальні дослідження проведено з використанням сучасного обладнання: токарного верстата, динамометричного обладнання та контрольно-вимірювальних приладів.

1 АНАЛІЗ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Актуальність теми дослідження

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності та продуктивності процесів механічної обробки в сучасному машинобудуванні. Токарна обробка є одним з основних методів формоутворення деталей машин, від якості та точності якої залежить надійність та довговічність виробів.

У контексті сучасного виробництва особливого значення набувають питання оптимізації режимів різання, оскільки правильно обрані параметри дозволяють:

- Суттєво знизити собівартість механічної обробки
- Підвищити продуктивність металообробного обладнання
- Забезпечити необхідну якість поверхні деталей
- Зменшити знос різального інструменту

Вивчення впливу режимів різання на силу різання має принципове значення для розуміння фізичних процесів, що відбуваються під час механічної обробки. Силкові характеристики процесу безпосередньо пов'язані з інтенсивністю зношування інструменту, точністю обробки та енергетичними витратами.

Сучасні тенденції розвитку машинобудування вимагають дедалі глибшого наукового обґрунтування технологічних процесів. Особливо актуальними є дослідження, спрямовані на встановлення кількісних залежностей між режимами різання та силowymi параметрами процесу, що дозволяють прогнозувати та оптимізувати механічну обробку.

Наукова новизна дослідження полягає в комплексному аналізі впливу параметрів режиму різання (швидкості, подачі та глибини різання) на силкові характеристики процесу токарної обробки з використанням сучасних експериментальних методів та математичного моделювання.

Практична значущість роботи полягає в розробці рекомендацій щодо вибору оптимальних режимів різання, які забезпечують мінімізацію силового

навантаження, підвищення стійкості різального інструменту та покращення якості обробленої поверхні.

1.2 Характеристика токарної обробки

Токарна обробка є одним з найпоширеніших і найважливіших методів механічної обробки металів різанням. Її суть полягає в обертанні заготовки навколо своєї осі з одночасним переміщенням уздовж неї різального інструменту (різця). Цей метод дозволяє отримувати циліндричні, конічні та фасонні поверхні деталей з високою точністю та якістю обробки.

Історія токарної обробки налічує тисячі років. Перші токарні верстати з'явилися ще в Стародавньому Єгипті та Месопотамії рис. 1.1, де для обертання заготовки використовували лук або ножний привід. З розвитком промисловості та машинобудування технології токарної обробки постійно вдосконалювалися, що призвело до створення сучасних високоточних токарних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК).



Рис. 1.1. Токарна обробка в Стародавньому Єгипті

Токарні операції виконуються на різних типах верстатів: від традиційних універсальних до сучасних обробних центрів з ЧПК. Основними видами токарної обробки є точіння зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, підрізання торців, відрізання деталей, розточування отворів, нарізання різі та обробка конічних поверхонь. Кожен вид операції має специфічні особливості та вимагає відповідного різального інструменту.

Різальний інструмент для токарної обробки представлений широким спектром різців рис. 1.2: прохідні (для обробки зовнішніх циліндричних поверхонь), підрізні (для торцевої обробки), прорізні (для виготовлення канавок та відрізання), розточувальні (для обробки внутрішніх поверхонь), фасонні (для створення криволінійних поверхонь). Сучасні різці виготовляються з високоміцних матеріалів: швидкорізальних сталей, твердих сплавів, керамічних та композитних матеріалів, що дозволяє підвищити продуктивність та якість обробки.

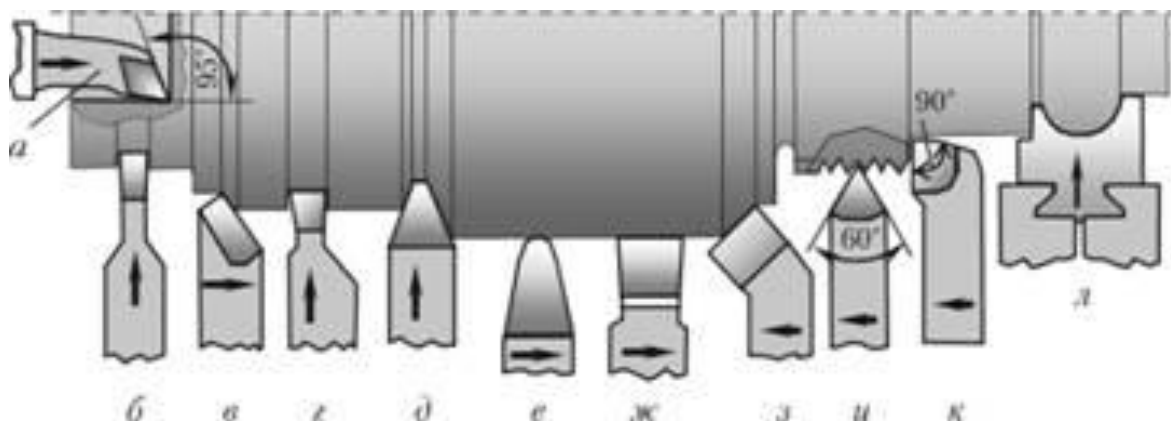


Рис. 1.2. Основні види токарних робіт і типи різців (стрілками показано рух подачі):

а - розточування глухого отвори розточувальним різцем; б - виточування канавок і відрізування відрізним підрізним різцем; в - поздовжнє точіння прохідним різцем; г - виточування канавок канавочним різцем; д - прорізання конічних канавок; е - чистове точіння заокругленим різцем; ж - чистове поздовжнє гостріння широким різцем; з - поздовжнє гостріння відігнутих різцем; и - нарізування різьблення різьбовим різцем; до - поздовжнє гостріння наполегливою різцем; л - фасонне точіння призматичним фасонним різцем

Точність та якість токарної обробки залежать від багатьох факторів: точності верстата, геометрії різального інструменту, режимів різання, властивостей оброблюваного матеріалу та кваліфікації верстатника. Сучасні технології дозволяють досягати високої точності обробки - до 6-7 квалітету точності та шорсткості поверхні Ra 0,4-0,8 мкм, що робить токарну обробку незамінною в машинобудуванні, приладобудуванні, автомобільній, авіаційній та інших галузях промисловості.

Важливою перевагою токарної обробки є її універсальність. Вона придатна для обробки широкого спектра матеріалів: конструкційних та легованих сталей, чавунів, кольорових металів, алюмінієвих та титанових сплавів. Це дозволяє використовувати токарну обробку практично в усіх галузях машинобудування для виготовлення валів, осей, втулок, деталей циліндричної форми та інших елементів конструкцій.

1.3 Аналіз існуючих методів дослідження режимів різання

Дослідження режимів різання має тривалу наукову історію та базується на комплексі експериментальних і теоретичних підходів. Традиційні методи вивчення процесів механічної обробки включають фізичний експеримент з використанням тензометричної апаратури, метрологічного обладнання та спеціалізованих вимірювальних комплексів.

Експериментальні методи дослідження режимів різання передбачають проведення натурних випробувань на металорізальних верстатах з використанням сучасних систем вимірювання. Основними технічними засобами при цьому є тензометричні динамометри, п'єзоелектричні датчики сили, акселерометри та спеціалізовані вимірювальні комплекси, що дозволяють реєструвати миттєві значення силових параметрів у процесі обробки.

Математичне моделювання є одним з ключових сучасних методів дослідження режимів різання. Він включає побудову теоретичних моделей на

основі фізичних закономірностей процесу різання з використанням методів статистичного аналізу, регресійного та кореляційного моделювання. Провідну роль у цьому напрямку відіграють комп'ютерні методи, зокрема скінченно-елементне моделювання, яке дозволяє детально вивчати фізичні процеси без проведення фізичного експерименту.

Комп'ютерні методи дослідження режимів різання базуються на використанні спеціалізованого програмного забезпечення, такого як ANSYS, SolidWorks, SprutCAM. Ці системи дають змогу створювати складні імітаційні моделі процесів різання, проводити віртуальні експерименти, визначати оптимальні режими обробки з мінімальними витратами на фізичний експеримент.

Аналітичні методи дослідження включають теоретичний аналіз фізичних процесів різання, вивчення впливу різних параметрів на силові характеристики, розробку математичних залежностей та формування наукових гіпотез. Важливу роль відіграють методи планування експерименту, зокрема повний факторний експеримент та метод Бокса-Уїлсона, які дозволяють мінімізувати кількість експериментальних випробувань при максимальній інформативності дослідження.

Сучасні наукові школи все більше приділяють увагу комплексним методам дослідження, які поєднують експериментальні, комп'ютерні та аналітичні підходи. Такий синтетичний метод дозволяє отримувати найбільш точні та достовірні результати, враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між параметрами процесу різання.

Важливим напрямком є також застосування методів штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування параметрів різання. Нейронні мережі та алгоритми машинного навчання дають змогу будувати високоточні прогностичні моделі на основі великих масивів експериментальних даних, суттєво підвищуючи ефективність досліджень.

Мета та завдання роботи:

Мета дослідження: Встановлення закономірностей впливу режимів різання на силу різання при токарній обробці та розробка рекомендацій з оптимізації технологічних параметрів механічної обробки.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз науково-технічної літератури з питань токарної обробки та впливу режимів різання на силові характеристики процесу.
2. Розробити методика експериментальних досліджень впливу режимів різання на силу різання.
3. Виконати серію експериментів з варіюванням параметрів режиму різання:
 - швидкості різання
 - подачі
 - глибини різання
4. Здійснити обробку отриманих експериментальних даних.
5. Побудувати залежності сили різання від технологічних параметрів.
6. Розробити практичні рекомендації з оптимізації режимів різання для підвищення ефективності токарної обробки.

Об'єкт дослідження:

Процес токарної обробки конструкційних матеріалів різанням з урахуванням впливу параметрів режиму різання.

Предмет дослідження:

Закономірності формування сили різання в залежності від швидкості, подачі та глибини різання при токарній обробці деталей машин.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ

2.1 Фізичні основи процесу різання

Процес різання є складним фізичним явищем, що характеризується комплексом механічних, теплофізичних та деформаційних процесів, які відбуваються в зоні контакту різального інструменту з оброблюваним матеріалом рис. 1.3. Розуміння фізичної природи різання є ключовим для ефективного управління процесами механічної обробки металів.

Механізм деформації металу при різанні базується на принципах пластичної деформації. Коли різальний інструмент входить у контакт з поверхнею заготовки, він створює значні механічні напруження, які перевищують межу текучості матеріалу. Це призводить до утворення стружки – шару металу, який пластично деформується та видаляється з поверхні заготовки.

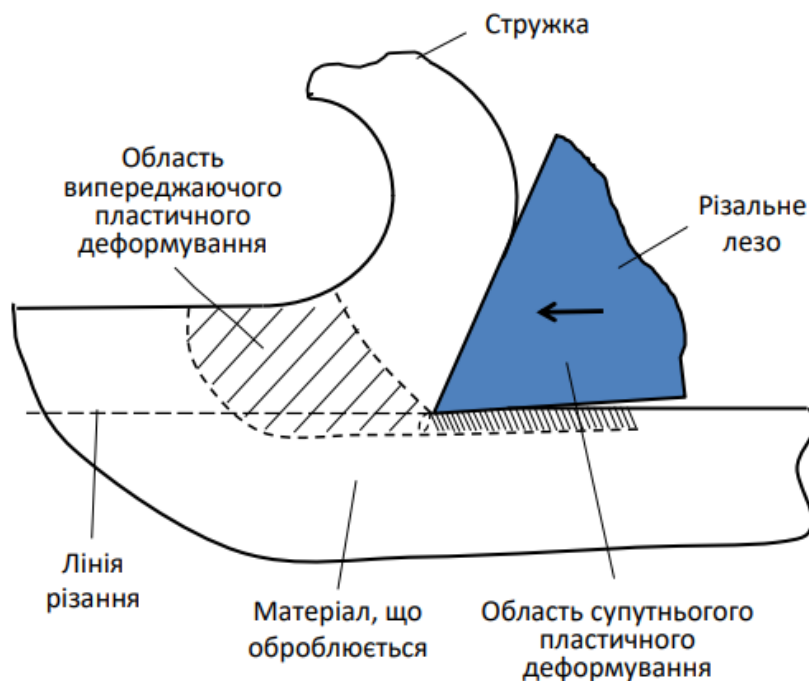


Рис. 1.3. Схематичне представлення зон в матеріалі, що деформуються при вільному різанні

Процес стружкоутворення включає три основні зони деформації:

- Зона первинної (головної) деформації – область безпосередньо перед різальною кромкою, де відбувається інтенсивне пластичне деформування металу
- Зона вторинної (допоміжної) деформації – ділянка контакту стружки з передньою поверхнею різця
- Зона третинної деформації – зона контакту задньої поверхні різця з обробленою поверхнею заготовки

Характер деформації залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, зокрема його структури, хімічного складу, міцності та пластичності. У різних металах процеси деформації мають специфічні особливості: в'язких матеріалах притаманна більша пластична деформація, а крихких – менша.

Важливим фізичним аспектом процесу різання є теплоутворення рис. 1.4. Під час взаємодії різального інструменту з матеріалом виділяється значна кількість теплоти внаслідок пластичної деформації та тертя. Температура в зоні різання може сягати 800-1000°C, що впливає на фізико-механічні властивості як оброблюваного матеріалу, так і різального інструменту.

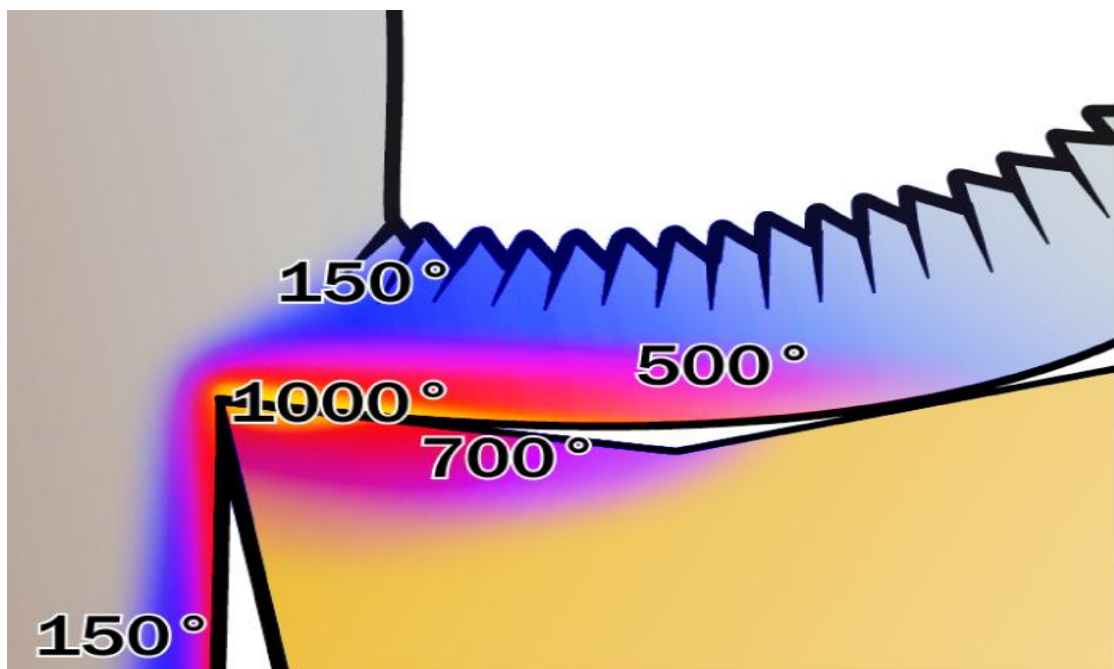


Рис. 1.4. Теплоутворення в зоні різання.

Тертя відіграє критичну роль у процесі різання. На контактних поверхнях різця виникають складні трибологічні процеси, що характеризуються взаємодією мікронерівностей інструменту та заготовки. Коефіцієнт тертя залежить від матеріалів, що контактують, стану поверхонь, наявності мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ (МОТС) та температурних режимів.

Класифікація типів стружкоутворення має принципове значення для розуміння фізики різання:

- Зливна стружка – утворюється при обробці в'язких металів, характеризується безперервністю та значною пластичною деформацією
- Елементна стружка – формується при обробці крихких матеріалів, має переривчасту структуру
- Надламана стружка – проміжний тип, властивий багатьом конструкційним матеріалам, коли стружка періодично руйнується

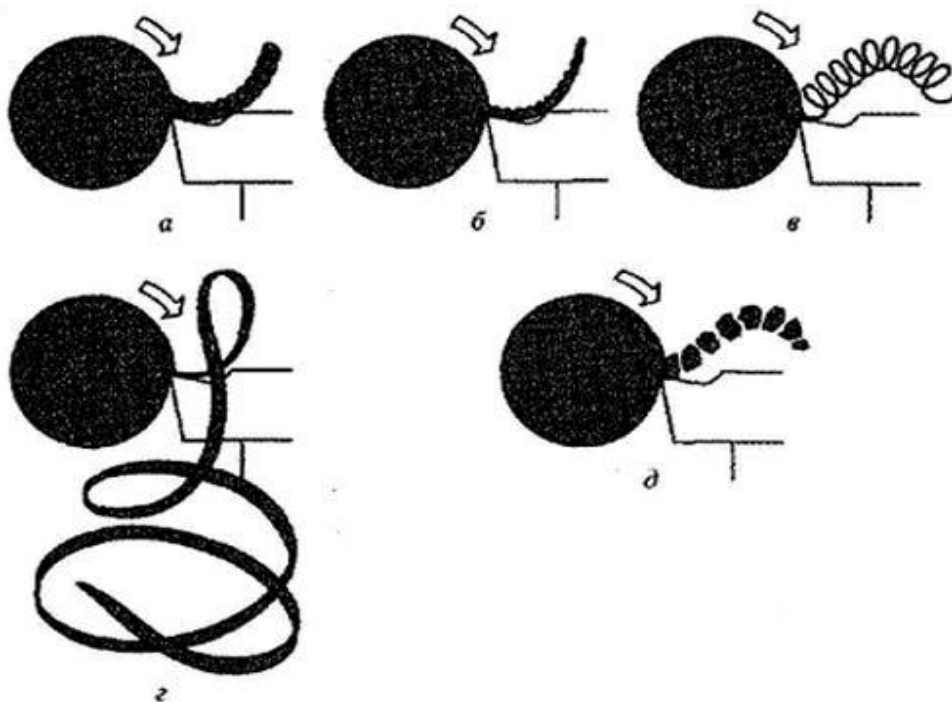


Рис. 1.5. Види стружки: а – елементна; б – ступінчаста; в – зливна спіральна; г – зливна ленточна; д – надлому.

Фізичні процеси різання суттєво залежать від геометричних параметрів різального інструменту: передній кут впливає на характер деформації, задній кут

забезпечує мінімальне тертя на контактній поверхні, а головний кут у плані визначає умови формування стружки та її сходження.

Сучасні дослідження в галузі фізики різання дедалі більше спираються на методи комп'ютерного моделювання та мікроскопічного аналізу, що дозволяє більш глибоко вивчати мікромеханізми деформації та руйнування металів при різанні.

Розуміння фізичних основ процесу різання є фундаментальним для розвитку наукоємних технологій обробки матеріалів, підвищення ефективності механічної обробки та створення нових високопродуктивних різальних інструментів.

2.2 Фактори, що впливають на силу різання

Силу різання можна розглядати як комплексний показник, що залежить від багатьох взаємопов'язаних факторів. Ці фактори можна систематизувати за групами впливу.

1. Режими різання

Основними параметрами режиму різання, які безпосередньо впливають на силу різання, є:

Швидкість різання (v):

- Зі збільшенням швидкості різання сила різання спочатку знижується через зменшення деформації металу

- При подальшому підвищенні швидкості відбувається зростання сили через інтенсивне тертя та деформаційні процеси

- Залежність сили різання від швидкості має нелінійний характер

Подача (S):

- Прямо пропорційна залежність сили різання від подачі

- Збільшення подачі призводить до розширення площі контакту різця з матеріалом

- Викликає зростання деформаційних процесів та опору різанню

Глибина різання (t):

- Найбільш суттєво впливає на силу різання
- Практично лінійна залежність сили від глибини різання
- Збільшення глибини призводить до пропорційного зростання об'єму деформованого металу

2. Геометричні параметри різця рис. 1.6.

Геометрія різального інструменту суттєво впливає на силові характеристики процесу різання:

Передній кут (γ):

- Визначає умови сходження стружки
- Менший кут збільшує силу різання через більшу деформацію металу
- Оптимізація переднього кута дозволяє зменшити силові навантаження

Задній кут (α):

- Впливає на умови тертя на задній поверхні різця
- Зменшення кута підвищує контактні напруження
- Збільшення кута знижує силу тертя, але послаблює різальну крайку

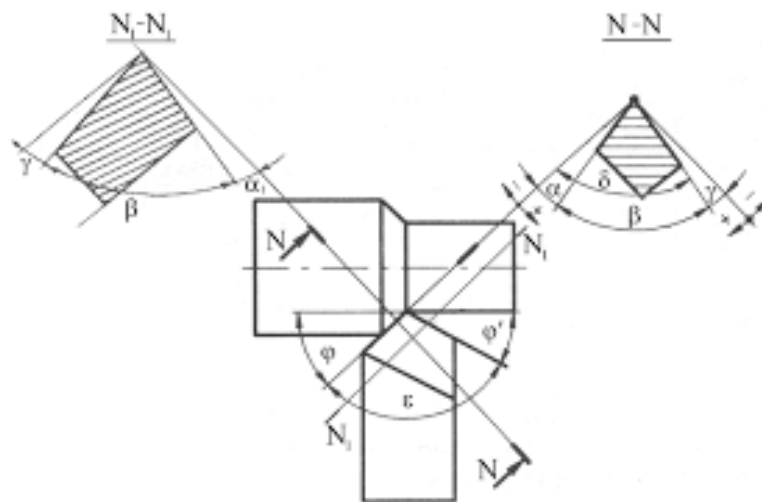


Рис. 1.6. Статичні кути токарного різця

Головний кут у плані (ϕ):

- Визначає умови формування стружки
- Впливає на довжину контакту різця з оброблюваним матеріалом
- Змінює напрямок та величину складових сили різання

3. Властивості оброблюваного матеріалу

Характеристики матеріалу мають визначальний вплив на силу різання:

Межа міцності:

- Чим вища міцність матеріалу, тим більша сила різання
- Впливає на опір пластичній деформації
- Визначає енергоємність процесу різання

Хімічний склад:

- Легуючі елементи змінюють фізико-механічні властивості металу
- Впливають на характер деформації та процеси тертя
- Визначають опір деформуванню

Структура металу:

- Розмір зерна впливає на пластичність
- Неоднорідність структури призводить до нерівномірності сили різання
- Визначає характер руйнування металу

4. Мазильно-охолоджувальні технологічні середовища (МОТС)

Суттєво впливають на силові характеристики процесу різання:

- Зменшують коефіцієнт тертя
- Знижують температуру в зоні різання
- Полегшують процес деформації металу
- Можуть зменшувати силу різання на 15-30%

5. Стан різального інструменту

Знос різця:

- Збільшення зносу призводить до зростання сили різання

- Змінює геометрію різальної крайки
- Підвищує коефіцієнт тертя

Математично силу різання можна представити як багатофакторну функцію:

$$P = f(v, S, t, \gamma, \alpha, \varphi, \sigma_{\text{в}}, \text{структура, МОТС, знос інструменту})$$

Розуміння та врахування цих факторів дозволяє оптимізувати режими різання, підвищити продуктивність та економічність токарної обробки.

2.3 Сила різання

Опір металів різанню долається силою різання. Робота сили різання витрачається на пружно-пластичну деформацію металу і відрив елемента стружки від основної маси металу, а також подолання тертя на контактних поверхнях різального інструменту (тертя стружки об передню поверхню різця, тертя головною задньою поверхнею різця об поверхню різання).

Відомості про величину сили різання необхідні для розрахунку на міцність елементів металорізальних верстатів, ріжучих інструментів, а також при виборі режимів різання, що забезпечують задану точність форми і розмірів оброблюваної заготовки. У загальному випадку сила різання являє собою рівнодіючу сил нормального тиску і сил тертя, прикладених до робочих поверхонь ріжучого інструменту.

Для вирішення практичних завдань рівнодіючу силу різання P замінюють її складовими, як це показано на рис. 1.7 для випадку точіння. Напрямок складових сил обрано не випадково. Він збігається з рухами, які здійснюються на верстаті.

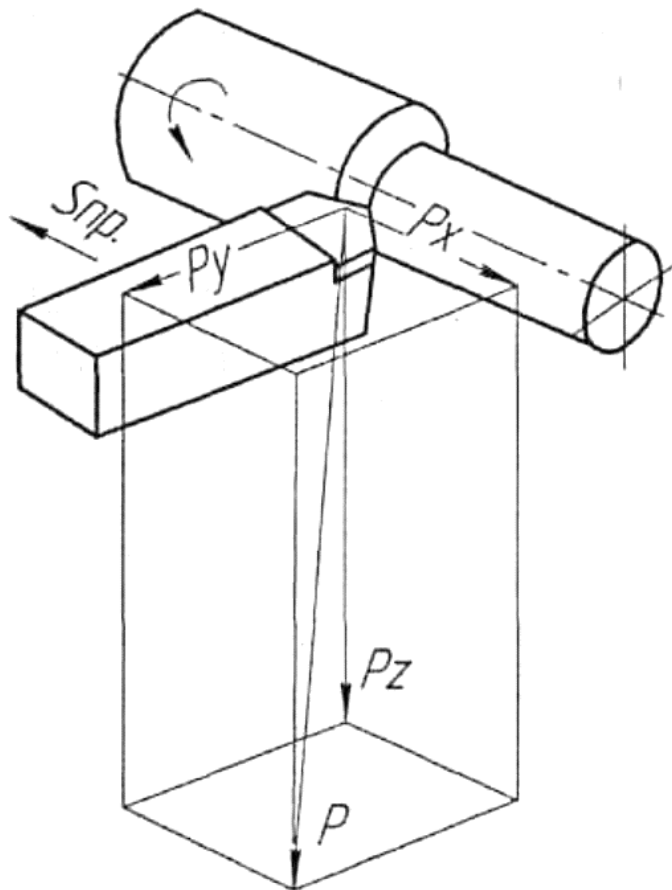


Рис. 1.7. – Схема сил при точінні

Сила різання P_z – головна складова рівнодіючої сили різання – спрямована вертикально і збігається з напрямом головного руху. Вона прагне віджати різець вниз. Її необхідно знати для перевірки на міцність ріжучого інструменту. Сила різання P_z використовується для розрахунку крутного моменту, ефективної потужності різання та потужності електродвигуна приводу головного руху. Радіальна сила P_y – діє в горизонтальній площині, спрямована перпендикулярно до осі оброблюваної деталі.

Радіальна сила P_y відштовхує різець від заготовки, обумовлює прогин та вібрацію заготовки і тому впливає на точність обробки. Її необхідно знати для перевірки на міцність механізму поперечної подачі. Радіальна сила P_y використовується для розрахунку на довговічність підшипників шпинделя верстата.

Осьова сила P_x – діє в горизонтальній площині і спрямована в бік, протилежний поздовжній подачі. Сила різання P_x використовується для

розрахунку механізму поздовжньої подачі верстата і ріжучого інструменту, а також підшипників шпинделя в осьовому напрямку.

Рівнодіюча усіх трьох сил:

$$P = \sqrt{P_Z^2 + P_Y^2 + P_X^2}$$

Сили різання в значній мірі залежать від умов різання і фізикомеханічних властивостей оброблюваного та інструментального матеріалів.

Найбільший вплив на силу різання P_Z чинить глибина різання t . Сила різання залежить від того ступеню деформації, який одержав зрізуваний шар. Зі зростанням глибини різання зростає площа зрізуваного шару, а отже, і об'єм металу який підлягає деформуванню. Але це зростання площини походить від зростання ширини зрізуваного шару. Товщина зрізуваного шару не змінюється, отже не змінюється і степінь деформації. Зростання ширини призводить також до зростання контакту різця з поверхнею різання і збільшує площину тертя та силу тертя. В зв'язку з цими явищами сила P_Z залежить від глибини різання прямо пропорційно.

Зі зростанням подачі S теж зростає площа зрізуваного шару і об'єм деформованого металу, але це збільшення відбувається за рахунок збільшення товщини зрізуваного шару. Зі зростанням товщини зрізуваного шару зменшується степінь деформації, оскільки деформація має затухаючий характер по товщині зрізуваного шару: найбільш інтенсивно деформуються шари стружки, які розташовані ближче до поверхні різання і менш інтенсивно ті, які розташовані далі від поверхні різання. Отже зі зростанням S зменшується ступінь деформації. Подача S впливає на силу P_Z не прямо пропорційно, а в меншій степені.

Вплив швидкості різання на сили різання пов'язані з тими фізичними явищами, які супроводжують процес різання. Так, в зоні малих та середніх швидкостей сила різання залежить від швидкості в зв'язку з наростоутворенням. Зі зростанням v сила різання зменшується, оскільки підвищення температури різання призводить до зменшення коефіцієнта тертя.

На практиці сили різання визначають експериментально або розраховують за емпіричними формулами:

$$P_Z = C_{P_Z} \cdot t^{X_{P_Z}} \cdot S^{Y_{P_Z}} \cdot v^n \cdot K_{P_Z}$$

$$P_Y = C_{P_Y} \cdot t^{X_{P_Y}} \cdot S^{Y_{P_Y}} \cdot v^n \cdot K_{P_Y}$$

$$P_X = C_{P_X} \cdot t^{X_{P_X}} \cdot S^{Y_{P_X}} \cdot v^n \cdot K_{P_X}$$

де C_{P_Z} , C_{P_Y} , C_{P_X} – коефіцієнти, що характеризують метал та умови його обробки;

t – глибина різання, мм;

S – подача, мм/об;

X_{P_X} , Y_{P_X} , X_{P_Y} , Y_{P_Y} , X_{P_Z} , Y_{P_Z} – показники ступенів при глибині різання і подачі;

V – швидкість різання, м/хв;

n , n_1 , n_2 – показники степені при швидкості різання;

K_{P_X} , K_{P_Y} , K_{P_Z} – загальні поправочні коефіцієнти, що враховують конкретні умови обробки.

У виробничих умовах немає необхідності у визначенні всіх трьох складових рівнодіючої сили різання, оскільки для визначення міцності ріжучих інструментів і пристосувань, а також для призначення параметрів режиму різання досить знати головну складову – силу різання P_Z .

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Обладнання та методи дослідження

Експериментальні дослідження впливу режимів різання на силу різання проведено на базі токарного верстата моделі 1Б61А та з використанням динамометра ДК-1, що дозволило забезпечити високу точність та репрезентативність отриманих результатів.



Рис. 2.1 Токарний верстат 1Б61А

Токарний верстат 1Б61А є типовим представником універсального токарного обладнання, широко розповсюдженого в машинобудівній галузі. Це верстат середнього класу точності, призначений для виконання різноманітних токарних операцій з обробки металевих заготовок. Технічні характеристики верстата дозволяють проводити точіння циліндричних та конічних поверхонь з частотою обертання шпинделя від 12,5 до 2000 об/хв та поздовжньою подачею в діапазоні 0,1-2,8 мм/об. Конструктивні особливості верстата забезпечують жорсткість системи "верстат-пристосування-інструмент-деталь", що є критично важливим для проведення точних силових вимірювань.

Динамометр ДК-1 є спеціалізованим вимірювальним приладом, призначеним для реєстрації складових сили різання в процесі механічної обробки. Цей динамометр дозволяє вимірювати три компоненти сили різання: поздовжню, вертикальну та радіальну з високою точністю. Принцип дії динамометра базується на тензометричному методі вимірювання деформацій, що виникають при навантаженні на різальний інструмент. Чутливі елементи приладу забезпечують реєстрацію навантажень у діапазоні від 0 до 2500 Н з похибкою вимірювання не більше 2,5%.

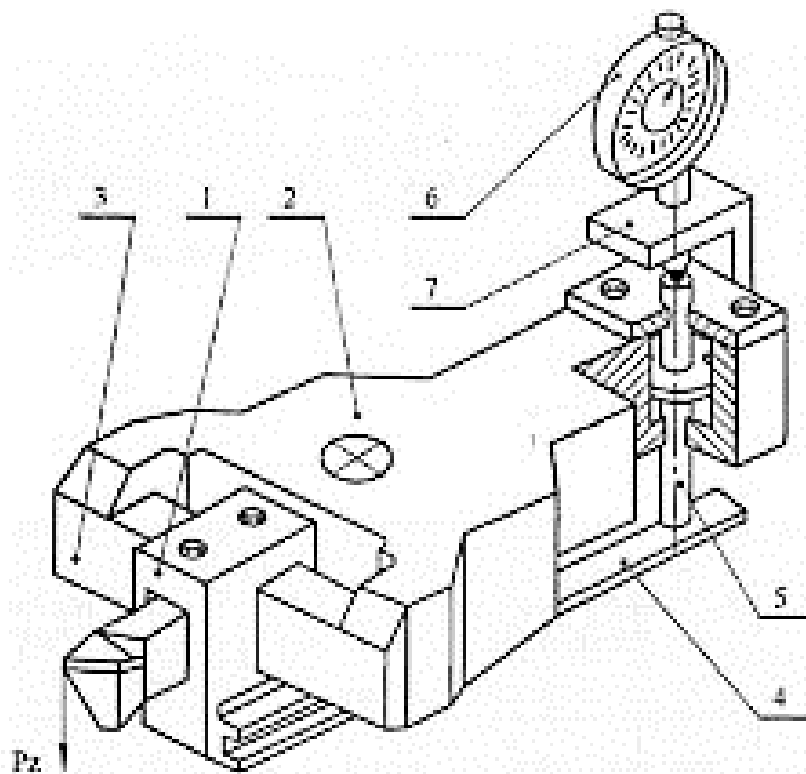


Рис. 2.2. Динамометр ДК1

- 1 – люлька, 2 – корпус динамометра, 3 – пружні торсіонні брукси,
4 – планка, 5 – стрижень, 6 – індикатор, 7 – стійка.

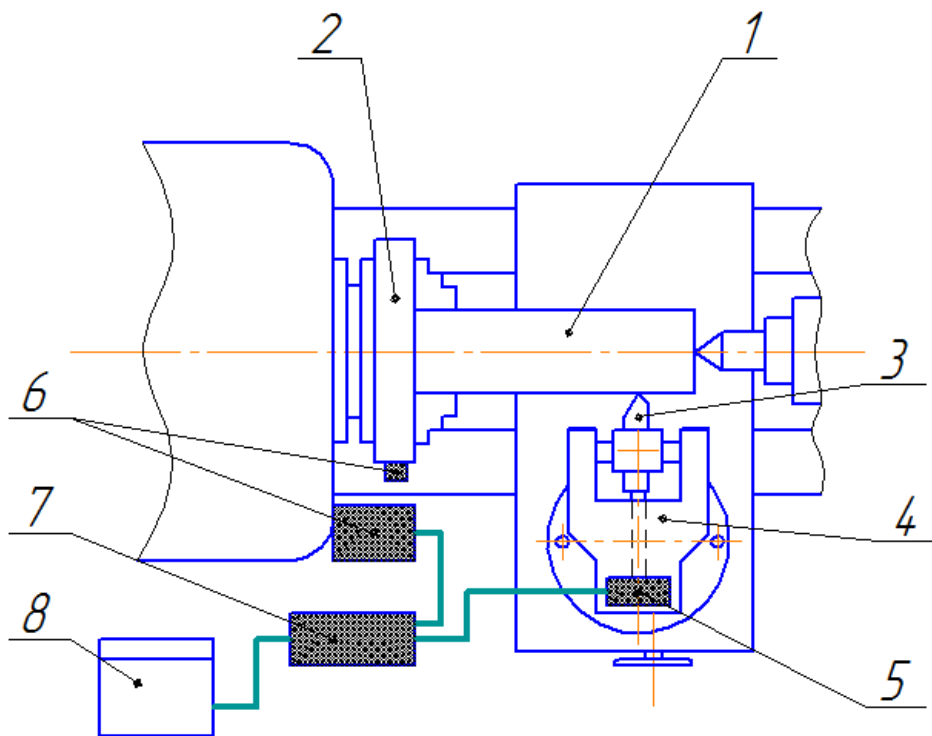
Методика проведення експерименту включала послідовність підготовчих та вимірювальних операцій. На першому етапі здійснювалася підготовка токарного верстата: перевірка центрування заготовки, встановлення різального інструменту та його налаштування відповідно до заданих геометричних параметрів. Різець закріплювався в динамометричному пристосуванні ДК-1, що дозволило мінімізувати додаткові похибки вимірювання.

Для забезпечення репрезентативності результатів було обрано план повнофакторного експерименту. Варіювання режимів різання здійснювалося за трьома основними параметрами: швидкість різання (v), подача (S) та глибина різання (t). Діапазони параметрів обиралися з урахуванням рекомендацій для обробки конструкційних сталей: швидкість різання – 50-150 м/хв, подача – 0,1-0,5 мм/об, глибина різання – 1-5 мм.

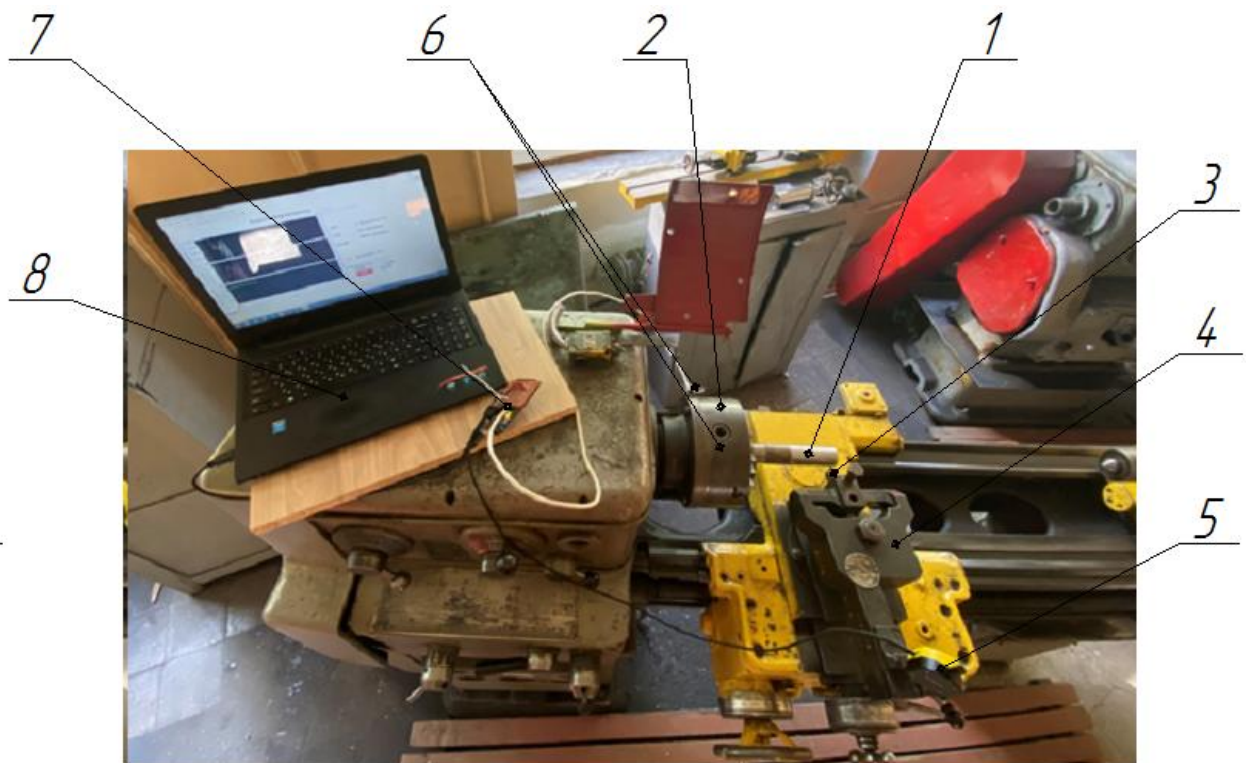
Експериментальні заготовки виготовлялися з конструкційної сталі 45, яка є типовим матеріалом для машинобудування. Хімічний склад та механічні властивості сталі відповідали вимогам ГОСТ 1050-88. Геометричні параметри різця витримувалися незмінними: передній кут $\gamma = 10^\circ$, задній кут $\alpha = 6^\circ$, головний кут у плані $\varphi = 45^\circ$.

Реєстрація та первинна обробка результатів вимірювань здійснювалася за допомогою персонального комп'ютера з використанням спеціалізованого програмного забезпечення. Кожен експеримент повторювався не менше п'яти разів для статистичної достовірності. Результати вимірювань піддавалися математичній обробці з використанням методів варіаційної статистики та регресійного аналізу.

Для проведення експериментальних досліджень, як основу було використано токарно-гвинторізний верстат 1Б61А з доукомплектуванням деякими необхідними технічними засобами. Схема стенда наведена на рис. 1, а, загальний вигляд – на рис. 1, б.



а)



б)

Рис. 1. Стенд для дослідження сили різання на токарно-гвинторізному верстаті: а – схема станда; б – загальний вигляд станда; 1 – заготовка для токарного обробітку; 2 – трьохкулачковий самоцентруючий патрон; 3 – токарний

різець; 4 – динамометр кручення ДК1; 5 – індикатор з цифровим відліковим пристроєм; 6 – давач обертів; 7 – плата Arduino UNO; 8 – ПК.

Стенд включає заготовку для токарного обробітку 1, яка закріплена в трьохкулачковому самоцентруючому патроні 2, різець токарний 3 встановлено на динамометр кручення ДК1 4, який через систему торсіонів та важелів передає переміщення на вимірюючий штифт в який впирається наконечник індикатора з цифровим відліковим пристроєм 5. Для вимірювання частоти обертання трьохкулачкового самоцентруючого патрона в який встановлено заготовку передбачено давач обертів 6.

Індикатор з цифровим відліковим пристроєм обладнано засобами для можливості отримання сигналу в електричному вигляді.

Реєстрація сигналів здійснюється з допомогою давачів та плати Arduino Mega 2560, яка програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE, яке підтримує мову програмування C і C++, а відтворення здійснюється на ПК у програмному середовищі *LabVIEW* з широким діапазоном налаштування сигналу. Для вимірювання переміщення проміжного стержня демпферного пристрою використано індикатор з цифровим відліковим пристроєм типу ИЧЦ(5)-13-0,01-IP65 класу точності 1.

Вирішення завдання щодо підключення нестандартних приладів до ПК індивідуальне для кожного випадку, але можна виділити низку загальних підходів [11]. Передусім ПК має бути оснащений пристроєм вводу/виводу аналогово-цифрової інформації. Підключення вимірювального приладу до ПК може реалізуватися такими пристроями: плата (DAQ-плата) промислового виготовлення, що вставляється в слот ПК або модулі віддаленого вводу/виводу (наприклад, серії I - 7000 фірм ICP DAS або ADAM - 5000 фірм Advantech). Автоматизована вимірювальна система може бути побудована на основі послідовного інтерфейсу (наприклад, RS - 485).

Для розробки програмного забезпечення зупинились на використанні алгоритмічної мови графічного програмування в середовищі *LabVIEW* [4], яка

має низку переваг: простота освоєння для непрофесійних програмістів і висока швидкість створення програм; наявність широкого спектра отримання, обробки, зберігання і візуалізації вимірюваної інформації; можливість роботи з драйверами різних пристроїв, розроблених у вигляді бібліотек *DLL*, що динамічно підключаються, а також використання елементів *ActiveX*; підтримка стандартних інтерфейсів ПК і можливість простого вводу-виводу цифрових даних через порти (аналогічно функціям мови програмування *C inport* і *outport*).

Крім того, пряма робота з портами DAQ-плат у *Windows* при виконанні поодиноких вводів/виводів інформації вимагає значно менших затрат часу порівняно з використанням функцій *DLL*.

Для визначення прогину балки динамометра кручення використано цифровий індикатор МІКРОТЕХ ИЧЦ-13 (рис. 2) з діапазоном вимірювання 0-13 мм та дискретністю 0,01 мм [12]. Для виводу даних цифровий індикатор оснащений роз'ємом *micro-USB*. Цифровий індикатор пройшов метрологічний контроль в акредитованій за ISO 17025 метрологічній лабораторії.



Рис. 2. Цифровий індикатор МІКРОТЕХ ИЧЦ-13.

Під'єднання до роз'єму micro-USB цифрового індикатора дозволило зчитувати виміряне ним значення з періодичністю 140 мс. Індикатор живиться від батареї CR2032 напругою 3,3 В. Але протокол передачі даних, нестандартна схема під'єднання до роз'єму micro-USB та напруга сигналів яка становить 1,5 В не дозволяє зчитати сигнал штатними засобами ПК.

Щоб виміряти оберти трьохкулачкового самоцентруючого партону було використано давач KY-033, який є оптичним модулем для виявлення білих або чорних ліній. Основою цього модуля є оптопара TCRT5000, що містить в собі інфрачервоний світлодіод та фототранзистор. Встановивши світлу мітку на шківі та розмістивши датчик KY-033 прямо перед нею, можна вимірювати час, необхідний для виконання двигуном одного повного оберту.

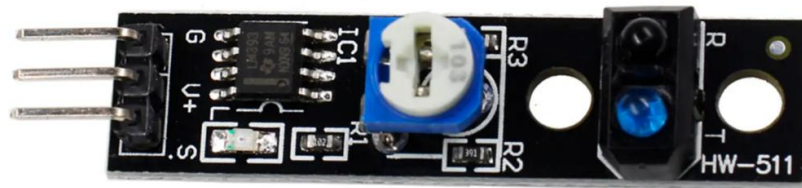


Рис. 3. Давач лінії KY-033.

Для комутації сигналів від давачів до програми, створеної у середовищі LabVIEW, використано електронну платформу прототипування з відкритим кодом – Arduino, а саме плату Arduino Mega 2560 на базі 8-бітного AVR мікроконтролера ATmega328P з тактовою частотою 16 МГц [13]. На платі знаходиться 6 аналогових, а також 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть використовуватися як ШІМ-виходи).

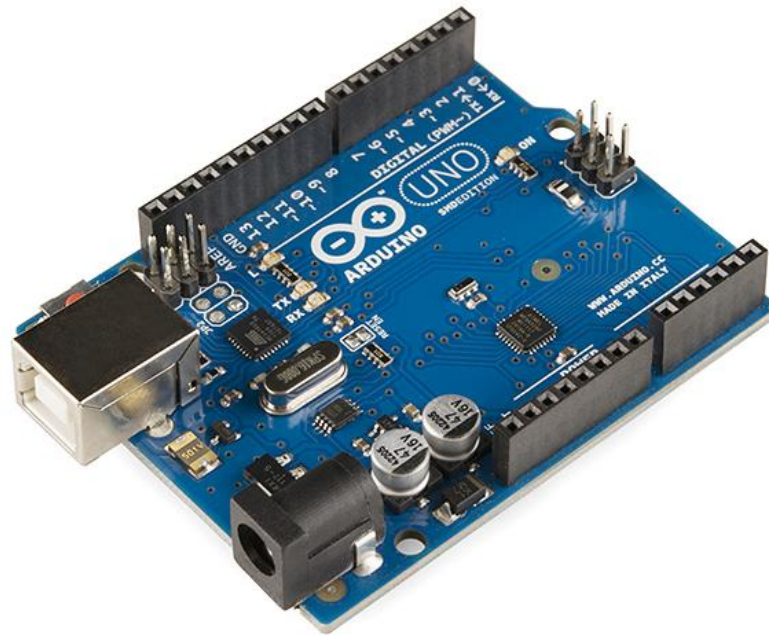


Рис. 4. Загальний вигляд плати Arduino Mega 2560.

Ввід/вивід сигналів до програмної частини вимірювального комплексу на ПК здійснюється через послідовний порт (UART).

Програмна частина вимірювального комплексу являє собою програмне середовище *Lab VIEW* з алгоритмічною мовою графічного програмування.

Програма дає змогу створити екранний інтерфейс віртуального осцилографа (рис. 3) для відображення миттєвих значень показника індикатора, сили різання та частоти обертання трьохкулачкового самоцентруючого партону [10].

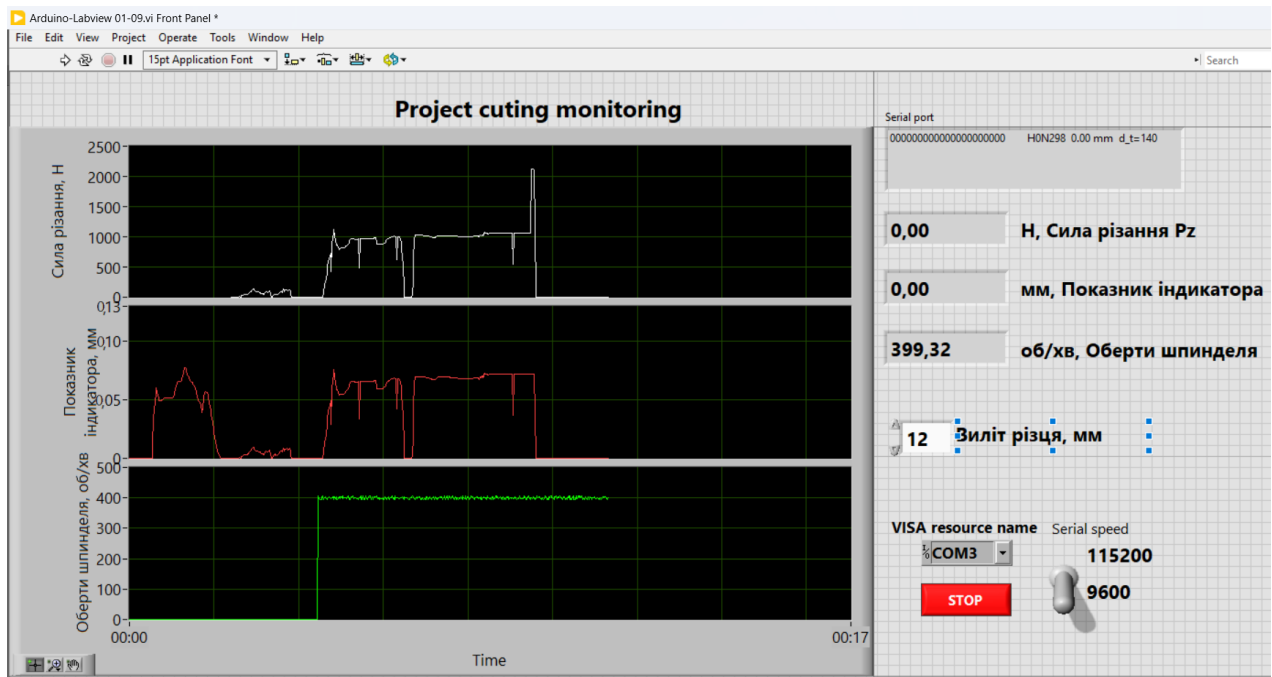


Рис. 3. Робоче вікно експериментального дослідження сили різання з використанням екранного інтерфейсу віртуального осцилографа.

Функціональні взаємозв'язки між елементами і панель блок-діаграми віртуального осцилографа подано на рис. 4. Кожних 200 мс здійснюється зчитування вхідних даних у вигляді рядка та розділяється на значення індикатора та частоту обертання трьохкулачкового патрона які домножуються на перевідні коефіцієнти. Використовуючи дані тарування визначається сила різання, виміряні значення виводяться на робочу вікно а також для подальшого аналізу зберігаються в табличному вигляді у форматі Excel.

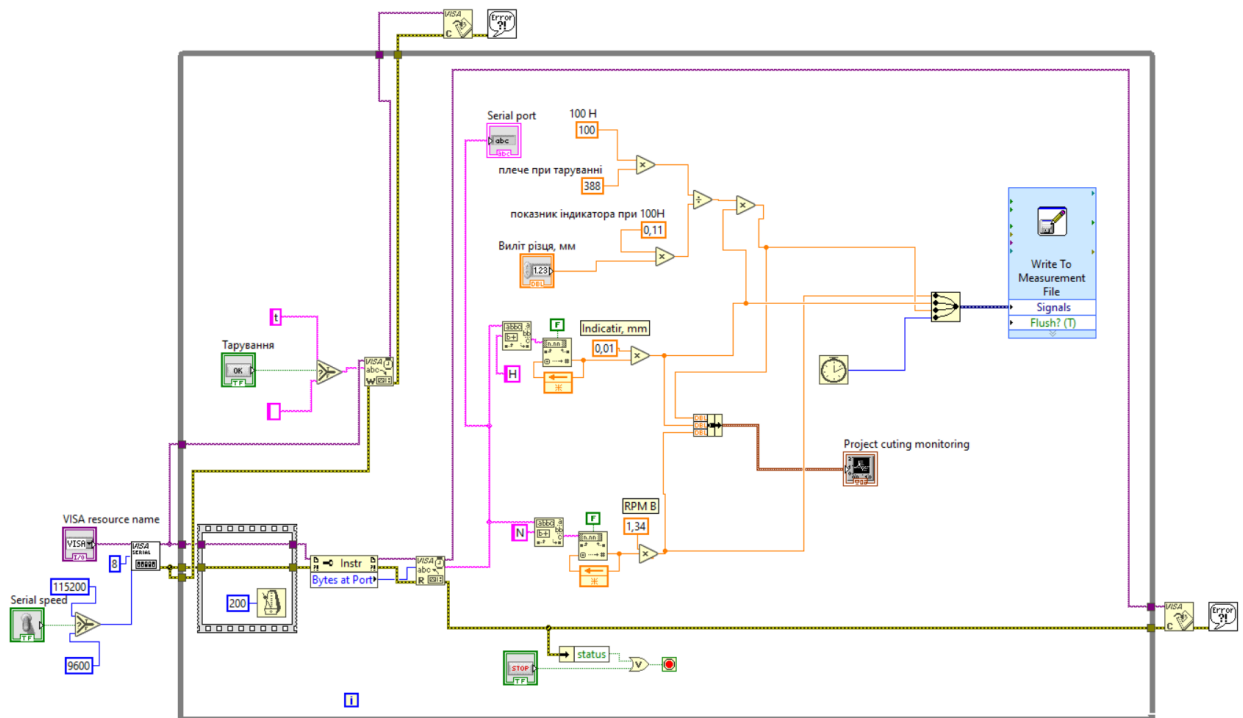


Рис. 4. Фрагмент панелі блок-діаграми функціонального взаємозв'язку між елементами вимірювальної системи.

Розроблена методика дослідження дозволила отримати об'єктивні та відтворювані результати щодо впливу режимів різання на силові характеристики процесу токарної обробки.

3.2 Вибір режимів різання

Вибір режимів різання є одним з ключових етапів підготовки технологічного процесу механічної обробки, від якого безпосередньо залежать показники продуктивності, якість обробленої поверхні та економічна ефективність виробництва. Основними параметрами режиму різання є швидкість різання, подача та глибина різання, кожен з яких має визначальний вплив на перебіг технологічного процесу.

Визначення оптимальної швидкості різання є складним багатофакторним завданням. При виборі швидкості необхідно враховувати матеріал заготовки, властивості різального інструменту, умови обробки та очікувану стійкість інструменту. Занадто висока швидкість призводить до інтенсивного зносу

різального інструменту, перегріву та можливого викришування різальної крайки, тоді як занижка швидкість знижує продуктивність обробки.

Подача як параметр режиму різання безпосередньо впливає на шорсткість обробленої поверхні та силові характеристики процесу. Вибір оптимальної подачі залежить від геометрії різального інструменту, його міцності, жорсткості технологічної системи та властивостей оброблюваного матеріалу. Надмірна подача може викликати підвищене навантаження на різальний інструмент, погіршення якості поверхні та передчасний знос.

Глибина різання є важливим параметром, який визначає інтенсивність зняття припуску та безпосередньо впливає на силові характеристики процесу різання. При виборі глибини різання необхідно враховувати жорсткість технологічної системи, потужність верстата, міцність різального інструменту та вимоги до точності обробки. Занадто велика глибина різання може призвести до підвищення навантаження на систему та погіршення якості обробки.

Вибір режимів різання традиційно здійснюється з використанням нормативних довідників, каталогів інструментальних виробників та емпіричних рекомендацій. Сучасні підходи передбачають застосування спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє виконувати багатокритеріальну оптимізацію режимів різання з урахуванням складного комплексу обмежень та цільових функцій.

Важливим аспектом вибору режимів різання є врахування економічних критеріїв. Оптимальні режими повинні забезпечувати мінімальну собівартість обробки при дотриманні заданих показників продуктивності та якості. Це досягається шляхом знаходження компромісу між швидкістю різання, стійкістю інструменту та витратами на інструмент і заробітну плату.

Сучасні тенденції в галузі вибору режимів різання пов'язані з впровадженням інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Використання методів штучного інтелекту, машинного навчання та комп'ютерного моделювання дозволяє створювати адаптивні системи

оптимізації режимів різання, здатні враховувати складні нелінійні взаємозв'язки між параметрами процесу.

3.3 План експерименту

Експериментальна частина дослідження спрямована на визначення впливу режимів різання (швидкості різання, подачі та глибини різання) на силу різання під час токарної обробки. План експерименту включає такі основні етапи:

1. Вибір матеріалу заготовки та різального інструмента

Для експериментальних досліджень вибрано заготовку діаметром 70 мм, довжиною 200 мм. Матеріал заготовки сталь 40X, це легована вуглецева сталь із вмістом вуглецю близько 0,4% та добавками хрому, молібдену та марганцю. Ці добавки надають стали підвищену міцність, твердість та стійкість до зносу.

Сталь 40X зазвичай використовується для виробництва різних деталей машин, таких як зубчасті колеса, вали, елементи кріплення, шпильки і т.д. Вона також може використовуватися у виробництві пружин, ресор, ланцюгів та інших виробів, які мають бути міцними та зносостійкими. Вона може бути піддана термічній обробці зміни її механічних властивостей. Вона може бути загартована та відпущена, щоб збільшити її міцність та твердість. Ця обробка може покращити стійкість до зносу.

Крім того, сталь 40X може бути оброблена різними способами, включаючи фрезерування, свердління, шліфування і т.д. Вона також може бути зварена методами зварювання в інертному газі, електрошлаковому зварюванні та іншими методами, що робить її універсальним матеріалом для різних виробничих завдань.

2. Опис обладнання

Для виконання експерименту застосовувався токарний верстат (зазначити модель і тип), оснащений системою кріплення заготовок та інструментів. Для вимірювання сили різання використовувався трикомпонентний динамометр з

високою точністю. Допоміжне обладнання включало профілометр для оцінки шорсткості обробленої поверхні.

Як інструмент вибрано прохідний прямий різець T5K10 – це різальний інструмент, призначений для чорнового та чистового оброблення поверхонь на токарних верстатах. Різець виготовляється з тврдосплавної пластини марки T5K10, що є сплавом на основі карбіду вольфраму (WC) з додаванням кобальту (Co) для підвищення зносостійкості та стійкості до ударних навантажень.

3. Зміна режимів різання

Враховуючи сталь 40X та тврдосплавний інструмент, швидкість обирається в межах **80-150 м/хв**.

Під час експерименту варіювалися такі режими:

- **Швидкість різання** (наприклад, від 80, 120 та 180 м/хв).
- **Подача** (наприклад, 0,1; 0,2 і 0,3 мм/об).
- **Глибина різання** (наприклад, 0,5; 1,0 і 1,5 мм).
- Комбінація цих параметрів утворює матрицю експерименту, яка дозволяє оцінити їхній вплив на силу різання.

4. Проведення вимірювань

Для кожної комбінації параметрів виконувалося токарне різання, під час якого динамометр реєстрував силу різання. Кожен експеримент проводився тричі для підвищення точності результатів. Також фіксувалися температура в зоні різання та шорсткість обробленої поверхні.

5. Обробка та аналіз даних

Отримані дані були впорядковані в таблиці. На основі результатів побудовані графіки залежності сили різання від кожного з параметрів. Для аналізу результатів використовувалися методи регресійного аналізу, що дозволило виявити найбільш впливові фактори та визначити оптимальні режими.

6. Контроль точності результатів

Для зменшення похибок у вимірюваннях здійснювали контрольний замір інструментальних параметрів перед і після експериментів. Оцінка похибок

проводилася з урахуванням точності динамометра та інших вимірювальних приладів.

3.4 Методика вимірювання сили різання

Для початку необхідно здійснити тарування динамометра з використанням встановленої штанги в місце кріплення токарного різця та вантажів по 5 кг. Поступово навантажуючи штангу та знімаючи показники індикатора необхідно виконати графік навантаження та графік розвантаження рис. 5. Середня лінія між лініями навантаження і розвантаження і буде графіком тарування, яка допоможе в подальшому перевести показники індикатора в значення сили різання P_z .

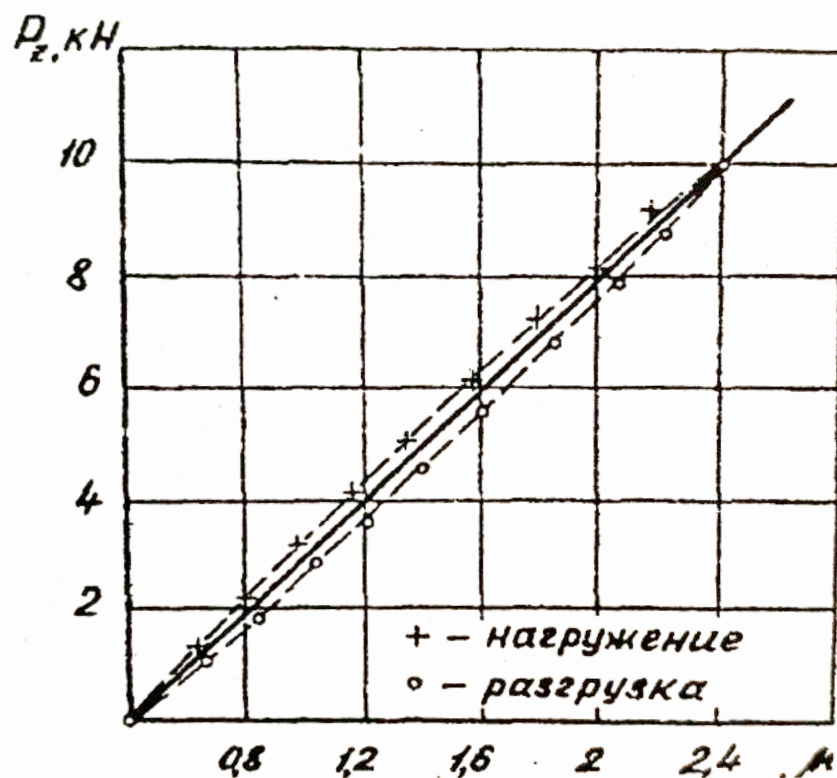


Рис. 5 Вигляд графіку тарування

Також необхідно заміряти виліт штанги та виліт різця і надалі перевідний коефіцієнт тарування можна внести в програму для того, щоб відразу отримати значення сили різання P_z і не переводити всі показання індикатора вручну.

Таким чином на цифровому індикаторі буде відображатися прогин різця а на екрані комп'ютера – значення сили різання P_z .

Змінюючи режими різання необхідно здійснити дослідження сили різання, а всі виміряні значення окрім візуального відображення на екрані у цифровому вигляді та на графіку будуть збережені в табличному вигляді у файл excel для можливості подальшого аналізу результатів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Маючи діаметр заготовки та попередні значення швидостей різання (80, 120 та 180 м/хв) можна визначити необхідні частоти обертання шпинделя, а саме 364, 546 і 819 об/хв. Однак точно таких значень на токарному верстаті 1Б61А встановити не можна, то підберемо найближчі значення обертів із доступних: 315, 560 та 900 об/хв.

Визначимо фактичне значення швидкості різання за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{V \cdot D \cdot n}{1000}$$

Отже це будуть наступні значення: 69,2, 123,1 та 197,8 м/хв.

Вимірявши параметри обраного різця встановлено, що його передній кут $\gamma = 9^\circ$, кут нахилу леза λ рівний 0° , а головний ϕ та допоміжний ϕ_1 кути в плані становлять 45° .

Отже регульовані досліджувані параметри мають наступні значення, які відображено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Значення регульованих режимів різання.

Параметр	Мінімальне значення	Середнє значення	Максимальне значення
Глибина різання t, мм	0,5	1,0	1,5
Швидкість різання V, м/хв	69,2	123,1	197,8
Подача S, мм/об	0,1	0,2	0,3

4.1 Результати експериментальних досліджень сили різання

Відповідно до визначених в табл. 4.1. регульованих параметрів було здійснено повний факторний експеримент дослідження впливу різної їх комбінації на вертикальну складову сили різання P_z .

В таблиці 4.2 наведено результати досліджень сили різання P_z .

Таблиця 4.2. Результати вимірних значень сили різання P_z .

Швидкість різання V , м/хв	Глибина різання t , мм	Подача S , мм/об		
		0,1	0,2	0,3
69,2	0,5	188	300	404
	1,0	342	578	784
	1,5	505	850	1150
123,1	0,5	163	274	370
	1,0	316	530	720
	1,5	464	780	1057
197,8	0,5	150	250	345
	1,0	294	494	669
	1,5	432	726	984

В результаті аналізу отриманих експериментальних даних побудовано наступні залежності визначеної вертикальної сили P_z від досліджуваних параметрів. На рис. 4.1. наведено графік залежності сили різання P_z від глибини різання та подачі. При збільшенні глибини різання кратно зростає і сила різання.

При збільшенні подачі також зростає сила різання а відповідно крутний момент та потужність необхідна для виконання операції точіння.

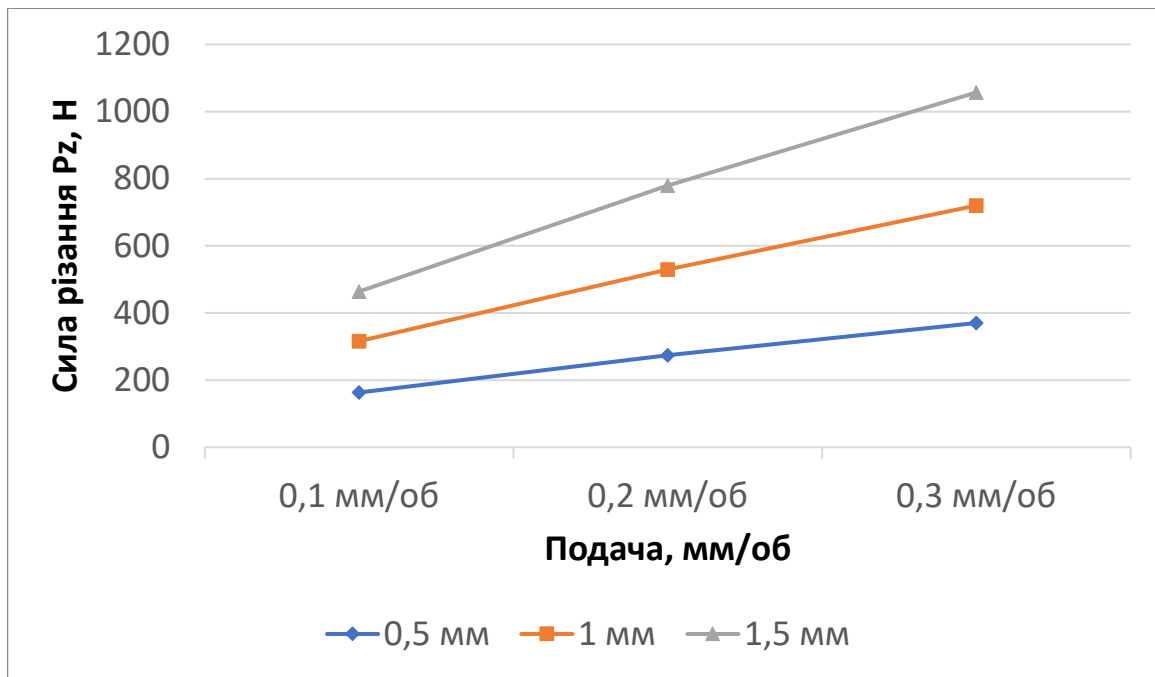


Рис. 4.1 Графік залежності сили різання P_z від глибини різання та подачі.

На рис. 4.2 наведено залежності сили різання P_z від швидкості різання та подачі. Зі зростанням швидкості різання V сила різання P_z дещо зменшується.

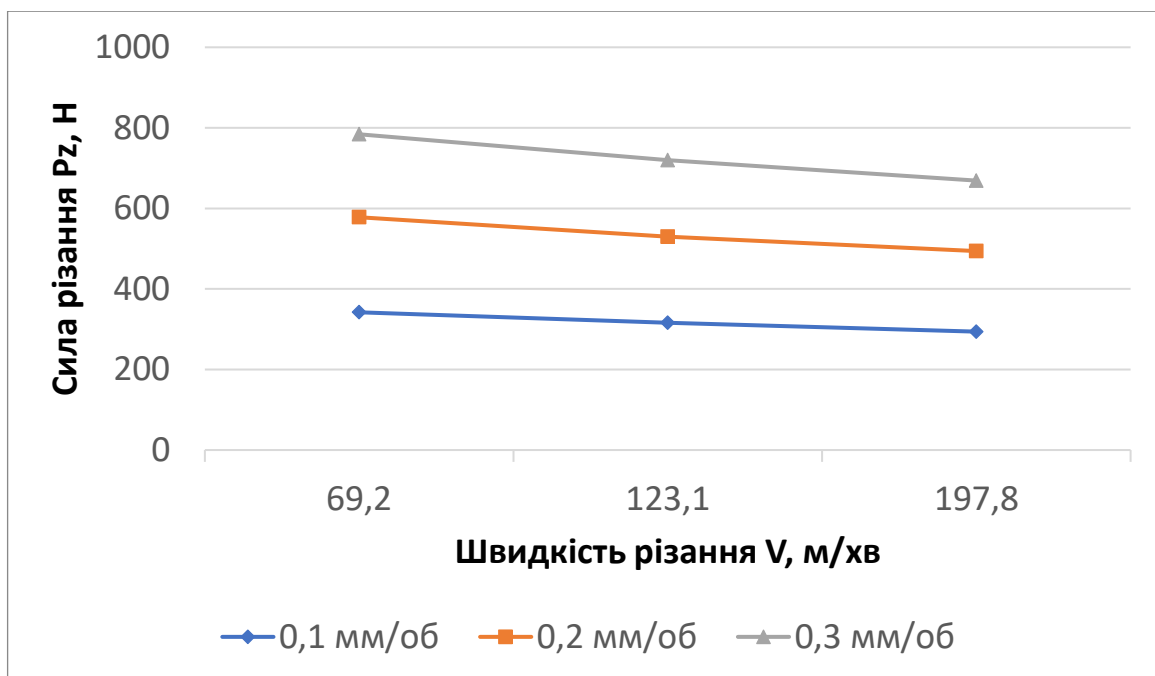


Рис. 4.2 Графік залежності сили різання P_z від швидкості різання та подачі.

На рис. 4.3 показано залежності сили різання P_z від швидкості різання V та глибини різання t .

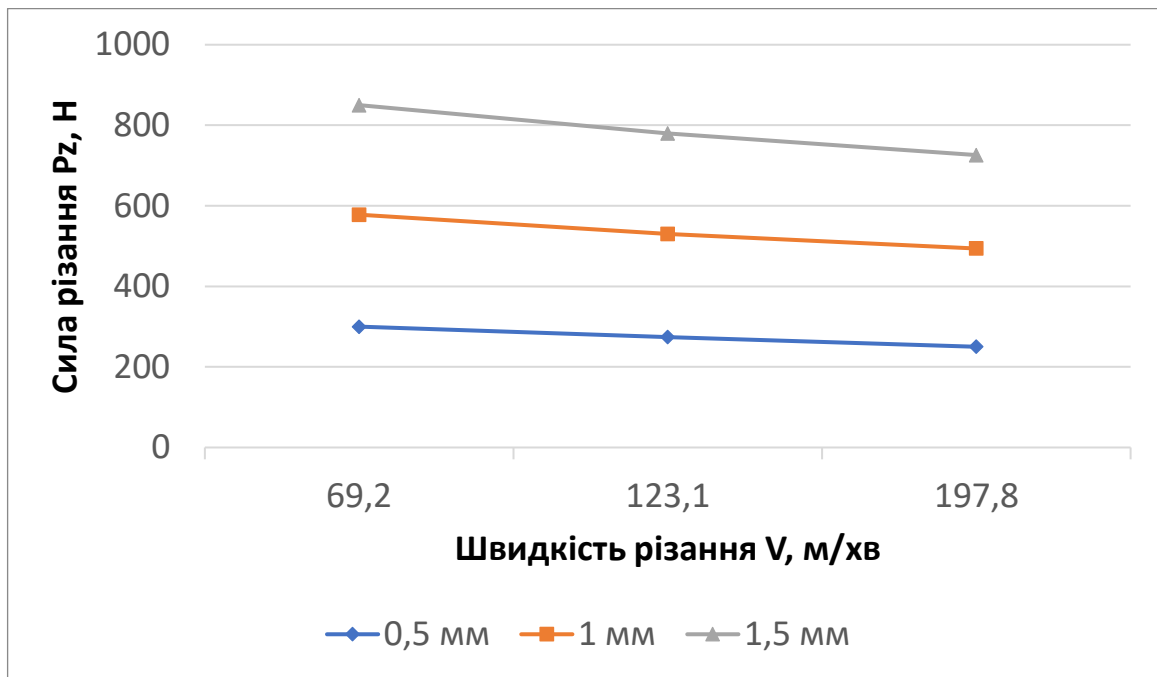


Рис. 4.3 Графік залежності сили різання P_z від швидкості та глибини різання.

Рекомендовано використовувати швидкість різання від 120 до 150 м/хв, подачу до 0,2 мм/об та глибину до 1,0 мм для досягнення балансу між продуктивністю та якістю обробки.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів проектованого об'єкта

В процесі експлуатації проектного цеху з механічного оброблення різанням деталей можливі наступні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- фізичні перевантаження;
- нервові і психічні перевантаження;
- висока напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини;

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- системи, що знаходяться під тиском (пневмо- і гідроприводи верстатів і верстатних пристосувань);
- підвішені частини виробничого устаткування (верстатів, вантажопідйомного устаткування);
- гострі крайки, задирки, шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів і устаткування;
- недостатно природного світла;
- конструкції верстатних пристосувань;
- підвищений рівень шуму і вібрації на робочому місці;
- небезпека загоряння допоміжних матеріалів (наприклад: промаслене дрантя і т.п.).

5.2 Заходи щодо усунення впливу на працюючих небезпечних і зниженню шкідливих виробничих факторів

При розроблені технологічного процесу механічного оброблення і відповідного оснащення були забезпечені вимоги безпеки за ГОСТ 12.3.002-75 і ГОСТ 12.2.003-74 наступним чином:

- Захист від фізичних перевантажень

Відповідно до ГОСТ 12.3.020-80 переміщення вантажів у технологічному процесі масою більш 20кг чи на відстань більш 25м варто робити за допомогою підйомно-транспортних засобів механізації [14].

Загороджуючі пристрої, що знімаються частіше одного разу в зміну, повинні мати масу не більш 6 кг і кріплення, не потребує застосування ключів і викруток. Загороджуючі пристрої, що відкривається повинні, при усталеному русі, переміщатися з зусиллям не більш 40 Н. Зусилля на рукоятках і важелях (маховиках) які включаються не більш 5 разів у зміну, не повинне перевищувати 150 Н, що включаються не більш 25 разів – до 80 Н.

Необхідне зусилля ривка на затискних важелях і рукоятках різного призначення на затискних важелях і рукоятках різного призначення в моменти кінця чи затиску початку не повинний перевищувати 500 Н.

У переміщуваних вручну знімних пристосуваннях і інструментах, що мають масу більш 16 кг і незручних для захоплення руками, мають пристрою (наприклад, рукоятка для такого захоплення).

- Захист від нервово-психічних перевантажень

Робочі місця задовольняють ергономічним вимогам при виконанні робіт сидячи і стоячи за ГОСТ 12.2.032-78, ГОСТ 12.2.033-78. Символи органів керування виконують відповідно до вимог ГОСТ 12.4.040-78. Органи ручного керування виконані і розташовані так, щоб користування було зручно. Лімби, шкали, написи і символи чітко виконані, не стираються, читаються добре на відстані не менш 500 мм.

Зусилля на рукоятках і важелях (маховиках) органів керування рухами складальних одиниць при постійному ручному керуванні не перевищують 40 Н, для фрикційних муфт головного привода на початку і в кінці переміщення – не більш 80 Н [14].

- Захист від поразки електричним струмом

Кожен верстат має вхідний вимикач ручної дії, розміщений у безпечному і зручному для обслуговування місці. Вимикач призначений для підключення електроустаткування до живильної мережі, а також для відключення від мережі на час перерви в роботі чи в аварійних ситуаціях.

Кожен верстат має кнопку аварійного відключення – червоного кольору, установлену таким чином, щоб була ясно видна і доступна працюючому з його робочого місця. Струмоведачі частини виробничого устаткування повинні бути ізольовані чи обгороджені, або знаходиться в недоступних для людей місцях.

Електроустаткування, що має відкриті струмоведачі частини повинне бути розміщене у середині корпусів (шаф) із дверима, що защіпаються. Дверцята шаф електроустаткування мають блокування, що відключає електрощиток при їхньому відкриванні.

Електроустаткування оснащене нульовим захистом, що виключає, незалежно від положення органів керування верстатів, мимовільне включення устаткування при відновленні раптово зниклої напруги.

Металеві частини виробничого устаткування надійно заземлені. Опір пристрою, що заземлює, повинне бути не більш 4 Ом.

На кожному робочому місці біля верстата на підлозі є дерев'яні трапи на всю довжину робочої зони і не менш 0,6 м від виступаючих частин верстата за шириною.

- Захист від підвищеної запиленості і загазованості робочої зони.

У проєктованому цеху механічного оброблення можливе виділення в повітря робочої зони чавунного і сталевого пилу, газовиділення, застосовуваних СОЖ і абразивного пилу. Відповідно до ГОСТ 12.1.005-76 ССБТ. «Воздух

рабочей среды. Общие санитарно-гигиенические требования», гранично-допустима концентрація цих речовин (ГДК) не перевищує наступних величин:

Чавун – до 6 мг/м³ ;

Сталь – до 6 мг/м³ ;

Карборунд – до 6 мг/м³ ;

Луги їдкі - до 0,5 мг/м³ .

Для зниження концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони в проекті цеху передбачена природна і механічна вентиляція

При різанні чавуну на шліфувальних операціях проектом передбачена можливість відсмоктування з зони оброблення забрудненого повітря, за допомогою пилестружкоприймачів, рекомендованих ГОСТ 12.2.009-80. Для оброблення металів різанням використовують ЗОР, дозволені для застосування міністерством охорони здоров'я.

- Захист від підвішаних частин

Ширина цехових проходів і проїздів, відстані між металорізальними верстатами й елементами будинків у пропонованому проекті цеху установлені відповідно до ГОСТ 12.2.009-80.ССБТ. «Станки металлорежущие. Общие требования безопасности», а також ГОСТ 12.2.062-81.ССБТ. «Оборудование производственное. Ограждения защитные.» і ГОСТ 12.3.025-60.ССБТ. «Обработка материалов резкой. Требования безопасности».

Проходи і проїзди в цеху і на ділянках передбачено позначати розмежувальними лініями білого кольору шириною не менш 100мм.

Для захисту від травмування підвішеними частинами виробничого устаткування застосовані огороження, застерігаюче фарбування, блокуючі запобіжні пристрої з дистанційним керуванням.

Зони обробки, відкриті передачі, вали, муфти й інші рухливі частини устаткування, що представляють небезпеку травмування мають огороження у виді кожухів, екранів, щитків.

У захисному положенні огороження утримуються від мимовільного переміщення. Огороження, що відкриваються нагору, фіксуються у відкритому положенні [15].

Міцність огорожень установлена з урахуванням навантаження, визначеного за умовами впливу на огороження працюючого та рухомих частин устаткування.

Стійки мають запобіжні пристрої від перевантаження, здатного викликати поломку верстата і травмування. Як запобіжні пристрої застосовані запобіжні кулькові і фрикційні муфти за ГОСТ 15.620-77 і ГОСТ 15.822-77. Верстата мають 85 пристрої що запобігають мимовільне опускання шпинделів, кронштейнів головок, бабок, рукавів (у радіально-свердлильних верстатах), поперечок і інших рухомих частин.

Переміщення рухомих частин у верстатах з автоматичним циклом обробки обмежується в крайніх положеннях пристроями, що виключають їхній перебіг за межі припустимих відхилень.

Пристрої для закріплення на верстатах патронів, планшайб, оправлень, насадних головок інструмента й інших знімних елементів виключають мимовільне ослаблення при роботі закріплюючих пристроїв і згвинчування знімних елементів реверсування обертання.

В процесі роботи найбільш виступаючі за габарити станин зовнішні торці рухомих частин, що переміщаються зі швидкістю більш 150мм/хв, виділені сигнальним кольором за ГОСТ 12.4.026-76 шляхом нанесення покриття смужкою жовтого кольору по контурі чи на всю поверхню.

Внутрішні поверхні дверцят, що закривають місця розташування елементів верстатів, що рухаються, (наприклад шестірень, шківів), що вимагають періодичного доступу до них при заміні ременів, налагодженню і т.п. і здатних при русі травмувати працюючого фарбують в жовтий колір.

З зовнішньої сторони огорожень нанесений попереджувачий знак небезпеки за ГОСТ 12.4.026-76 (жовтого кольору рівносторонній трикутник з вершиною догори з чорною облямівкою і чорним знаком оклику в середині). Під

знаком установлені таблички за ГОСТ 12.4.026-76 з написом, що пояснює – «При включеному верстаті не відкривати!».

Поверхні сходу стружки, чи ЗОР та ін. пофарбовані в червоний чи жовтий кольори.

Корпуса кранів керування пневмо- і гідроприводів пристосувань мають замітне фарбування.

- Захист від травмування гострими крайками, задирками і шорсткостями поверхонь заготовок, інструментів і устаткування

Відповідно до ГОСТ 12.2.009-60.ССБТ. «Станки металлообрабатывающие. Общие требования безопасности» і ГОСТ 12.2.029-77.ССБТ. «Приспособления станочные. Общие требования безопасности» поверхні верстатів, захисних пристроїв, органів керування, верстатних пристосувань не мають гострих крайок і задирок, здатних травмувати працюючого.

Небезпечні зони обробки у верстатах мають огороження. При обробці різанням заготовок що виходять за межі устаткування встановлюються переносні огороження і знак безпеки за ГОСТ 12.4.026-76.

Рукоятки (важелі) затисків багатофункціональних пристосувань, застосовуваних на верстатах, що мають час обробки, сполучений з часом завантаження деталей, розташовуються в зоні оператора в якій не можливе травмування інструментом, стружкою, виключає вплив ЗОР. Переміщення рукояток при затиску і знятті виробу не спрямовані убік інструмента. Контроль оброблюваних деталей на верстатах і зняття деталей для контролю повинні виконуватися лише при відключених механізмах обертання чи переміщення заготовок, інструмента і пристосувань.

- Заходи щодо забезпечення достатнього освітлення природним і штучним світлом

Згідно СНиП II-4-79 «Нормы проектирования естественного и искусственного освещения» для механічних цехів встановлюються норми штучного освітлення:

- Місцеве освітлення робочих місць – 2000 лк;

- Загальне освітлення цеху – 200 лк.

Достатня освітленість робочих місць досягається правильним вибором типів світильників, їхньою кількістю і розташуванням. Верстати забезпечені пристроями місцевого освітлення.

- Безпека верстатних пристосувань

Регламентується ГОСТ 12.2.029-77 ССБТ. «Приспособления станочные. Общие требования безопасности».

Конструкції пристосувань забезпечують надійне і зручне закріплення з верстатом і налагоджувальними елементами. Спосіб закріплення виключає можливість мимовільного ослаблення кріплення і зсуву пристосування чи його налагоджувальних елементів у процесі експлуатації [16]. Пристосування, установлені на обертові поверхні, повинні бути надійно орієнтовані щодо осі обертання. Обертові пристосування піддаються спеціальному, обов'язковому статичному чи динамічному балансуванню. Конструкції пристосувань забезпечують безпеку встановлення і зняття оброблюваних заготовок. У пристосуваннях усунута можливість мимовільного затиску заготовок при встановленні їх на настановні пальці. Зазор між затиском і заготовкою не перевищує 5 мм, або передбачені інші заходи, що забезпечують безпеку робіт.

Установку на пристосування пружини стиску з відношенням висоти пружини до зовнішнього діаметра більш 2,5 необхідно здійснювати на оправленнях чи у спеціальних гільзах.

У пристосуваннях, призначених для обробки заготовок масою понад 12 кг, повинна передбачатися можливість вільної закладки і знімання пристроїв, що захоплюють, для переміщення їх за допомогою вантажопідійомних механізмів.

Пристосування масою до 16 кг, установлені на устаткування без застосування засобів механізації, мають пристрої і поверхні, що забезпечують безпеку і зручність їхньої установки і зняття.

Пристосування масою понад 16 кг мають пристрої (рим-болти, цапфи і т.д.) що забезпечують стійкість при переміщенні їх вантажопіднімальними

механізмами. Маса встановлюваного вручну пристосування разом із закріпленою заготовкою не перевищує 16 кг.

Механізм затиску заготовок виключає мимовільне розкріплення заготовки при обробці. Сумарні розрахункові зусилля затискних елементів пристосувань (якщо вони не встановлені стандартами) перевищують максимальні сили різання не менш чим у 2,5 рази. При одночасному закріпленні декількох заготовок затиск їх рівнозаходівний. При використанні пневматичних приводів виключена можливість відкидання на робітника стружки і пилу відпрацьованим повітрям.

- Захист від підвищеного рівня шуму і вібрації

Регламентується ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум.» і ГОСТ 12.1.012-78 ССБТ. «Вибрация. Общие требования».

У проектуваному цеху механічної обробки деталей різанням, джерелом виробничих шумів і вібрації є приводи металорізальних верстатів і вантажопідйомного устаткування.

Заходи, що знижують рівень шуму до припустимих меж закладені в конструкцію сучасного металорізального устаткування, відповідно до ГОСТ 12.2.1077-85 ССБТ. «Шум. Станки металлорежущие. Общие требования». Припустимі шумові характеристики ПДУ = 80 дБА.

- Пожежна безпека

Регламентується ГОСТ 12.1.004-85 «ССБТ. Пожарная безопасность».

У механічних цехах, подібних проектуваному, (укомплектованих в основному металорізальними верстатами) пожежна небезпека виникає внаслідок короткого замикання й утворення великих перехідних опорів. Крім того, скупчення на території цеху промасленого дрантя і паперу може з'явитися причиною самозаймання і пожежі [16].

Запобігання пожежі досягається наступними заходами:

- ліквідація умов для самозаймання матеріалів, що застосовуються, (наприклад, дрантя);

- при огляді баків і будь-яких ємкостей категорично забороняється користатися відкритим вогнем, тому що в них може утворитися вибухова суміш;

- необхідно завжди пам'ятати про можливість вибуху і загоряння при фарбуванні устаткування пульверизатором і при ремонтних роботах із застосуванням зварювальної техніки. Ці роботи варто виконувати з дотриманням заходів пожежної безпеки;

- паління дозволяється в спеціально відведених місцях, обладнаних з дотриманням протипожежних заходів;

- дотримання заходів правильної експлуатації електромереж і недопущення перевантаження електроустаткування.

Пожежний захист забезпечується:

- максимально можливим застосуванням негорючих і трудно запалюваних матеріалів;

- запобіганням поширення пожежі за межі вогнища (протипожежні перешкоди, вогнезагороджуючі пристрої);

- застосуванням засобів пожежогасіння;

- застосуванням конструкцій об'єктів з високими межами вогнестійкості;

- евакуації людей;

- застосуванням засобів колективного й індивідуального захисту людей;

- застосуванням засобів пожежної безпеки – сигналізації;

- організація пожежної охорони об'єкта

Технологічні планування на проєктовані цехи обробки різанням необхідно погоджувати з територіальними органами державного санітарного і пожежного нагляду.

5.3 Забезпечення і захист інженерно-технічного комплексу у надзвичайному стані

Інженерно-технічний комплекс будь-якого підприємства включає в себе будівлі і споруди, технологічне обладнання і комунікації електричної, теплової сітки, водопровід, каналізація і газопровід.

Від стійкості будівель і споруд залежить в основному стійкість всього об'єкта.

Підвищення стійкості будівель і споруд досягається встановленням допоміжного зв'язку, конструкцією каркасів, рам, підкосів, контрофорсів, опорів для зменшення пройому несучих конструкцій, а також за рахунок застосування більш стійких матеріалів.

Низькі споруди для підвищення їх стійкості частково обсыпають ґрунтом. Такий спосіб підвищення стійкості можна застосовувати для напівпідвальних 92 приміщень і різних споруд. Високі споруди (труби, вишки, башні, колони) закріплюють стяжками, розрахованими на необхідне навантаження.

Захист ємкостей для зберігання легко запалювальних рідин може здійснюватися створенням підземних сховищ, заглибленням їх в ґрунт або обвалюванням, а збільшення механічної міцності ємкостей встановленням ребер жорсткості. При обвалюванні висота земляного валу розраховується на утримання повного об'єму рідини, яка може витекти із зруйнованої ємкості.

Надійно захистити все технологічні обладнання від дії ударної хвилі практично неможливо, тому що доводити міцність споруд до захисних властивостей сховищ економічно недоцільно. Захист обладнання необхідний в наступних випадках:

- обладнання яке після руйнування решти підприємства може випускати особливо важливу продукцію;
- обладнання яке важко відновлюється;
- унікальне обладнання яке потрібно зберегти для подальшого використання.

Захист обладнання входить в загальний комплекс інженерно-технічних заходів для підвищення стійкості роботи підприємства. Щоб попередити ушкодження обладнання уламками конструкцій які розвалюються, треба проводити раціональну компоновку обладнання при об'ємно-планувальному вирішенні підприємства.

При реконструкції та розширення промислових об'єктів потрібно дотримуватися наступних вимог:

- важке обладнання розміщувати на нижніх поверхах;
- найбільш цінне і нестійке до ударів обладнання розміщувати в приміщеннях з підвищеними міцносними характеристиками, або в спеціальних захисних спорудах;

- більш міцне цінне обладнання – в окремо побудованих корпусах павільйонного типу, які мають полегшені і важко запалюванні огорожувальні конструкції, руйнування яких не принесе пошкодження обладнання;

- міцне закріплення верстатів на фундаментах;
- спорудження контрфорсів, які підвищать стійкість верстатного обладнання до дії швидкісного напору повітря ударної хвилі.

Крім перерахованих заходів, потрібно створювати запаси деталей і вузлів технологічного обладнання які найшвидше виходять із ладу (секції конвеєрів, пультів керування, електрообладнання та інші), а також в мирний час виготовляти захисні конструкції (кожухи, камери, дашки, навіси) і застосовувати їх в час загрози нападу противника для попередження поломки обладнання при руйнуванні конструкцій споруд.

Для сучасних підприємств характерна велика кількість комунікацій для подачі води, пару, електроенергії, газу, які розташовані на високих естакадах або зовнішніх стінах будівель, що підлягають постійному нагляду і ремонту але з другої сторони це знижує їх стійкість.

Для підвищення надійності комунікацій потрібно:

- заглиблювати основні комунально-енергетичні сітки і технологічні комунікації або розміщати їх на низьких естакадах і обвалювати ґрунтом;
- збільшувати механічну стійкість трубопроводів за рахунок ребер жорсткості, хомутів, з'єднуючих два-три трубопроводи в один.

Система електропостачання є дуже важливою на підприємстві. Підвищення стійкості цієї системи досягається проведенням, як загальноміських, так і об'єктних інженерно-технічних заходів.

Для запобігання виходу із ладу електричних ліній встановлюють пристрої автоматичного вимикання під час перенавантаження.

При пошкодженні джерела газопостачання або газопроводу рекомендують мати підземні ємкості – газгольдери постійного об'єму.

Газові лінії прокладають під землею і підводять до об'єкту з двох напрямків. Паралельні газопроводи з'єднують між собою, а всю систему газопостачання закольцовують, що дозволяє відключати пошкоджені ділянки і скористатися іншою лінією.

Лінії водопостачання прокладають в землі і комплектують засувами для відключення окремих ділянок під час аварії.

При виборі схеми заводського водопостачання необхідно врахувати можливість повторного використання води. Це зменшує загальні потреби підприємства у воді.

Для того щоб підвищити стійкість каналізації об'єкту потрібно створювати окремі системи каналізації: одну для стічних, другу для заводських і господарських стоків.

ВИСНОВОКИ

1. Дослідження підтвердило, що глибина різання, подача та швидкість різання мають значний вплив на силу різання під час токарної обробки. Найбільший вплив має глибина різання, яка прямо пропорційно збільшує силу різання, тоді як швидкість різання зменшує її внаслідок зниження коефіцієнта тертя.

2. Сила різання зростає із збільшенням подачі та глибини різання. При підвищенні швидкості різання спостерігається зниження сили різання через термічне розм'якшення матеріалу. Встановлені залежності дозволяють прогнозувати зміну сили різання в залежності від технологічних параметрів.

3. Для зменшення сили різання рекомендовано обирати оптимальні значення подачі та глибини різання. Використання мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ дозволяє суттєво зменшити навантаження на інструмент. Застосування інструментів із переднім кутом в межах $8-10^\circ$ сприяє зниженню силових характеристик.

4. Запропонована методика експериментального дослідження дозволила отримати комплексні дані про вплив режимів різання на силу різання, що має важливе значення для подальшого розвитку технологій токарної обробки.

5. Рекомендовано використовувати швидкість різання від 120 до 150 м/хв, подачу до 0,2 мм/об та глибину до 1,0 мм для досягнення балансу між продуктивністю та якістю обробки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Мелещик В. А. "Технологія токарної обробки". – Київ: Либідь, 1998. – 176 с.
2. Базь О. С., Захаренко Г. С. "Токарна справа. Частина 1". – Чернівці: Букрек, 2020. – 176 с.
3. Базь О. С., Захаренко Г. С. "Токарна справа. Частина 2". – Чернівці: Букрек, 2021. – 176 с.
4. Муляр Ю. І., Дерібо О. В. "Програмування токарної обробки на верстатах з ЧПК". – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 91 с.
5. Мазур М. П. "Основи теорії різання матеріалів". – Київ: [видавництво не вказано], [рік не вказано].
6. Шаповал М. І. "Технологія верстатних робіт". – Київ: Європейський університет, 2001. – 174 с.
7. Металознавство: підручник / О. М. Бялік, В. С. Черненко [та ін.]; - 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : ІВЦ Видавництво "Політехніка", 2002. – 384 с.
8. Пахолюк А. П. Основи матеріалознавства і конструкційні матеріали : посібник / А. П. Пахолюк, О. А. Пахолюк. – Львів : Світ, 2005. – 172 с.
9. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник / В. В. Попович, В. В. Попович. – Львів : Світ, 2006. – 624 с.
10. Матеріалознавство : підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плешаков; за ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків : ХНАДУ, 2007. - 440 с.
11. Ronald W. Larsen LabVIEW for Engineers. Larsen Ronald. Pentice Hall. 2011. 396 p.
12. Цифровий індикатор МІКРОТЕХ ІЧЦ-13. URL: https://microtech-ua.com/index.php?id_product=11763&controller=product&id_lang=2
13. Arduino. URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>

14. Грибан В. Г., Негодченко О. В. Охорона праці: навч. посібник, [для студ. Г 82 вищ. навч. закл.] / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко — К.: Центр учбової літератури, 2009. - 280 с.
15. Охорона праці : підручник. М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. Харків, 2017, 334 с.
16. Охорона праці та цивільний захист: Підручник для студентів, які навчаються за спеціальностями галузей знань «Автоматизація та приладобудування» / О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О. В. Землянська. За ред. О. Г. Левченка. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.