

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 технологічного забезпеченні  
підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та  
напрямку макрорельєфу  
(тема кваліфікаційної роботи)


Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-  
ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта  
(Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)


 / Артем ОЛІЙНИК  
(підпис) (ім'я та прізвище)


Керівник  / Сергій РОМАНОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  / Наталія АНТОНЕНКО  
(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) Артему ОЛІЙНИКУ  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу

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

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

3. Вихідні дані до роботи: Зразки прес-форм для подальшої обробки, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Теоретичне обґрунтування та моделювання впливу процесу формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхнях за висотою і напрямкою виробничість, виробничість. Розробка методичного забезпечення проведення експериментальних досліджень впливу напрямленого формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхностях при фрементів при фрементів. Результати експериментальних досліджень впливу застосування раціональної траєкторії фрезування на якість і зносостійкість прес-форм Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

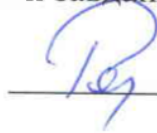
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

## 6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Вероніка БАКАТАНОВА			

7. Дата видачі завдання «12» 10 2024.

Керівник


Сергій РОМАНОВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


Артем ОЛІЙНИК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК  
виконання кваліфікаційної роботи

№ 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		

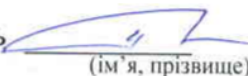
Здобувач вищої освіти


Артем ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)



(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 технологічного забезпеченні підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу

(назва роботи)

студента

ОЛІЙНИК Артем Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Романов Сергій Валерійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

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

Коефіцієнт Подібності 1: 0,28,

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).

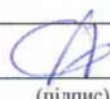
#### Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

---

---

---

Системний Оператор



(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

22.11.21

(дата)

## ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі	9
2. Стан питання, мета та завдання роботи	12
3 Теоретичне обґрунтування та моделювання впливу процесу формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхнях за висотою і напрямкою виробничість, виробничість	26
4 Розробка методичного забезпечення проведення експериментальних досліджень впливу напрямленого формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхностях при фрементів при фрементів	40
5 Результати експериментальних досліджень впливу застосування раціональної траєкторії фрезування на якість і зносостійкість ПРЕС-ФОРМ	48
Розділ 6 Розробка дидактичного проекту факультативного заняття на тему «підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу» для фахівців машинобудівної галузі	61
ВИСНОВКИ	78

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпеченні підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу”

**РЕФЕРАТ**

Робота містить 79с., 39 рис., 23 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпеченні підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з проблеми технологічного забезпеченні підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу.

У третьому розділі виконано теоретичне обґрунтування та моделювання впливу процесу формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхнях за висотою і напрямкою виробничість, виробничість.

У четвертому розділі виконано розробку методичного забезпечення проведення експериментальних досліджень впливу напрямленого формування макрорельєфу на формоутворювальних поверхностях при фрементів при фрементів.

У п'ятому розділі виконано експериментальні дослідження впливу застосування раціональної траєкторії фрезування на якість і зносостійкість ПРЕС-ФОРМ.

**Ключові слова:** професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, шліфування, прес-форма, макрорельєф, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic “Training of specialists in the machine-building industry in technological support for increasing the wear resistance of molds based on the formation of the height and direction of the macrorelief”

### **ABSTRACT**

The work contains 79 pages, 39 figures, 23 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the machine-building industry in technological support for increasing the wear resistance of molds based on the formation of the height and direction of the macrorelief.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the machine-building industry in technological support and improving the quality of the surface layer of involute tooth surfaces.

The second section reviews research and publications on the problem of technological support for increasing the wear resistance of molds based on the formation of the height and direction of the macrorelief.

In the third section, a theoretical justification and modeling of the influence of the process of forming a macrorelief on forming surfaces in height and direction is performed.

In the fourth section, a methodological support for conducting experimental studies of the influence of directional formation of a macrorelief on forming surfaces during milling is performed.

In the fifth section, experimental studies of the influence of the use of a rational milling trajectory on the quality and wear resistance of PRESS-MOULDS are performed.

**Keywords:** professional training, machine building industry, specialist, grinding, press mold, macrorelief, practical training methodology.

## ВСТУП

У сучасних умовах створення наукомістких виробів дедалі частіше пов'язане з органічними матеріалами, основою яких є полімери – синтетичні чи природні високомолекулярні сполуки. Для відповідності вимогам, які пред'являються до виробів у машинобудуванні, до таких високомолекулярних сполук додають армуючі волокна, що покращують фізико-механічні та експлуатаційні властивості композиційних полімерних матеріалів (ПКМ). Використання деталей з ПКМ пов'язане з тим, що такі матеріали мають унікальні поєднання характеристик та властивостей. Зростання кількості застосовуваних деталей з ПКМ у таких галузях промисловості, як військова промисловість, транспорт, авіабудування, приладобудування, радіотехніка, електроніка, будівництво, медицина та ін., показує перспективу досліджень обладнання, інструменту та процесів, що застосовуються у виготовленні виробів з ПКМ.

Тенденція використання деталей із ПКМ для зниження енергетичних витрат та виробничих ресурсів збільшує номенклатуру деталей складної геометричної форми. Отримання готового продукту з ПКМ супроводжується складним процесом технологічної підготовки виробництва, і чим складніше геометрія деталі, тим складніше формоутворювальне оснащення для таких деталей. Бурхливий розвиток машинобудівного виробництва і постійне підвищення якості виробів, що випускаються, призводять до постійного підвищення вимог до спеціалізованої формоутворювальної оснастки, що випускається. У сучасному машинобудуванні одним із найперспективніших у світовій практиці та економічних способів великосерійного та масового виробництва деталей із ПКМ є лиття під тиском у ливарні прес-форми, виготовлені із загартованих сталей. Застосування цього способу дозволяє отримувати геометрично складні вироби високої точності та якості. Однак широке застосування цієї високоефективної технології лиття деталей з ПКМ стримується через проблеми підвищеного абразивного зношування

формоутворюючих поверхонь прес-форм твердими частинками скла або вуглеволокна, що входять до складу розплаву для підвищення міцності ПКМ і рухаються в момент заповнення прес-форми з великою швидкістю високим тиском. Вплив абразивного зношування на формоутворюючі поверхні прес-форми призводить до збільшення частоти ремонтів і погіршення якості виробів, що виготовляються, тому виготовлення прес-форм і обробка формотворчих поверхонь має важливе значення для машинобудівної галузі.

Прес-форма накладає певні обмеження на конструкцію деталей. Наявність у деталях негативних кутів, різних отворів складної форми та поднутрений ускладнює конструкцію прес-форми. Присутність в прес-формі різних конструктивних елементів у вигляді рухомих і нерухомих формоутворювальних деталей, таких як вставка, пуансон, матриця та інших, ускладнює експлуатацію прес-форм і впливає на їх зносостійкість. У процесі технологічного циклу лиття армований волокном розплав у вигляді ПКМ рухається в порожнинах прес-форм, інтенсивно зношуючи формоутворюючі поверхні.

Досвід у сфері розробки та виготовлення геометрично складного формоутворювального оснащення показує, що виробництво такого оснащення, а саме формоутворювальних деталей, найчастіше значно перевищує трудомісткість проектування та виготовлення, одержуваного в результаті роботи формоутворювальної оснастки виробу. Таким чином, завдання підвищення зносостійкості прес-форм є актуальним і має як наукову, так і практичну значущість.

# РОЗДІЛ 1

## АКТУЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

У сучасному світі машинобудування займає одне з ключових місць у розвитку промисловості та економіки. Це обумовлено тим, що машинобудівна галузь є основою для створення технічних засобів, які забезпечують функціонування інших секторів економіки, таких як енергетика, транспорт, будівництво та багато інших. В умовах швидкого технологічного прогресу та глобалізації ринку праці, професійна підготовка фахівців у цій сфері стає надзвичайно актуальною.

По-перше, зростаюча потреба в інноваційних технологіях та автоматизації виробництв вимагає від фахівців не лише глибоких знань у галузі машинобудування, але й уміння адаптуватися до нових умов, швидко засвоювати нові технології та інструменти. Це підкреслює важливість сучасних навчальних програм, які повинні включати як теоретичні, так і практичні аспекти.

По-друге, професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі в закладах вищої освіти повинна відповідати вимогам ринку праці. Це означає, що навчальні заклади повинні активно співпрацювати з промисловими підприємствами, щоб забезпечити студентів актуальними знаннями та навичками, які користуються попитом у роботодавців.

По-третє, важливим аспектом є підготовка фахівців, здатних до наукових досліджень та інновацій. Сучасне машинобудування потребує не лише кваліфікованих інженерів, але й творчих особистостей, які можуть розробляти нові технології та вдосконалювати існуючі процеси.

Таким чином, актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі в закладах вищої освіти обумовлена потребою в висококваліфікованих кадрах, здатних відповідати викликам сучасності та

забезпечувати конкурентоспроможність національної економіки. Це вимагає постійного вдосконалення навчальних програм, впровадження нових методик навчання та активної співпраці з промисловістю.

Професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі є надзвичайно важливою в умовах сучасного розвитку технологій та економіки. Машинобудування є однією з ключових галузей промисловості, яка забезпечує виробництво технічних засобів, необхідних для функціонування інших секторів економіки. Актуальність підготовки спеціалістів у цій сфері зумовлена кількома факторами:

1. Інноваційні технології: Сучасне машинобудування активно впроваджує новітні технології, такі як автоматизація, робототехніка, 3D-друк та інші. Це вимагає від фахівців глибоких знань та навичок у використанні сучасного обладнання та програмного забезпечення.

2. Конкуренція на ринку праці: Зростаюча конкуренція в галузі машинобудування вимагає від випускників вищих навчальних закладів не лише теоретичних знань, але й практичних навичок, які дозволять їм швидко адаптуватися до умов роботи.

3. Економічний розвиток: Машинобудування є важливим чинником економічного зростання країни. Підготовка висококваліфікованих фахівців сприяє підвищенню продуктивності праці, впровадженню нових технологій та зростанню конкурентоспроможності національної продукції.

4. Суспільні потреби: З розвитком інфраструктури та промисловості зростає потреба в спеціалістах, які здатні проектувати, виготовляти та обслуговувати складні технічні системи. Це підкреслює важливість професійної підготовки у вищих навчальних закладах.

5. Міжнародна співпраця: В умовах глобалізації та інтеграції економік важливо, щоб фахівці мали знання не лише в національних, але й міжнародних стандартах, що дозволяє їм ефективно працювати в міжнародних командах.

Теоретична та практична підготовка фахівців в машинобудівній галузі в закладах вищої освіти має свої особливості, які забезпечують комплексний підхід до навчання. Ось кілька ключових аспектів:

#### Теоретична підготовка

1. Основи машинобудування: Студенти вивчають фундаментальні дисципліни, такі як механіка, матеріалознавство, термодинаміка, що формує базу знань для подальшого навчання.

2. Спеціалізовані курси: Включають в себе вивчення сучасних технологій, комп'ютерного моделювання, автоматизації та управління процесами.

3. Наукові дослідження: Студенти залучаються до наукових проєктів, що сприяє розвитку критичного мислення та навичок дослідження.

#### Практична підготовка

2. Лабораторні роботи: Практичні заняття в лабораторіях дозволяють студентам застосовувати теоретичні знання на практиці, працюючи з сучасним обладнанням.

3. Стажування: Важливим етапом є проходження стажувань на підприємствах, що дає можливість отримати реальний досвід роботи в галузі.

4. Проектна діяльність: Студенти працюють над проєктами, що дозволяє їм розвивати навички командної роботи та управління проєктами.

#### Інтеграція теорії та практики

- Курси з практичною орієнтацією: Багато курсів поєднують теоретичні знання з практичними завданнями, що допомагає студентам краще зрозуміти матеріал.

- Співпраця з промисловістю: Взаємодія з підприємствами дозволяє закладам освіти адаптувати навчальні програми до потреб ринку праці.

### **Висновки до розділу 1**

Таким чином, професійна підготовка фахівців машинобудівної галузі в закладах вищої освіти є надзвичайно актуальною та необхідною для забезпечення сталого розвитку економіки, впровадження інновацій та підвищення якості життя суспільства.

Комплексний підхід до теоретичної та практичної підготовки фахівців в машинобудівній галузі забезпечує високий рівень підготовки, що відповідає сучасним вимогам індустрії. Це дозволяє випускникам бути конкурентоспроможними на ринку праці та успішно реалізовувати свої професійні амбіції.

## 2. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ РОБОТИ

### 3. Конструкторсько-технологічні вимоги до виготовлення прес-форм для лиття виробів із полімерних композиційних матеріалів

Сучасне машинобудування переважають у всіх галузях промисловості пов'язані з використанням деталей складної геометричної форми з криволінійними поверхнями. Такі деталі, які часто мають велику масу при високій металоемності, призводять до підвищених вібрацій і рівня шуму при експлуатації, а також не відповідають екологічним вимогам при виробництві. Перспективним напрямом є заміна матеріалів геометрично складних деталей на ПКМ, що дозволяє підвищити якість і продуктивність отримання продукції, що виробляється, знизити матеріаломісткість і собівартість, підвищуючи конкурентоспроможність підприємств в сучасних умовах [16; 68; 108].

В даний час спостерігається стійке зростання обсягу виробництва виробів із ПКМ. У машинобудуванні постійно відкриваються нові ніші для використання ПКМ (таблиця 1.1) [108]: виготовлення втулок, підшипників, направляючих та вкладишів, шківів, блоків, коліс та роликів з матеріалів антифрикційного призначення, виробництво корпусів, кронштейнів, маточок з матеріалів з підвищеними вимогами по міцності, а також шестерень, зірочок та черв'ячних коліс з вібростійких матеріалів [22; 35].

Як правило, при конструюванні виробів перед технологом стоїть найскладніше завдання вибору з величезної номенклатури матеріалів матеріалу, який найбільш повно відповідав би необхідним вимогам. Найчастіше головним конкурентом сталей і сплавів у машинобудуванні є ПКМ, оскільки вони мають низку незаперечних переваг як у експлуатаційних, і за економічними показниками. Можливість виробництва деталей із ПКМ дозволяє отримувати вироби із заданими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, такі деталі часто виробляються з більшою продуктивністю, мають порівняно меншу масу та меншу енерговитратність, що дає відчутний економічний ефект.

Таблиця 2.1 - Области застосування ПКМ у машинобудуванні

Матеріал	Область застосування
<b>ПКМ на основі термопластичних зв'язуючих</b>	
Поліетилен високої і низької щільності	Заглушки, декоративні елементи, шланги, кришки, труби, прокладки, фурнітура
Фторопласт	Ущільнювачі, арматура, підшипники
Полівінілхлорид	Труби, шланги, прокладки, ущільнювачі
Полікарбонат	Деталі світлотехнічних приладів
Поліамід	Шестерні, підшипники, муфти
Поліпропилен	Корпуси, декоративні елементи
<b>ПКМ на основі термореактивних зв'язуючих</b>	
Фенопласти	Корпусні деталі, гвинти, навігаційне обладнання
Амінопласти	Електротехнічні вироби
Склопластики	Корпусні деталі
Органопластики	Корпусні деталі авіабудування
Вуглепластики	Вироби широкого призначення
Боропластики	Силові конструкції

Технологій виробництва деталей з ПКМ безліч. У процесі аналізу технологій виділено кілька техніко-економічних показників способів формування деталей із ПКМ (таблиця 2.2), яким були виставлені оцінки від 1 до 10. Вибраний спосіб формування деталей із ПКМ – лиття під тиском, використання якого повністю відповідає вимогам, що висуваються до виробництва таких виробів для машинобудування [84; 104; 108; 111]. Застосування такого способу характеризується високою продуктивністю отримання виробів з ПКМ, високою якістю, скороченням виробничих площ для виготовлення деталей, а також знижує вимоги до кваліфікації робітників, що позитивно впливає на собівартість деталей, що одержуються.

Таблиця 2 .2 - Техніко-економічні показники способів формування виробів із ПКМ

Спосіб формування деталей з ПКМ	Вартість обладнання	Продуктивність	Міцність виробів	Кваліфікація робітника	Складність виробу	Однорідність деталі
Ручне формування	1	3	3	10	9	1
Формування еластичною діафрагмою у вакуумі	2	2	4	10	9	3
Напилення	4	4	3	10	8	1
Намотка	6	6	10	2	4	9
Пултрузія	7	9	9	2	2	10
Штамповка	10	8	7	4	9	10
Протяжка	10	10	5	2	1	10
Пресування	9	8	7	4	8	10
Лиття під тиском	10	10	6	2	10	10

Лиття під тиском дозволяє отримувати деталі великосерійно, при цьому готовий виріб часто не потрібно піддавати додатковому механічному обробленню. Низька щільність ПКМ дає додаткові переваги, оскільки тенденція розвитку машинобудування характеризується боротьбою зменшення маси з одночасним підвищенням міцності деталей.

Однією з істотних переваг для різних галузей машинобудування є те, що деталі з ПКМ можна виготовляти із застосуванням барвників, отримуючи деталі різного кольору. Також для деталей з ПКМ існують різні добавки, які можуть підвищувати фізико-механічні властивості полімерного матеріалу, відповідно і експлуатаційні властивості виробів з ПКМ.

Розвиток машинобудування характеризується постійною зміною

номенклатури застосовуваних деталей складної криволінійної форми і підвищенням вимог до точності та якості, таким чином, застосування виробів з ПКМ, що мають унікальні хімічні та фізико-механічні властивості, при малому споживанні енергії для їх виготовлення робить актуальною задачу підвищення якості та зносостійкості прес-форм.

Визначено типові конструкції, проаналізовано вимоги до матеріалів і їх твердості на робочих частинах прес-форми (таблиця 1.3) та технічні вимоги до поверхонь прес-форм (таблиця 2.4) [36; 38; 39; 40; 43]. Головними формоутворюючими частинами прес-форм є матриця, пуансон та вставки різних конфігурацій. Як правило, матриця формує зовнішню геометрію виробу, а внутрішню пуансон, вставки в матрицю і пуансон застосовують у тому випадку, якщо технологічно доцільно проводити їх обробку окремо. Слід пам'ятати, що кожна прес-форма має певні особливості, які залежать від розміру, складності геометричної форми, матеріалу, з якого для якого виготовляється прес-форма, а також можливості обробки на виробничому обладнанні.

Збільшення номенклатури виробів із ПКМ складної криволінійної форми у різних галузях машинобудування веде до ускладнення поверхонь формоутворювальних деталей прес-форм, що впливає на трудомісткість формування поверхонь прес-форм при фрезеруванні на багатофункціональних верстатах з ЧПУ. Вирішення завдання підвищення якості поверхні, зниження часу механічної обробки формоутворювальних поверхонь прес-форм на верстатах з ЧПУ має важливу теоретичну та практичну цінність та є пріоритетним напрямом дослідження.

Таблиця 2.3 – Технічні вимоги до робочих частин прес-форм

Найменування деталей	Марка сталі	Твердість формотворних частин прес-форм
Формотворчі простий деталі конфігурації	У8А; У10А; 40Х13; 38ХНМ	45–50 HRC <sub>3</sub>
Формоутворюючі деталі складної конфігурації	40Х; 40Х13; 38ХНМ; ХВГ; 9ХС; 12ХН3А	50–61 HRC <sub>3</sub>
Знаки	9ХС; 65Г; Х12МФ	38–49 HRC <sub>3</sub>
Тонкі знаки та вкладиші	65Г; У8А; У10А	45–50 HRC <sub>3</sub>

Таблиця 1.4 – Технічні вимоги до поверхонь прес-форм

Поверхня	Шорсткість	Квалітет	Вид обробки
Поверхня роз'єму	Ra 1,6	H8; h8; H7; h7; H6; h6	Точення, фрезерування
Формоутворюючі поверхні	Ra 0,4	H7; h7; H8; h8	Шліфування, тонке точення, тонке фрезерування
Інші поверхні	Ra 6,3	H12; h12	Чорне точення, фрезерування

Точність виконання та складання прес-форм має бути високою і не допускати зміщення формоутворювальних поверхонь щодо один одного по площині роз'єму, внаслідок чого, як правило, відбувається облий деталі, що веде до додаткових операцій механічної обробки після отримання виробу після формування, що призводить до збільшення трудомісткості отримання виробу та впливає на собівартість. Збільшення безвідмовного напрацювання та встановленого ресурсу та зниження кількості планових та капітальних ремонтів є актуальним завданням, вирішення якого досягається підвищенням якості формотворчих поверхонь та зносостійкості ливарних прес-форм.

### 1.1 Аналіз проблем, що виникають при виготовленні та експлуатації

формоутворюючих поверхонь прес-форм із загартованих сталей

В результаті вимог до матеріалів і твердості до робочих частин прес-форм, а також технічним вимогам до поверхонь виникають складності при чистовій механічній та електроерозійній обробці. Висока твердість формоутворювальних деталей до 61 HRC, низькі показники шорсткості  $Ra \leq 0,4$  мкм і висока точність деталей, що виготовляються, пред'являють підвищені вимоги до обробного інструменту і обладнання для виготовлення прес-форм.

При механічній обробці обробний інструмент повинен мати малий поверхневий тертя, що забезпечує сход стружки, запобігання наростоутворенню та утворення мікротріщин, зменшує сили різання і гарантує високу якість поверхні. Висока твердість, високоміцна основа, що дозволяють підвищити зносостійкість інструменту та забезпечити збільшену швидкість різання навіть у несприятливих умовах, підвищена стійкість, високі показники опору фарбуванню та утворенню мікротріщин на ріжучій кромці – це необхідний мінімум вимог, що пред'являються до обробного інструменту [3; 9; 18; 19; 98; 100; 101; 122]. Обладнання, що застосовується, повинно забезпечувати високі значення подачі та швидкості різання одночасно з відсутністю вібрацій під час обробки. У свою чергу, високі швидкості різання обмежує продуктивність процесу фрезерування така функціональна характеристика процесу обробки, як жорсткість системи «верстат – інструмент – пристосування – деталь» (СНІД). Жорсткість системи СНІД, що бракує, може викликати небажані вібрації під час обробки, що спричинить похибку форми і неточність розмірів обробленої деталі. Жорсткість верстата залежить від конструкції його виконання, а також від якості збирання елементів верстата [87; 99; 131; 132].

У процесі обробки продуктивність може бути обмежена через неправильну експлуатацію інструменту. Неправильно підібрані режими різання призводять до швидкого зношування інструменту. Точність інструменту в процесі зношування знижується, що призводить до спотворення його форми та

розмірів. У зв'язку з цим зношування інструменту істотно впливає на точність обробки. Значний вплив на точність обробки нагрів технологічної системи, наприклад, нагрівання шпинделя, в якому знаходиться найбільша кількість джерел тепловиділення. Поступове нагрівання при роботі призводить до зміщення осі шпинделя від вихідного положення і може впливати на точність розмірів деталей прес-форм, що виконуються.

Аналіз деталей прес-форм зі складними криволінійними формоутворюючими поверхнями показав, що вони часто виготовлені із загартованих корозійностійких сталей, оброблюваність яких так чи інакше належить до одним з найважливіших питань у сучасному машинобудуванні. Найбільш часто застосовуваними марками сталі у виробничих умовах є сталі 40X13 і 38XHM або їх аналоги, це пов'язано з наявністю цих марок сталі у постачальників і доступністю інструменту для обробки таких матеріалів, що мають високий опір корозії в агресивних середовищах, перш за все в атмосфері повітря, парів води та кислот [34; 55; 56; 102; 104; 112; 113]. Часто в процесі виготовлення прес-форму не роблять повністю, існує багато російських та зарубіжних компаній, які надають готові пакети плит для прес-форм, залежно від габаритних розмірів, визначених у конструкторській документації. У такому разі завдання виготовлення прес-форми зводиться до виготовлення формоутворювальних деталей із пакетних заготовок.

До матеріалів, що застосовуються для виробництва ливарних прес-форм, висувають високі вимоги до оброблюваності. Одним з поширених методів для оптимізації процесу механічної обробки є вибір раціональних режимів різання для кожної стадії обробки формоутворювальних поверхонь з урахуванням геометричних особливостей, припуску на заготівлі, твердості та необхідної шорсткості формоутворюючої деталі. Вимоги зводяться до того, що необхідно зменшити час на обробку деталей просторово-складної форми на багатофункціональних верстатах з ЧПУ шляхом вибору оптимальних режимів

різання і одночасно підвищити якість поверхні деталей для забезпечення мінімізації слюсарної доробки після операції фрезерування.

Електроерозійна обробка складних криволінійних поверхонь для прес-форм широко застосовується в машинобудуванні. Електроерозійний інструмент у вигляді різного типу електродів дозволяє обробляти матеріал високої твердості, що є головною перевагою технології електроерозійної обробки. Однак складна криволінійна формоутворююча поверхня деталей ливарних прес-форм, що часто зустрічається, має найрізноманітнішу форму і розташування на формотворчих деталях ливарних прес-форм, що ускладнює обробку, так як деякими методами електроерозійної технології неможливо отримати складну тривимірну криволінійну поверхню. В даний час технологія електроерозійного прошивного типу дозволяє отримувати такі формоутворюючі деталі ливарних прес-форм як матриці та пуансони, необхідної якості та точності із застосуванням сучасного обладнання та інструменту. Для виготовлення формоутворювальних деталей прес-форм необхідна низька шорсткість, технологія електроерозійної обробки не може забезпечити необхідної величини, тому після операції електроерозійної обробки потрібна слюсарна доробка формоутворювальних поверхонь. Однак для обробки складних криволінійних поверхонь формоутворювальної оснастки потрібно виготовити спеціальний електрод-інструмент, вартість такого інструменту може перевищувати вартість формоутворюючої деталі, що виготовляється [2; 5; 6; 48; 90; 109; 130; 146; 147].

Залежно від операції, що виконується, і від форми оброблюваної поверхні потрібно враховувати корекцію на електрод-інструмент. А саме розмір електрода-інструменту занижуються на величину корекції для даного режиму обробки. Для кожної операції розмір заниження повинен вважатися відокремлено, залежно від режиму обробки. Електрод-інструмент виготовляється найчастіше із міді чи графіту слюсарно-механічним способом, за кресленням з урахуванням корекції на величину міжелектродного зазору.

Процес копіювально-прошивної електроерозійної обробки виготовлення складних криволінійних поверхонь переважно залежить від вибору оптимальних режимів обробки, оскільки від струму розряду, довжини імпульсу і форми струму розряду залежать промив міжелектродного проміжку і продуктивність, отже, і шорсткість обробленої деталі. На рисунку 2.1 показано співвідношення між струмом розряду, інтенсивністю обробки та зносом електрода при обробці сталеві заготовки. В основному при великому струмі розряду обробка відбувається при великій швидкості зняття матеріалу, але також прискорюється зношування електрода. При використанні різних режимів обробки знос графітового та мідного електрода буде різним.

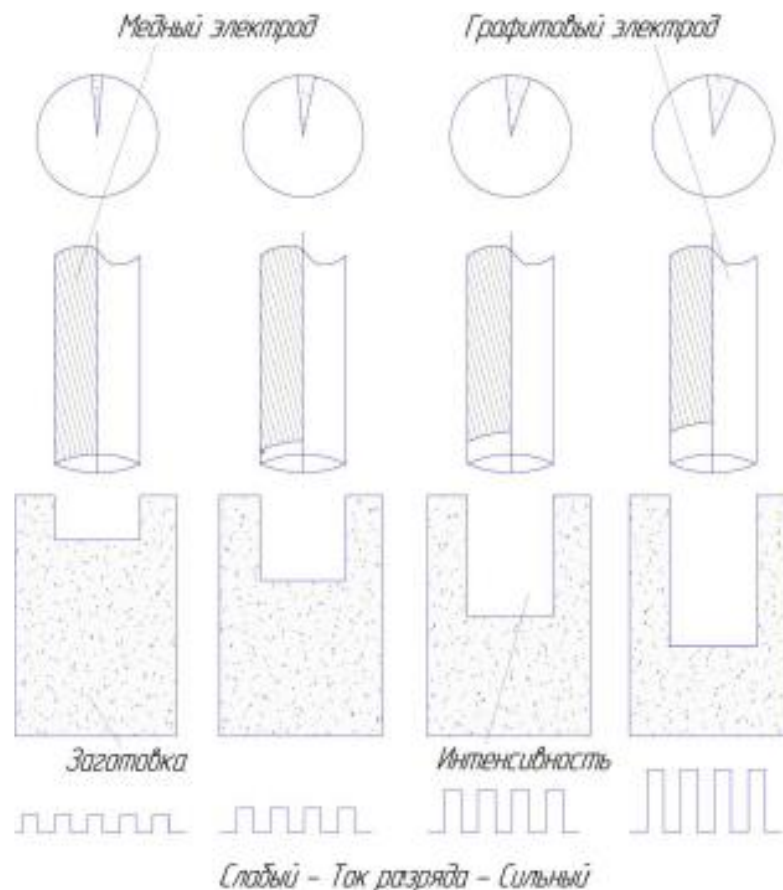


Рисунок 5.1 – Співвідношення струму розряду, інтенсивності обробки та зносу електрода при обробці сталеві заготовки

На рисунку 2.2 показано співвідношення шорсткості поверхонь оброблюваних електродом від зазору енергії розряду. Зазвичай зі збільшенням

розряду зростає шорсткість і збільшується зазор. Вибираючи енергію розряду, можна отримати потрібну шорсткість. Змінюючи енергію розряду, необхідно підібрати оптимальне відношення швидкості обробки та зношування електрода. Енергія розряду залежить від імпульсу: чим коротший імпульс, тим шорсткіше менше, а чим більше імпульсу, тим шорсткість більше.

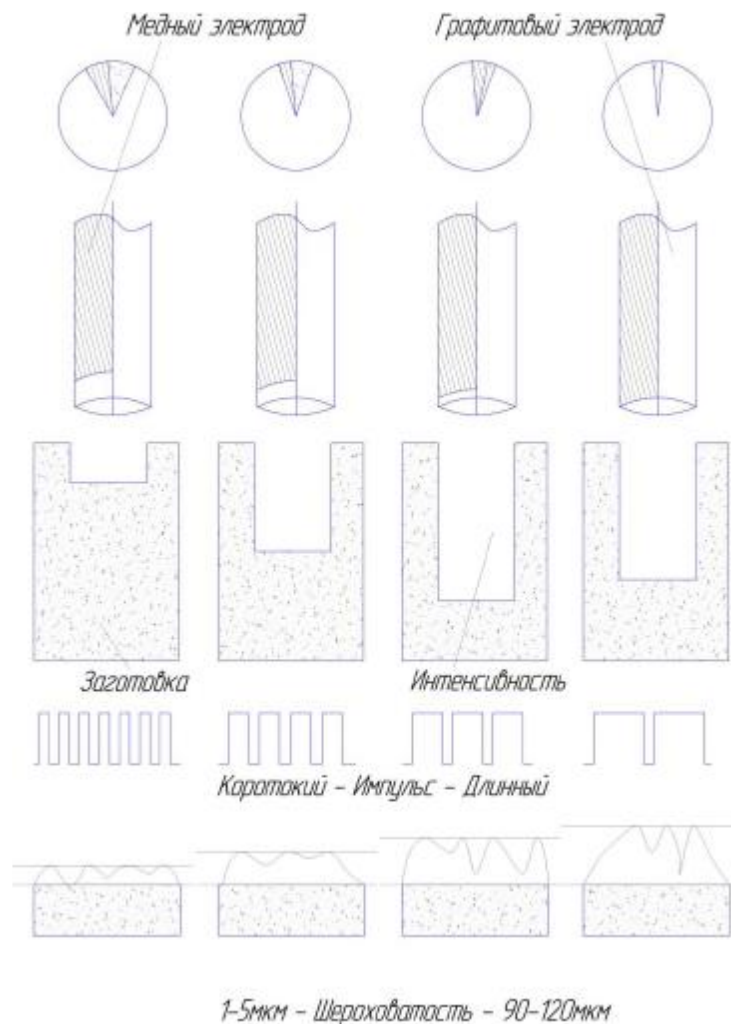


Рисунок 5.2 – Співвідношення шорсткості оброблюваних поверхонь та зазору енергії розряду

На рисунку 2.3 показано співвідношення інтенсивності обробки, зносу електрода та промиву від часу між імпульсами. Зазвичай зі збільшенням часу між імпульсами необхідно враховувати матеріал заготівлі. За інших рівних умов продуктивність обробки підвищується пропорційно зменшенню часу між імпульсами.

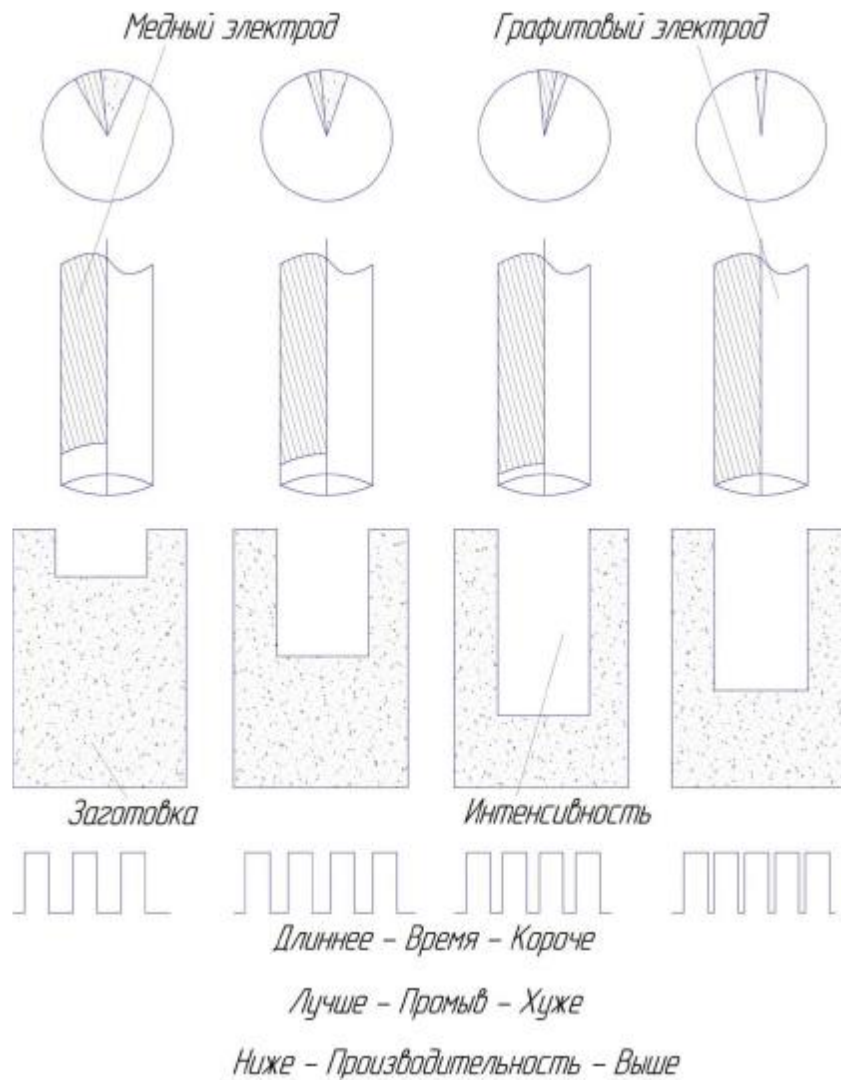


Рисунок 5.3 – Співвідношення інтенсивності обробки, зносу електрода та промивання від часу між імпульсами

Складність у призначенні параметрів електроерозійної обробки та виготовлення електрода-інструменту, а також його дорожнеча обмежують застосування електроерозійної обробки у виробництві складної формоутворюючої оснастки.

При експлуатації прес-форм неминучий знос формоутворювальних поверхонь, ремонт і заміна зношених частин і деталей прес-форм, зокрема формотворчих деталей, є дорогим і трудомістким процесом. В даний час вартість однієї прес-форми може варіюватися від 1 до 10 млн рублів в залежності від габаритних розмірів і складності деталі, що виготовляється, а вартість ремонту

внаслідок зносу може доходити до 70% від вартості самої прес-форми.

На сьогоднішній день у багатьох сферах машинобудування застосовується метод лиття з ПКМ у прес-форми, проте дослідженню механізмів руху в'язкотекучих матеріалів з наявністю армуючого волокна в закритих порожнинах з різною шорсткістю формоутворювальних поверхонь приділено мало впливу. Розуміння механізму руху в'язкотекучого матеріалу всередині ливарних прес-форм із закритих порожнин може допомогти у розробці методів впливу на цей процес при фрезеруванні на верстатах з ЧПУ. У роботі [69] розглядається новий метод лиття під тиском для визначення параметрів технологічного циклу лиття виробів із ПКМ та визначення можливості оптимізації руху полімерної маси в закритій порожнині для створення умов, що сприяють впливу на орієнтацію армуючого волокна. Результати дослідження двох протилежних за результатами режимів показано рисунку 2.4.

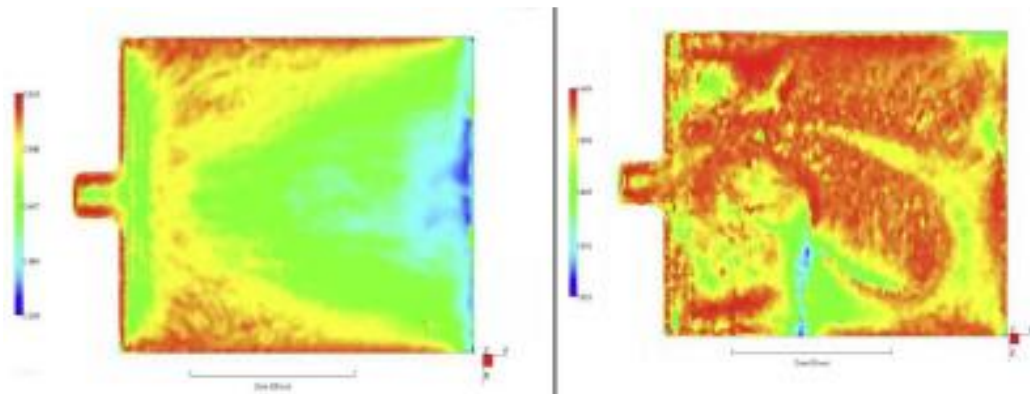


Рисунок 5.4 – Результат оптимізації орієнтації армуючого волокна у САЕ-системі

Дослідження проведено у САЕ-системі, використання таких програмних продуктів дозволяє оцінити орієнтацію армуючого волокна всередині закритої порожнини, в якій відбувається рух полімерної маси. У роботі показано методіку оцінки фізико-механічних параметрів деталі, що отримується за допомогою даних, отриманих в результаті моделювання.

Процес заповнення в'язкотекучих матеріалів є одним із пріоритетних напрямів досліджень. Вплив на процес заповнення в закритих порожнинах

впливає на конструкційні характеристики деталей, що виготовляються з ПКМ. У роботі [133] досліджено процес заповнення статорної лопатки компресора ПКМ. Викладено, що у загальному вигляді процес заповнення прес-форми описується чисельними методами кінцевих елементів з допомогою рівняння Нав'є – Стокса, що у своє чергу і двох рівнянь, одне з яких рівняння руху, а друге рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \nu \Delta \vec{v} - \frac{\nabla p}{\rho} + f; \quad (1.1)$$

$$\nabla \vec{v} = 0, \quad (1.2)$$

де  $\nabla$  – оператор набла;

$\Delta$  – оператор Лапласа;

$p$  – тиск;

$\nu$  – векторне поле швидкостей;

$t$  – час;

$\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості;

$\rho$  – щільність;

$f$  - Векторне поле масових сил.

Функціями часу у цьому рівнянні є швидкість і тиск, які розглядаються або у двовимірному або тривимірному просторі. За відомою моделлю Кроса – Вільямса – Ландела – Феррі визначають в'язкість. Модель описує функцію в'язкості, яка залежить від тиску, температури та швидкості зсуву:

$$\eta = \frac{\eta_0}{1 + \left(\frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*}\right)^{1-n}}, \quad (1.3)$$

де  $\eta$  - в'язкість розплаву (Па \* с);

$\dot{\gamma}$  – швидкість зсуву (1/с);

$\eta_0$  - в'язкість при нульовому зрушенні;

$\tau^*$  – критичний рівень напруги на початку зсувної деформації.

У процесі роботи було визначено режими, що забезпечують повне

заповнення та бажану орієнтацію волокна. За допомогою САЕ-моделювання було виявлено, що необхідна орієнтація найбільше залежить від швидкості упорскування розплаву. Однак представлені рівняння не враховують шорсткість формуютьворювальних поверхонь прес-форми та її вплив на процес заповнення прес-форми.

Метод лиття під тиском дозволяє отримувати якісні та бездефектні вироби із ПКМ, це обумовлено структурно-механічними властивостями полімерних матеріалів. Для формування науково обумовлених вимог до технологічного процесу заповнення вязкотекучими матеріалами прес-форм необхідно вивчення реологічних характеристик полімерних матеріалів.

Процес заповнення прес-форм є багатофакторним і його дослідження є пріоритетним завданням при оптимізації технологічного процесу лиття. У роботах [164; 169; 126] за допомогою моделювання процесу лиття розглянуто питання визначення оптимального стану частин прес-форми у вигляді литникових каналів. Між ливарними параметрами прес-форми, такими як тиск, температура в прес-формі, температура розплаву і час охолодження виявлено взаємозв'язок з усадкою, яка виходить на готовому виробі полімерів в результаті роботи прес-форми.

### 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ МАКРОРЕЛЬЄФУ НА ФОРМОУТВОРЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХНЯХ ЗА ВИСОТОЮ І НАПРЯМКОЮ ВИРОБНИЧІСТЬ, ВИРОБНИЧІСТЬ,

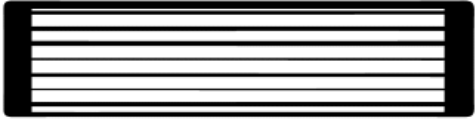




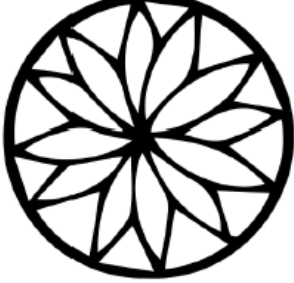
Теоретичне обґрунтування впливу макрорельєфу на формоутворюючих поверхнях по висоті та напрямку на якість та зносостійкість обробленої поверхні методом профільного фрезерування кінцевими сферичними фрезами

Аналіз існуючих методів підвищення зносостійкості прес-форм і методів забезпечення якості поверхневого шару деталей складної геометричної форми показав, що в даний час не враховується вплив макрорельєфу, що формується, на формотворчих поверхнях на ступінь зношування формоутворюючої оснастки.

При будь-якій механічній обробці матеріалів на поверхні, що сполучається з обробним інструментом, виникають нерівності – макрорельєф. Причин виникнення нерівностей безліч: нерівномірність прикладених зусиль обробного інструменту, зношування ріжучої кромки, нерівномірність властивостей оброблюваного матеріалу, деформації, що виникають у процесі механічної лезової обробки в системі СНІД, нерівномірність температури в зоні різання і т.д. Мікронерівність у вигляді виступів і западин являють собою шорсткість поверхні з різним типом напрямків нерівностей по відношенню до лінії, що зображує на кресленні поверхню, до якої встановлюється шорсткість (таблиця 2.1) [37; 42].

При інтенсивній експлуатації поверхонь у різних вузлах машинобудівного призначення шорсткість може впливати як на фізико-механічні властивості, так і на органолептичні властивості виробів, такі як міцність, стійкість до зносу, корозійну стійкість і зовнішній вигляд.

Таблиця 3.1 - Типи напрямків нерівностей

Типи напрямків нерівностей	Схематичне зображення
Паралельне	
Перпендикулярне	
Перехрещується	
Довільне	
Кругоподібне	
Радіальне	

При переміщенні один щодо одного дотичних поверхонь значна частина енергії витрачається на подолання сил тертя. В результаті цього виникає нагрівання елементів елементів механізмів, що труться, і відбувається розсіювання витраченої енергії. Таким чином, знижується ефективність передачі енергії в роботі вузлів машин та механізмів. Для підвищення ефективності передачі енергії та зменшення сил тертя при русі потрібно знижувати величину шорсткості, одночасно підвищуючи якість поверхні деталей, що рухаються.

При зміні величини шорсткості у бік зменшення при механічній обробці

можлива зміна структури поверхні, що обробляється. При фрезеруванні виникають високі температури в зоні контакту інструменту і заготівлі, при температурі понад 800°C відбуваються структурні зміни матеріалу, що обробляється. Оброблена поверхня може мати структуру, відмінну від такої в початковій заготівлі, що необхідно враховувати при призначенні режимів обробки на верстатах з ЧПУ, особливо на фінішних операціях, коли обробка може вестися інструментом малого діаметра для отримання та формування необхідної шорсткості.

Тертя внаслідок високої величини шорсткості викликає підвищений знос поверхонь, що труться. Часто в машинобудуванні застосовуються мастильні матеріали, що дозволяють частково уникнути процесу тертя, проте не завжди мала величина шорсткості сприяє позитивному результату. Висока якість поверхні в різних вузлах обертових елементів може призвести до прилипання поверхонь в результаті високонавантаженої роботи, в таких випадках наявність деякої висоти шорсткості призводить до того, що мастило, потрапляючи у западини, залишається там і не вичавлюється, створюючи умови для роботи при інтенсивній експлуатації.

У сучасному машинобудуванні велику увагу приділяють формуванню шорсткості на відповідальних деталях та поверхнях. Використовуваний обробний інструмент, оброблюваний матеріал і обладнання, що застосовується повинні забезпечувати досягнення вимог, що пред'являються за величиною шорсткості.

При фрезеруванні шорсткість забезпечується завдяки технологічному процесу, в якому суворо визначені режими різання, геометричні параметри обробного інструменту, призначено матеріал оброблюваної деталі та інструменту, а також визначено обладнання, на якому проводитиметься обробка. У виробничих умовах зниження величини шорсткості технологи занижують режими фрезерування зі зняттям надлишкового навантаження на обробний

інструмент і заготівлю у процесі обробки. При таких режимах різання необхідно, щоб інструмент не мав дефектів на кромці.

Висунуто гіпотезу, що при використанні нової технології шляхом створення спрямованого раціонального макрорельєфу на формоутворюючих поверхнях при фрезеруванні на верстатах з ЧПУ забезпечується більш висока якість обробленої поверхні. Під більш високою якістю поверхонь прес-форм мається на увазі висока ефективність технологічного циклу лиття, що забезпечує найбільшу швидкість заповнення прес-форм і найменше зношування поверхні, збільшуючи при цьому зносостійкість формоутворюючих поверхонь прес-форм. Технологія спрямованого формоутворення макрорельєфу (ТНФМ) передбачає вибір траєкторії обробки та формування ребристості – макрорельєфу необхідної висоти та напрямку щодо перебігу розплаву в прес-формі.

4. Обґрунтування впливу макрорельєфу формоутворюючих поверхонь на рух високов'язкої рідини у закритих порожнинах

Відомо, що рух високов'язкої рідини пов'язане з рухами всередині потоку частинок по різних траєкторіях. Ламінарний, а також турбулентний рух відкритий завдяки працям Г. Хакена, Д.І. Менделєєва та Осборна Рейнольдса. У ламінарному русі при малих швидкостях потоки рідини не перемішуються, а турбулентному русі частинки рідини рухаються безладно. Число Рейнольдса служить визначення режиму руху рідини, це безрозмірна величина є ставленням швидкості до параметрів тертя, що у процесі руху – в'язкості [141].

Число Рейнольдса для труб визначається за такою формулою:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (2.1)$$

де  $\nu$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м<sup>2</sup>/с

$v$  – середня швидкість потоку рідини, м/с.

У випадку, коли порожниною є некруглий переріз, для розрахунку числа Рейнольдса використовується гідравлічний діаметр, що є відношенням площі поперечного перерізу і змоченого периметра:

$$Re = \frac{v \cdot d_{\text{гидр}}}{\nu}, d_{\text{гидр}} = \frac{4S}{\Pi}, \text{ м}, \quad (2.2)$$

де  $\Pi$  – змочений периметр, м;

$S$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;

Режим руху можна встановити за значенням числа Рейнольдса: визначають нижню критичну швидкість  $u_{н.к.}$ , за якою призначають режим руху рідини.

Режим руху рідини дозволяє оцінити втрати напору по довжині потоку. Втрати напору по довжині потоку при ламінарному русі залежать від коефіцієнта при ламінарному русі рідини та швидкості потоку і розраховуються за формулою:

$$hw = k_{\text{л}} \cdot v, \quad (2.3)$$

де  $k_{\text{л}}$  – коефіцієнт пропорційності ламінарного режиму руху рідини.

У наведеній формулі діаметр циліндричної порожнини можна замінити на гідравлічний діаметр, розглядаючи порожнини нециліндричного перерізу. На стінках порожнин, якими рухається рідина, існує деяка величина нерівностей, мікронерівності і макронерівності, які впливають на режим руху рідини. Гідравлічно гладкими поверхнями вважають ті, у яких величина шару  $\delta$  більше величини нерівностей, і навпаки ті, у яких величина шару  $\delta$  менше величини нерівностей, називають гідравлічно шорсткими поверхнями. Величина нерівностей на поверхні порожнини непостійна, таким чином виділяють  $\Delta_{\text{екв}}$  – еквівалентну шорсткість, яка визначає величину втрат напору внаслідок тертя  $h_{\text{тр}}$ . Також виділяють відносну шорсткість  $\Delta/D$ , яка визначається ставленням шорсткості до діаметра аналізованої порожнини.

Присутність нерівностей сприяє опису ламінарного режиму руху. Рух рідини всередині порожнини можна представити як безліч шарів, при русі поблизу стінки нерівність, що є на ній, породжує виникнення сил тертя, і швидкість у шарів поблизу стінки дорівнює нулю. При віддаленні від стінок

швидкість кожного наступного шару збільшується, попередній шар з найменшою швидкістю гальмує наступний, і, таким чином, на максимальній відстані від стінок швидкість рідини має максимальне значення. Наприклад, зміна швидкості руху рідини в трубці здійснюється за параболічним законом. Різниця швидкостей різних потоків рідини призводить до виникнення сил тертя. Епюра ламінарного руху представлена на рисунку 2.1.

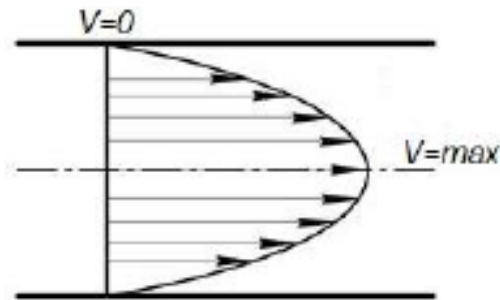


Рисунок 5.1 – Епюра ламінарного руху

На відміну від ламінарного режиму руху рідини, турбулентний режим руху необхідно описувати як рух, у якому спостерігається безладне рух рідини. Частинки рідини в такому режимі рухаються складними траєкторіями і постійно перемішуються. Виникають невпорядковані вири поблизу стін порожнини, якою рухається рідина, переміщаючись до центру порожнини. Поблизу стінок швидкість потоку дорівнює нулю, при віддаленні від стінок швидкість зростає, виникають поступальні та обертальні рухи, внаслідок цього рідина постійно перемішується.

Присутність нерівності у разі може бути основним чинником виникнення невпорядкованого руху рідини. При такому режимі руху відбувається постійна зміна величини та напрямку швидкостей, виділяють миттєву, усереднену та пульсаційну швидкість руху рідини в конкретній точці, миттєву швидкість розраховують за формулою:

$$u_x = \bar{u}_x + u'_x,$$

Де  $u_x$  – миттєва швидкість;

$\bar{x}$  – усереднена швидкість;

Перемішування характеризується постійним переміщенням частинок рідини з областей поблизу стінки до центру порожнини і навпаки, таким чином, частинки рідини набувають і втрачають пульсаційну швидкість. Частинки рідини з малою величиною швидкості гальмують частинки з великою величиною, викликаючи інерційний гальмуючий ефект. Епюра турбулентного руху представлена на рисунку 2.2.

Розподіл швидкостей усередині турбулентного потоку можна описати наступною схемою взаємодії. Поблизу стінок з деякою величиною нерівності швидкість частинок рідини дорівнює нулю, у процесі віддалення від стінок швидкість збільшується, формуючи ламінарний шар деякої величини з малою швидкістю течії, подальше збільшення швидкості формує турбулентне ядро. На перетині ламінарного шару та турбулентного ядра відбувається значне збільшення швидкості.

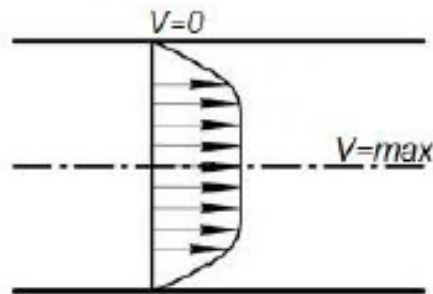


Рисунок 5.2 – Епюра турбулентного руху

Виникаючі втрати енергії при русі частинок рідини та визначення величини цих втрат внаслідок впливу параметрів режимів руху є одним із основних питань. Частинки рідини, рухаючись у масі, втрачають енергію внаслідок зіткнення зі стінками порожнини, по якому відбувається рух, а також втрати енергії залежать від геометричних параметрів порожнин, таких як звуження, виступи, поглиблення, розширення та інші конструкторські елементи порожнин, які можуть впливати на рух потоку та його напрямок. Також втрати

енергії пов'язані з фізико-механічними властивостями рідини, наприклад з в'язкістю.

Залежно від геометричних властивостей порожнин, якими тече рідина, і навіть величини шорсткості стін змінює коефіцієнт тертя. Внаслідок змінюються при русі рідини по порожнині параметрів, що впливають режим руху рідини, коефіцієнт тертя має різні величини і залежить від різних факторів. Розрізняють кілька областей, у яких коефіцієнт тертя має різну природу виникнення: область ламінарного потоку, область турбулентного потоку із збереженням ламінарного шару, перехідна область і область квадратичного опору. Таким чином, за різного режиму руху рідини, що характеризується різними діапазонами числа Рейнольдса, втрати енергії на тертя розраховуються для кожної позначеної області по-різному.

Перша область обмежується числом Рейнольдса  $Re < 2300$ , у разі немає залежності від шорсткості, а коефіцієнт тертя лінійно залежить від числа Рейнольдса:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

У другій області, у разі, коли товщина ламінарного шару більше величини шорсткості, вона не впливає на коефіцієнт тертя, так як ламінарний шар рідини, що рухається, закриває стінку порожнини з наявною шорсткістю. Число Рейнольдса в цьому випадку розраховуватиметься за формулою:

$$Re = 27 \left( \frac{d}{\Delta} \right)^{1,14}$$

У перехідній області, на відміну від області при турбулентному потоці, коли величина шорсткості не впливає на коефіцієнт тертя, спостерігається наступна схема руху рідини - ламінарний шар рідини поблизу стінки менше величини шорсткості, таким чином, наявна шорсткість безпосередньо впливає на потік і збільшує турбулент збільшенні турбулентності рідина перемішується,

швидкість при переході від стінки в центр порожнини змінює свою величину і напрямок, в такому потоці збільшуючи опір всередині потоку, що рухається, таким чином, коефіцієнт тертя визначається за залежністю:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g \left[ \frac{\Delta}{3,7} + \left( \frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right].$$

При впливі на величину і напрямок мікро- і макрорельєфу при виготовленні порожнин, якими рухається рідина, можливо створити такий макрорельєф, який не перешкоджатиме течії рідини по формотворчій порожнині.

2.3 Математичне моделювання впливу формування макрорельєфу на формоутворюючих поверхнях з різною траєкторією фрезерування на рівномірність заповнення різних порожнин прес-форм та алгоритм вибору раціональної траєкторії фрезерування для кожної конкретної порожнини

Виявлено, що на рух високов'язкої рідини в порожнинах впливає як мікрорельєф, так і макрорельєф на формотворчих поверхнях прес-форм, який, у свою чергу, виникає через режими та стратегію фрезерування в процесі виготовлення деталей. Одними з головних параметрів, що визначають висоту шорсткості, є режими фрезерування, такі як швидкість різання -  $V$ , глибина різання -  $t$  і подача на оборот  $S_o = S_z Z$ , де  $S_z$  - це відстань, на яку переміщається фреза під час повороту фрези на кут між двома сусідніми зубами,  $Z$  – кількість зубів фрези. Зазначені параметри фрезерування обумовлюються вимогами до оброблюваної поверхні і залежать від безлічі факторів, таких як оброблюваний матеріал, обробний інструмент, застосовуване обладнання, стратегія фрезерування та ін. Стратегія фрезерування, у свою чергу, визначається можливостями обраного обладнання та використовуваним програмним забезпеченням. При фрезеруванні криволінійних поверхонь сферичними фрезами на поверхні, що обробляється, утворюються сліди обробки - гребінці  $h$ . Параметри гребінців і відповідно шорсткість оброблюваної поверхні залежать від застосовуваного інструменту і параметрів фрезерування (Рисунок 5.3).

Висота та форма гребінця  $h$  залежать від  $S_z$  та  $D$  і розраховуються за формулою:

$$h = \frac{S_z^2}{4D},$$

де  $S_z$  - Подача, мм / зуб;

$D$  – діаметр обробного інструменту, мм.

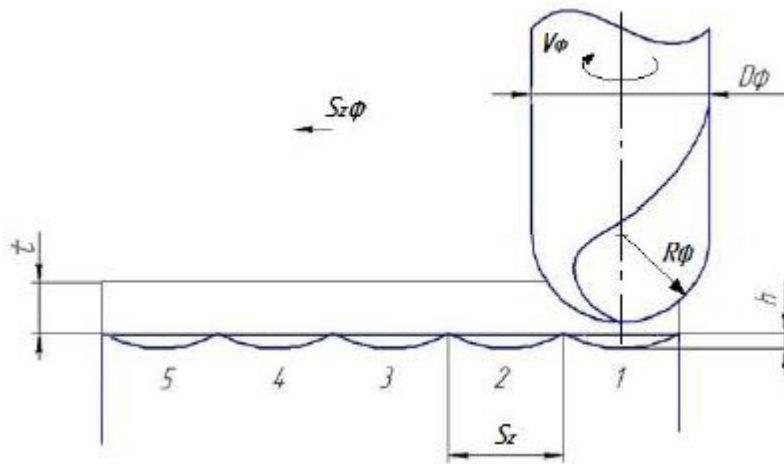


Рисунок 5.3 – Моделювання формування слідів обробки – гребінців при фрезеруванні кінцевою сферичною фрезою  $\varnothing D\phi$  з подачею  $S_z$

За відомою залежності при точенні такий параметр шорсткості, як найбільша висота нерівностей профілю  $R_{\max}$ , залежить від величини подачі на оборот і закруглення радіусу оброблювального інструменту [172].

$$R_{\max} = \frac{S_o^2}{8R_p} 1000,$$

Чим вище подача і менше діаметр обробного інструменту, тим висота нерівностей більше, а на практиці через наявність биття оправки або зміщення центру при встановленні фрези щодо осей верстата  $h$  може бути значно вищим за розрахунковий, зниження похибки може досягатися призначенням оптимальних режимів різання і вибором необхідного обробного інструменту [122].

Профіль поверхні внаслідок руху обробного інструменту формується за

рахунок перетину двох положень ріжучої кромки інструменту, що знаходяться на відстані, що дорівнює подачі. Формована при цьому висота нерівностей може бути розрахована за наведеними вище формулами, а може бути визначена експериментальними дослідженнями. У роботах [163; 23; 97; 119; 163; 165] показано дослідження залежності формованої висоти нерівностей при фрезеруванні залежно від режимів різання та геометричних параметрів інструменту. Доведено, що розрахункова висота нерівностей співвідноситься з найбільшою висотою нерівностей профілю  $R_{\max}$  на базовій довжині, однак параметр шорсткості  $R_a$  є кращим згідно з ГОСТ, і слід керуватися таблицею співвідношення значень параметрів шорсткості.

Складні криволінійні формоутворюючі поверхні деталей прес-форм виконують у процесі фрезерування на верстатах з ЧПУ, проводячи обробку по трьох координатних осях. Схема фрезерування складної криволінійної формоутворюючої поверхні за допомогою САМ-систем представлена на рисунках 2.4 та 2.5. Можна проводити обробку з розташуванням руху фрези паралельно до профілю поверхні - вздовж і за нормаллю до профілю поверхні - уперек, така технологія фрезерування здатна скоротити трудомісткість процесу фрезерування на верстатах з ЧПУ шляхом скорочення рядків програми [31].

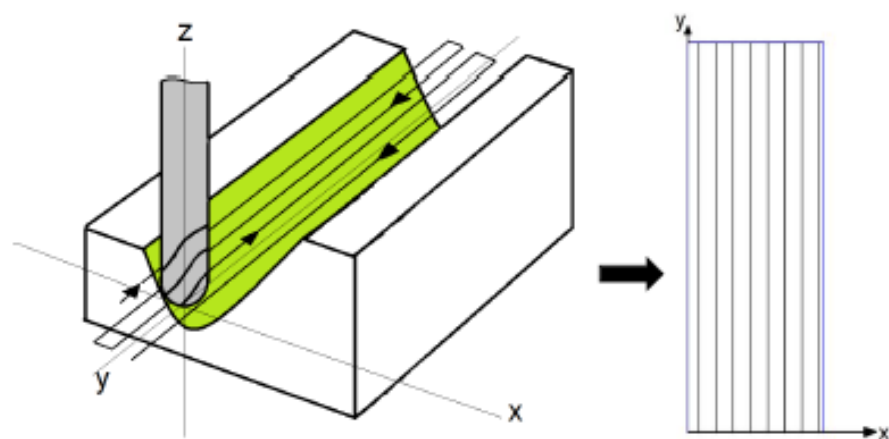


Рисунок 5.4 – Схема фрезерування з траєкторією, розташованою вздовж формоутворюючої поверхні

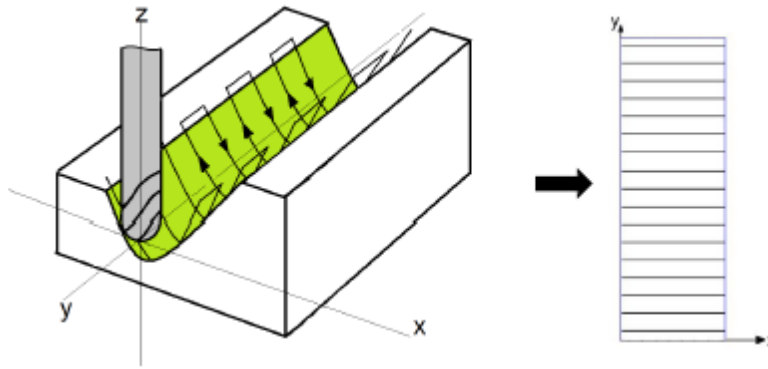


Рисунок 5.5 – Схема фрезерування з траєкторією, розташованою поперек формуючої поверхні

Однак у сучасному машинобудуванні при існуванні різних САМ-систем формування великої кількості рядків у програмах не є складністю, у тому числі завдяки потужним обчислювальним можливостям ПК та сучасних верстатів з ЧПУ. Завдяки розвитку обчислювальної техніки можлива побудова траєкторій обробки під будь-яким кутом на формуючій поверхні, обмежуючись лише геометричними параметрами заготовки та деталі, що виготовляється (Рисунок 5.6).

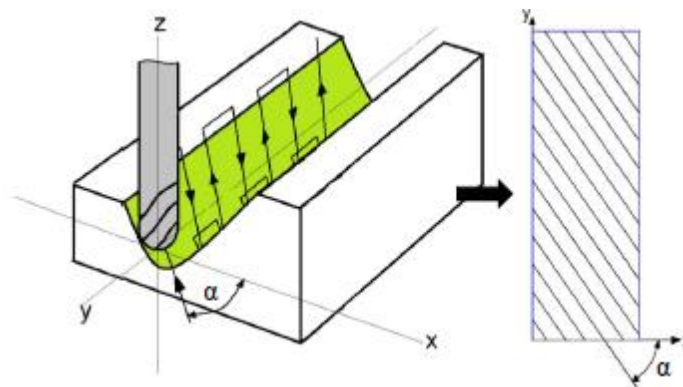


Рисунок 5.6 – Схема фрезерування формуючої поверхні з траєкторією фрезерування під кутом  $\alpha$

При фрезеруванні складних криволінійних формуючих поверхонь кінцевими сферичними фрезами між двома сусідніми проходами виникає величина залишкового перерізу зрізу - величина макрорельєфу між проходами - ребристість  $R$  яка залежить від радіусу кривизни оброблюваної поверхні, радіусу

інструменту і кроку між проходами фрезерування  $P_n$  і  $P_{n+1}$ , Розраховується за формулою:

$$R = \frac{\Delta S^2}{8} \left( \frac{1}{R_{\text{фр}}} - \frac{1}{\rho} \right),$$

У існуючих технологічних процесах не враховується вплив висоти макрорельєфу, що формується в результаті появи ребристості і його напрямок залежно від траєкторії фрезерування. Нераціонально сформований макрорельєф на формоутворюючій поверхні призводить до відносно швидкого зношування деталей прес-форм. Складна геометрія деталі з криволінійними поверхнями обумовлює велику кількість операцій технологічного процесу виготовлення формоутворювальних деталей прес-форм на верстатах з ЧПУ. Використання високоточних багатокординатних верстатів дає можливість технологу застосовувати раціональну траєкторію обробки для отримання необхідного макрорельєфу формоутворювальних поверхонь.

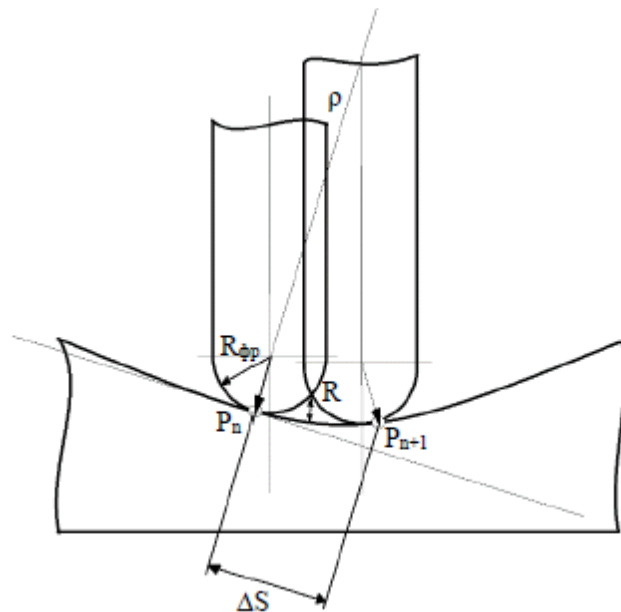


Рисунок 5.7 – Схема формування ребристості при фрезеруванні формотворчої поверхні

Таким чином, необхідним є моделювання формування макрорельєфу на формоутворюючих поверхнях з різною траєкторією фрезерування, що може дати

істотний позитивний результат при досягненні підвищення зносостійкості деталей формуювальної оснастки.

Форма та розміри формуювальної поверхні та деталей прес-форм, геометрія виробів, що виготовляються методом лиття під тиском, у сукупності впливають на ефективність технологічного циклу лиття, швидкість заповнення прес-форм та знос формуювальних поверхонь прес-форми. Проведено аналіз широкої номенклатури деталей, що виготовляються методом лиття у прес-форми під тиском, на підприємствах, що виготовляють вироби з ПКМ для різних галузей машинобудування. Проаналізовано понад 2000 деталей, наведено класифікацію цих деталей за конструкційними геометричними особливостями.

#### 4 РОЗРОБКА МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ НАПРЯМЛЕНОГО ФОРМУВАННЯ МАКРОРЕЛЬЄФУ НА ФОРМОУТВОРЮВАЛЬНИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ФРЕМЕНТІВ ПРИ ФРЕМЕНТІВ ПРИ ФРЕМЕНТІВ

##### 4.1 Вибір матеріалів та зразків для експериментальних досліджень

З метою підтвердження висновків, отриманих у другому розділі, та визначення залежностей необхідно провести експериментальні дослідження. Для виготовлення формують деталь прес-форм застосовують такі найпоширеніші матеріали, як корозійно-стійка жароміцна сталь 40Х13 або конструкційна легована сталь 38ХНМ, що пройшли термообробку та загартування, тому для проведення експериментальних досліджень були обрані дані сталі. Хімічний склад та механічні властивості матеріалів 40Х13 та 38ХНМ показані в таблицях 3.1 та 3.2.

Для забезпечення високої якості та точності формують деталі перед операціями чистового фрезерування піддають термічній обробці, загартуванню та подальшій відпустці, в результаті одержуваної підвищеної твердості накладаються високі вимоги до вибору обладнання та обробного інструменту.

При підготовці експериментальних досліджень визначення функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні в залежності від режимів фрезерування, що призначаються, а також величини макрорельєфу в залежності від параметрів поверхні і параметрів фрезерування визначені зразки заготовок (Рисунок 5.1).

Таблиця 3.1 – Хімічний склад досліджуваних матеріалів, що застосовуються для виготовлення ливарних прес-форм

Хімічний склад матеріалу 40X13								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr		
0,35–0,44	До 0,6	До 0,6	До 0,6	До 0,025	До 0,03	12–14		
Хімічний склад матеріалу 38ХНМ								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,33–0,43	0,17–0,37	0,75–1,05	0,4–0,7	До 0,04	До 0,045	0,4–0,7	До 0,3	До 0,3

Таблиця 4.2 – Механічні властивості досліджуваних матеріалів, що застосовуються для виготовлення ливарних прес-форм

Параметр	38ХНМ	40X13
Твердість	45...50 HRC	53...55 HRC
Межа міцності, $\sigma_B$	750 МПа	1650 МПа
Межа пропорційності, $\sigma_T$	550 МПа	1150 МПа
Ударна в'язкість, КСЧ	500 кДж/м <sup>2</sup>	110 кДж/м <sup>2</sup>

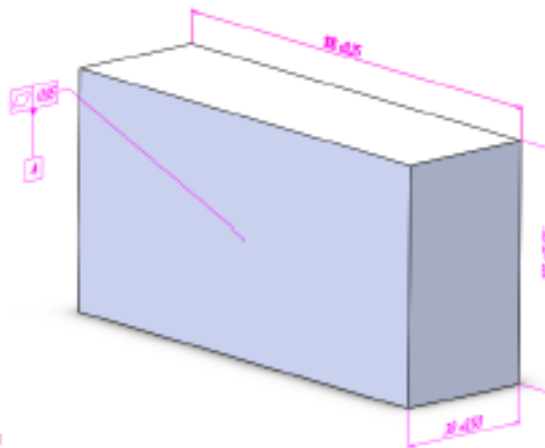


Рисунок 5.1 – 3D-модель зразка для проведення експериментальних досліджень

Характеристики вибраних зразків відповідають типовим заготовкам для виготовлення формуювальних деталей прес-форм, таких як матриці, пуансони, вставки, шибери та інші формуючі елементи. При проведенні експериментальних досліджень отримані функціональні зв'язки будуть використані для експериментальних досліджень при обробці деталей прес-форм.

Для проведення експериментальних досліджень обробки деталей прес-

форм обрано формоутворюючі деталі 38 прес-форм, приклад заготівлі формоутворюючої деталі прес-форми розміром 680x300x90 мм представлений на рисунку 3.2.

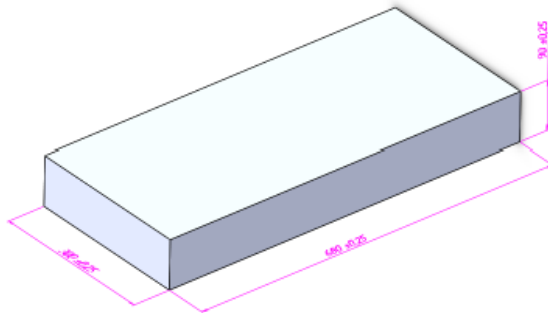


Рисунок 5.2 – 3D-модель заготівлі деталі ливарної прес-форми

При проведенні експериментальних досліджень визначення впливу траєкторії фрезерування на формування макрорельєфу формоутворювальних поверхонь та впливу макрорельєфу на зносостійкість формоутворювальних деталей використовувалися деталі прес-форм для виготовлення різних видів деталей з ПКМ. Зокрема пуансон деталі «Накладка», в якій оброблялися формоутворюючі поверхні (Рисунок 5.3).

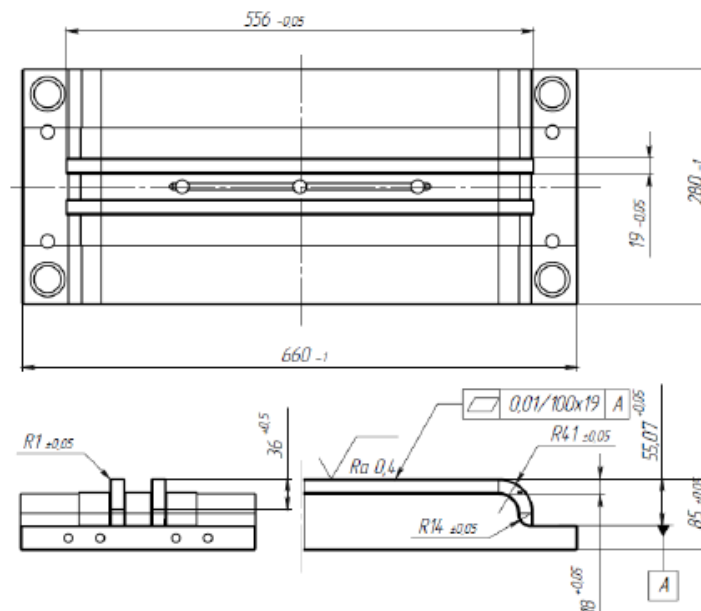


Рисунок 5.3 – Ескіз формотворчого пуансону прес-форми «Накладка»

Стандартні технології обробки не забезпечують необхідної зносостійкості та якості поверхні внаслідок геометричних характеристик деталі з ПКМ (Рисунок

5.4), що відливається в прес-формі, великої площі поверхні дотику розплаву з формоутворюючими поверхнями деталей та підвищених вимог щодо відхилення від площинності та шорсткості, тому потрібно застосування методів керування фрезеруванням.

Вибрані матеріали для експериментальних досліджень функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні в залежності від призначених режимів фрезерування та функціонального зв'язку величини макрорельєфу в залежності від параметрів поверхні та параметрів фрезерування найбільш часто застосовуються для виготовлення формотворчих деталей прес-форм завдяки їх механічним та експлуатаційним властивостям. Такі матеріали є корозійно-стійкими, їх розміри практично не змінюються після термообробки, і вони мають високий рівень оброблюваності.

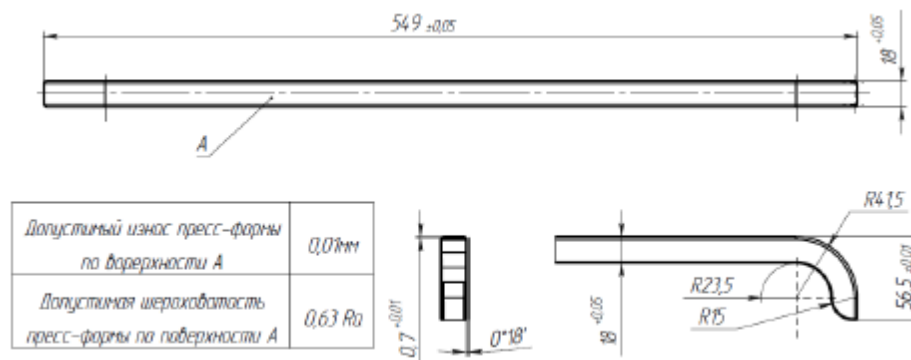


Рисунок 5.4 – Ескіз ливарної деталі із ПКМ «Накладка»

Для прикладу формотворчої деталі наведено одну з 38 розглянутих ливарних деталей з ПКМ. Геометричні розміри формоутворювального пуансону ливарної прес-форми деталі «Накладка» ілюструють розглянуті геометричні параметри порожнин для формування раціонального макрорельєфу.

5. Вибір обладнання, інструменту та програмне забезпечення експериментальних досліджень

При формуванні спрямованого макрорельєфу кожної формотворчої поверхні задається індивідуальна траєкторія руху обробного інструменту, а

суміжних поверхонь необхідний плавний перехід з однієї траєкторії в іншу. На універсальному устаткуванні застосування методу спрямованого формування макрорельєфу неможливе, оскільки кінематика не дозволить створити необхідний нахил макрорельєфу на поверхні деталі, проте обладнання з ЧПУ успішно вирішує цю проблему.

Для експериментальних досліджень визначення функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні залежно від призначених режимів фрезерування, а також визначення функціонального зв'язку величини макрорельєфу в залежності від параметрів поверхні та параметрів фрезерування обрано вертикально-фрезерний обробний центр Haas VF-3, а для експериментальних досліджень обробки деталей прес-форм був використаний високопродуктивний обробний центр Haas VM-6.

Вертикальний обробний центр Haas VF-3 (Рисунок 5.5) призначений для обробки заготовок середнього розміру, повністю лита чавунна станина, сталеві загартовані підшипникові блоки напрямних, а також кульково-гвинтова передача з подвійним кріпленням та автоматичною подачею охолоджувальної рідини дозволяють забезпечити необхідні параметри .



Рисунок 5.5 – Вертикально-фрезерний обробний центр Haas VF-3

Вертикальний обробний центр Haas VM-6 (рис. 3.6) призначений для виготовлення деталей прес-форм та штампів. На даному верстаті проводяться як

чернові операції фрезерування завдяки високій жорсткості технологічної системи, так і фінішне фрезерування.

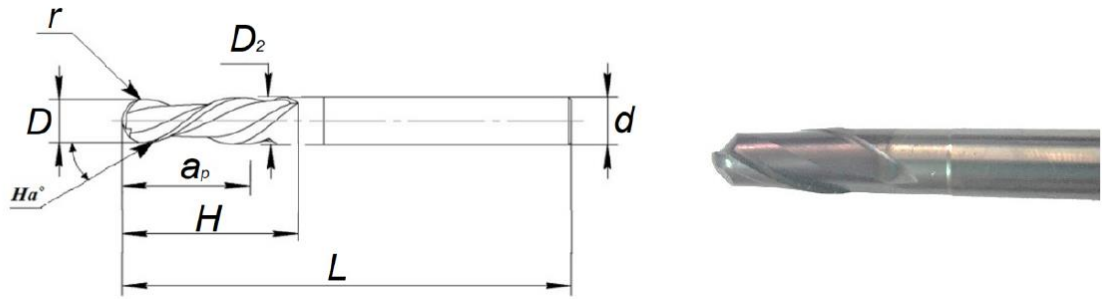
Такі багатофункціональні вертикальні обробні центри використовуються підприємствами-виробниками прес-форм для виготовлення формоутворювальних деталей прес-форм. Їх використання дозволяє досягти необхідної точності та параметрів якості в процесі фрезерної обробки формоутворювальних поверхонь.



Рисунок 5.6 – Вертикально-фрезерний центр обробки Haas VM-6

Характеристики обраного обладнання підходять для експериментальних досліджень, оскільки можливості верстатів можуть забезпечити необхідні режими різання, а розміри зразків та вибраних деталей прес-форм не виходять за межі робочої зони.

Для вибору геометрії та матеріалу інструменту підприємством та виробниками інструменту проведено попередні дослідження з фінішного фрезерування деталей прес-форм. Випробовувався інструмент різних виробників, таких як Mitsubishi, Ford, Sandvik, в результаті найкращі результати при фрезеруванні формотворчих деталей прес-форм отримані при використанні цілісних фрез. Був обраний ряд фрез однієї з яких була цільна фреза твердосплавна Iscar SolidMill EB-A2 з кутом підйому спіралі  $30^\circ$  для обробки матеріалів твердістю до 65 HRC (Рисунок 5.7)



Позначення	$D$ , мм	$r$ , мм	$d$ , мм	$a_p$ , мм	$L$ , мм	$H$ , мм	$D_2$ , мм	Число зубців	$H_a$ , °	Хвостовик
EB-A2 06-12/22C06M80	6	3	6	12	80	22	5,8	2	30	Циліндричний

Рисунок 5.7 – Геометричні параметри фрези Iscar SolidMill EB-A2

Діаметри фрез обрані виходячи з аналізу формоутворювальних поверхонь та виявленої величини мінімального заокруглення. Такі фрези призначені для чистової обробки, мають передній кут  $\gamma=15^\circ$  та задній кут  $\alpha=20^\circ$ . Матеріалом різальної частини є вольфрамокобальтовий сплав IC903 з 12% кобальту та покриттям TiAlN PVD, фрези відмінно підходять для фрезерування на високих швидкостях різання та середніх подач з охолодженням повітрям. Для затискання інструменту у верстаті використовувався патрон з конусом морзе 40 TC40H70ER32AD-B та цангу ER32 (Рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 – Патрон TC40H70ER32AD-B(а) та цангу ER32(б)

Для виготовлення прес-форм розроблена спеціальна програма на верстат

з ЧПУ, складена по траєкторії фрезерування, обрана на основі математичного моделювання напряму головного вектора течії розплаву, який, у свою чергу, визначається САЕ-моделюванням у програмному комплексі SolidWorks у кожній з найпростіших порожнин які розділена деталь.

Кожній поверхні найпростішої порожнини призначається траєкторія фрезерування і проектується на формоутворюючі поверхні деталі прес-форми, а потім призначаються режими різання виходячи з вимог шорсткості.

Використання методу спрямованого формування макрорельєфу ускладнюється застосуванням різних траєкторій фрезерування на формотворних поверхнях. Складання керуючої програми для верстата з ЧПУ проводилося у системі підготовки керуючих програм (САМ) Unigraphics NX. Застосування САМ-систем дозволяє обробляти кожну поверхню за своєю траєкторією та спрощує процес впровадження методу в технологічний процес шляхом заміни програми для обробки формоутворювальних поверхонь.

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ  
 ЗАСТОСУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ФРЕЗУВАННЯ НА ЯКІСТЬ  
 І зносостійкість ПРЕС-ФОРМ

2. Результати експериментальних досліджень щодо встановлення функціональних взаємозв'язків

На основі методики проведення експериментальних досліджень визначення функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні в залежності від призначених режимів фрезерування формоутворювальних поверхонь сталі 40X13 проведено 48 експериментів. Для мінімізації впливу випадкових параметрів у процесі фрезерування один із результатів був відкинтий. Результати шорсткості обробленої поверхні сталі 40X13, отримані в ході експерименту під час обробки фрезеруванням, зведені в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 - Результати дослідів

Точки плану	$Ra_1$	$Ra_2$	$\overline{Ra}$	$S_v^2$
	$y_1$	$y_2$	$\bar{y}_v$	
1	1,55	1,61	1,58	0,0018
2	0,8	0,88	0,84	0,0032
3	1,85	1,93	1,89	0,0032
4	1,1	1,22	1,16	0,0072
5	1,05	1,15	1,1	0,005
6	0,42	0,46	0,44	0,0008
7	1,29	1,43	1,36	0,0098
8	0,67	0,73	0,7	0,0018

Рівняння регресії представлено у вигляді формули:

$$\tilde{y} = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i,j} b_{ij} x_i x_j + b_{123} x_1 x_2 x_3.$$

Розраховуємо коефіцієнти  $b_i$ , які відповідають коефіцієнтам  $\beta_i$ .

Ортогональність наявної матриці при плануванні експерименту, що здійснюється, є перевагою, тому що в цьому випадку спрощений процес розрахунку коефіцієнтів за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^n x_{iv} \bar{y}_v}{n},$$

При визначенні безрозмірних змінних  $X_i$  використовують перетворення  $x_i$ , де величиною масштабу є вираз  $\frac{1}{2} (\ln x_i \max - \ln x_i \min)$ :

$$X_i = \frac{2(\ln x_i - \ln x_i \min)}{\ln x_i \max - \ln x_i \min} + 1.$$

Після підстановки  $X_i$  замість  $x_i$  рівняння набуде вигляду:

$$y = \lg Ra_0 = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{1,2} X_1 X_2 + \dots + b_{2,3} X_2 X_3 + b_{1,2,3} X_1 X_2 X_3.$$

Реалізація плану дозволила отримати рівняння у перетворених змінних  $X_i$ :

$$\tilde{y} = 1,134 - 0,348 X_1 + 0,143 X_2 - 0,234 X_3 + 0,001 X_1 X_2 + 0,019 X_1 X_3 - 0,014 X_2 X_3 - 0,001 X_1 X_2 X_3.$$

Задля більшої достовірності проведеного експерименту отримані рівняння проходять статистичний аналіз. Будь-який експеримент може містити помилку, тому проводиться серія дослідів за однакових умов. Дисперсія, що визначає величину помилки, розраховується за такою формулою:

$$S_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^r (y_{vj} - \bar{y}_v)^2}{r - 1},$$

Для проведення комплексу експериментальних досліджень щодо визначення функціональної залежності величини часу заповнення  $T_z$  для порожнин з різними коефіцієнтами подібності проводилося заповнення порожнин з різними параметрами поверхні. Параметри поверхні отримані в результаті фрезерування поверхонь прес-форм за технологією направленою формування макрорельєфу.

На підставі моделей, отриманих в ході проведення повного факторного

експерименту, для визначення функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні залежно від режимів фрезерування сталей 40Х13 і 38ХНМ, що призначаються, побудовані графіки залежності шорсткості обробленої поверхні від швидкості різання –  $V$ , подачі на оборот –  $S_0$  та глибини різання  $t$  (малюнки 4,1; 4,2; 4,3).

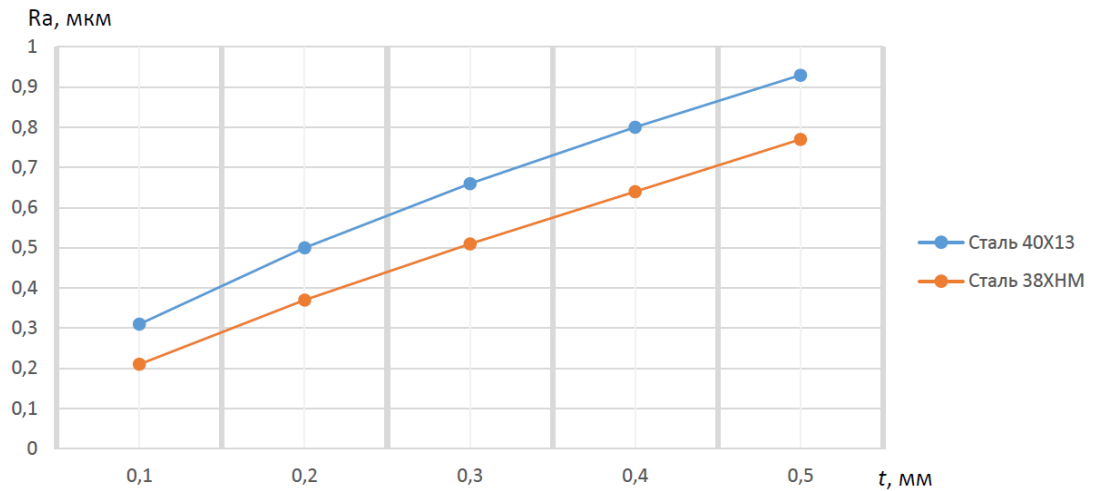


Рисунок 5.1 – Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від глибини при фрезеруванні:  $V=150$  м/хв,  $S_0=0,3$  мм/об

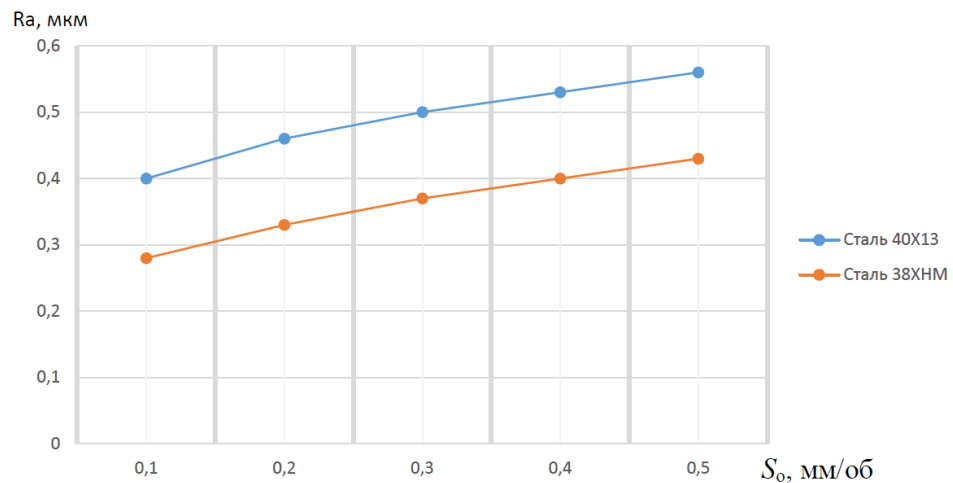


Рисунок 5.2 – Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від подачі при фрезеруванні:  $V=150$  м/хв,  $t=0,2$  мм

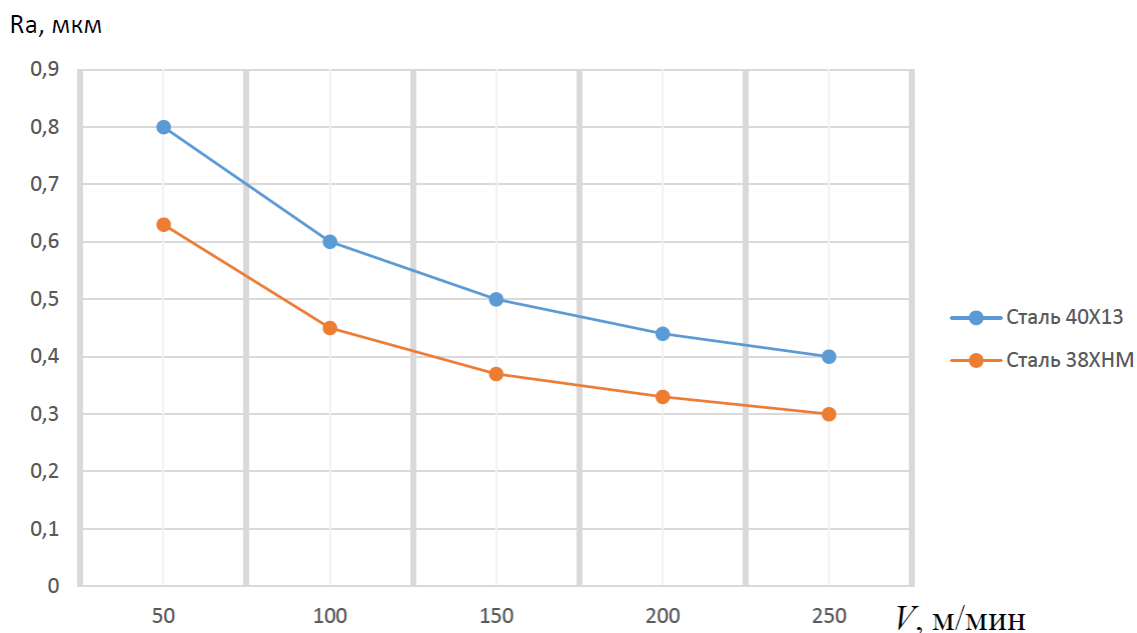


Рисунок 5.3 – Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від швидкості фрезерування:  $S_o=0,3$  мм/об,  $t=0,2$  мм

Графік залежності  $R_a$  від  $V$  показує, що зі збільшенням швидкості різання висота нерівностей зменшується. Параметри  $S_o$  і  $t$  менше впливають на величину шорсткості, зі збільшенням подачі на оборот  $S_o$  і глибини різання  $t$   $R_a$  зростає в результаті надлишкового тиску інструменту на матеріал.

Математичні моделі, отримані в ході проведення експериментальних досліджень визначення функціонального зв'язку шорсткості оброблюваної поверхні в залежності від призначених режимів фрезерування сталей 40X13 і 38ХНМ, показують залежності, що отримуються безпосередньо в результаті застосування конкретного обладнання, інструменту та умов фрезерування, в яких проводитиметься подальша обробка прес- форм.

На підставі моделей, отриманих у ході проведення повного факторного експерименту, для визначення функціонального зв'язку висоти макрорельєфу оброблюваної поверхні залежно від параметрів поверхні та параметрів фрезерування побудовано графіки залежності макрорельєфу обробленої поверхні від кривизни оброблюваної поверхні –  $\rho$ , кроку поперечної подачі –  $\Delta S$  та радіуса обробного інструменту –  $R_{фр}$  (малюнки 4,4; 4,5; 4,6).

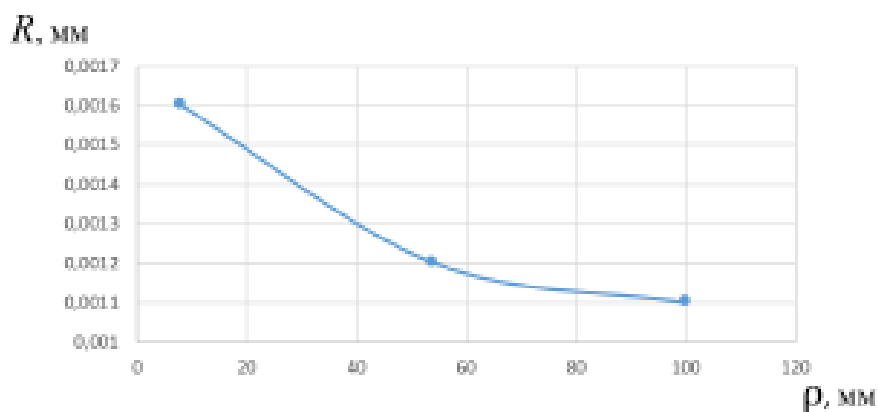


Рисунок 5.4 – Залежність макрорельєфу обробленої поверхні  $R$  від кривизни поверхні, що обробляється

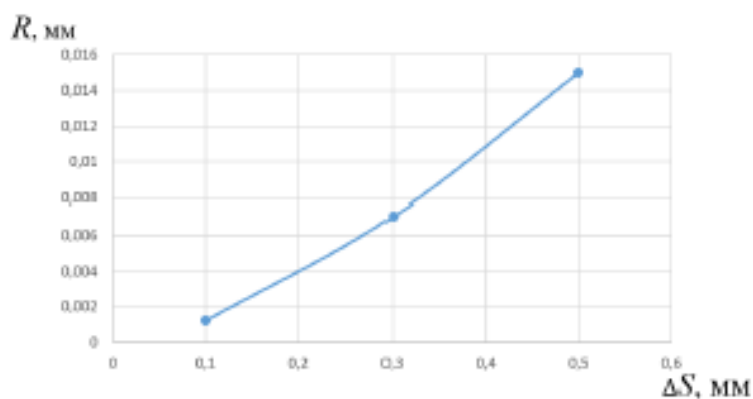


Рисунок 5.5 – Залежність макрорельєфу обробленої поверхні  $R$  від поперечної подачі при фрезеруванні

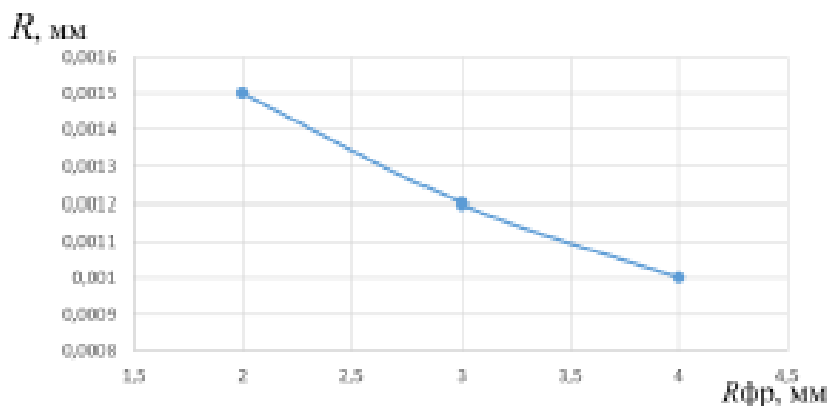


Рисунок 5.6 – Залежність макрорельєфу обробленої поверхні  $R$  від радіуса обробного інструменту

Графік залежності  $R$  від  $\Delta S$  показує, що зі збільшенням поперечної подачі (кроку рядки) при фрезеруванні поверхні висота макрорельєфу значно

збільшується. Параметри  $R_{фр}$  і  $p$  також впливають на величину макрорельєфу, при їх збільшенні величина макрорельєфу зменшується.

На підставі моделей, отриманих у ході проведення повного факторного експерименту, для визначення функціонального зв'язку величини часу заповнення залежно від параметрів поверхні побудовано графіки залежності величини часу заповнення від напрямку макрорельєфу –  $\alpha$ , висоти макрорельєфу –  $R$  та величини шорсткості –  $R_a$  (малюнки 4,7 ; 4,8; На рисунках представлені графіки для різних коефіцієнтів подібності:  $K1 - k \leq 0,25$  при  $\alpha = 90^\circ \dots 180^\circ$ ,  $K2 - 0,25 < k \leq 0,5$  при  $\alpha = 90^\circ \dots 180^\circ$ ,  $K3 - 0,5 < k < 2$  при  $\alpha = 45^\circ \dots 90^\circ$ ,  $K4 - 2 \leq k < 4$  при  $\alpha = 90^\circ \dots 180^\circ$ ,  $K5 - k \geq 4$  при  $\alpha = 90^\circ \dots 180^\circ$ .

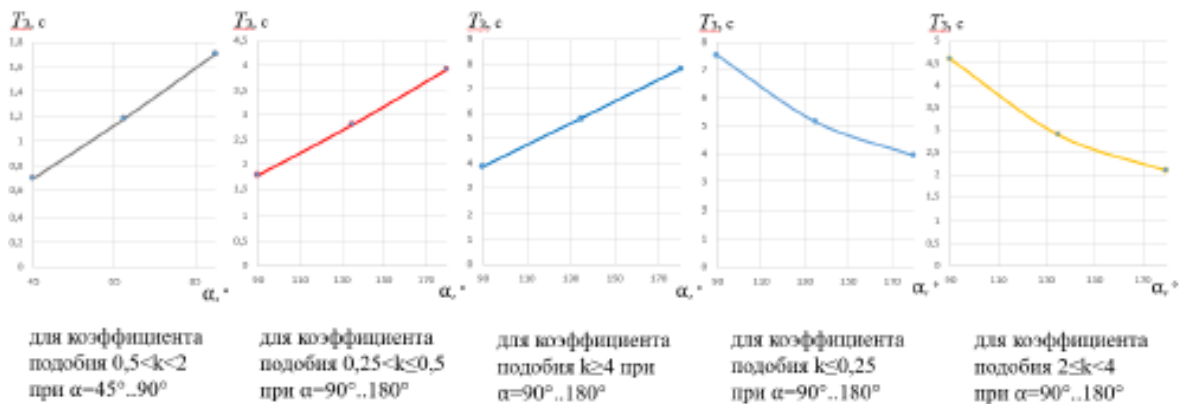


Рисунок 5.7 – Залежність часу заповнення  $T_z$  від напрямку макрорельєфу

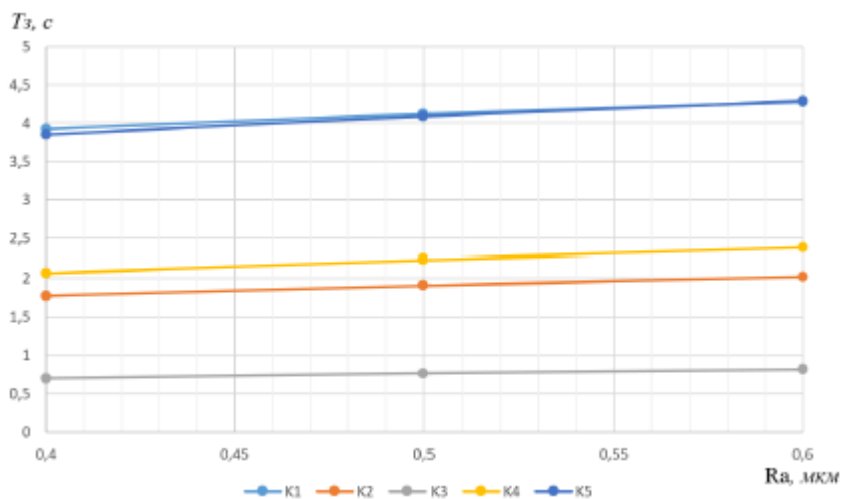


Рисунок 5.8 – Залежність часу заповнення  $T_z$  від величини шорсткості

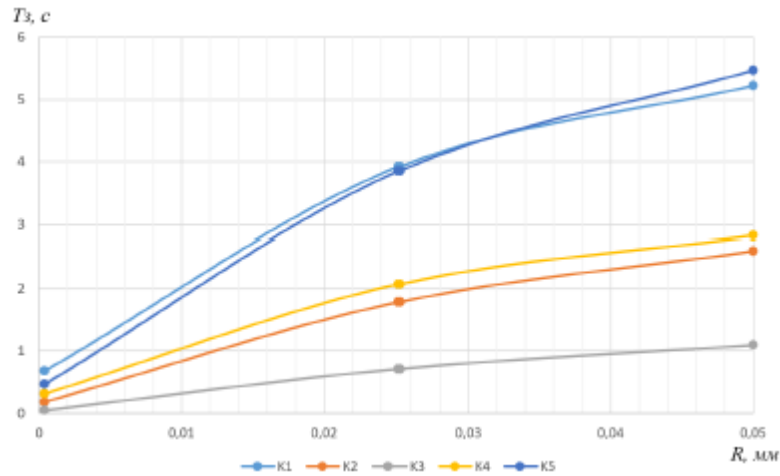


Рисунок 5.9 – Залежність часу заповнення  $T_z$  від висоти макрорельєфу

Графіки залежності  $T_z$  від  $R_a$  і  $R$  показують, що зі збільшенням шорсткості поверхні якою тече розплав, і навіть зі збільшенням величини макрорельєфу час заповнення порожнини збільшується. При зміні кута час заповнення  $T_z$  змінюється по-різному залежно від геометричних параметрів порожнини.

3. Результати послідовного проектування виробів прес-форм та розробки керуючих програм ЧПУ для впровадження нової технології фрезерування формоутворювальних поверхонь на прикладі деталі «Заглушка»

При математичному моделюванні процесу руху розплаву в прес-формі вирішується комплексне завдання забезпечення технологічності як деталі з ПКМ, так і елементів прес-форм. пов'язані між собою [11]. на формоутворюючих поверхнях прес-форми і будуть ускладнювати конструкцію літникової системи, системи охолодження та виштовхування. особливості виробу з ПКМ, конструктивні особливості прес-форми, результати математичного моделювання течії розплаву [49; 121].

Виготовлення прес-форм на верстатах із ЧПУ є дорогою частиною підготовки виробництва, тому необхідно забезпечити необхідну якість поверхонь прес-форми на операції фрезерування. Від якості формоутворюючої поверхні залежить і якість поверхонь кінцевої деталі з ПКМ, і те, яка кількість циклів деталі прес-форм забезпечуватимуть вимоги до деталі з ПКМ і

формоутворюючих поверхонь. Забезпечення необхідних вимог та правильно обрана конструкція прес-форми та її елементів дозволяє знизити відсоток шлюбу та скоротити витрати на обробку виробів після операції лиття. Однак при використанні ТНФМ можливе збільшення продуктивності циклу лиття, зниження зношування формотворчих деталей прес-форм. Для цього необхідно визначити напрямок руху розплаву в прес-формі, поетапно розглянемо цей процес на прикладі деталі «Заглушка».

Деталь з ПКМ (Рисунок 5.10) конструюється в САД-системі, їй призначаються допуски, шорсткість на робочих поверхнях і допуск на знос і шорсткість формотворчих поверхонь прес-форм, виходячи з галузі застосування та конструктивних особливостей деталі.



Рисунок 5.10 – Загальний вигляд ливарної деталі з ПКМ «Заглушка»

Потім за технічним завданням визначається кількість деталей у прес-формі, що відливається за один цикл, і створюється 3D-модель літникової системи (Рисунок 5.11).

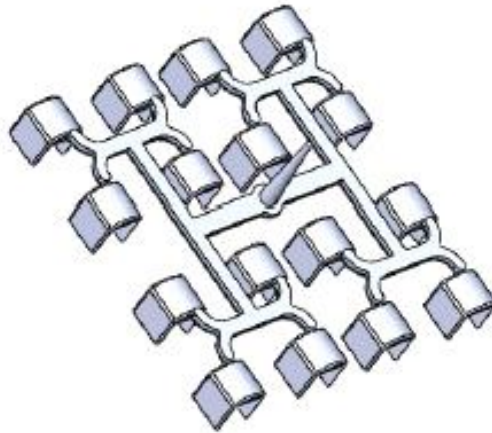


Рисунок 5.11 – Літникова система на 16 деталей типу «Заглушка»

Потрібно провести аналіз літникової системи та оцінити вплив технологічних параметрів лиття на процес технологічного циклу. Зміна геометричного розташування виливків у литниковій системі та розмірів литникового каналу призводить до зміни напрямку головного вектора течії розплаву та впливає на такі технологічні параметри лиття, як об'єм та тиск упорскування. Для отримання моделі руху розплаву в САЕ-системі та збільшення точності одержаних результатів розбиваємо деталь на максимально можливу кількість тетраедрів з мінімальною стороною трикутника, чим менша сторона трикутника при моделюванні, тим одержані результати точніші. У нашому випадку при розмірі сторони трикутника 0,39 отримуємо 346296 тетраедрів, що забезпечить точність виконання моделювання (Рисунок 5.12).

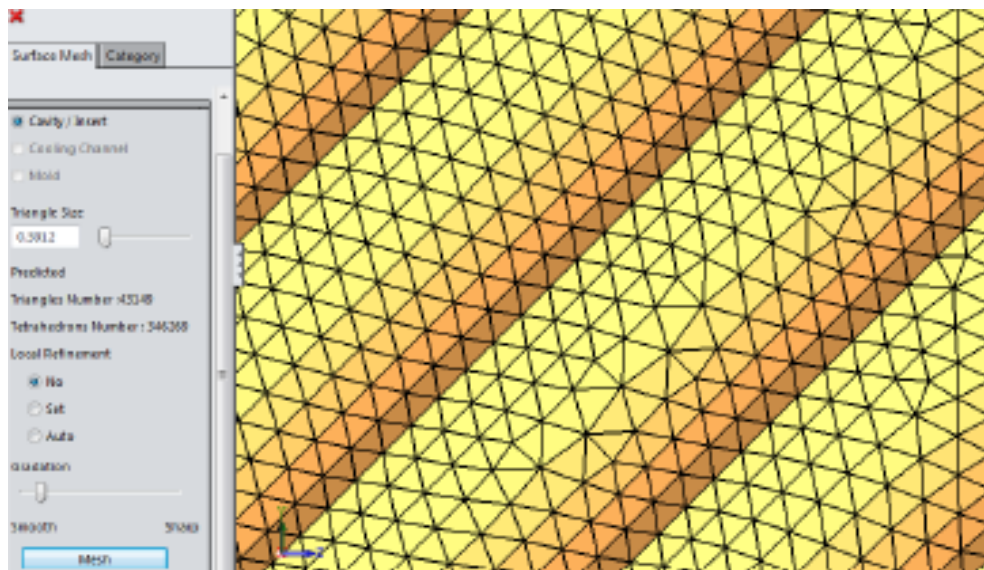


Рисунок 5.12 – Розбиття деталі «Заглушка» на тетраедри

Остаточний варіант геометричних характеристик литникової системи вибирається під час аналізу, і найбільш підходящий варіант, враховуючи габаритні розміри прес-форми, вибирається як остаточної моделі литникової системи, якою проводиться аналіз САЕ-системе. Проаналізовано декілька конфігурацій літникової системи та обрано найкращий варіант з мінімальним об'ємом та тиском упорскування, що забезпечує мінімальний загальний час заповнення Тобц (Рисунок 5.13).

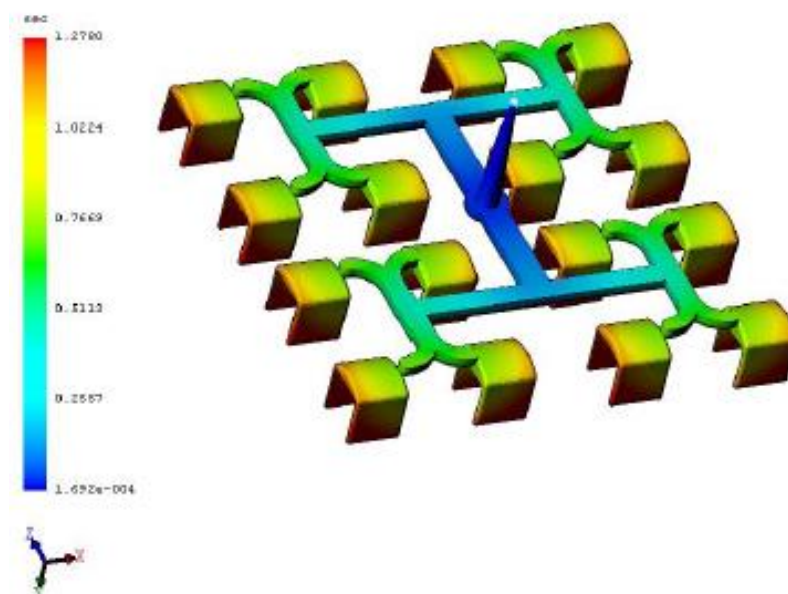


Рисунок 5.13 Багатопорожнинна літникова система деталі «Заглушка»

при аналізі загального часу заповнення Тзаг в САЕ-системі

У той же час для досягнення мінімального значення та визначення перебігу розплаву, а також загального часу заповнення прес-форми Тобщ враховуються теплофізичні властивості ПКМ, задані конструкторсько-технологічною документацією. Напрямок потоку розплаву в литниковій системі є основою визначення стратегії фрезерування під час обробки, і навіть може проводити технологію виробництва прес-форми та її конструкцію. В результаті моделювання процесу руху розплаву отримуємо модель, за якою можна визначити головний вектор течії для кожної деталі литникової системи (Рисунок 5.14).

Виходячи з 3D-моделей обраної літникової системи та деталі з ПКМ, що виготовляються, проектуються формоутворюючі деталі прес-форм та інші елементи, з яких формується 3D-модель прес-форми (Рисунок 5.15). По 3D-моделі розробляються робочі креслення прес-форм та формотворчих деталей, виходячи з вимог до деталі з ПКМ.

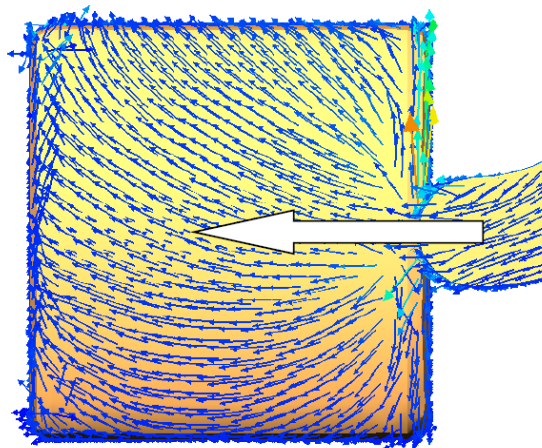


Рисунок 5.14 – Напрямок головного вектора перебігу розплаву до деталей «Заглушка»



Рисунок 5.15 – 3D-модель ливарної прес-форми деталі «Заглушка»

Спроектвані деталі прес-форми, зокрема формоутворюючі деталі пуансон і матриця, є деталями, з якими стикається розплав під час технологічного циклу лиття. Для обробки цих деталей потрібно розробити програму, що управляє. Керуюча програма виготовлення формотворчих деталей розробляється в САМ-системі Unigraphics NX.

Імітація процесу руху обробного інструменту під час обробки формоутворювальних поверхонь при підготовці керуючих програм на верстаті з ЧПУ дозволяє уникнути зіткнення інструменту із заготовлею під час механічної обробки. Аналіз процесу фрезерування дозволяє адаптувати та впровадити керуючу програму у виробничий процес та дозволяє врахувати технічну оснащеність ділянки та верстата, на якому виготовляються формоутворюючі деталі прес-форм. На стадії проектування вирішуються багато технологічних проблем, які дозволяють знизити час обробки і досягти необхідних параметрів якості поверхні під час механічної обробки [47; 94].

Розглянуті етапи проектування дозволяють технологу, що займається виготовленням прес-форм, а також конструктору, що займається проектуванням виробів із ПКМ та прес-форм, повніше ознайомитися з процесами, що відбуваються при виготовленні та експлуатації прес-форм. Особливості геометрії деталей прес-форм, що послідовно вийшло з геометрії виробу з ПКМ,

спроєктовані конструктором, впливають на рішення, що приймаються при підготовці виробництва обробки прес-форм, а також вибір обладнання та інструменту для отримання формоутворювальних поверхонь деталей.

Таким чином, застосування послідовного проектування виробів ливарних прес-форм та розробки керуючих програм ЧПУ для впровадження нової технології фрезерування формоутворювальних поверхонь має суттєве значення для технологів-машинобудівників у галузі одержання деталей із ПКМ.

В результаті вимірів виявлено, що застосування методу спрямованого формування макрорельєфу дозволяє збільшити продуктивність циклу лиття до 25%, знизити зношування формотворчих поверхонь на 45% і збільшити зносостійкість прес-форм. Експериментально доведено позитивний вплив застосування методу спрямованого формування макрорельєфу на зношування формоутворювальних поверхонь та продуктивність технологічного процесу лиття. Відхилення отриманих даних в результаті експериментальних досліджень при фрезеруванні формоутворювальних поверхонь прес-форм від теоретичного аналізу моделювання процесу формоутворення макрорельєфу становить не більше 7%. Таким чином, проведені теоретичні дослідження та сформульовані рекомендації можна вважати адекватними.

## РОЗДІЛ 6

### РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПРЕС-ФОРМ НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ ВИСОТИ ТА НАПРЯМКУ МАКРОРЕЛЬЄФУ» 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 факультативного заняття	Рівні засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4
Сформувати вміння проводити аналізувати причини підвищеного зносу формотворчих поверхонь прес-форм із загартованих сталей, обґрунтувати вплив параметрів макрорельєфу, що формується при фрезеруванні кінцевими фрезами, на зносостійкість та час заповнення різних порожнин складних просторових прес-форм; на основі математичного моделювання	I-IV рівень	Базові знання з дисципліни «Програмування верстатів з ЧПУ»	Сформовані вміння щодо аналізу причин підвищеного зносу формотворчих поверхонь прес-форм із загартованих сталей, обґрунтувати вплив параметрів макрорельєфу, що формується при фрезеруванні кінцевими фрезами, на зносостійкість та час заповнення різних порожнин складних просторових прес-форм; на основі математичного моделювання

формування			
------------	--	--	--

Продовження табл 6.1

1	2	3	4
макрорельєфу при фрезеруванні оцінити його вплив на час заповнення порожнин прес-форм. Розрахувати та обґрунтувати найбільш раціональну траєкторію руху фрези в залежності від розмірів та геометричних параметрів деталей прес-форм з метою формування макрорельєфу, що забезпечує в результаті найменший опір потоку розплаву, знос формуювальних поверхонь, рівномірну швидкість заповнення прес-форми та охолодження виробів; розробити методику проведення експериментальних досліджень щодо підвищення зносостійкості прес-форм на основі			формування макрорельєфу при фрезеруванні оцінити його вплив на час заповнення порожнин прес-форм. Розрахунок та обґрунтування найбільш раціональну траєкторію руху фрези в залежності від розмірів та геометричних параметрів деталей прес-форм з метою формування макрорельєфу, що забезпечує в результаті найменший опір потоку розплаву, знос формуювальних поверхонь, рівномірну швидкість заповнення прес-форми та охолодження виробів; розробити методику проведення експериментальних досліджень щодо підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування

формування раціонального макрорельєфу на формуєтворюючих поверхнях шляхом			траєкторії обробки сферичними монолітними фрезами на верстатах з ЧПУ; проведені порівняльні
---	--	--	---

родовження табл. 6.1

1	2	3	4
програмування траєкторії обробки сферичними монолітними фрезами на верстатах з ЧПУ; провести порівняльні експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах щодо встановлення впливу напрямку та висоти макрорельєфу, що формується в результаті траєкторії руху фрези при фрезеруванні, на величину зношування формотворчих поверхонь у процесі виготовлення деталей з композиційних матеріалів та час заповнення прес- форм, виготовлених за серійною заводською технологією, та			експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах щодо встановлення впливу напрямку та висоти макрорельєфу, що формується в результаті траєкторії руху фрези при фрезеруванні, на величину зношування формотворчих поверхонь у процесі виготовлення деталей з композиційних матеріалів та час заповнення прес-форм, виготовлених за серійною заводською технологією спрямованого формування раціонального макрорельєфу; проведені експериментальні дослідження та отримати емпіричні математичні моделі залежності величини макрорельєфу,

прес-форм, виготовлених за новою технологією спрямованого формування раціонального макрорельєфу; провести експериментальні			величини шорсткості обробленої поверхні, величини часу заповнення порожнин прес-форм від параметрів формоутворювальних поверхонь та режимів різання; розробити
--	--	--	--

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
дослідження та отримати емпіричні математичні моделі залежності величини макрорельєфу, величини шорсткості обробленої поверхні, величини часу заповнення порожнин прес-форм від параметрів формоутворювальних поверхонь та режимів різання; розробити універсальний алгоритм підготовки керуючих програм фрезерування для верстатів з ЧПУ з урахуванням забезпечення раціонального макрорельєфу на профільних формоутворюючих поверхнях прес-форм за заданим напрямом траєкторії фрезерування; розробити технологічні			універсальний алгоритм підготовки керуючих програм фрезерування для верстатів з ЧПУ з урахуванням забезпечення раціонального макрорельєфу на профільних формоутворюючих поверхнях прес-форм за заданим напрямом траєкторії фрезерування; розроблені технологічні рекомендації та впровадити у виробництво нову технологію спрямованого формування раціонального макрорельєфу формоутворювальних поверхонь.

рекомендації впровадити виробництво технологію спрямованого формування раціонального макрорельєфу формуотворювальних поверхонь.	та у нову			
--	-----------------	--	--	--

## **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 зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу».

1. Причини підвищеного зносу формотворчих поверхонь прес-форм із загартованих сталей, обґрунтувати вплив параметрів макрорельєфу, що формується при фрезеруванні кінцевими фрезами, на зносостійкість та час заповнення різних порожнин складних просторових прес-форм.

2. Розрахунок та обґрунтування найбільш раціональної траєкторії руху фрези в залежності від розмірів та геометричних параметрів деталей прес-форм з

метою формування макрорельєфу, що забезпечує в результаті найменший опір потоку розплаву, знос формуютьвальних поверхонь, рівномірну швидкість заповнення прес-форми та охолодження виробів.

3. Методика проведення експериментальних досліджень щодо підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування раціонального макрорельєфу на формуютьвальних поверхнях шляхом програмування траєкторії обробки сферичними монолітними фрезами на верстатах з ЧПУ.

4. Порівняльні експериментальні дослідження в лабораторних та виробничих умовах щодо встановлення впливу напрямку та висоти макрорельєфу, що формується в результаті траєкторії руху фрези при фрезеруванні, на величину зношування формуютьвальних поверхонь у процесі виготовлення деталей з композиційних матеріалів та час заповнення прес-форм, виготовлених за серійною заводською технологією, та прес-форм, виготовлених за новою технологією спрямованого формування раціонального макрорельєфу.

5. Експериментальні дослідження та отримати емпіричні математичні моделі залежності величини макрорельєфу, величини шорсткості обробленої поверхні, величини часу заповнення порожнин прес-форм від параметрів формуютьвальних поверхонь та режимів різання.

6. Алгоритм підготовки керуючих програм фрезерування для верстатів з ЧПУ з урахуванням забезпечення раціонального макрорельєфу на профільних формуютьвальних поверхнях прес-форм за заданим напрямом траєкторії фрезерування.

7. Технологічні рекомендації та впровадити у виробництво нову технологію спрямованого формування раціонального макрорельєфу формуютьвальних поверхонь.

## 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 формуютьс я 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
Основні поняття ЧПУ. Класифікація верстатів з ЧПУ Системи координат (СК) верстатів з ЧПУ	Дисципліна «Програмування верстатів з ЧПУ»	Метод – усне опитування. Форма – фронтальна. Засіб – контрольні питання. Приклад питань: 1. Розкажіть про складові комплексу «верстат з ЧПУ». 2. Що таке інформаційна структура ЧПУ верстатами? 3. Які функції реалізуються за програмного управління верстатами? 4. Призначення програмного забезпечення? 5. Якими способами можна вводити програму, що управляє, в СЧПУ? 6. Перерахуйте види корекції інструменту. 7. Навіщо потрібні цикли? 8. Назвіть похибки механічних та вимірювальних пристроїв верстата з ЧПУ. 9. Перерахуйте додаткові функції СЧПУ.	Нагадування основних моментів



## 6.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 4.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 4.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 6.3

### Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація Приєм: віднесення до ситуації	<p>У сучасному машинобудуванні одним із Найперспективніших у світовій практиці та економічних способів великосерійного та масового виробництва деталей із полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) є лиття під тиском у прес-форми, виготовлені із загартованих сталей.</p> <p>Застосування цього способу дозволяє отримувати геометрично складні вироби високої точності та якості. Однак широке застосування цієї високоефективної технології виготовлення деталей з ПКМ стримується через проблеми підвищеного зношування формотворчих поверхонь прес-форм твердими частинками скло- або вуглеволокна, що входять до складу розплаву ПКМ і що рухаються в момент заповнення прес-форми під високим тиском.</p> <p>В результаті проведеного аналізу літературних джерел, виробничого досвіду підприємств та попередніх досліджень цієї проблеми встановлено, що при фрезерній остаточній обробці формоутворювальних поверхонь у різних порожнинах складної просторової прес-форми залишаються сліди обробки у вигляді макрорельєфу різної висоти та різного напрямку. Висловлено припущення, що отриманий при фрезеруванні макрорельєф поверхні та його направлення у кожній порожнині просторової прес-форми перешкоджає рівномірній швидкості заповнення всіх порожнин прес-форми та сприяє швидкому зносу деяких високоточних профільних поверхонь прес-форм.</p> <p>Ремонт або заміна зношених прес-форм та формотворчих деталей є дорогим та трудомістким процесом. Вартість однієї прес-форми для виготовлення деталей з ПКМ може становити кілька десятків</p>

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
	мільйонів рублів залежно від розмірів та складності профілю, а витрати часу під час виготовлення

Продовження табл.4.3

1	2
	<p>формотворних поверхонь прес-форм займають до 95% загального часу обробки. Виробництво таких складних деталей прес-форм пов'язане із використанням дорогого обладнання та інструменту, а технологічний процес складний та розтягнутий у часі, що значно збільшує собівартість кінцевого виробу.</p> <p>Аналіз літератури та виробничого досвіду показав, що при різних методах підвищення зносостійкості прес-форм, що застосовуються на практиці, не встановлено впливу висоти та напряму макрорельєфу на формоутворюючих поверхнях у різних порожнинах прес-форм на зношування та час заповнення прес-форм.</p> <p>Таким чином, вирішення проблеми підвищення зносостійкості прес-форм, що дозволяє знизити собівартість шляхом збільшення ресурсу оснастки та зниження часу виробничого циклу, є актуальним завданням та має як наукову, так і практичну значимість.</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
1	2	3	4

I - IV	фронтальна	Лекція з елементами співбесіди, конспектування. Співбесіда, передбачена робочою програмою дисципліни, проводиться практично. Викладач на практичному занятті, що	Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми.
--------	------------	--	---

Продовження табл. 6.4

1	2	3	4
		передують заняття проведення контролю, доводить до тих, хто навчається на тему, питання для підготовки до співбесіди. Результати співбесіди викладач доводить до учнів відразу після завершення співбесіди. Захист конспектів, передбачених робочою програмою дисципліни, проводиться під час практичних занять. Викладач на практичному занятті, що передують заняттям проведення контролю, доводить до учнів: тему конспектів та вимоги, що пред'являються до їх виконання та захисту	

### **6.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті**

Для оцінки рівня сформованості компетентностей використовується трирівнева система:

- мінімальний рівень освоєння, обов'язковий для всіх, хто навчається по завершенню освоєння освітньої програми; дає загальне уявлення про вид

діяльності, основні закономірності функціонування об'єктів професійної діяльності, методів та алгоритмів вирішення практичних завдань;

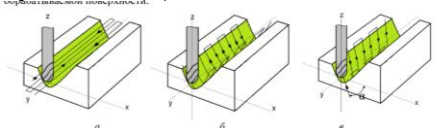
- базовий рівень освоєння, перевищення мінімальних характеристик сформованості компетенцій; дозволяє вирішувати типові завдання, приймати професійні та управлінські рішення за відомими алгоритмами, правилами та методикам;

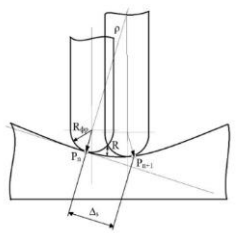
- високий рівень освоєння, максимально можлива вираженість характеристик компетенцій; передбачає готовність вирішувати практичні завдання підвищеної складності, нетипові завдання, приймати професійні та управлінські рішення в умовах неповної визначеності, при недостатньому документальному, нормативному та методичне забезпечення

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 теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Рішення задач	<p>Завдання 1. Опишіть схему обробки формоутворюючої поверхні з рухом фрези паралельно до профілю поверхні (а), нормалі до профілю поверхні (б), під кутом <math>\alpha</math> (в)</p>  <p>Завдання 2. Опишіть схему формування макрорельєфу</p>

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
			при фрезеруванні формотворчої поверхні 

### 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
IV рівень	Фронтальна форма	Письмове опитування.	Контрольна робота. Завдання 1. Сформулюйте рекомендації щодо вибору траєкторії фрезерування для різних порожнин пресформи

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
			 <p data-bbox="927 636 1477 840">Завдання 2. Опишіть схему фрезерування двох осередків пуансону прес-форми з різними кутами напрямку траєкторії фрези <math>\alpha=90^\circ</math> та <math>180^\circ</math></p>  <p data-bbox="927 1018 1477 1228">Завдання 3. Здійсніть порівняльну гістограму кількості циклів до досягнення зношування залежно від технології виготовлення прес-форми</p>

1	2	3	4

## 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 зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу»

№ 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 зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу». Мета: сформувати вміння у здобувачів освіти щодо підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу». Текст для формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.
4	Актуалізація базових знань	Проведення фронтального опитування. Метод – письмове опитування.

		Форма – фронтальна. Засіб –тестові завдання.
--	--	---

Продовження табл. 6.7

1	2	3
		Перелік тестових питань представлений в таблиці 4.2.
5	Формування ООД	Викладач викладає новий навчальний використовуючи методи традиційні – пояснення, бесіда, демонстрація та інноваційні – лекція-дискусія з елементами мозкового штурму відповідно за плану заняття, який представлений у п. 4.3.
6	Формування ВД	Викладач проводить закріплення навчального матеріалу за допомогою методу – рішення задач, видаючи кожному студенту картки-завдання з вправами. Приклад вправ представлений в табл. 4.5.
7	Формування КД	Викладач проводить для студентів контрольну роботу, завдання якої представлені в таблиці 4.6.
8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття. Видає домашнє завдання: Написати реферат по темі.

### Висновки до розділу 6

В даному розділі було виконано розробку факультативного заняття з теми «Підвищення зносостійкості прес-форм на основі формування висоти та напрямку макрорельєфу» для фахівців в галузі машинобудування, а саме: сформульована дидактична мети факультативного заняття, розроблений аналіз базових умов навчання, обраний тип мотивації та сформульований її текст, сформовані системи задач і завдань для вирішення і виконання факультативному занятті, розроблені способи формування орієнтовної основи діяльності та формування виконавчих дій, організація виконання завдань та рішення задач, контролю сформованих умінь та розроблений сценарій факультативного заняття.

## ВИСНОВКИ

Вирішено наукове завдання підвищення зносостійкості прес-форм, підвищення продуктивності технологічного циклу та підвищення якості виробів із полімерних композиційних матеріалів для різних галузей машинобудування.

1. В результаті проведеного аналізу літератури та досвіду підприємств встановлено вплив траєкторії обробки та формованого при цьому макрорельєфу на зносостійкість формоутворювальних поверхонь та час заповнення прес-форм.

2. Проведено математичне моделювання процесу заповнення порожнин за допомогою програми SolidWorks з метою встановлення залежності часу заповнення прес-форми від макрорельєфу формотворчої поверхні. У процесі моделювання різних схем обробки траєкторії з різним кутом по відношенню до головного вектора течії розплаву встановлено, що напрямок макрорельєфу на формотворчих поверхнях впливає на такі параметри технологічного циклу, як час заповнення і час охолодження в прес-формі. Отримано підтвердження, що найменший час заповнення прес-форми відбувається за траєкторії фрезерування, спрямованої під раціональним кутом до головного вектора течії розплаву. Раціональним кутом для поверхонь з коефіцієнтом подібності  $k \leq 0,25$  і  $2 \leq k < 4$  буде кут  $\alpha = 180^\circ$ , для поверхонь з коефіцієнтом подібності  $0,25 < k \leq 0,5$  і  $k \geq 4$  раціональний кут  $\alpha = 90^\circ$ , а для  $0,5 < k < 2$  –  $\alpha = 45^\circ$ . При раціональному напрямку макрорельєфу спостерігається зменшення часу заповнення прес-форми на 25%.

3. Розроблено методику експериментальних досліджень процесу фрезерування формоутворюючих поверхонь прес-форм у лабораторних та виробничих умовах, що враховує вплив геометричних параметрів деталей прес-форм при складанні керуючих програм для верстатів з ЧПУ з метою підвищення зносостійкості формоутворювальних поверхонь прес-форм.

4. Для проведення експериментальних досліджень виготовлено 38 найменувань прес-форм різних розмірів та форм та проведено порівняльні

дослідження на зносостійкість прес-форм, встановлено, що продуктивність технологічного циклу збільшилася на 25 %, знизився знос формуювальних поверхонь на 45 %, внаслідок чого знизилася собівартість кінцевого виробу на 20-30%. В результаті проведених досліджень отримано підтвердження впливу одержуваного при фрезеруванні макрорельєфу на зношування формуювальних поверхонь деталей прес-форм та продуктивність технологічного циклу виготовлення деталей з полімерних композиційних матеріалів різного розміру.