

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»  
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки  
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта (Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

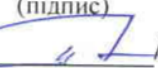
 / Михайло ДОРОШЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  / Олег ПОДОЛЯК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Артем ЧЕРНЮК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  / Олег ПОДОЛЯК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  / Олег ПОДОЛЯК  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  / Валентина СКОРКІНА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

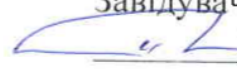
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання

Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)

Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

 О.Л. Подоляк  
“ 12 ” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

другого (магістерського) рівня вищої освіти

студенту (ці) Михайлу ДОРОШЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 5 грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Зразки деталей складнопрофільної поверхні, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. методологічні основи прогнозування зйому металу і формування шерхованості при магнітно-абразивній обробці. проектування операцій магнітно-абразивної обробки на верстатах з чпу. Моделювання технологічної системи Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

## 6. Консультант:

| Розділ       | Консультант      | Підпис, дата      |                     | Оцінка<br>(бали) |
|--------------|------------------|-------------------|---------------------|------------------|
|              |                  | Завдання<br>видав | Завдання<br>прийняв |                  |
| педагогічний | Тамара ХОМУЛЕНКО |                   |                     |                  |

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 2024 р.

 Керівник  Олег ПОДОЛЯК  
 (підпис) (ім'я, прізвище)

 Завдання прийняв до виконання  Михайло ДОРОШЕНКО  
 (підпис) (ім'я, прізвище)

 КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК  
 виконання кваліфікаційної роботи

| №<br>з/п | Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання                | Термін виконання | Позначки керівника про виконання завдань |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------|
| 1.       | Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань. |                  |                                          |
| 2.       | Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел                                       |                  |                                          |
| 3.       | Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи                  |                  |                                          |
| 4.       | Підготовка аналітичної частини                                                                 |                  |                                          |
| 5.       | Підготовка теоретичної частини                                                                 |                  |                                          |
| 6.       | Розробка дослідницької частини                                                                 |                  |                                          |
| 7.       | Розробка методичного розділу                                                                   |                  |                                          |
| 8.       | Підготовка графічного матеріалу                                                                |                  |                                          |
| 9.       | Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника                                             |                  |                                          |
| 10.      | Доробка проекту по зауваженнях консультантів                                                   |                  |                                          |
| 11.      | Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.                                      |                  |                                          |
| 12.      | Захист кваліфікаційної роботи                                                                  |                  |                                          |

Здобувач вищої освіти

 Михайло ДОРОШЕНКО  
 (підпис) (ім'я, прізвище)

 Нормоконтроль  
 (підпис)

 Олег ПОДОЛЯК  
 (ім'я, прізвище)

Олег ПОДОЛЯК

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

### Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки

(назва роботи)

студента

ДОРОШЕНКО Михайло Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Подоляк Олег Степанович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 0,69,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,00 ,

Сигнал „Тривога!“: ☐ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті \_\_\_\_.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від \_\_\_\_% до \_\_\_\_% – задовільно оригінальна робота,

від \_\_\_\_% до \_\_\_\_% – умовно оригінальна робота,

більше \_\_\_\_% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

#### Висновок:

☒ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

#### Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

26.11.24

(дата)

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Вступ                                                                                                                                                                                                                                       | 7  |
| Розділ 1                                                                                                                                                                                                                                    | 8  |
| Актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі                                                                                                                                                                          |    |
| 2. Забезпечення геометричних параметрів якості на обробно-чистових операціях                                                                                                                                                                | 16 |
| 3 методологічні основи прогнозування зйому металу і формування шерхованості при магнітно-абразивній обробці                                                                                                                                 | 25 |
| 4. Моделювання технологічної системи                                                                                                                                                                                                        | 30 |
| 5 Проектування операцій магнітно-абразивної обробки на верстатах з чпу                                                                                                                                                                      | 45 |
| Розділ 6 Розробка дидактичного проєкту факультативного заняття на тему «підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки» для фахівців машинобудівної галузі | 59 |
| Висновки                                                                                                                                                                                                                                    | 72 |
| Список використаних джерел                                                                                                                                                                                                                  | 73 |

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “ Підготовка фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки ”

**РЕФЕРАТ**

Робота містить 74с., 37 рис., 21 табл., 21 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з проблеми забезпечення геометричних параметрів якості на обробно-чистових операціях.

У третьому розділі виконано прогнозування зйому металу і формування шерхованості при магнітно-абразивній обробці.

У четвертого розділі виконано моделювання технологічної системи.

У п'ятому розділі виконано проектування операцій магнітно-абразивної обробки на верстатах з чпу.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

**Ключові слова:** професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, ЧПУ, складнопрофільна поверхня, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic “Training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the productivity and stability of quality parameters of complex-profile surfaces in magnetic-abrasive processing operations”

### **ABSTRACT**

The work contains 74 pages, 37 figures, 21 tables, 21 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry to increase the productivity and stability of quality parameters of complex-profile surfaces in magnetic-abrasive processing operations.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry to increase the productivity and stability of quality parameters of complex-profile surfaces in magnetic-abrasive processing operations.

The second section reviews research and publications on the problem of ensuring geometric quality parameters in machining and finishing operations.

In the third section, the metal removal and roughness formation during magnetic-abrasive processing are predicted.

In the fourth section, the modeling of the technological system is performed.

In the fifth section, the design of magnetic-abrasive processing operations on CNC machines is performed.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

**Keywords:** professional training, mechanical engineering industry, specialist, CNC, complex-profile surface, practical training methodology.

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку техніки і технології характеризується широким використанням деталей, що містять складнопрофільні поверхні. До таких деталей належать: прес-форми, штампи, моделі, кулачки, складні корпуси та ін. як основне обладнання для виготовлення такого типу деталей верстати з ЧПУ.

Аналіз трудомісткості виготовлення штамів та прес-форм показує, що найбільша частка витрат припадає на обробку складнопрофільних поверхонь (35...70 %). Значні трудовитрати пояснюються наявністю в технологічному процесі оздоблювально-чистових операцій (таких як шабріння, полірування, доведення), які виконуються, як правило, вручну. Витрати на оздоблювально-чистові операції сягають 50% від витрат за обробку складнопрофільних поверхонь.

Наявність ручних обробно-чистових операцій у технологічному процесі не тільки підвищують трудомісткість виготовлення штамів та прес-форм, але й не дозволяють забезпечити стабільність параметрів якості поверхонь, що обробляються. Нестабільність параметрів якості оброблених поверхонь призводить до появи браку, що потребує додаткової обробно-чистової операції та відповідно додаткових витрат. Нестабільність геометричних параметрів якості оброблених поверхонь може відбуватися не тільки при переході від однієї деталі до іншої, але й навіть у межах однієї обробленої поверхні. Це з тим, що у процесі обробки змінюються умови і режими різання. Особливо це актуально при обробці складнопрофільних поверхонь, де на різних ділянках шорсткість може значно змінюватися.

Завдання підвищення продуктивності нерозривно пов'язане з удосконаленням відомих та розробкою нових оздоблювально-чистових методів обробки поверхонь деталей машин, що забезпечують не тільки високу продуктивність обробки, але й створення поверхонь з оптимальними властивостями. Величина мікронерівностей на робочих поверхнях деталей

істотно впливає на зносостійкість поверхонь, що труться. Зменшення шорсткості поверхонь забезпечує більш сприятливий мікропрофіль, що полегшує тертя і знижує знос деталей, що сполучаються. При відносному ковзанні поверхонь, що контактують, відбувається механічне зачеплення мікронерівностей, утворених при механічній обробці. У поверхонь із значними величинами мікронерівностей відбувається інтенсивне їх руйнування. Найбільш ефективними способами обробки як плоских, так і складно-профільних поверхонь є методи, засновані на використанні еластичної зв'язки або незакріпленого абразиву. Одним з перспективних способів забезпечення високої якості робочої поверхні є технологія магнітно-абразивної обробки, що широко застосовується при доведенні інструменту. Цей метод простий у здійсненні, екологічно чистий, забезпечує високу якість оброблених поверхонь деталей. У дослідженнях вітчизняних та зарубіжних авторів докладно описано та розкрито основні фізичні явища при реалізації магнітно-абразивної обробки. Однак для проектування оздоблювальних операцій необхідні алгоритми розрахунку та прогнозування шорсткості та продуктивності обробки, а також забезпечення стабільності їх отримання у виробничих умовах.

# **РОЗДІЛ 1**

## **АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ**

Професійна підготовка фахівців-машинобудівників є ключовою складовою розвитку машинобудівної галузі. Вона спрямована на формування фахівців, які володіють сучасними знаннями та навичками у проєктуванні, виробництві, обслуговуванні та вдосконаленні машин і механізмів.

Основні етапи професійної підготовки:

### **1. Теоретична база:**

- вивчення основних технічних дисциплін, таких як фізика, математика, теорія механізмів і машин, матеріалознавство, опір матеріалів;
- ознайомлення з інноваційними технологіями, такими як автоматизація, робототехніка, 3D-друк, адитивні технології.

### **2. Практичні навички:**

- лабораторні заняття з моделювання, аналізу деталей і механізмів;
- практичні роботи з використанням сучасного обладнання, таких як верстати ЧПК (числове програмне керування), зварювальні апарати тощо.

### **3. Інженерний дизайн і проєктування:**

- використання CAD-програм (SolidWorks, AutoCAD, CATIA) для розробки креслень та моделей;
- застосування методів числового моделювання (Finite Element Analysis, Computational Fluid Dynamics).

### **4. Виробнича практика:**

- стажування на підприємствах машинобудівного комплексу;
- реальна участь у виробничих процесах.

### **5. Інновації та дослідження:**

- розробка нових матеріалів і технологій;

- участь у наукових конференціях та дослідницьких проєктах.

Перспективи:

Фахівці в галузі машинобудування мають попит у багатьох сферах, зокрема:

- автомобілебудування;
- авіація та космос;
- робототехніка;
- важка промисловість.

Важливі компетенції:

- Креативне мислення;
- Розв'язання технічних задач;
- Знання екологічно чистих і енергоефективних технологій.

Гарна інженерна освіта для підготовки фахівців машинобудівної галузі вимагає модернізації освітніх технологій як шляху розвитку інноваційного суспільства.

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується стрімким розвитком інноваційних у сфері освіти. Вимоги до вищої освіти сьогодні визначаються ситуацією, у якій перебуває держава, коли відбуваються глобальні процеси перерозподілу праці. Головне завдання, яке стоїть перед вищою освітою – забезпечувати розвиток потенціалу майбутніх фахівців для творчої, продуктивної діяльності. Як глобальна мета реформування професійної освіти стоїть мета навчити майбутнього фахівця самостійно взаємодіяти з інноваційно-розвивальним світом професійної праці. Робота з підготовки таких фахівців у поєднанні з широкою консультативною діяльністю може стати однією з «точок зростання» у розвитку вищої освіти України. Сучасне суспільство характеризується спрямованістю на розвиток людського потенціалу натомість традиційної спрямованості економічне зростання.

Розвиток людського потенціалу сьогодні береться за основу оцінки рівня

розвитку тієї чи іншої країни, та критеріями оцінки при цьому є:

- 1) тривалість життя,
- 2) рівень освіти,
- 3) валовий внутрішній продукт.

Директор міжнародного інституту планування освіти при ЮНЕСКО Жак Аллак визнає, що успіх держави залежить від ступеня доступу до знань, тому всі країни світу тією чи іншою мірою прагнуть поліпшення освіти, і вважає розвиток освіти внеском у майбутнє. Освіта як найважливіша соціальний інститут, що сприяє розвитку людських ресурсів, демократії та рівності, на думку вченого, виконує такі найважливіші функції у суспільстві:

- розвиває творчі здібності людини, поглиблюючи її участь в економічних, соціальних та культурних відносинах у суспільстві, забезпечуючи більше ефективний внесок у інноваційний розвиток людства;
- надає вирішальний вплив на соціальний прогрес і продуктивність економіки;
- відіграє ключову роль у технологічних перетвореннях;
- забезпечує рівень відповідності людини сучасним вимогам, розвитку раціональності та інших якостей людини, необхідні їй у повсякденному житті; здійснює передачу та трансформацію культури;
- відтворює та створює соціальні функції та статуси як основи для виробництва «обдарованішого та різноманітного людського капіталу»;
- покращує взаємовідносини між людиною і соціальним, і природним середовищем.

Своєрідність моменту, пережитого вищою освітою, у тому, що вона готує спеціалістів і проводить реформи, маючи на увазі не нинішнє, а майбутнє соціальне замовлення. Систему державних ЗВО протягом десятиліть не вдалося у повній мірі перевести з екстенсивного на інтенсивний шлях розвитку. Цю систему необхідно підтримувати одночасно створюючи прообрази нової вищої

школи.

Щоб країна мала майбутнє, її інститути та університети повинні діяти, дотримуючись принципів «випереджального відображення» або «генерації майбутнього», плануючи розвиток України. Слід діяти, маючи на увазі, насамперед потреби «інформаційного суспільства» та «постіндустріальної епохи». Це передбачає використання у вищій професійній школі сучасних педагогічних технологій. Поняття «педагогічна технологія» на сьогоднішній день не є загальноприйнятим у традиційній педагогіці. У документах ЮНЕСКО педагогічні технології розглядаються як системний метод створення, застосування та визначення всього процесу викладання та засвоєння знань з урахуванням технічних та людських ресурсів та їх взаємодії, що ставить своїм завданням оптимізацію форм освіти. З одного боку, педагогічні технології – це сукупність методів та засобів обробки, подання, зміни та пред'явлення навчальної інформації, з іншого – це наука про способи впливу викладача на студентів у процесі навчання з використанням необхідних технічних чи інформаційних засобів. У педагогічних технологіях зміст, методи та засоби навчання перебувають у взаємозв'язку та взаємообумовленості. Педагогічна майстерність викладача вузу полягає в тому, щоб відібрати потрібне зміст, застосувати оптимальні методи та засоби навчання відповідно до програми та поставлених освітніх завдання.

Сучасний урок – це обмежений у часі період щоденного життя викладача та учнів, який наповнений напруженою працею та творчими пошуками, рутинною роботою та радістю успіху.

Урок необхідно розглядати як ланку добре продуманої системи роботи викладача. На уроці вирішуються завдання навчання, виховання та розвитку студентів. Кожне заняття має чітко поставлену мету, досягнення якої потребує вирішення основних завдань уроку. Формулювання мети та завдань уроку має бути лаконічною і точно визначати всі види діяльності викладача та студентів на

уроці та кожному його етапі. Хороший урок вирізняє плановість, чіткість побудови. Якість уроку багато в чому залежить від організації студентів та мобілізації їх внутрішніх сил на оволодіння матеріалом заняття. Це досягається за допомогою доведення мети та плану уроку до свідомості учнів-студентів. Уроки мають переконувати учнів в обмеженості знань окремої людини, в обмеженості інформації, яку дає викладач на уроці, і давати їжу для самостійного роздуму, постійної роботи розуму. Кожне заняття має бути творчим та цікавим. Вчення має приносити людині почуття задоволеності, радості, пробуджувати у ньому нові сили. Оскільки час уроку обмежений, він має економно використовуватись. Це досягається підготовленістю викладача та студентів, наявністю дисципліни та психологічної готовності студентів, обладнанням уроку, доведенням остаточно його задуму.

Завершеність – одна з вимог до хорошого заняття. Саме тому зараз викладачі приходять до інноваційних методів організації уроку.

До таких методів належать.

Постановка несподіваних питань. Несподіваний питання, задане викладачем, є питання, яке сформульоване трохи інакше, ніж завдання після параграфа. Якщо студенти уважно поставилися до виконання самостійного завдання, то їм не важко відповісти на нього.

Рецензування усної відповіді. Самі студенти уважно слухають відповідь свого співрозмовника та готують усну рецензію на нього, відзначають переваги та недоліки відповіді, доповнюють та розширюють його.

Коротка письмова відповідь на запитання. Викладач ставить гранично конкретне питання, на яке можна відповісти двома словами. Подібні завдання допоможуть закріпити знання та звернути увагу студентів на основні моменти заданої теми. Після письмової відповіді вивчена теорія довше відкладеться в пам'яті учнів-студентів. Перевірка за допомогою нових комп'ютерних технологій. Текст заданої вправи проектується на екран. У цьому тексті

кольоровим шрифтом проставляються акценти над найскладнішими моментами. Учні звіряють записи у своєму зошиті з тим, що вони бачать на екрані, та виправляють можливі помилки.

Прийом «Активного слухання» полягає в тому, що під час відповіді одного студента, інші студенти узагальнюють сказане, заповнюючи карту відповіді товариша, виставляючи у ній плюси чи мінуси. Потім викладач збирає карти «активного слухання» та бачить по ним проблеми студентів на тему. Такий прийом підвищує як активність учнів, а й ефективність перевірки самостійного завдання «Бліц-опитування по ланцюжку». Перший студент ставить коротке питання другому. Другий – третьому, \_\_\_\_\_ і так до останнього студента. Час на відповідь – кілька секунд. Викладач має право зняти питання, яке не відповідає темі або недостатньо коректне.

Кожен студент має право відмовитися від участі у бліц турнірі, тому щоб процедура не зірвалася, викладач з'ясовує заздалегідь, хто зі студентів хотів би взяти участь у цій дії. Як варіант для перевірки індивідуальних завдань або під час узагальнення уроку можна запропонувати влаштувати змагання між рядами на якийсь час, тобто, яка з груп, не перериваючи ланцюжок, правильно та швидше за інших відповість на запитання. При цьому треба вибрати рефері, які контролюватимуть правильність відповідей та час, за який студенти справляються із завданням.

«Інтелектуальна розминка» – це 2-3 не дуже складні питання для розминки. Основна мета такої розминки - настроїти учнів працювати.

Прийом «Олівцеві позначки на полях» («Л» легко, «Т» - важко, «С» - сумнів, зроблені студентами вдома на полях зошита під час виконання самостійного завдання) допомагає викладачеві швидко побачити проблеми кожного учня до початку заняття, а студентів учить рефлексія. Надалі зміст заняття коригується з урахуванням виявлених проблем.

Варіант 1. Цей методичний прийом можна застосовувати як командну гру.

Кожна команда готує вдома (або на уроці) текст з помилками щодо певної пропонує його іншій команді. Для економії часу можна обмінятися заздалегідь заготовленими текстами. Користь подвійна і взаємна – чия команда краще сховає свої помилки і хто більше і швидше знайде.

Варіант 2. Один із студентів підготував питання щодо самостійну роботу. Відповіді на них мають бути односкладовими. Він, звертаючись до своїх товаришів, по черзі ставить їм запитання. Звучить відповідь та оцінюється правильність відповідей.

Викладач оцінює якість та оригінальність питань, та правильні відповіді.

«Лицарський турнір». Студент виходить до дошки і по пройденій темі ставить викладачеві заздалегідь підготовлені питання, куди він хотів би отримати відповідь.

У свою чергу викладач запитує студента.

Вся дія триває трохи більше 5 хвилин. Проведення турніру оголошується заздалегідь. Запитання має бути стисненим, відповіді — коротким і по суті. Рефері може зняти неконкретне питання. Учні оплесками або підняттям руки (або проставляючи оцінки на аркуші) оцінюють дії студента та викладача.

«Снігова куля». Як росте снігова куля, так і ця методичний прийом залучає до активної роботи всебільша кількість учнів. Алгоритм цього прийому можна коротко описати так: Слово - пропозиція - питання - відповідь.

Варіант 1. Викладач вказує на студента і каже: «Слово!» Той каже слово, що стосується теми уроку. Показує на іншого студента і каже: «Пропозиція!» Другий студент складає пропозицію із цим словом.

Третій студент пропонує питання до цієї пропозиції, четвертий студент відповідає на неї. У результаті ми сформулювали та апробували наступні прийоми та методи інноваційного навчання: «Навчання спільно». «Концептуальна таблиця». «Т-схема». Аналіз семантичних характеристик. «Діаграма Венна». При виборі тих чи інших методів навчання ми прагнули

продуктивного результату. При цьому від студента потрібно не тільки зрозуміти, запам'ятати та відтворити отримані знання, а й уміння ними оперувати, застосовувати у практичній діяльності, розвивати, а також творчо підходити до рішення. Таким чином, гнучкість та адаптованість цих методів та прийомів дозволить викладачеві з рівною ефективністю використовувати їх у таких ситуаціях: – на закінчення заняття як практичне обґрунтування актуальності розглянутого питання; — паралельно до теми заняття - частина матеріалу передається в усному викладі, а інша - за допомогою вирішення проблеми; – замість лекції – вся тема заняття розкривається за допомогою інноваційних технологій.

Метод мозкового штурму претендує на універсальність застосування. Завдання «мозкового штурму» використати силу малої групи для генерування ідей загалом малі групи сильніші, ніж сума сил окремих її учасників. Мозковий штурм покликаний підштовхнути студентів, зайнятих вирішенням проблеми до висування великої кількості ідей, у тому числі, найнеймовірніших та фантастичних. Принцип, закладений в основу цієї стратегії, полягає в тому, що чим більше кількість висловлених ідей, тим більша ймовірність, що, принаймні одна з них виявиться вдалою. Таким чином, багато основних методичні інновації пов'язані сьогодні із застосуванням інноваційних технологій та методів навчання.

### **Висновки до розділу 1**

Професійна підготовка фахівців-машинобудівників має забезпечувати синергію знань, практики та інновацій, що дозволяє їм створювати продукцію високої якості й бути конкурентоспроможними на міжнародному ринку.

Концептуальні підходи до проблеми сучасних педагогічних технологій можуть бути втілені, якщо викладачі ЗВО самі володітимуть знаннями, вміннями та навичками, беручи активну участь у роботі з розробки та реалізації педагогічних технологій у діяльності ЗВО.

## **2. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ НА ОБРОБНО-ЧИСТОВИХ ОПЕРАЦІЯХ**

### **2.1 Проблеми забезпечення продуктивності та стабільності шорсткості при обробно-чистовій обробці складнопрофільних поверхонь**

У сучасному машинобудуванні широко використовуються деталі, що містять складнопрофільні поверхні. При цьому все різноманіття таких деталей щодо їх застосування в машинах, механізмах та технологіях можна умовно класифікувати на три класи [50]:

- Інструменти для відтворення таких деталей;
- Власне вироби;
- Напівфабрикати та заготівлі.

Зростаючі вимоги до якості робочих поверхонь штампів і прес-форм та розширення номенклатури продукції, що виготовляється з їх допомогою, створюють передумови для вдосконалення відомих та розробки нових методів обробки поверхонь деталей, що забезпечують не тільки високу продуктивність, але й створення поверхонь із необхідними параметрами якості. У зв'язку з цим подальше представлення матеріалу дослідження складає прикладі даного класу деталей.

Проведений аналіз робочих креслень, нормативної документації, технологічних процесів на виготовлення формоутворювальної оснастки показує, що технічні вимоги до штампів і прес-форм досить жорсткі (табл. 1.1): точність розмірів 7-11 квалітети; точність форми базових поверхонь, наприклад, відхилення від площинності до 0,05 мм/100 мм; шорсткість робочого контуру  $R_a \leq 0,2$  мкм. Наслідком цього є висока трудомісткість виготовлення штампів та прес-форм, що досягає сотень нормогодин.

Як очевидно з таблиці 2.1 найбільша частка трудомісткості посідає обробку складнопрофільних поверхонь (35...70 %) і площин (20...40 %). Значні трудовитрати пояснюються наявністю в технологічному процесі оздоблювально-

чистових операцій (таких як шабріння, полірування, доведення), які виконуються, як правило, вручну. Необхідність їх введення пояснюється тим, що попередні за технологічним процесом операції механічної обробки (чистове фрезерування, як об'ємне, так і торцеве) забезпечують точність розмірів, але не можуть забезпечити заданих кресленням параметрів якості оброблюваних поверхонь (шорсткості та якості поверхневого шару) через свої технологічних можливостей. Як інструмент для полірування використовуються насадки з електричним або пневматичним приводом. За принципом дії приводи поділяються на обертальні прямі, кутові та зворотно-поступальні. Ріжучим інструментам є напилки та надфілі, шліфувальні бруски та абразивні стрічки, пелюсткові круги, фетрові смуги.

Таблиця 2.1 - Технологічний процес виготовлення поверхонь прес-форми [50]

| Поверхня                     |           |                                                                | Технологічний процес                                                                        |              |
|------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Найменування                 | Тип       | ТТ                                                             | Найменування операції                                                                       | Трудоемність |
| Складнопрофільна поверхність | Виконавча | ПТ8 - ПТ11<br>$Ra \leq 0,2$                                    | Фрезерна з ЧПУ (чорн.)<br>Фрезерна з ЧПУ (напівчмс.)<br>Фрезерна з ЧПУ (чист.)<br>Доведення | 35...70%     |
| Площина роз'єму              | Виконавча | ПТ8 - ПТ11<br>$Ra \leq 0,63$<br>$\Delta_{\text{ш}} < 0,1/100$  | Фрезерна (чорн.)<br>Фрезерна (чист.)<br>Шліфувальна<br>Полірувальна                         | 20...40%     |
| Базова площина               | Базова    | ПТ9 - ПТ11<br>$Ra \leq 1,25$<br>$\Delta_{\text{ш}} < 0,05/100$ | Фрезерна (чорн.)<br>Фрезерна (чист.)<br>Шліфувальна                                         | 15...30 %    |
| Отвори (під штифти)          | Базова    | ПТ8 - ПТ10<br>$Ra \leq 1,25$                                   | Свердлильна<br>Свердлильна (зенкер-я)<br>Свердлильна (розгорт-я)                            | 15...20 %    |
| Вільна Площина               | Вільна    | ПТ12 - ПТ14<br>$Ra \leq 1,25$                                  | Фрезерна (чорн.)<br>Фрезерна (чист.)                                                        | 10...20 %    |

Наявність ручних обробно-чистових операцій у технологічному процесі не тільки підвищують трудомісткість виготовлення штампів та прес-форм, але й не дозволяють забезпечити стабільність параметрів якості поверхонь, що обробляються. Нестабільність параметрів якості оброблених поверхонь призводить до появи браку, що потребує додаткової обробно-чистової операції та відповідно додаткових витрат. Нестабільність геометричних параметрів якості оброблених поверхонь може відбуватися не тільки при переході від однієї деталі до іншої, але й навіть у межах однієї обробленої поверхні. Це з тим, що у процесі обробки змінюються умови і режими різання. Особливо це актуально при обробці складнопрофільних поверхонь, де на різних ділянках шорсткість може значно змінюватися. На рисунку 2.1 наведено фотографію прес-форми, на робочій складнопрофільній поверхні якої проведено вимірювання шорсткості в десяти точках. Результати виміру представлені як графіка рисунку 2.2. Шорсткість у точках 3, 5 і 6 вище заданої за кресленням і вимагає додаткового полірування цих точках.



Рисунок 2.1 – Прес-форма



Рисунок 2.2 – Шорсткість складнопрофільної поверхні прес-форми

Явище випадкового розкиду характеристик технологічного процесу отримало назву розсіювання [15, 172]. Для опису розсіювання вихідних характеристик технологічного процесу чи операції використовують дві форми графічного відображення: крива розсіювання та точкова діаграма. Побудова гістограм та полігонів розподілів розмірів деталей є практично стандартною процедурою, що досить добре описана в літературі [15, 172]. Аналіз розсіювання параметрів шорсткості трапляється значно рідше. Пов'язано це з вищою трудомісткістю виміру параметрів шорсткості порівняно з виміром розмірів. Однак, стохастичні моделі для опису оздоблювально-чистої обробки в літературі представлені досить слабо.

На рисунку 2.3 показано щільність розподілу шорсткості при стохастичному математичному моделюванні для двох варіантів обробки. Середні значення шорсткості  $Ra_{ср}$  для двох варіантів однакове і менше заданого значення за кресленням  $Ra_{чер}$ . Поле розсіювання шорсткості при першому варіанті обробки (крива 1) менше, ніж у другому. При другому варіанті обробки (крива 2) у деяких деталей шорсткість  $Ra$  більша за задану за кресленням  $Ra_{чер}$ , що відповідає браку за параметром  $Ra$ . Тому під час проектування операції необхідно прогнозувати як  $Ra_{ср}$  а й щільність розподілу шорсткості виключення появи браку.

Таким чином, підвищення стабільності якості та продуктивності

технологічних процесів виготовлення штампів та прес-форм є актуальними завданнями, і вирішення їх має бути пов'язане з удосконаленням обробно-чистових операцій складнопрофільних поверхонь.

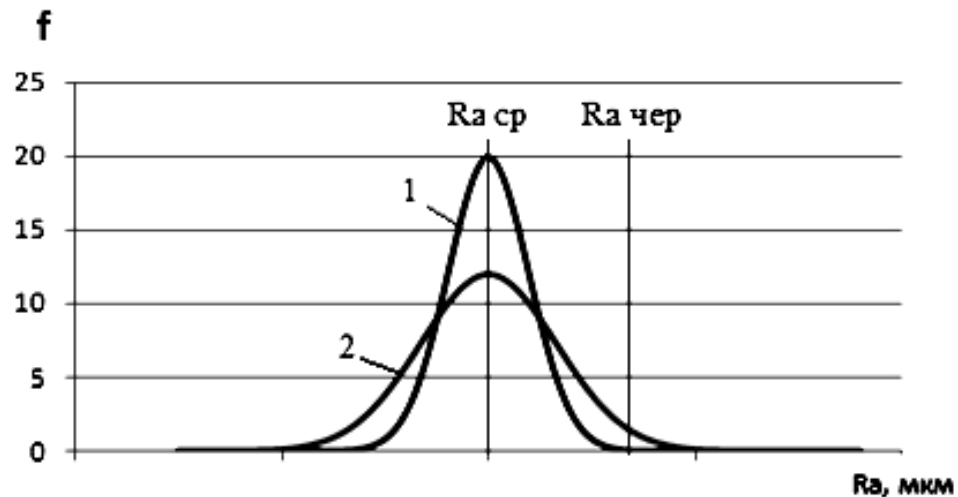


Рисунок 2.3 – Щільність розподілу шорсткості

Для отримання при механічній обробці стабільних параметрів якості поверхні необхідно, щоб технологічне оснащення металообробки відповідало сучасним вимогам автоматизації та точності виробництва виробів. В даний час лезова обробка металів досягла високих показників забезпечення якості обробленої поверхні, що дало передумови для широкого застосування лезової обробки в умовах багатомономенклатурного автоматизованого виробництва з використанням програмно-керованого обладнання. Рівень автоматизації оздоблювально-чистової обробки на даний момент значно нижчий, ніж лезовий. Основним фактором стримування є недостатнє вивчення основних технологічних закономірностей оздоблювально-чистових операцій на верстатах з ЧПУ. Зокрема, відсутні методики розрахунку та призначення технологічних параметрів процесу, вибору траєкторій руху інструменту, відсутнє надійне технологічне оснащення оздоблювально-чистових методів обробки на верстатах з ЧПУ, що забезпечує стабільну якість оброблюваних поверхонь.

– Магнітно-абразивна обробка складнопрофільних поверхонь

Магнітно-абразивна обробка - оздоблювально-чистовий метод, який

забезпечує задані параметри якості плоских поверхонь, а також внутрішніх та зовнішніх поверхонь тіл обертання, виготовлених як із металевих, так і неметалічних матеріалів та характеризується ефективністю та економічністю. Процес магнітно-абразивної обробки здійснюється в магнітному полі при русі відносно один одного абразивних частинок та заготовлі (ГОСТ 23505-79). Вперше процес магнітно-абразивної обробки застосований в 1938 Каргаловим Н. І., для полірування деталей машин з використанням енергії магнітного поля і отримав авторське свідоцтво на цей спосіб [7].

Магнітно-абразивне оброблення за час 60...100 с. дозволяє сформувати поверхню деталі, мікрорельєф якої немає слідів попередньої обробки. Висока пластичність і в'язкість ряду сплавів ускладнюють досягнення поліруванням низької шорсткості поверхні зразків. Цим пояснюються малі значення шорсткості за параметром  $R_a$  у матеріалів, що мають підвищену крихкість і відносно високу магнітну проникність. Продуктивність процесу, інтенсивність видалення матеріалу, а також якість обробленої поверхні залежать від розміру робочого зазору, окружної швидкості обертання заготовки, щільності магнітного потоку, матеріалу заготовки типу і зернистості магнітно-абразивного порошку [204].

Тенденція розвитку процесу магнітно-абразивної обробки полягає в переході від обробки циліндричних і плоских деталей простої форми до складнішої просторової форми і збільшення геометричних розмірів оброблюваного виробу. Проведені раніше дослідження були спрямовані на розробку загальних теоретичних положень фізичних основ та технологічних особливостей методу, проте проведений аналіз показує, що дані дослідження в основному стосувалися деталей простої геометричної форми, виготовлених з різних матеріалів, тоді як роботи, присвячені магнітно-абразивній обробці виробів складної просторової форми, носять стохастичний та розрізнений характер.

Цікавим є розгляд принципової можливості магнітно-абразивної обробки різних видів складнопрофільних поверхонь деталей, до якості яких пред'являються підвищені вимоги. Важливим з погляду ширшого поширення процесу магнітно-абразивної обробки є встановлення сфери застосування для різних матеріалів.

Для магнітно-абразивної обробки з великими проміжками розроблено безліч схем. Обробка заготовок, що консольно закріплюються, здійснюється за допомогою схем, наведених на рисунку 2.4 [6]. Характерною тут є надійність утримування порошку в міжполюсному просторі із шириною  $m = D + 2\delta$  незалежно від магнітних властивостей заготівлі. Відмінність обробки матеріалів з різними значеннями  $\mu$ , складатиметься у величині сил різання та тривалості полірування. Нормальні складові сил різання тут суттєво залежать від напору магнітно-абразивного порошку, що рухається на заготівлю, а отже, і від швидкості  $V_p$  його руху.

При обертанні заготовки порошок з передньої зони поступово перекачується через робочі зазори у задню зону по відношенню до напрямку  $V_p$ . Позаду заготовки на деякій довжині утворюється розріджена зона, яка в міру збільшення діаметра заготовки може бути вільною від порошку. Схема з прямокутною формою міжполюсного простору (рисунок 1.4 а) найбільш проста в реалізації і може бути відтворена на вертикальному або широкоуніверсальному фрезерному верстаті. Обертання  $n$  та рух  $V_p$  забезпечується приводом верстата, а для осциляції  $\cos \alpha$  заготівлі необхідна модернізація шпиндельного вузла верстата. Замість осциляції  $\cos \alpha$  можна скористатися пульсуючим магнітним полем.

У схемі рисунку 1.4б межполюсное простір виконано як кільцевої ванни. На відміну від попередньої схеми тут не потрібні реверси руху  $V_p$ , напір порошку на заготовку по всьому шляху руху заготовки вздовж кола ванни постійний. Зони розріджувального порошку з'являються позаду заготовки і можуть відбитися на

зниженні сил різання при одночасному обробленні декількох заготовок і близькому їх розташуванні відносно один одного по колу ванни. Детальні дослідження [6, 109] показали, що полірування в кільцевій ванні може при необхідності проводитися з різними поєднаннями робочих рухів.

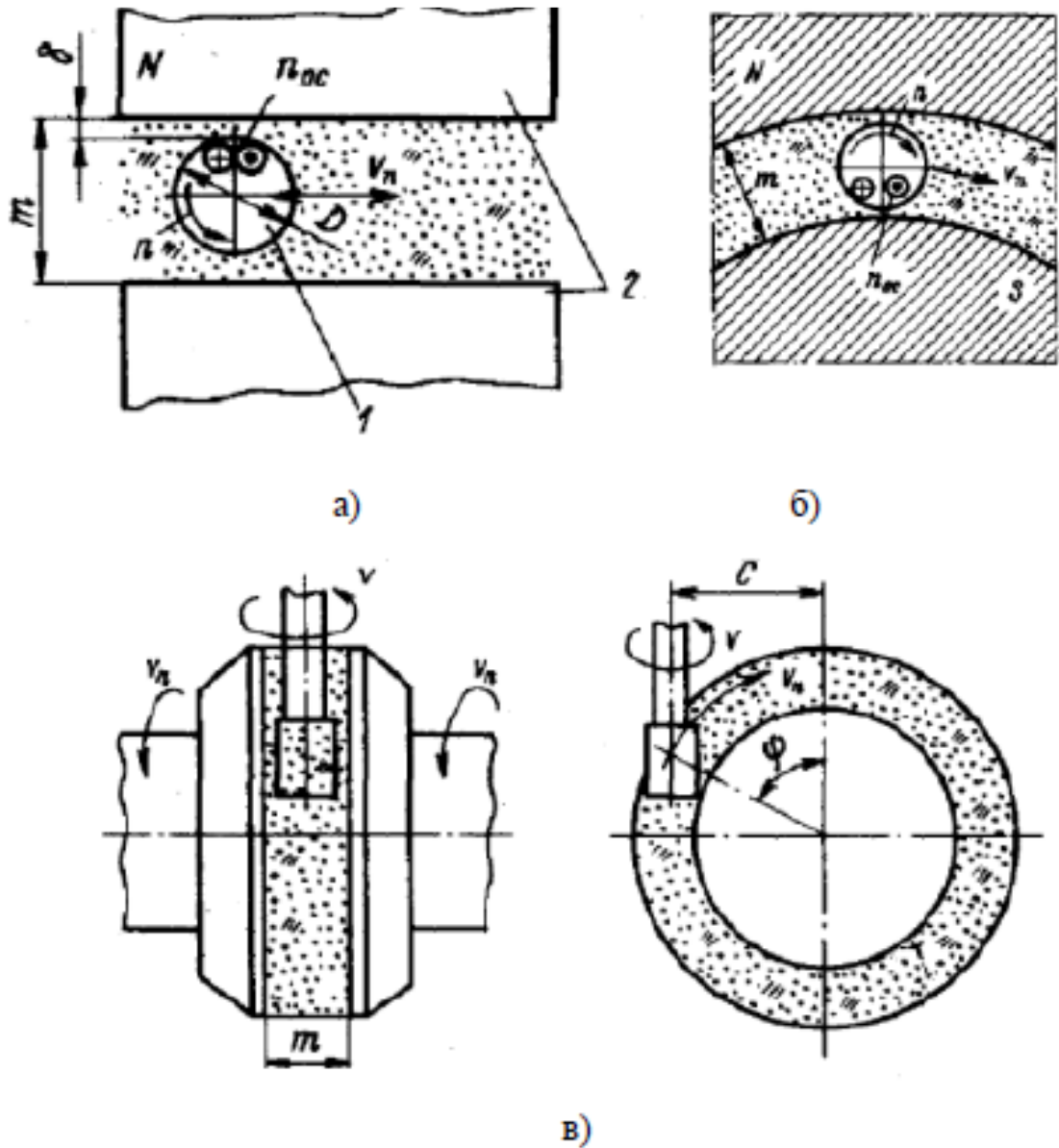


Рисунок 2.4 – Схеми магнітно-абразивної обробки циліндричних і фасонних поверхонь: а) прямокутною робочою зоною, б) кільцевою робочою зоною, в) з полюсами, що обертаються [6]

На рисунку 2.4 наведена схема з обертовими полюсами, що утворюють також кільцеве міжполюсне простір. Схема призначена для полірування

циліндричних та фасонних заготовок. Зміщенням осі заготовки на різні відстані Від площини симетрії полюса можна направляти потік порошку під різними кутами до циліндричних і торцевих ділянок, керувати таким чином силами різання на різних ділянках і інтенсивністю їх обробки. Варіюючи цим же зміщенням та швидкостями.

### **3 МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗЙОМУ МЕТАЛУ І ФОРМУВАННЯ ШЕРХОВАНOSTІ ПРИ МАГНІТНО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ**

#### **3.1 Фізична модель магнітно-абразивної обробки**

Сукупність перерахованих вище завдань є науковою проблемою, яку слід розглядати з позиції системного підходу. Даний підхід дозволяє розглянути окремі елементи технологічної операції, вивчити його логічну структуру та взаємозв'язки, сукупність вхідних та вихідних параметрів, які потрібні для випуску продукції.

Для створення моделі процесу магнітно-абразивної обробки необхідно математично описати взаємодію магнітно-абразивних зерен з матеріалом заготівлі та на основі цього опису розрахувати характеристики знімання металу та одержуваної шорсткості залежно від режимів різання та інших параметрів операції. У цьому структура математичної моделі має відповідати структурі процесу обробки – у цьому полягає принцип створення математичної моделі.

Найбільш широкими технологічними можливостями при обробці поверхонь має схему обробки циліндричним індуктором. Незважаючи на меншу продуктивність такої схеми, вона забезпечує більш стабільні параметри шорсткості обробленої поверхні у зв'язку з однаковими умовами обробки по всій зоні контакту інструменту та заготівлі [60]. На рисунку 3.1 показано схему магнітно-абразивної обробки циліндричним індуктором. Необхідно відзначити, що при обробці магнітних та немагнітних матеріалів розподіл порошку в зоні контакту суттєво відрізняється.

Під час обробки магнітних матеріалів силові лінії магнітного поля замикаються між полюсами через заготівлю. Магнітний порошок, концентруючись вздовж магнітних ліній, розташовується практично навпроти полюсів магнітопроводів. Навпроти магнітів порошок не чинить тиск на заготівлю, навіть якщо він переміщається у зазорі щодо руху індуктора та

заготівлі. При обробці немагнітних матеріалів силові лінії магнітного поля замикаються між полюсами через порошок. Фактично при обробці порошок розташовується так само, як і поза зоною контакту, за винятком його деформації в зазорі. Найбільше тиску порошку на заготівлю спостерігається навпроти магнітів індуктора. Тому можна вважати, що магнітно-абразивний порошок розташовується навпроти магнітів.

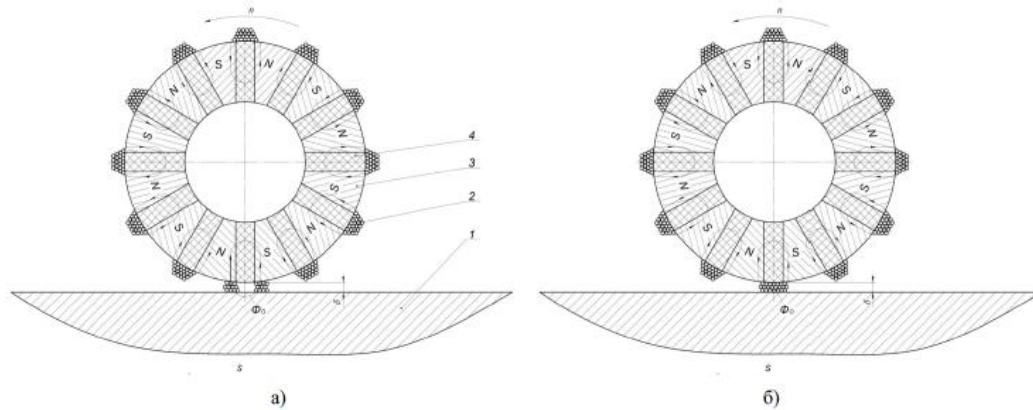


Рисунок 3.1 – Схема процесу магнітно-абразивної обробки: а) обробка магнітних заготовок; б) обробка немагнітних заготовок. 1 – заготівля; 2 – порція магнітно-абразивного порошку; 3 – магнітопровід; 4 – магніт.

За будь-якого виду заготівлі (магнітної або немагнітної) схема обробки близька до схеми переривчастого шліфування периферією кола.

Порівнюючи магнітно-абразивну обробку зі шліфуванням, слід зазначити, що шліфування здійснюється за значно більших швидкостей різання (15 - 40 м/с) і силах різання ( $P_z$  - 100 ... 500 Н), що супроводжуються інтенсивним тепловиділенням. При магнітно-абразивній обробці роль зв'язки абразивного інструменту виконує магнітне поле. Менш інтенсивний режим абразивної обробки і відсутність тертя зв'язки поверхню заготовки призводять до різкого зменшення температури в області контакту інструменту з заготівлею. Магнітне поле, що виконує роль еластичного зв'язування, дозволяє рівномірно розподіляти навантаження між зернами, що знаходяться в контакті з заготівлею, виключати перевантаження окремих зерен і разом з цим виключати різкі коливання

температур і напруг на оброблюваній поверхні [18]. Відсутність причин, що призводять до появи припалів і шаржування оброблюваної поверхні абразивом, сприяє збільшенню зносостійкості і довговічності як деталей, що пройшли магнітно-абразивну обробку, так і деталей, що працюють з ними в парі при терті. Зерна магнітно-абразивного порошку в робочих зазорах легко переміщуються та переорієнтуються. Це забезпечує безперервний вступ у роботу нових ріжучих кромek та тривале підтримування режимів різання, сприятливих для отримання високоякісних та довговічних поверхонь.

### **3.2 Системний підхід до аналізу операції магнітно-абразивної обробки**

Літературний огляд досліджень в галузі магнітно-абразивної обробки показав, що дослідження в галузі прогнозування шорсткості обробленої поверхні, що отримується на цій операції, не дозволяє гарантувати достатню для практичного використання точність розрахунків. Це з тим, більшість дослідників недостатньо враховують взаємозв'язку між вихідними параметрами операції та її станом, і навіть – впливом геть ці стану керованих і некерованих (випадкових) вхідних чинників. Більшість розроблених моделей взагалі є детермінованими і не враховують випадкові характеристики взаємодії абразивних зерен з поверхнею, що обробляється.

Відповідно до цього для побудови моделі магнітно-абразивної обробки пропонується використовувати системний аналіз, суть якого полягає в наступному:

- ✓ виявлення вхідних, вихідних факторів та станів системи;
- ✓ побудова загальної структури системи, що описує перетворення вхідних факторів у її стані та формування вихідних факторів залежно від станів системи;
- ✓ декомпозиція загальної структури з виявленням підсистем, що більш точно і докладно описують взаємодію вхідних факторів зі станами системи та станів з її вихідними факторами.

Вхідні параметри системи зазвичай поділяють на визначальні, керовані та обурюючі [172].

Визначальні параметри є практично незмінними або, принаймні, повинні бути такими (інакше вони мають бути віднесені до іншого виду параметрів – зазвичай до тих, що обурюють). Це, наприклад, марка оброблюваного та інструментального матеріалу, геометрія зони різання тощо. Позначимо визначальні параметри  $X_0$ .

До керованих параметрів відносять ті, на які можна впливати перед або під час обробки. Класичним прикладом керованих параметрів є параметри режимів різання. При проектуванні та виконанні операції саме цими параметрами забезпечують необхідні значення вихідних параметрів операції. Позначимо керовані параметри.

Обурювальні параметри є некерованими і в кращому разі, можливо, лише їх вимір при обробці. До них відносяться фактичні геометричні розміри заготівлі, її фізико-механічні властивості, конкретні властивості інструменту. Позначимо параметри, що обурюють  $X_b$ .

Набір вихідних чинників визначається здебільшого метою моделювання системи. Так, наприклад, для економічних розрахунків використовуються такі фактори, як собівартість та продуктивність. При дослідженні якості та точності обробки вихідними факторами є геометричні параметри якості обробленої поверхні тощо.

Підрозділ вхідних параметрів на визначальні, обурюючі та керовані досить умовно і залежить від постановки завдання. Наприклад, при проектуванні операції механічної обробки параметри інструменту можуть бути задані і вони відносяться до визначальних. Якщо в тій же задачі передбачається розрахунок або вибір інструменту, вони переходять до класу керованих.

Більшість вхідних параметрів містять як детерміновану, і випадкову складову. Параметри, що обурюють, є випадковими за визначенням. Випадкова

складова визначальних та керованих параметрів зазвичай має адитивний характер і вхідний параметр дорівнює сумі детермінованої та випадкової складової. На рисунку 3.2 показано загальну структуру системи в описаній вище постановці.

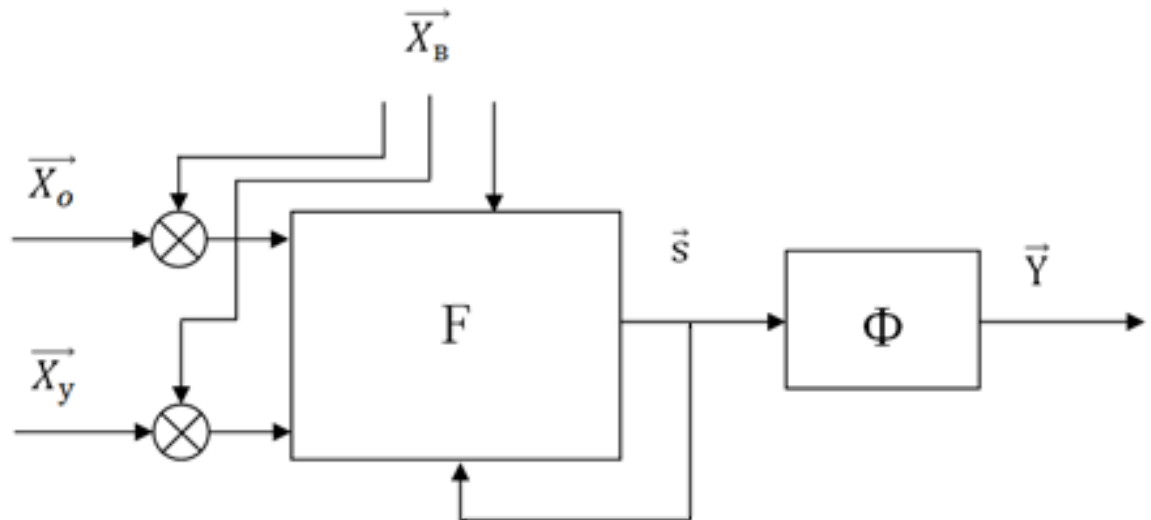


Рисунок 3.2 – Подання системи як функцій переходів і виходів

## 4. МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ

### 4.1 Обґрунтування структури моделі

Основний результат функціонування технологічної системи - формування сили різання, що визначається взаємодією магнітно-абразивного порошку, ущільненого магнітним полем, з поверхнею, що обробляється.

Модель технологічної системи процесу магнітно-абразивної обробки включає створення математичного опису двох методик розрахунку: магнітного поля в робочому зазорі, магнітних і механічних сил, що діють на кожне абразивне зерно, що знаходиться в робочому зазорі (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Структура моделі технологічної системи

При розрахунку магнітного поля в робочому зазорі і магнітних сил при магнітно-абразивній обробці зазвичай використовуються методики розрахунку магнітних полів, засновані на методі кінцевих різниць [18]. дозволяють вирішувати диференціальні рівняння в приватних похідних ефективніше. Ansys дає можливість використовувати багатоядерні та багатопроекторні системи на базі CUDA-технології, що дозволяє значно скоротити час розв'язання. візуалізацію як постановки задачі, так і її вирішення аж до динамічних явищ.

При розгляді магнітно-абразивного порошку магнітному полі його зазвичай розглядають як суцільне середовище [18], а сили впливу порошку на індуктор і заготовку розраховують через магнітну індукцію. Також можна розв'язати задачу розрахунку сил різання таким методом. Іншим способом є

моделювання розташування зерен у зоні контакту як упорядкованої структури.

Розглянемо зерна, які у вертикальних стовпчиках – Рисунок 4.2. Під час розгляду виявляється, що у висоті зазору між індуктором і заготовкою перебуває лише кілька зерен. Наприклад, для порошку 315/250 та при робочому зазорі близько 1 мм за його висотою розташовується в середньому лише 3-4 зерна.

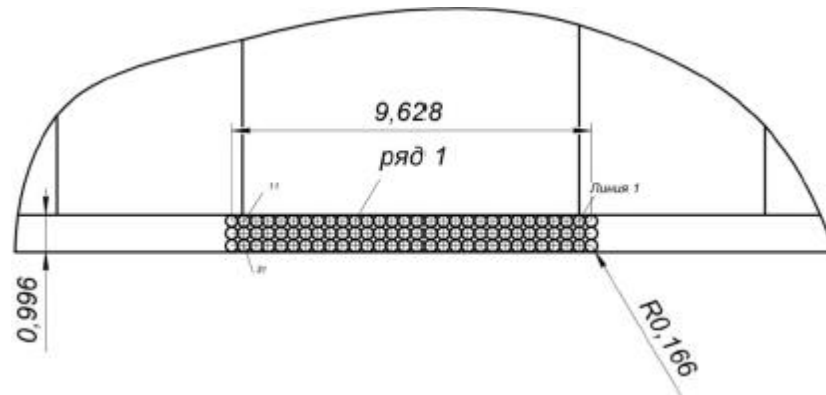


Рисунок 4.2 – Розрахункова схема зерен у зоні контакту як упорядкованої структури

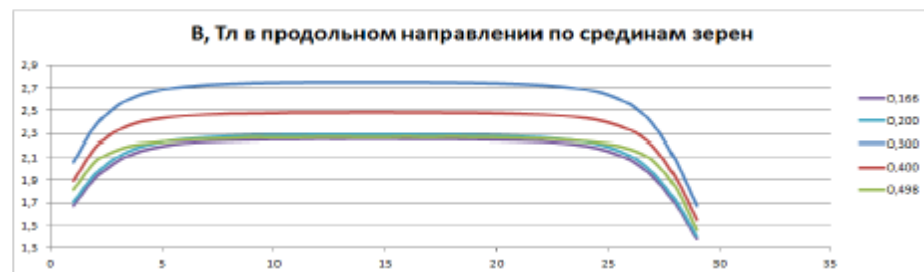


Рисунок 4.3 – Розподіл магнітної індукції у горизонтальному напрямі з упорядкованою структурою

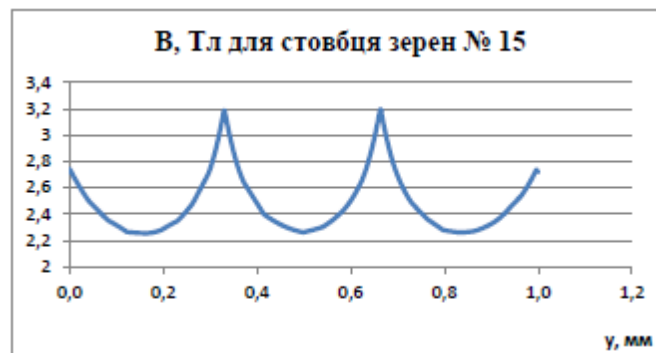


Рисунок 4.4 – Розподіл магнітної індукції у вертикальному напрямку із впорядкованою структурою

Розглянемо аналогічні співвідношення для суцільного середовища з магнітною проникністю зерен. На рисунку 4.5 показано розподіл індукції вздовж середовища. Для середньої частини магнітопроводу індукція практично стала, що відповідає рисунку 4.3. На рисунку 4.6 видно, зміна індукції за висотою зазору вбирається у 0,1 Тл. Мабуть, тому в розрахунках інших дослідників індукція в зазорі належить постійної.

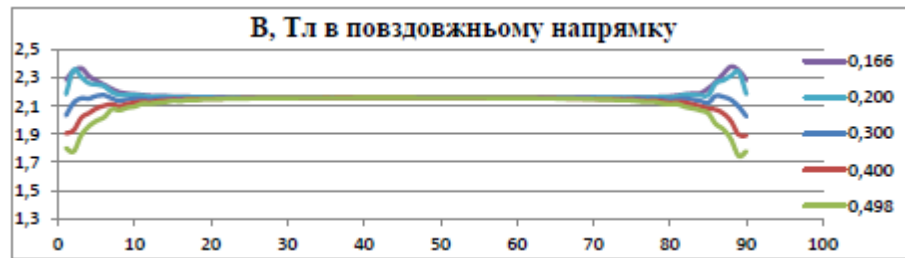


Рисунок 4.5 – Розподіл магнітної індукції у горизонтальному напрямку у суцільному середовищі

Це призводить до істотних похибок розрахунку магнітних сил аж до зміни характеру їх розподілу. ). Значення сил рисунку 4.8 значно. менше у зв'язку з значно меншим обсягом елемента середовища порівняно з обсягом зерен.



Рисунок 4.6 – Розподіл магнітної індукції у вертикальному напрямку у суцільному середовищі

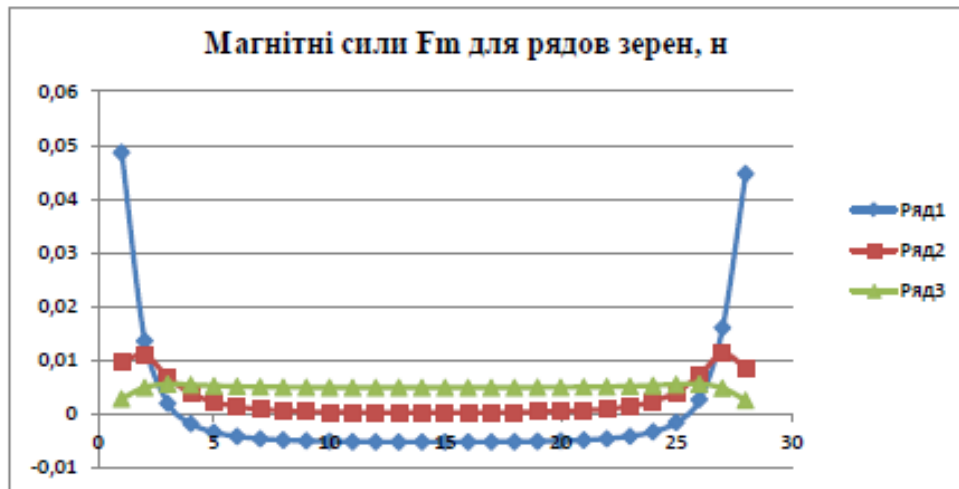


Рисунок 4.7 – Магнітні сили у робочому зазорі з упорядкованою структурою

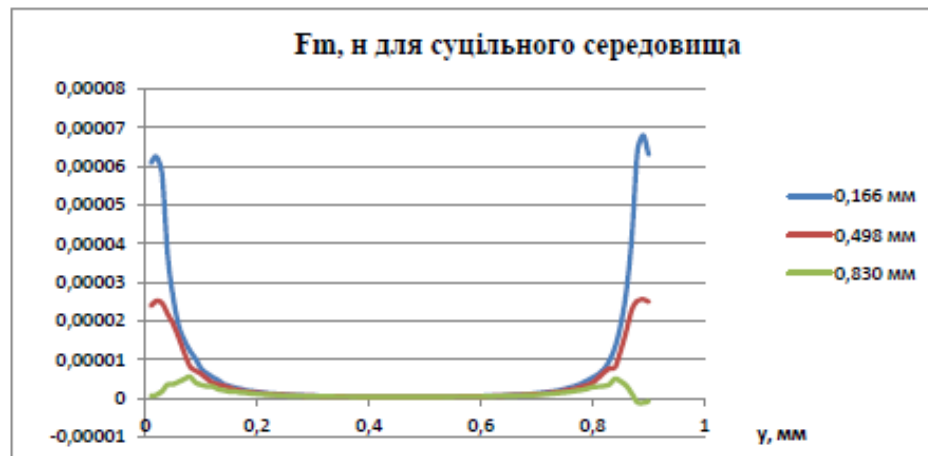


Рисунок 4.8 – Магнітні сили у робочому зазорі в суцільному середовищі

Насправді залежність індукції у зазорі і відповідні їй сили описується ще складнішими залежностями, оскільки зміна індукції по ширині магнітопровода також має періодичний характер. Значні "порожні місця" між зернами суттєво спотворюють магнітні поля у зазорі, що може призвести до значних похибок при розрахунку сил різання.

Застосування програмного пакета ANSYS Maxwell дозволяє задавати реальну форму абразивних зерен, враховувати зміну під час обробки, а також враховувати зміну магнітних властивостей порошку в процесі обробки. Однак використання зерен реальної форми при 3D-моделюванні для розподілу

магнітного поля в зазорі вимагає створення дуже дрібної сітки на межах середовищ. Це з тим, що з переході від однієї матеріалу до іншого (наприклад, з немагнітного зазору між зернами до магнітних зерен) властивості різко, практично поступово змінюються. Для забезпечення точності чисельних розрахунків потрібна суттєво дрібна сітка. Ця ж проблема має місце і при 2D-моделюванні, але при вирішенні плоских завдань точність розрахунків досягти простіше, а час моделювання значно знижується.

Зменшити час моделювання можна також апроксимацією одержуваних залежностей. Наприклад, якщо необхідно вивчити вплив будь-якого параметра на розподіл індукції в зазорі (наприклад, геометричних розмірів магнітів), можна провести серію попередніх розрахунків з великим кроком, а потім апроксимувати отримані дані з отриманням досить простих для використання залежностей. Можна навіть будувати адаптивні алгоритми, у яких за необхідності уточнення залежності підключається метод кінцевих елементів, а звичайному режимі використовуються залежності, отримані за базою даних раніше проведених розрахунків.

Розрахунок механічних сил, які діють індуктор і заготівлю вимагають визначення контактних сил між зернами. Для розрахунку механічних сил у робочому зазорі використовувався ANSYS Workbench (Рисунок 3.9) модуль Static Structural (Рисунок 3.9а) та модуль Explicit Dynamics (Рисунок 3.9б). В ANSYS Workbench є можливість згущення сітки в областях, де проходить пластична деформація деталі. Це дозволяє скоротити загальний час як на побудову самої сітки, так і на розрахунок. Спроба розрахувати механічні напруги та сили, з якими зерна діють на індуктор та заготівлю за допомогою цих додатків виявилася невдалою через похибки розрахунку (рисунок 4.10).

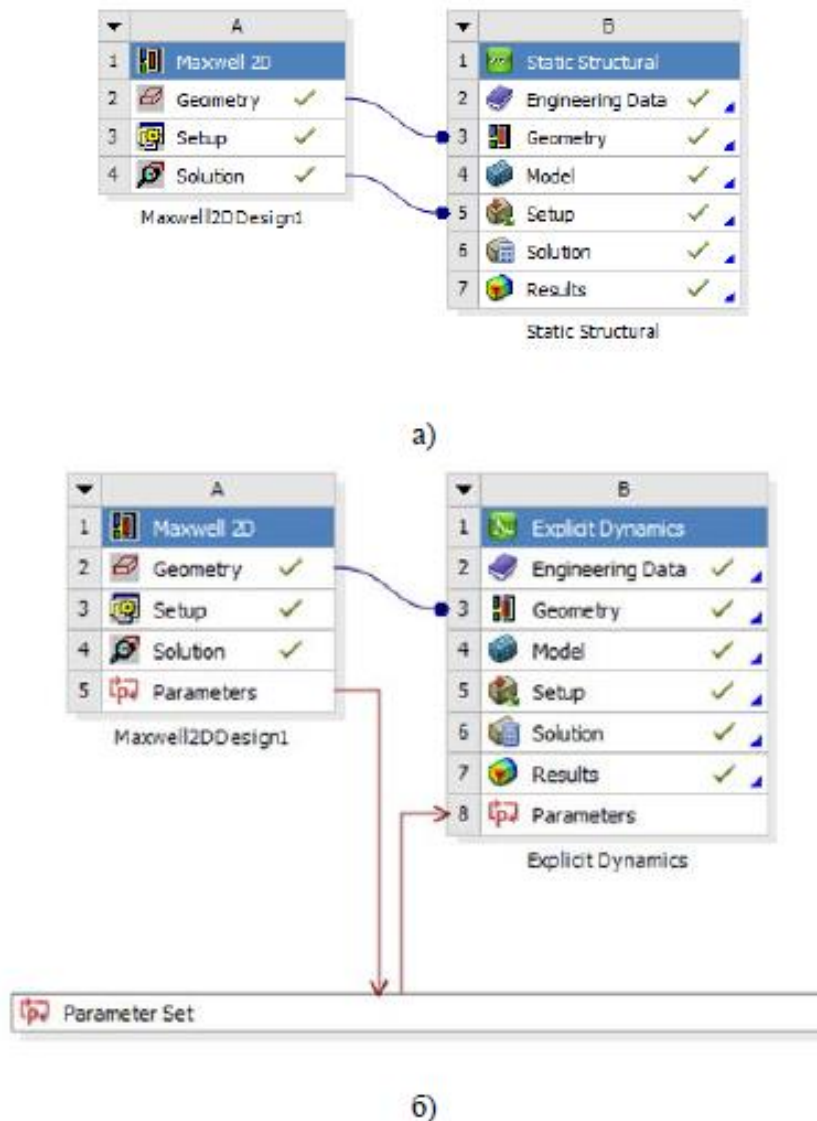


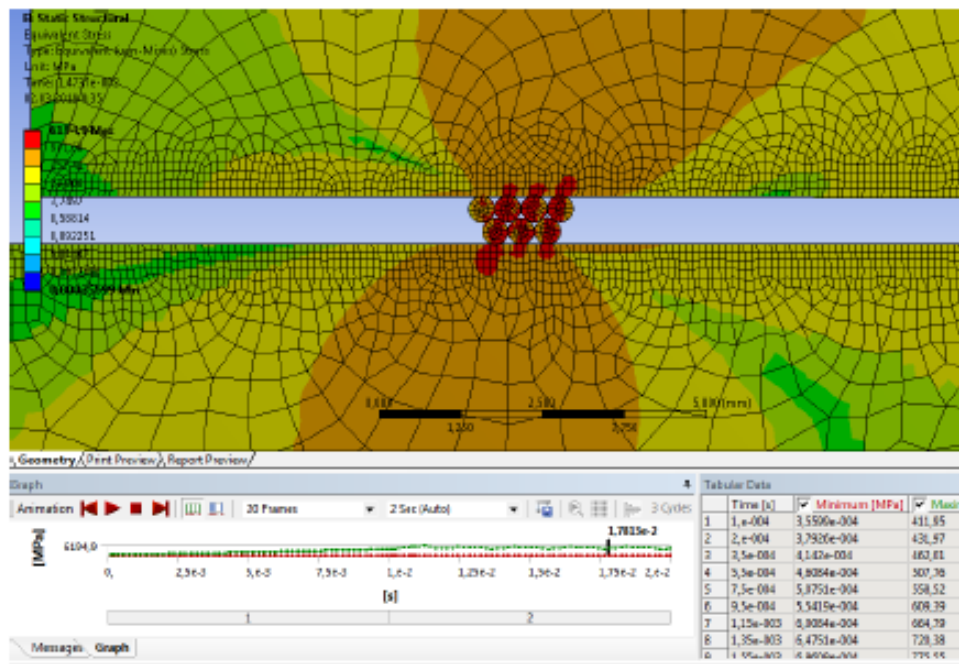
Рисунок 4.9 – Структура моделі ANSYS Workbench: а – модуль Static Struc-tural; б – модуль Explicit Dynamics

Причиною низької точності розрахунку деформацій є практично точковий контакт між зернами. У зоні контакту зерен напруги прагнуть до нескінченності. модулях Static Structural Explicit Dynamics при зміні та повторній побудові сітки, старі параметри сітки замінюються новими, у той час як у LS-DYNA при створенні нової сітки вона накладається на стару, що сприяє появі помилок під час обчислення. Крім цього, LS-DYNA має можливість аналізу процесу без побудови сітки кінцевих елементів. використовується метод згладжених частинок (SPH) - даний метод скорочує повний час на обчислення процесу

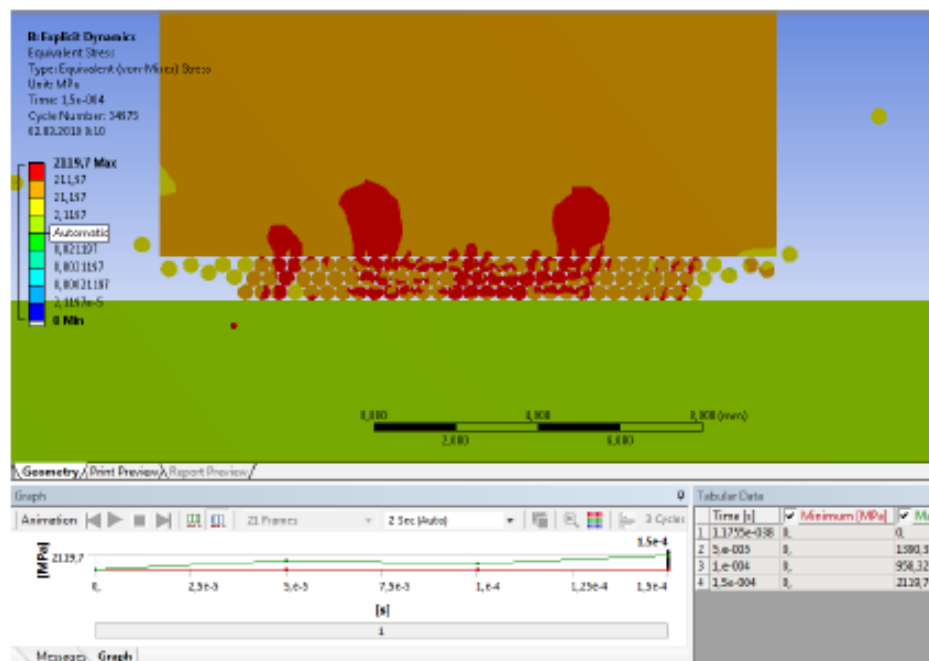
порівняно з часом, що витрачається в інших системах CAE.

Метод SPH працює з використанням розподілу об'єкта на дискретні елементи, які називають частинками. Ці частинки мають просторові розміри та відстані, на яких їх властивості згладжуються, тому будь-яка фізична величина частки може бути отримана шляхом підсумовування відповідних величин всіх частинок, що знаходяться в межах двох згладжених довжин. Тому цей підхід хоч і дуже перспективний, але тема окремого дослідження.

З іншого боку, механічні сили при взаємодії зерен можна розраховувати і без обчислення напруги при їх контакті. Справа в тому, що в процесі обробки зерна в зоні контакту практично нерухомі і їхнє перемішування відбувається тільки при зміні магнітного поля при виході/вході зерен у зазор. Тому розрахунку сил можна вирішувати завдання статичного рівноваги зерен під впливом магнітних і механічних сил. Саме такий підхід і було вирішено використати для розрахунку сил різання.



а)



б)

Рисунок 4.10 – Результати розрахунку ANSYS Workbench: а – модуль Static Structural; б – модуль Explicit Dynamics

– Розрахунок магнітного поля

Величина магнітної індукції в робочому зазорі є важливим параметром для оцінки магнітної сили, що діє на абразивні зерна, що впливає на продуктивність - знімання матеріалу при магнітно-абразивної обробки. Розрахунок магнітної індукції (B) у робочому зазорі виконувався за допомогою методу кінцевих елементів. Для цього був використаний програмний пакет ANSYS Maxwell, що дозволяє вирішувати завдання магнітостатики. Навіть без використання CUDA-технології час розв'язання задачі не перевищує 10 хвилин.

На рисунку 4.11 показаний приклад розташування зерен у зазорі. Магнітна система складається з двох магнітопроводів та одного магніту. Магніт має максимальний напрямок магнітного поля, намагнічений уздовж осі "X". В результаті один магнітопровід стає полюсом S, а інший N. Зерна моделюються кульками.

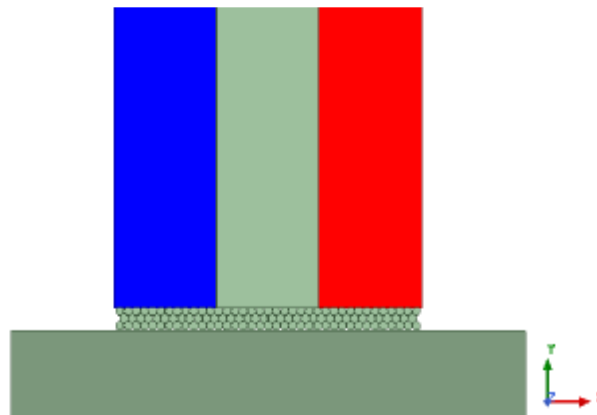


Рисунок 4.11 – Приклад розрахункової схеми моделювання

Для завдання необхідних властивостей матеріалів пакет ANSYS Maxwell має велику бібліотеку матеріалів з можливістю редагування фізичних властивостей існуючих матеріалів та створення нових (рисунок 4.12)

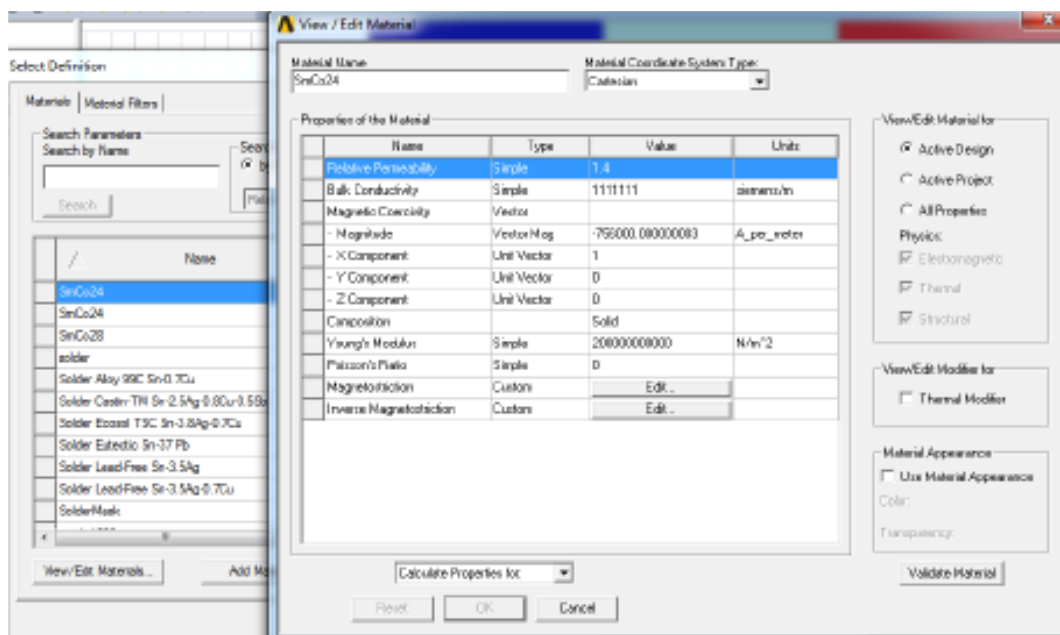


Рисунок 4.12 – Екранна форма завдання властивостей матеріалу

ANSYS Maxwell вирішує завдання електромагнітного поля, використовуючи рівняння Максвелла в кінцевій області простору з відповідними граничними умовами та певними користувачем початковими умовами, щоб отримати гарантовано єдине рішення. Для вирішення завдання створюється розв'язувач (рисунок 4.13). У вирішувачі налаштовується мінімальна та максимальна кількість проходів, величина помилки та розмір збільшення елементів сітки після кожного проходу. Перед рішенням задається кількість елементів сітки (рисунок 4.14).

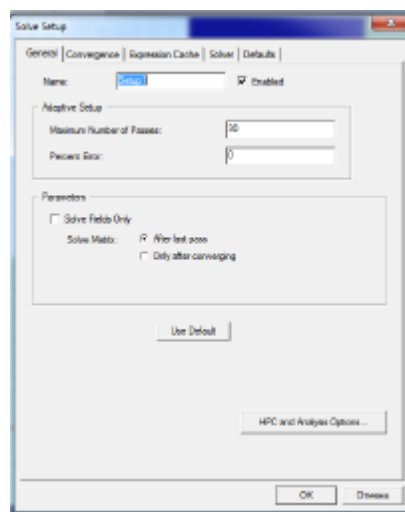


Рисунок 4.13 – Екранна форма вирішувача

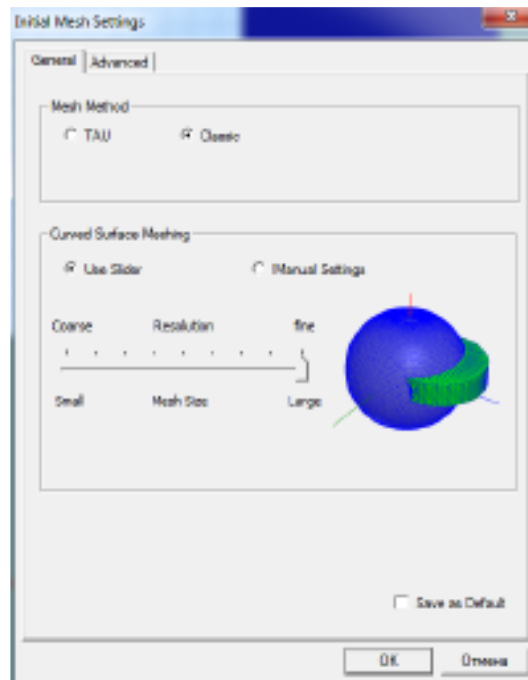


Рисунок 4.14 – Екранна форма завдання кількості елементів сітки

Для вирішення геометрія задачі автоматично розбивається на трикутні елементи двовимірної задачі. ANSYS Maxwell використовує методику автоматичної адаптивної генерації сітки. Такий помилкостійкий алгоритм автоматично визначає місця створення та згущення кінцево-елементної сітки у міру виконання розрахунків. Це дозволяє прискорити процес отримання рішення і робить це програмне забезпечення простим у використанні.

Результатами розрахунку є значення магнітної індукції у робочому зазорі. На рисунку 4.15 наведено приклад значень магнітної індукції на поверхні магнітної та немагнітної заготовки. З графіків видно, що у магнітної заготівлі під полюсами значення магнітної індукції вище, ніж в немагнітної заготовки. У немагнітної заготівлі максимальне значення магнітної індукції спостерігається під магнітом. Коливання магнітної індукції на графіках викликані не динамікою, а наявністю зерен у робочому зазорі. Якщо розглянути робочий зазор без зерен, а запільний повітрям – криві виходять плавні, але зменшується їх значення через зниження магнітної проникності.

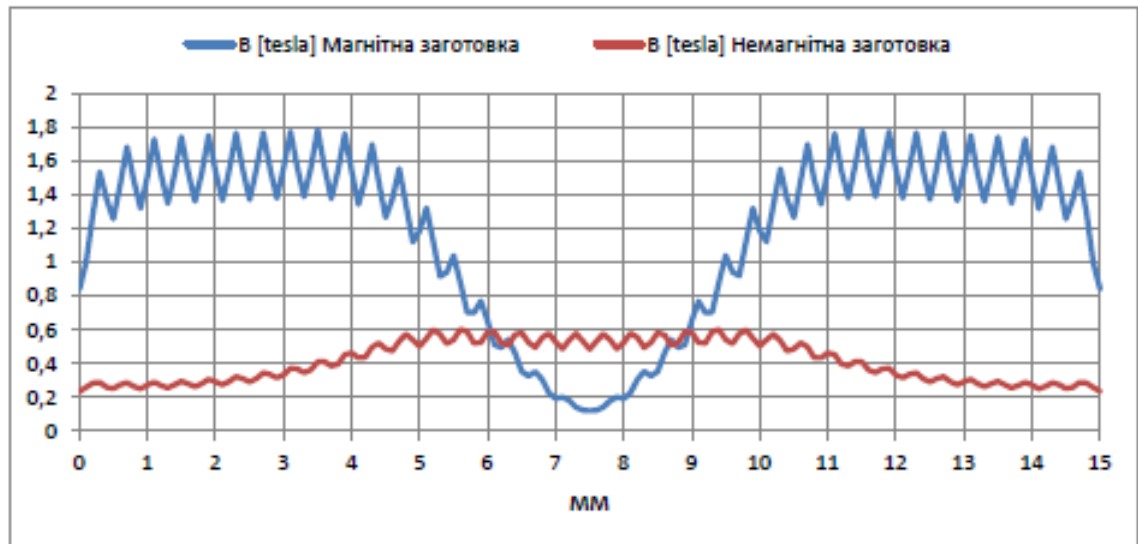
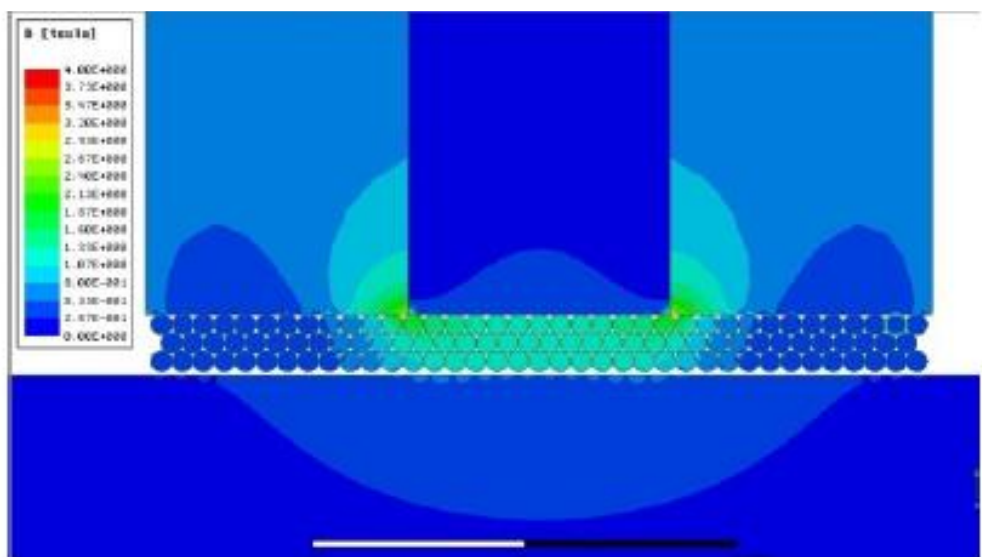
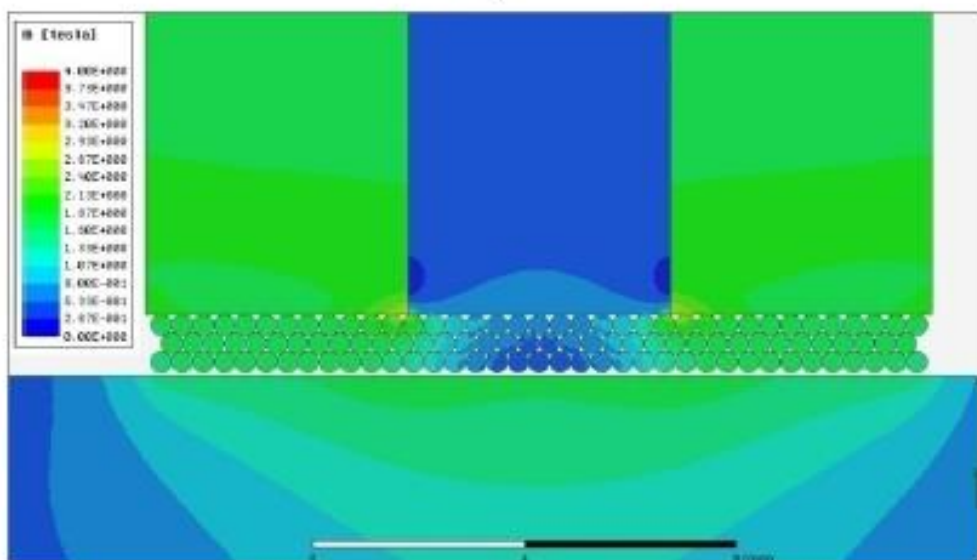


Рисунок 4.15 - Графік магнітної індукції на поверхні заготівлі в залежності від магнітної проникності заготівлі

Також результатами розрахунку є картини розподілу магнітної індукції в робочому зазорі, якими можна визначити місця концентрації магнітно-абразивного порошку. Картини розподілу магнітної індукції в робочому зазорі при обробці магнітної та немагнітної заготовки показані на рисунку 4.16. При моделюванні магнітно-абразивної обробки немагнітної заготівлі концентрація магнітного поля спостерігається під магнітом (рисунок 4.16а), через це магнітно-абразивний порошок у робочому зазорі концентрується під магнітами. При моделюванні магнітно-абразивної обробки магнітної заготовки магнітне поле концентрується під полюсами (рис. 4.16б).



а)



б)

Рисунок 4.16 – Картина розподілу магнітної індукції у робочому зазорі:

а) немагнітна заготівля; б) магнітна заготівля

На значення магнітної індукції на поверхні заготівлі також впливають матеріал магніту і залишкова його намагніченість. використання магнітів марки NdFeB дозволяє створити великі значення магнітної індукції лежить на поверхні заготівлі, отже, і великі значення магнітних сил.

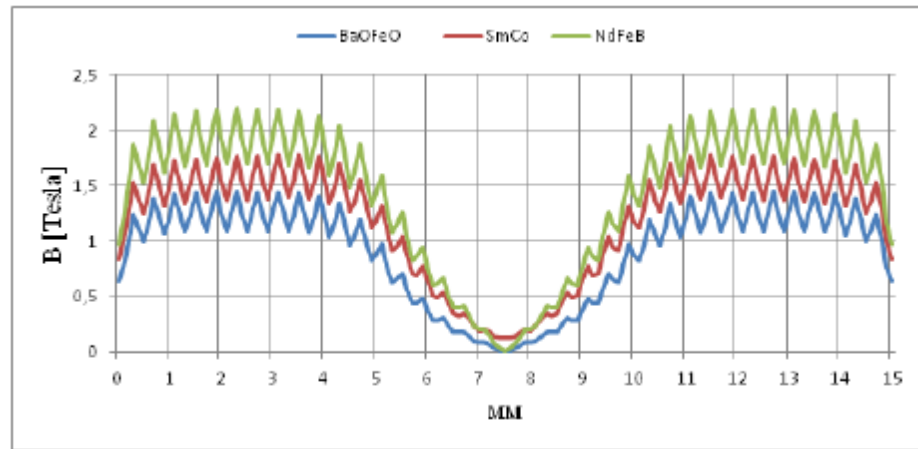


Рисунок 4.17 – Графік магнітної індукції на поверхні заготівлі в залежності від матеріалу магніту

– Вплив геометричних та конструктивних параметрів індукторів на магнітну індукцію

Дослідження впливу геометричних параметрів індукторів на магнітну індукцію проводилося за допомогою однофакторних експериментів із застосуванням програмного пакета ANSYS Maxwell. рис. 4.18). Магнітна індукція вимірювалася на відстані 1 мм від робочої поверхні індуктора. прийнята висота магнітів та магнітопроводів 40 мм, які ширина 5 мм.

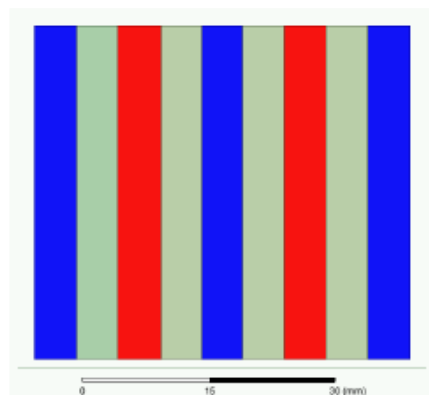


Рисунок 4.18 – Розрахункова схема індуктора

При дослідженні змінювалася висота (h) магнітів та магнітопроводів від 5 мм до 40 мм, ширина магнітів (bm) від 1 мм до 6 мм, ширина магнітодротів (bp) від 1 мм до 11 мм.

Після проведення досліджень були отримані результати, представлені у

вигляді графіків на малюнках 4.19 - 4.21. Максимальне значення магнітної індукції спостерігається під магнітами, і вона поступово знижується до середини магнітопроводу. під магнітами

При зменшенні висоти з 40 мм до 30 мм немає значних змін магнітної індукції (рисунок 3.19). Подальше зменшення висоти магнітів і магнітопроводов призводить до зниження магнітної індукції, отже, і магнітних сил.

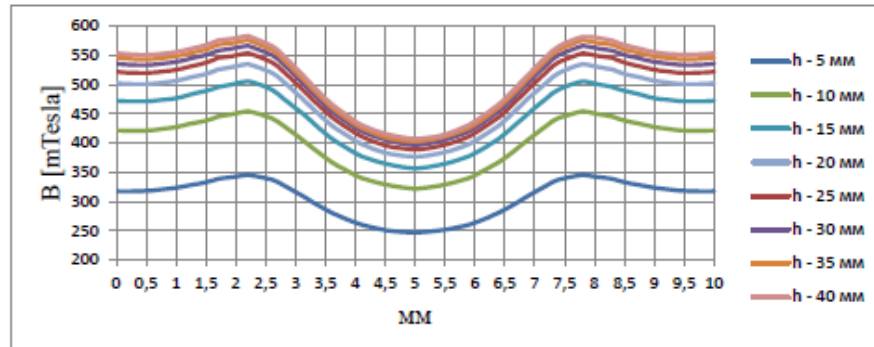


Рисунок 4.19 – Вплив висоти магнітів та магнітопроводів на магнітну індукцію

При зменшенні ширини магнітів відбувається зниження та зменшення перепаду між максимальним та мінімальним значенням магнітної індукції (рисунок 4.20).

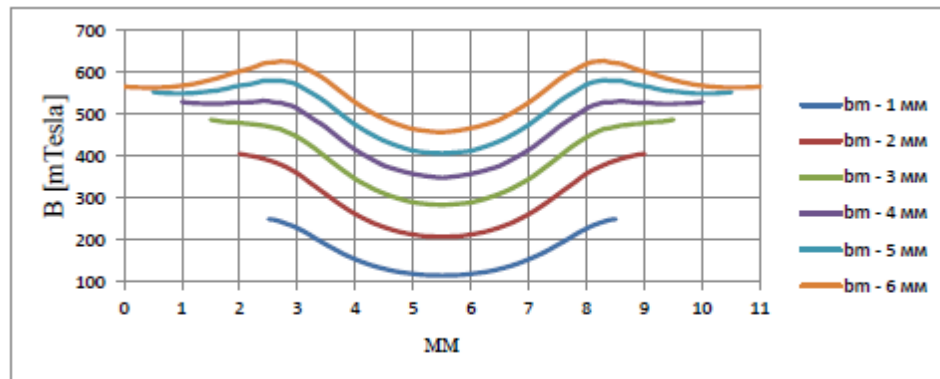


Рисунок 4.20 – Вплив ширини магніту на магнітну індукцію

Дослідження показали, що розміри магнітів і магнітопроводів надають значний вплив на магнітну індукцію на робочій поверхні індукторів. як збільшення висоти не призводить до зміни магнітної індукції, але збільшує вартість магнітів.

## **5 ПРОЕКТУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ**

### **5.1 Методика проектування операцій магнітно-абразивної обробки**

Проектування та вдосконалення технологічних процесів являє собою складне завдання, що перебуває в взаємозв'язку з процесами науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) та виробництвом та визначальна готовність виробництва до випуску нових виробів.

Створення та вдосконалення технологічних процесів слід розглядати з позиції системного підходу. Даний підхід дозволяє розглянути окремі елементи технологічного процесу, вивчити його логічну структуру та взаємозв'язки, сукупність всіх стадій, які потрібні для випуску продукції.

Технологічні процеси обробки деталей одного класу, що виготовляються на різних підприємствах машинобудівної галузі, відрізняються один від одного, так як їх проектування на етапі технологічної підготовки виробництва і подальше впровадження залежить від великої кількості різноманітних факторів і різних варіантів вирішення технологічних завдань. У процесі проектування сучасного та конкурентоспроможного виробництва необхідно прагнути до певної типізації технологічних процесів обробки машинобудівних виробів. Це дозволяє скоротити витрати на проектування та впровадження технологічних процесів механічної обробки різних деталей, які мають однакові конструкторські та технологічні ознаки. Особливо це актуально в умовах серійного виробництва, в якому за частотої зміни номенклатури оброблюваних деталей необхідно забезпечувати стабільність технологічних процесів забезпечення якості їх виготовлення. Проектування типових технологічних процесів для сучасного виробництва має починатися з аналізу запланованої до випуску всієї номенклатури деталей та виділення до різних класифікаційних груп із загальними конструкторськими та технологічними ознаками, обробка яких можлива в даному виробництві. Таке об'єднання певної

класифікаційної групи перед початком проектування технологічних процесів дозволяє: оцінити можливість використання поєднання різних варіантів технологічного обладнання для обробки даної класифікаційної групи з необхідними мінімально можливими переналагодженнями; оцінити можливість максимального завантаження цього технологічного обладнання для забезпечення певної продуктивності рівноцінно збільшенню серійності випуску цієї класифікаційної групи; використовувати одну і ту ж технологічну оснастку, ріжучий і вимірювальний інструменти.

Типізацію можна розділити:

- Типізацію деталей;
- Типізацію поверхонь;
- Типізацію конструкторсько-технологічних елементів (КТЕ).

В основі такого поділу лежать різні предмети виробництва: деталь, сукупність поверхонь та конструкторсько-технологічних елементів.

На рисунку 5.1 показано структурну схему деталі. Зі схеми видно деталь складається з поверхонь, які складаються з одного або декількох КТЕ.

Для проектування технологічних процесів для типової обробки деталей одного типу, виходячи з якої вибирається деталь, що найповніше характеризує все конструктивні особливості цієї групи. Ця деталь називається типовою деталлю або деталлю-представником цієї класифікаційної групи деталей. При подальшій роботі з проектування типового технологічного процесу деталь-представник є основним конструкторсько-технологічним представником цієї класифікаційної групи. Формування класифікаційної групи деталей є досить трудомістким процесом, що збільшує витрати на проектування технологічного процесу. Однак хоч і близькі по конструкції деталі, але мають відмінності, в результаті чого робочий технологічний процес може істотно відрізнятися від типового технологічного процесу.

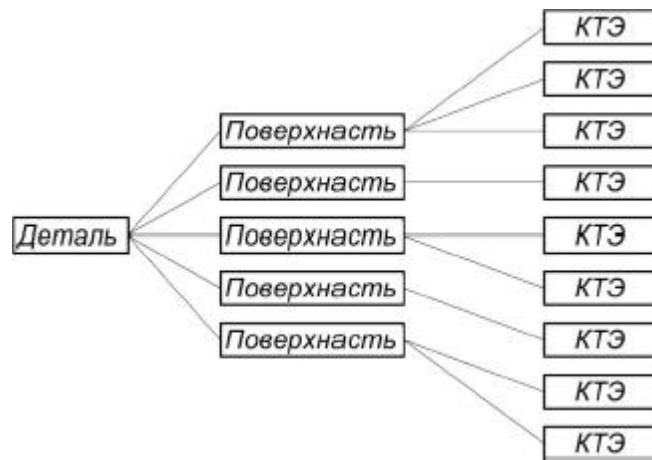


Рисунок 5.1 – Структурна схема деталі

При формуванні класифікаційної групи поверхонь враховується вид поверхні, точністю і якістю поверхні. Поєднання поверхонь у групи призводить до їх скорочення, для кожної сформованої групи можна вибрати типові технологічні переходи. Головним недоліком типізації на рівні поверхні є відсутність класифікації поверхонь і неможливість об'єднати в групи складнопрофільні поверхні.

При типізації КТЕ розробка технологічних процесів виготовлення нових деталей з'являється можливість їх проектування методом компоновання з технологічних рішень виготовлення КТЕ Це дозволяє знизити трудомісткість проектування і підвищити його якість.

Ознаками на формування класифікаційної групи КТЕ: форма, точність розмірів, геометричні параметри якості, властивості матеріалу.

Для проектування операцій магнітно-абразивної обробки за умов автоматизованих багатомономенклатурних виробництв розроблено загальну методику (Рисунок 5.2).

Відповідно до алгоритму (Рисунок 5.2), для вибору технологічного оснащення проводиться декомпозиція деталі на КТЕ та їхнє групування. Ознаками на формування класифікаційної групи КТЕ: форма, точність розмірів, геометричні параметри якості, властивості матеріалу. Процес вибору технологічного оснащення кожної групи КТЕ здійснюється шляхом перебору

можливих варіантів з бази даних. Внаслідок аналізу можливих варіантів формується комплект технологічного оснащення для магнітно-абразивної обробки деталі. За відсутності варіантів технологічного оснащення для КТЕ формується завдання проектування.

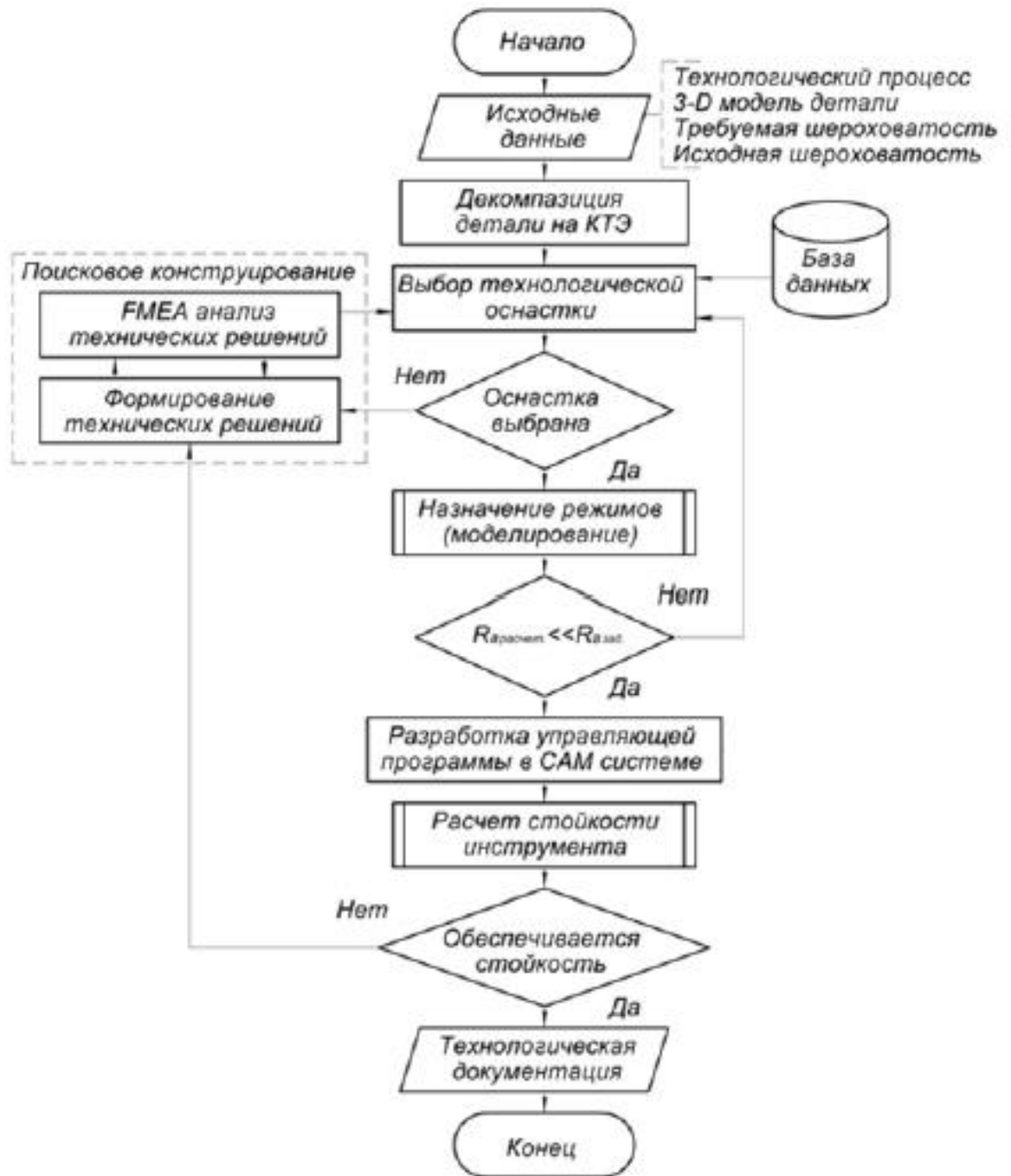


Рисунок 5.2 – Методика проектування операцій магнітно-абразивної обробки

Вибір методу пошуку технічних рішень для вдосконалення технологічних систем залежить від факторів: час, відведений на пошук та реалізацію технічного рішення; потрібна характеристика технічної системи; кваліфікація проектувальників; наявність інформаційних систем та баз даних з описами відомих технічних рішень; допустимі витрати та інші техніко-економічні показники. Ефективним методом для пошуку нових технічних рішень є синтез із використанням І-АБО - графів. Даний метод дозволяє в автоматизованому режимі синтезувати безліч технологічних рішень, що відповідають технічним завданням проектування. Оцінка отриманих рішень здійснюється за допомогою методу аналіз причин та наслідків відмов (Failure modes and effects analysis - FMEA). Даний метод дозволяє: виявити дефекти та потенційні відмови, які можуть виникнути під час використання технічного рішення; виявити основні фактори, що призводять до їх появи та можливі наслідки від них; виробити рішення щодо усунення цих факторів або запобігання можливим потенційним відмовам. FMEA аналіз отриманих технічних рішень виявляє дефекти та визначає пріоритетне число ризику. Переважними є технічні рішення, які мають пріоритетне число ризику найменше. Після виявлення відмов і причин їх появи формулюється завдання, і розробляються технічні рішення, які усувають відмову або знижують його вплив до допустимої величини. Отримані технічні рішення вносяться в базу технологічного оснащення, а також заносяться можливі дефекти, які можуть виникнути під час роботи та рекомендації щодо їх усунення. Після вибору технологічного оснащення призначаються технологічні режими.

Розробка керуючої програми для верстата з ЧПУ та нормування операції здійснюється за допомогою САМ систем, таких як SprutCAM, T-FLEX, NX та інші. За рекомендаціями вибираються стандартні стратегії обробки та розраховуються параметри траєкторій. Під час моделювання обробки розраховується машинний час.

Для автоматизації процесу вибору оснащення магнітно-абразивного

порошку та СОЖ використовувалася програма «Проектування операції магнітно-абразивної обробки». Екранна форма головного меню програми наведено рисунку 5.3.



Рисунок 5.3 – Екранна форма головного меню програми

Програма «відкриває» та «читає» креслення з розширенням .igs (Розширення igs – це файл 2D або 3D CAD векторної моделі (може зберігати каркасні моделі, поверхні, тверді тіла, кругові діаграми тощо)).

Під час вибору деталі також вводяться вихідні дані. Кожна додана деталь відображатиметься в окремому вікні Рисунок 5.4.

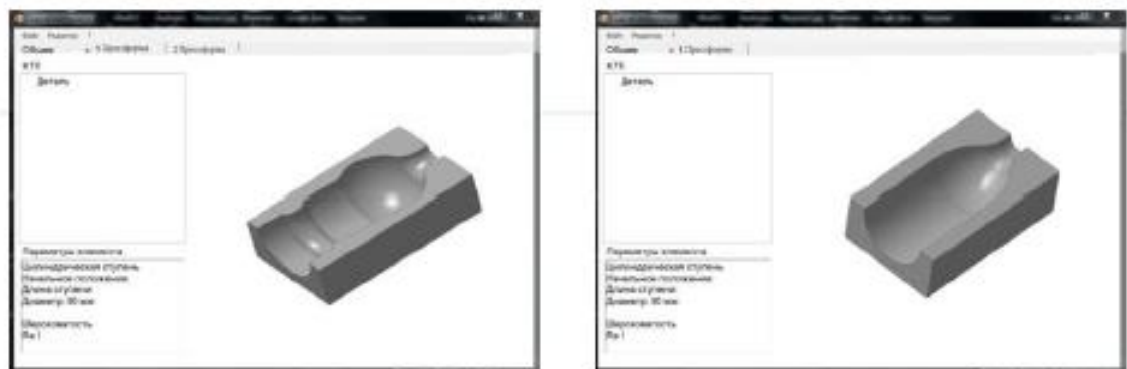


Рисунок 5.4 – Екранні форми програми з вибраними деталями

Модуль декомпозиції розбиває 3D-модель деталі на КТЕ і записує це у єдину базу даних системи. Розбір на КТЕ виконується шляхом структурної декомпозиції [21]. На рисунку 5.5 представлено декомпозицію деталі на КТЕ. Інформація про КТЕ включає сукупність параметрів, однозначно визначальних

форму, розміри, шорсткість поверхні, відхилення від її правильної форми, фізико-механічні властивості. На рисунку 5.6 представлені екранні форми декомпозиції деталі на КТЕ.

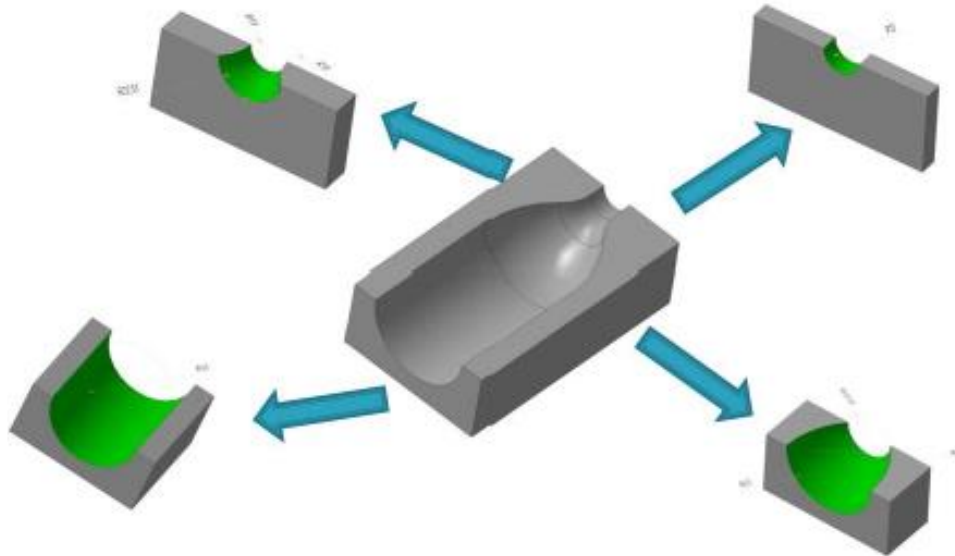


Рисунок 5.5 – Декомпозиції деталі на конструкторсько-технологічні елементи

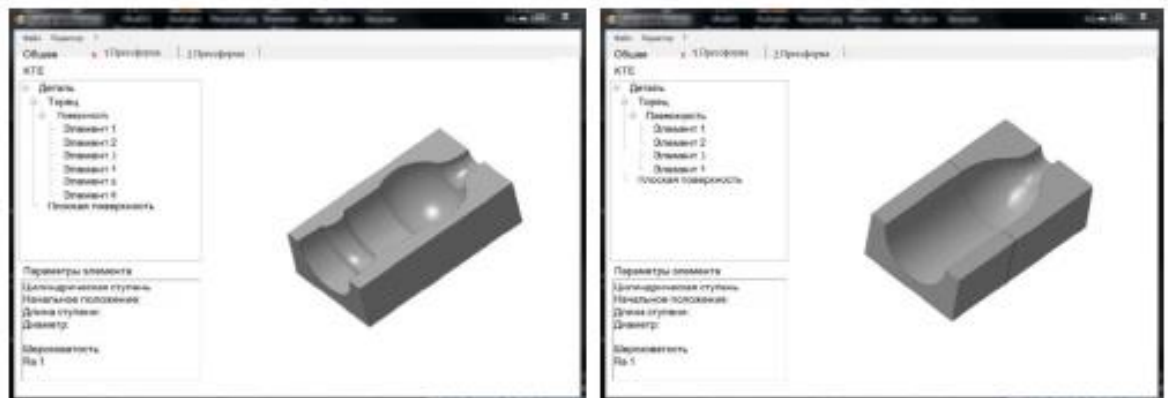


Рисунок 5.6 – Екранні форми програми з деталями, розбитими на КТЕ

Вибір оснастки для операцій магнітно-абразивної здійснюється на основі отриманих КТЕ з 3D-моделі, що представляється, з подальшою передачею специфікації на обрану оснастку в САМ-систему. Можна виділити ряд основних критеріїв, що впливають на вибір магнітного індуктора (МІ), магнітно-абразивного порошку (МАП):

- тип операції;
- характер магнітного поля;
- форма робочої поверхні МІ;
- конструктивно-геометричні параметри МІ;
- розташування магнітів та магнітопроводів;
- розмір, вид та точність заготівлі;
- стан поверхневого шару заготівлі;
- властивості оброблюваного матеріалу;
- профіль оброблюваної поверхні;
- величина робочого зазору;
- кінематика процесу обробки;
- технологічні особливості обладнання;
- вимоги щодо якості поверхні оброблюваної деталі;
- траєкторія руху інструменту;
- умови обробки;
- структура зерен магнітно-абразивного порошку;
- фізико-механічні та геометричні характеристики МАП;
- необхідний період стійкості та продуктивність порошку;
- інші параметри інструментального оснащення для МАО.

З урахуванням технологічної інформації про деталі в модулі підбору варіантів інструментального оснащення вибираються конструктивно-геометричні параметри магнітних індукторів (характер магнітного поля, форма робочої поверхні, розташування магнітів і магнітопроводів, можливість осциляції та ін.) і кінематика процесу абразивної обробки робочого зазору та здатність забезпечувати сталості параметрів якості.

При виборі обладнання вказується тип та назва верстата, наявність поворотного столу, кількість інструменту в магазині та положення шпинделя. Екранну форму програми вибору устаткування наведено рисунку 5.7.

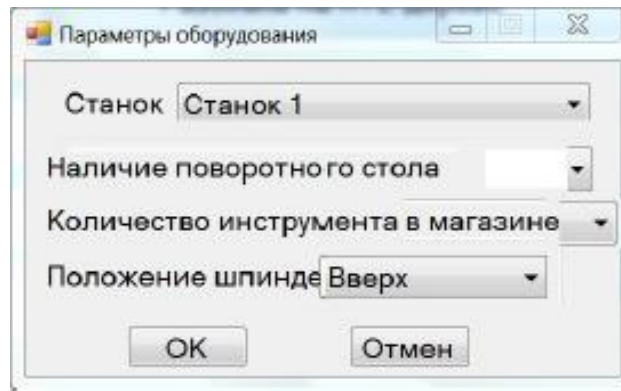


Рисунок 5.7 – Екранна форма програми вибору параметрів обладнання

У модулі вибору магнітно-абразивного порошку та мастильно-охолоджуючої рідини на підставі рекомендацій виробників визначаються фізико-механічні та геометричні характеристик МАП (форма, склад, структура, зернистість, стійкість, ріжуча здатність, магнітна проникність зерен порошку) та рекомендований хімічний від матеріалу та стану заготівлі, умов обробки, типу операції та технологічних можливостей обладнання. Екранна форма програми вибору марки та зернистості порошку наведена на рисунку 5.8.

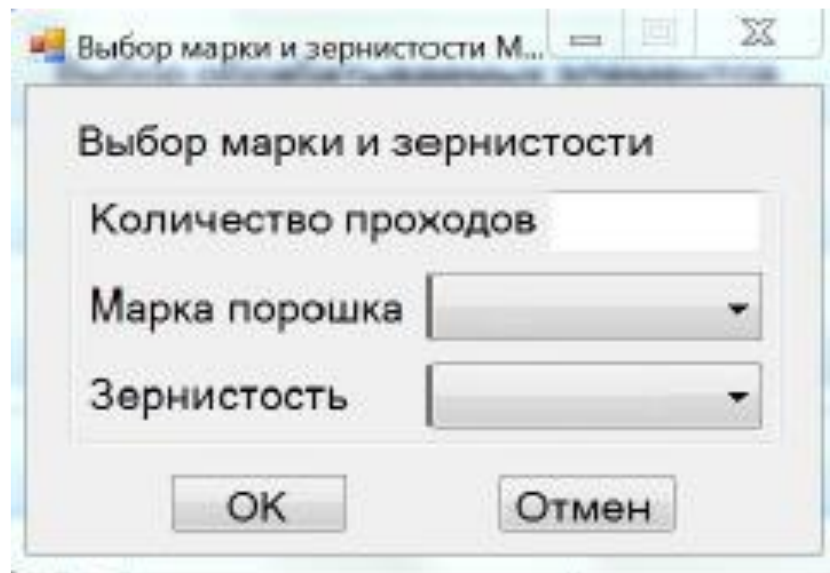


Рисунок 5.8 – Екранна форма програми вибору марки та зернистості порошку

Призначення режимів різання, розрахунок стійкості та прогнозування параметрів якості при магнітно-абразивній обробці здійснюється за допомогою

розроблених моделей та програмного забезпечення. Під стійкістю магнітно-абразивного порошку приймають час роботи порошку до його заміни через зниження ріжучих властивостей нижче допустимої межі. Стійкість феромагнітного порошку залежить тільки від його магнітних і механічних властивостей, але й умов обробки. Істотне значення для збереження ріжучих властивостей має обсяг порції порошку, що одночасно бере участь у процесі різання. У зв'язку з цим стійкість потрібно визначати в конкретних умовах магнітно-абразивної обробки.

Розробка керуючий програми для верстата з ЧПУ та нормування операції здійснюється за допомогою САМ систем, таких як SprutCAM, T-FLEX, NX та інші. Рекомендується вибирати стратегії обробки, щоб рух порошку здійснювався перпендикулярно ризикам шорсткості підвищення продуктивності обробки. При моделюванні обробки розраховується час і час роботи кожного інструмента.

Розрахована стійкість порошку порівнюється з часом роботи інструменту. У разі недостатньої стійкості інструменту здійснюється пошук шляхів її підвищення. Залежно від умов обробки (фізико-механічних властивостей зерна, оброблюваного матеріалу, режимів обробки) розрізняють такі основні види зношування: затуплення ріжучих елементів (вершин) абразивних зерен з утворенням на них майданчиків зношування; руйнування зерен з відокремленням від них великих частинок, порівнянних з розміром зерна; виривання зерен із зв'язки (магнітного поля); забивання пір стружкою та продуктами зносу. У відповідність до умов магнітно-абразивної обробки окремі види зносу можуть відбуватися одночасно або певний вид зносу буде переважним. Переважна більшість першого і другого видів зносу типово для роботи інструменту в режимі затуплення або обмеженого самозаточування. Самозаточування може відбуватися як в обсязі зерна (при відколюванні частинок), так і в обсязі всієї робочої поверхні, коли відбувається перемішування порошку.

Залежно від причини низької стійкості можна виділити три напрямки: збільшення кількості інструментів, редагування інструменту (при засолюванні порошку та поганому перемішуванні) та автоматична зміна зазору при зниженні продуктивності процесу.

Одним з основних критеріїв вибору на кожному етапі є економічність обробки, яка визначається вартістю інструменту, його стійкістю, взаємозамінністю, вартістю машинного часу та іншими економічними критеріями. Розроблена автоматизована система надає бібліотеку сучасного обладнання, що розширюється. Зрештою користувачеві представляється звіт як специфікації на обрану інструментальну оснастку з розрахованими режимами різання, траєкторією руху інструменту, технічним нормуванням операції.

## **5.2 Вплив робочого зазору на акустичну емісію та знімання при магнітно-абразивній обробці**

Для виявлення впливу часу роботи порції порошку на акустичну емісію та знімання магнітно-абразивної обробки була розроблена експериментальна установка на основі структурної схеми, наведена на рисунку 5.9. У шпинделі вертикально-фрезерного верстата 1 з ЧПУ ГФ2171 встановлений циліндричний магнітний індуктор 2, на столі верстата 3 встановлені лещата 4 з експериментальним зразком 5, так само поблизу зони обробки на штативі 6 встановлений віброакустичний датчик 7, з'єднаний з блоком обробки сигналу.



Рисунок 5.9 – Експериментальне встановлення

Для дослідження впливу часу роботи порції порошку на акустичну емісію та знімання матеріалу оброблялися сталеві зразки (сталь 45), габаритні розміри зразків становили 20x20x15 мм. Початкова шорсткість досліджуваних зразків становила  $Ra = 7$  мкм. Робочий зазор змінювався від 0.5 мм до 2 мм безперервно з величиною подачі  $S = 0.5$  мм / хв. Зернистість порошку 250/315 мкм. з частотою обертання шпинделя 200 об/хв. Під час проведення експерименту утворювався сигнал акустичної емісії, який фіксувався в звукозаписному програмному забезпеченні.

В результаті проведення експерименту було отримано звуковий файл. Після вивчення параметрів сигналу акустичної емісії був зроблений висновок про те, що спектр звукового сигналу змінюється, залежно від величини робочого зазору, записаного в експерименті, має вигляд, представлений на рисунку 4.10.

Зі збільшенням робочого зазору спектр звукового сигналу змінюється. Максимальна зміна амплітуди звукового сигналу відбувається на частоті 13000 Гц (рисунок 5.11). Аналізуючи амплітуду коливань на цій частоті можна отримувати інформацію про стійкість інструменту та необхідність його редагування, заміни або коригування режимів обробки.

У процесі магнітно-абразивної обробки при зміні робочого зазору спектр сигналу акустичної емісії зазнає змін.

При подальшому вивченні питання необхідно проаналізувати отримані в результаті проведення експерименту залежності між такими характеристиками процесу магнітно-абразивної обробки, як питомий знімання металу  $q$ , величина робочого зазору  $d$ , амплітуда сигналу акустичної емісії  $A$  на обраній раніше частоті. Аналізуючи вищезгадані характеристики процесу магнітно-абразивної обробки, з'являється можливість отримання підсумкової залежності  $q = f(A, d)$ , на основі якої пропонується керувати процесом магнітно-абразивної обробки.

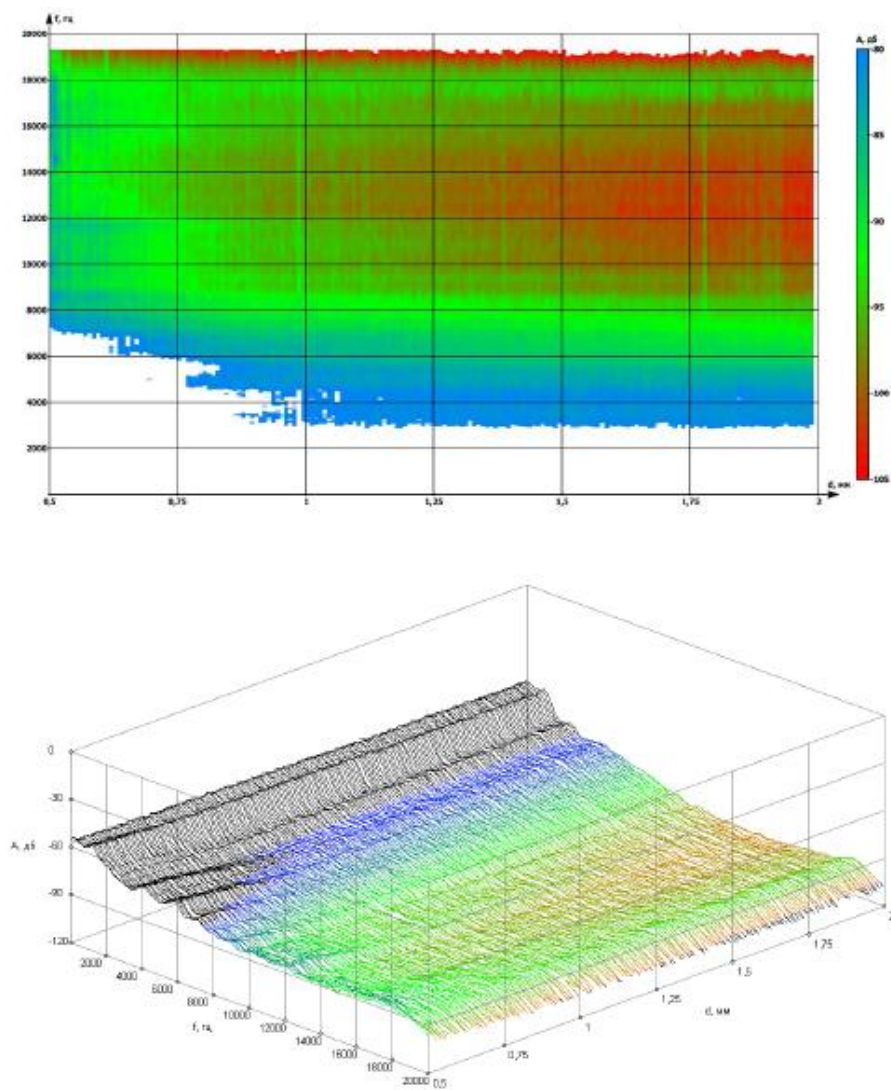


Рисунок 5.10 – Спектр сигналу акустичної емісії під час магнітно-абразивної обробки залежно від величини робочого зазору

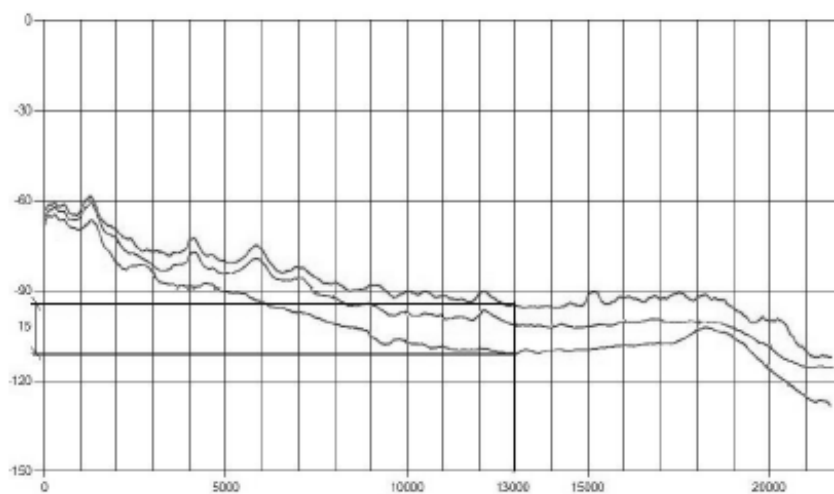


Рисунок 5.11 – Зміна амплітуди сигналу акустичної емісії під час

## магнітно-абразивної обробки

Відома залежність впливу величини робочого зазору на питомий знімання металу  $q$  при магнітно-абразивній обробці (рисунок 5.12).

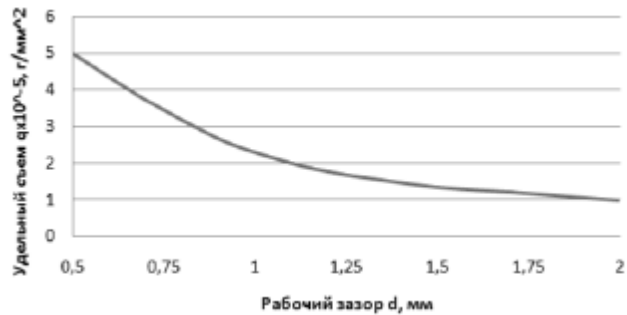


Рисунок 5.13 – Вплив робочого зазору на питоме знімання металу

У результаті отримана залежність дозволяє спроектувати систему адаптивного керування процесом магнітно-абразивної обробки для контролю стану магнітного порошку. із поверхні заготовки для забезпечення стабільності параметрів якості обробленої поверхні.

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ НА ОПЕРАЦІЯХ МАГНІТНОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

#### 6.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

В таблиці 6.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 6.1

#### Постановка цілей факультативного заняття

| Цілі<br>факультативного<br>заняття                                                                                                                                                                                                                     | Цілі<br>формування<br>різних рівнів<br>засвоєння<br>навчального<br>матеріалу | Умови<br>досягнення                                                                                        | Результат у вигляді дій<br>здобувачів освіти                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                                                                            | 3                                                                                                          | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Сформувати<br>вміння описувати<br>загальну<br>методологію<br>прогнозування<br>знімання металу та<br>формування<br>шорсткості на<br>основі вивчення<br>поведінки<br>технологічної<br>операції як<br>системи при впливі<br>на неї вхідних<br>керуючих та | I-IV рівень                                                                  | Базові<br>знання з<br>дисципліни<br>«Спеціальні<br>технології<br>інструмента<br>льного<br>виробництв<br>а» | Сформовані вміння у<br>здобувачів освіти<br>щодо опису загальної<br>методологію<br>прогнозування<br>знімання металу та<br>формування<br>шорсткості на основі<br>вивчення поведінки<br>технологічної операції<br>як системи при впливі<br>на неї вхідних<br>керуючих та факторів,<br>що обурюють; опису<br>теоретико-ймовірну |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2 | 3 | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>факторів, що обумовлюють. Описувати теоретико-ймовірну модель знімання металу та формування шорсткості обробленої поверхні, а також моделі для розрахунку сил різання при магнітно-абразивній обробці. Називати та характеризувати способи динамічної стабілізації параметрів якості складнопрофільної поверхні на основі адаптивного керування процесом магнітно-абразивної обробки. Описувати методику автоматизованого проектування операцій магнітноабразивної обробки для умов багатомасштабного виробництва.</p> |   |   | <p>модель знімання металу та формування шорсткості обробленої поверхні, а також моделі для розрахунку сил різання при магнітно-абразивній обробці; називати та характеризувати способи динамічної стабілізації параметрів якості складнопрофільної поверхні на основі адаптивного керування процесом магнітно-абразивної обробки; опису методику автоматизованого проектування операцій магнітноабразивної обробки для умов багатомасштабного виробництва.</p> |

## 6.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізевого розточування ступінчастих отворів на основі дослідження динаміки

технологічної системи : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Баланюк Ганна Василівна ; МОН України, Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2018. – 23 с. 713825 К 621.9

2. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". – Київ, 2018. – 22 с. К 128902 621.7

3. Батигін Ю. В. Устаткування для практичної реалізації індукційного нагрівання в сучасних технологіях машинобудування / Ю. В. Батигін, О. С. Сабокар, В. А. Стрельнікова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 4. – С. 70-74. – Бібліогр.: с. 73 (5 назв). Р/О126.

### **6.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття**

План викладення теми: «Підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки».

1. Загальна методологія прогнозування знімання металу та формування шорсткості на основі вивчення поведінки технологічної операції як системи при впливі на неї вхідних керуючих та факторів, що обурюють.

2. Теоретико-ймовірна модель знімання металу та формування шорсткості обробленої поверхні, а також моделі для розрахунку сил різання при магнітно-абразивній обробці.

3. Способи динамічної стабілізації параметрів якості складнопрофільної поверхні на основі адаптивного керування процесом магнітно-абразивної обробки.

4. Методика автоматизованого проектування операцій магнітноабразивної

обробки для умов багатомовного виробництва.

#### 6.4. Аналіз базових умов навчання

В таблиці 6.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 6.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

| Перелік базових понять, законів, способів дії | Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії     | Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1                                             | 2                                                                | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 4                                                                |
| Магнітно-абразивна обробка                    | Дисципліна «Спеціальні технології інструментального виробництва» | Метод – усне опитування.<br>Форма – фронтальна.<br>Засіб – контрольні питання.<br>Приклад питань:<br>1. Що таке абразивно-рідинна обробка?<br>2. Що таке вібраційна обробка в абразивному середовищі?<br>3. Що таке магнітно-абразивне полірування?<br>4. Ультразвукова абразивна обробка.<br>5. Сутність, класифікація та кінематика процесів магнітно-абразивної обробки.<br>6. Сутність та класифікація процесів ультразвукової обробки.<br>7. Інтегровані генеративні технології та їх місце у | Нагадування основних моментів                                    |

| Перелік базових понять, законів, способів дії | Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії | Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій | Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1                                             | 2                                                            | 3                                                                                          | 4                                                                |
|                                               |                                                              | сучасному виробництві.                                                                     |                                                                  |

## 6.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 6.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 6.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 6.3

### Визначення способів реалізації мотивації

| Способи реалізації мотивації | Внутрішня мотивація                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                            | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Вступна мотивація            | <p>Сучасний етап розвитку техніки та технології характеризується широким використанням деталей, що містять просторово-складні поверхні. До таких деталей відносяться: прес-форми, штампи, моделі, кулачки, складні корпуси та ін.</p> <p>Для отримання при механічній обробці необхідних параметрів якості поверхні необхідно, щоб технологічне оснащення металообробки відповідало сучасним вимогам автоматизації та точності виробництва виробів. В даний час лезова обробка металів досягла високих показників щодо забезпечення якості обробленої поверхні, що дало передумови для широкого застосування лезової обробки в умовах автоматизованого виробництва. Автоматизація оздоблювально-чистої обробки виробів машинобудування на даний момент досягла менших показників, ніж лезова. У світовій практиці неухильно зростає обсяг застосування точних заготовок та технологічних процесів на основі мінімальних технологічних припусків на обробку. Частка обробної обробки неухильно зростає, тому підвищення продуктивності праці шляхом автоматизації ручних трудомістких операцій є прогресивним напрямком для даного методу металообробки.</p> <p>У різних галузях техніки якість виробів визначають їх функціональні характеристики, найважливішими з яких є точність, надійність та економічність. При виготовленні машин та приладів у промисловості важливий внесок у забезпечення якості продукції вносять технологічні процеси заготівельних та металообробних виробництв. При цьому визначальне значення мають рівень та ефективність здійснення оздоблювально-чистових операцій формоутворення поверхонь.</p> <p>Завдання підвищення надійності та довговічності машин також</p> |

| Способи реалізації мотивації | Внутрішня мотивація                                                                                                                                               |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                            | 2                                                                                                                                                                 |
|                              | нерозривно пов'язане з удосконаленням відомих та розробкою нових оздоблювально-чистових методів обробки поверхонь деталей машин, що забезпечують не тільки високу |

Продовження табл. 6.3

| 1 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <p>продуктивність обробки, а й створення поверхонь із оптимальними властивостями. Величина мікронерівностей на робочих поверхнях деталей істотно впливає на зносостійкість поверхонь, що труться. Зменшення шорсткості поверхонь забезпечує більш сприятливий мікропрофіль, що полегшує тертя і знижує знос деталей, що сполучаються. При відносному ковзанні поверхонь, що контактують, відбувається механічне зачеплення мікронерівностей, утворених при механічній обробці. У поверхонь із значними величинами мікронерівностей відбувається інтенсивне їх руйнування. Найбільш ефективними способами обробки як плоских, так і складнопрофільних поверхонь є методи, засновані на використанні еластичної зв'язки або незакріпленого абразиву. Одним із перспективних способів забезпечення високої якості робочої поверхні є технологія магнітно-абразивної обробки, що широко застосовується при доведенні інструменту. Цей метод простий у здійсненні, екологічно чистий, забезпечує високу якість оброблених поверхонь деталей та суттєве підвищення їхньої опірності зносу, корозії та механічним навантаженням, має високу продуктивність та успішно замінює процеси хімічної та електрохімічної обробки. Отже, на сьогоднішньому занятті ми розглянемо підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітно-абразивної обробки на основі стохастичного моделювання та методології пошукового конструювання в умовах автоматизованих багатомовних виробництв.</p> |

## 6.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 6.4

Таблиця 6.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

| Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття | Форми      | Методи                                               | Засоби                                                      |
|----------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| I                                                  | Фронтальна | Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація | Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми. |
| II                                                 | Фронтальна | Лекція-пояснення, демонстрація                       |                                                             |
| III                                                | Фронтальна | Лекція-бесіда-диспут, ілюстрація                     |                                                             |
| IV                                                 | Фронтальна | Лекція-демонстрація                                  |                                                             |

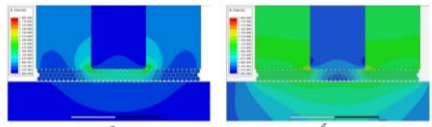
## 6.7 Проєктування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 6.5.

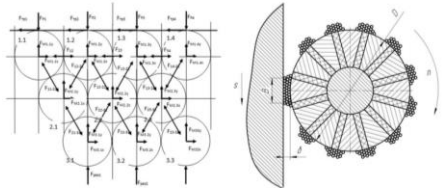
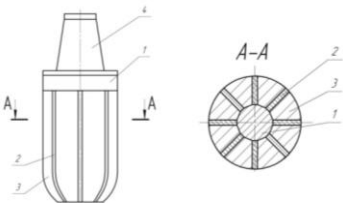
Таблиця 6.5

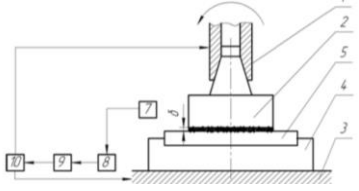
Способи формування виконавчих дій з теми

| Рівні засвоєння навчального матеріалу | Форми      | Методи        | Засоби                                                                                                                        |
|---------------------------------------|------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                     | 2          | 3             | 4                                                                                                                             |
| I, II, III, IV                        | Фронтальна | Рішення задач | Завдання 1. Описати схему розподілу магнітної індукції у робочому зазорі:<br>а – немагнітна заготівля; б - магнітна заготівля |

| Рівні засвоєння навчального матеріалу | Форми | Методи | Засоби                                                                             |
|---------------------------------------|-------|--------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       |       |        |  |

Продовження табл. 6.5

| 1 | 2 | 3 | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|---|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |   | <p>Завдання 2. Описати: схему сил, що діють у робочому зазорі; схему магнітноабразивної обробки циліндричним індуктором</p>  <p>Завдання 3. Назвати складові та принцип дії пристрою для магнітно-абразивної обробки</p>  <p>Завдання 4. Здійснить відповідність позицій на структурній схемі установки для реєстрації сигналу акустичної емісії: 1 – шпиндель вертикально-фрезерного верстата з ЧПУ, 2 – циліндричний магнітний індуктор, 3 – стіл верстата, 4 –</p> |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | <p>лещата, 5 – експериментальний зразок, <math>\delta</math> – величина робочого зазору, 7 – віброакустичний датчик, 8 – підсилювач, 9 – аналого-цифровий перетворювач, 10 – блок обробки сигналу акустичної емісії</p>  |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## 6.8 Проєктування контрольних дій з теми

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

| Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття | Форми      | Методи              | Засоби                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------|------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                  | 2          | 3                   | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| ІІІ рівень                                         | Фронтальна | Письмове опитування | <p>Контрольна робота.<br/>Допишіть речення:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Розроблена структура магнітно-абразивної обробки як системи, визначається спільною взаємодією 3-х підсистем: .....</li> <li>2. Створена на основі аналізу поєднання магнітних та механічних явищ модель взаємодії зерен дозволяє .....</li> <li>3. Розроблена стохастична модель</li> </ol> |

| Рівні засвоєння<br>навчального<br>матеріалу теми<br>заняття | Форми | Методи | Засоби                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------|-------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                           | 2     | 3      | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                                                             |       |        | <p>формування шорсткості<br/>обробленої поверхні залежно від<br/>часу обробки та параметрів<br/>інструменту дозволяє .....</p> <p>4. Методика для вдосконалення<br/>технологічного обладнання, що<br/>використовує для синтезу<br/>технологічних рішень І-АБО-граф<br/>у поєднанні з FMEA-аналізом<br/>технічних рішень, дозволяє<br/>отримати .....</p> <p>5. Створені способи адаптивного<br/>управління при обробці на<br/>сучасних верстатах з ЧПУ<br/>дозволяють забезпечити .....</p> |

## 6.9 Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Сценарій заняття з теми заняття «Підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки»

| № з/п | Структурні елементи заняття      | Зміст структурних елементів                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | 2                                | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 1     | Організаційний момент            | Вітання, фіксація відсутніх, перевірка зовнішньої обстановки в аудиторії. Вітання викладача. Студенти підтверджують присутності у момент переклички, налагоджуються на здійснення навчальної діяльності.                                                                                                                                          |
| 2     | Повідомлення теми і мети заняття | Повідомлення теми заняття: «Підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки». Мета: сформулювати вміння у здобувачів освіти щодо підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки. |
| 3     | Мотивація мети                   | Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь на операціях магнітноабразивної обробки». Текст для формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.                                                                                             |
| 4     | Актуалізація базових знань       | Проведення усного фронтального опитування. Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб –питання. Перелік контрольних питань представлений в таблиці 4.2.                                                                                                                                                                                   |

|   |                   |                                                                                                                                |
|---|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 | Формування<br>ООД | Викладач викладає новий навчальний використовуючи методи традиційні – пояснення, бесіда, демонстрація та інноваційні – лекція- |
|---|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Продовження табл. 6.7

| 1 | 2                                                          | 3                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                            | дискусія з елементами мозкового штурму відповідно за планому заняття, який представлений у п. 4.3.                                                                                                                         |
| 6 | Формування<br>ВД                                           | Викладач проводить закріплення навчального матеріалу за допомогою методу – рішення задач, видаючи кожному студенту картики-завдання з вправами. Приклад вправ представлений в табл. 4.5.                                   |
| 7 | Формування<br>КД                                           | Викладач проводить студентам контрольні питання, які представлені в таблиці 4.6.                                                                                                                                           |
| 8 | Підбиття<br>підсумків,<br>видача<br>домашнього<br>завдання | Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття.<br>Видає домашнє завдання: Написати реферат по темі. |

### Висновки до розділу 6

У четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було розроблено факультативне заняття на тему «Підвищення продуктивності та стабільності параметрів якості складнопрофільних поверхонь під час магнітноабразивної обробки» для спеціалістів у сфері машинобудування. У рамках роботи було визначено дидактичну мету заняття, проведено аналіз основних умов навчання, обрано тип мотивації та складено її текст. Також було розроблено систему задач і завдань для виконання практичної частини заняття, визначено методи формування орієнтовної основи діяльності та виконавчих дій, сплановано організацію виконання завдань і розв'язання задач, а також здійснено контроль сформованих умінь. Крім того, підготовлено сценарій факультативного заняття.

## ВИСНОВКИ

Розроблена структура процесу магнітно-абразивної обробки як системи визначається спільною взаємодією 3-х підсистем: «Технологічна система», «Процес різання» та «Функції виходів». «Технологічна система» визначає силову взаємодію інструменту та заготівлі, «Процес різання» формує профіль обробленої поверхні, а «Функції виходів» – вихідні показники, що визначають продуктивність обробки та параметри якості поверхні деталі. Розроблена структурна модель є основою математичного опису її підсистем.

Створена на основі аналізу поєднання магнітних та механічних явищ модель взаємодії зерен дозволяє розрахувати контактні явища та сили різання на операціях магнітно-абразивної обробки та дає можливість пов'язати конструктивні параметри інструменту та заготівлі з продуктивністю та геометричними параметрами якості обробленої поверхні.

Методика для вдосконалення технологічного оснащення, що використовує для синтезу технологічних рішень І-АБО-граф у поєднанні з FMEA-аналізом технічних рішень, дозволяє отримати оригінальні конструкції пристроїв, інструментів і додаткових пристроїв, що значно скорочує час на впровадження цього виду обробно-чистої обробки в автоматизоване виробництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: [http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna\\_pedagogika.pdf](http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf)
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УІПА, 2024. – 82 с.

7. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

8. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

9. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

10. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

11. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

12. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

13. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

14. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>

15. Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

16. Zhang, J.; Hu, J.; Wang, H.; Kumar, A.S.; Chaudhari, A. A novel magnetically driven polishing technique for internal surface finishing. *Precis. Eng.* 2018, 54, 222–232.

17. Xu, Jiaye, Yanhua Zou, and Huijun Xie. 2021. "Investigation on the Finishing Characteristics of a Magnetic Abrasive Finishing Process with Magnetic Abrasive Slurry Circulation System" *Machines* 9, no. 9: 195

18. V.K. Jain, Prashant Kumar, P.K. Behera, S.C. Jayswal, “Effect Of Working Gap And Circumferential Speed On The Performance Of Magnetic Abra-sive Finishing Process” Wear 250 (2001) 384– 390.
19. T.C, Kanish & Narayanan, Syama & Kuppan, P & Denis Ashok, S. (2017). Investigations on the Finishing Forces in Magnetic Field Assisted Abrasive Finishing of SS316L. Procedia Engineering. 174. 611-620.
20. Ming Chang, Fu & Tsai, Tung-Hsien & Han Chiang, Sheng. (2011). Sensitivity Analysis of Magnetic Abrasive Finishing Process Parameters. Ad-vanced Materials Research. 328-330.
21. Junmo Kanga, Andrew Georgea, Hitomi Yamaguchia, “High-Speed Internal Finishing Of Capillary Tubes By Magnetic Abrasive Finishing” Procedia CIRP 1 (2012 ) 414 41.