

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 669.018.9

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М.М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

(підпис)

“ 07 ” грудня 2018 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 136 Металургія

на тему: «Використання адитивних технологій при отриманні виливків литтям в керамічні форми»

Виконала: студентка 6 курсу, групи ФЛ-71мп

Дорошенко Марія Григорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

к.т.н., доц. Гурія І.М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

к.т.н., доц. Зацарний В.В.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з економічно-організаційної частини

к.е.н., доц. Глущенко Я.І.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант з нормоконтролю

к.т.н., доц. Федоров Г.Є.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

к.т.н., доц. Доній О.М.

(науковий ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

Факультет інженерно-фізичний
 Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів
 Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
 Спеціальність – 136 Металургія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
М.М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

(підпис)

“07” грудня 2018 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Дорошенко Марії Григорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Використання адитивних технологій при отриманні виливків литтям в керамічні форми», науковий керівник Гурія Ірина Миранівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2018 року №4127-с
2. Строк подання студентом дисертації: 07 грудня 2018 року
3. Об'єкт дослідження: моделі для лиття в керамічні форми надруковані на 3-Д принтері
4. Предмет дослідження: дослідження поведінки матеріалу моделі при виготовленні керамічної форми та впливу його на властивості та параметри виливків
5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження; 5.2 Оптимізувати методику дослідження; 5.3 Провести експерименти; 5.4 Виготовити зразки; 5.5 Дослідити властивості отриманих зразків; 5.6 Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; 5.7 Розробити організаційно-економічну частину роботи; 5.8 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.
6. Перелік ілюстративного матеріалу: Презентація (17 слайдів)
7. Перелік публікацій: 7.1 Адитивні технології/ М. Г. Дорошенко, І. М. Гурія // X Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – 2018. – С. 203-206.

8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зацарний В.В., доцент		
Економічно-організаційна частина	Глущенко Я.І., доцент		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання 3 вересня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Переддипломна науково-дослідна практика	03.09...28.10.2018р.	
2	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	03.09...10.10.2018р.	
3	Оптимізація методики дослідження	04.09...10.09.2018р.	
4	Планування та реалізація експериментів	14.09...04.10.2018р.	
5	Виготовлення зразків, їх дослідження та аналіз результатів	16.09...12.11.2018р.	
6	Виконання організаційно-економічної частини	21.11...27.11.2018р.	
7	Виконання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	25.11...30.11.2018р.	
8	Виконання ілюстративної частини роботи	01.12...03.12.2018р.	
9	Оформлення магістерської дисертації	02.12...05.12.2018р.	
10	Подання дипломної роботи до захисту	07.12.2018р.	
11	Рецензування дипломної роботи	07.12...09.12.2018р.	
12	Захист дипломної роботи	19.12.2018р.	

Студент

Науковий керівник

(підпис)

(підпис)

Дорошенко М.Г.

(прізвище та ініціали)

Гурія І.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ: 95 с., 15 табл., 34 рис., 21 посилань

Об'єкт дослідження – технологія використання адитивних технологій при литті в разові керамічні форми.

Предмет дослідження – моделі отримані 3Д-друком з матеріалу SmaryCast-Pla.

Мета дослідження – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво.

Методика дослідження – розроблено нову методику отримання виливків з використанням адитивних технологій.

Результати досліджень – визначено найоптимальнішу умови виготовлення виливків 3Д-друку .

Галузь використання – машинобудування, літакобудування та інші галузі промислового машинобудування.

Ступінь впровадження – апробовано зразки в лабораторних умовах.

Прогнозні припущення – по завершенню досліджень і налагодженню технологічних процесів результати роботи можуть бути впроваджені у виробництво .

3Д-ДРУК, SMARTASTPLA, ШАР ДРУКУ, КЕРАМІЧНІ ФОРМИ, ОБОЛО-
НКИ, АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

ABSTRACT

Thesis: 95 p., 15 fig., 34 tab., 21 references.

The object of study – the technology of the use of additive technologies for casting in one-time ceramic forms.

The subject of study – models obtained by 3D print from material Smarty-CastPla.

Purpose – to research is the introduction of 3D printing technologies into foundry production.

Research methods – a new method of obtaining castings with the use of additive technologies has been developed.

Results of research – the most optimal conditions for the production of 3D-printing castings were determined.

Application fields – mechanical engineering, aircraft engineering and other branches of industrial mechanical engineering.

The degree of implementation – samples tested in the laboratory

Forecast assumptions – to complete of research and adjustment of the technological processes, the results of the work can be implemented in production.

3D-PRINT, SMARTASTPLA, PRINT LAYER, CERAMIC FORMS, COVERAGE, ADDITIVE TECHNOLOGIES, TECHNOLOGICAL PROCESS

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация: 95 с., 15 табл., 34 рис., 21 ссылок

Объект исследования – технология использования аддитивных технологий при литье в разовые керамические формы.

Предмет исследования – модели полученные 3Д-печати из материала Smart-CastPla.

Цель исследования – внедрение технологий 3Д-печати в литейное производство

Методика исследования – разработана новая методика получения отливок с использованием аддитивных технологий.

Результаты исследований – определены оптимальные условия изготовления отливок 3Д-печати.

Область применения – машиностроение, самолетостроение и другие области промышленного машиностроения.

Степень внедрения – апробированы образцы в лабораторных условиях.

Прогнозные предположения – по завершению исследований и налаживанию технологических процессов результаты работы могут быть внедрены в производство.

3Д-ПЕЧАТЬ, SMARTASTPLA, ШАР ПЕЧАТИ, КЕРАМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ, ОБОЛОЧКИ, АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	12
ВСТУП	13
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	14
1.1 Сутність методу лиття за моделями, що витоплюються.....	14
1.2 Виготовлення моделей.....	16
1.3 Вимоги до модельних матеріалів	17
1.4 Фізичні властивості та параметри модельних складів	18
1.5 Виникнення адитивних технологій	20
1.6 Класифікація існуючих видів адитивних технологій.....	21
1.7 Використання адитивних технологій в ливарному виробництві	28
1.8 Технології лиття металів та пластмас з використанням синтез-моделей та синтез форм.....	30
1.9 Синтез-моделі з порошкових полімерів	31
1.10 Синтез-моделі з світлозатверджуваних смол.....	37
1.11 Стереолітографія	38
1.12 Висновки та постановка завдання дослідження	40
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	41
2.1 Вихідні матеріали та їх підготовка.....	41
2.1 Отримання моделей	41
2.2 Приготування гідролізованого розчину етилсилікату	43
2.3 Виготовлення оболонкової форми	43
2.4 Проведення плавки	45
2.5 Прожарювання та одночасне випалювання моделі з оболонки	45
2.6 Заливання, вибивання, обрубка та очищення виливків	46
2.7 Визначення якості поверхні виливків	47
2.8 Визначення розмірної точності даного способу лиття	47
2.9 Вимірювання твердості	48
2.10 Висновки до розділу 2	49
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	Ошибка! Закладка не определена.

3.1 Визначення залежності твердості сплавів від висоти друкованого шару	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Визначення залежності шорсткості сплавів від висоти друкованого шару	Ошибка! Закладка не определена.
3.3 Визначення залежності розмірної точності сплавів від висоти друкованого шару	Ошибка! Закладка не определена.
3.4 Визначення залежності твердості сплавів від температури прожарювання оболонки.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.5 Визначення залежності шорсткості сплавів від температури прожарювання оболонки.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.6 Визначення залежності розмірної точності сплавів від температури прожарювання оболонки	Ошибка! Закладка не определена.
3.7 Висновки до розділу 3	Ошибка! Закладка не определена.
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	50
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	50
4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження	50
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	50
4.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	52
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень	52
4.2.4 Витрати на енергоносії	53
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	53
4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій	53
4.2.7 Витрати на службові відрядження	53
4.2.8 Інші невраховані прямі витрати	54
4.2.9 Накладні витрати.....	54
4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми.....	54
4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та роз-рахунок показників економічної ефективності.....	55
4.4 Висновки до розділу 4	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ	59
5.1 Мета розділу	59
5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні науково-дослідної роботи.....	60
5.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів.....	61

5.2.2 Мікроклімат та випромінювання в лабораторії	62
5.3 Освітлення.....	65
5.3.1 Штучне освітлення	66
5.5 Електробезпека.....	67
5.6 Пожежна безпека.....	68
5.7 Безпека в надзвичайній ситуації.....	70
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	76
6.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології).....	76
6.2 Опис ідеї та визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту	78
6.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту.....	79
6.4 Загрози та можливості стартапу	82
6.5 Висновки до розділу 6	83
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:	85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРО- ЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ASTM – International-American Society for Testing and Materials

CAD – система автоматизованого управління

УВ – ультрафіолетове випромінювання

КТР – коефіцієнт термічного розширення

ФЗП – фонд заробітної плати

НШВФ – небезпечні та шкідливі виробничі фактори

ГДК – гранично допустима концентрація

КПО – коефіцієнту природної освітленості

НТУУ КПІ ім. І.Сікорського – Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЛВЧКМ – кафедра ливарного виробництва чорних та кольорових металів

ВСТУП

Традиційно при литті в оболонкові форми використовують воскові моделі. Ці моделі виготовляють у металевих прес-формах, що робить виготовлення оснащення дуже дорогим процесом і може займати до декількох тижнів.

Для виготовлення дрібносерійної або одиночної продукції, створення прес-форм, не є економічно ефективним рішенням. 3D друк, з іншої боку, дає багато переваг, що дозволяють ливарним підприємствам виготовляти окремі деталі або навіть дрібні серії деталей в значно коротші терміни.

Замість того, щоб вкладати кошти в оснащення, ливарні компанії можуть вибрати 3D друк своїх зразків в матеріалі, що підходить для лиття. SmartCastPla – матеріал, що унікально підходить для інвестиційного лиття. Цей простий друкарський матеріал, що здатен створювати моделі складної форми з відмінною гладкою поверхнею. Матеріал розкладається при температурі близько 600 °C та забезпечує повне вигорання, залишаючи після себе чисту форму, готову до заливання.

Актуальністю даної тематики є те, що пропуск етапу розроблення оснащення дозволяє зекономити величезну кількість часу. Як правило, це може скоротити час до отримання першого металевого виливку на 3-4 тижні. Незалежність від стороннього постачальника прес-форм також знижує ризик у чутливих за часом проектах. 3D друк також дозволяє прискорити зміну дизайну виробу, перший друкарський шаблон вже можна зробити за кілька годин залежно від розміру деталі. Це дозволяє змінювати дизайн декілька разів навіть протягом одного дня.

Вартість матеріалу 3D надрукованих моделей приблизно 70 €/кг. Деталі зазвичай друкуються з найменшою кількістю необхідного матеріалу, що економить час друку та витрати матеріалу. Для прискорення процесу вигорання матеріалу та зменшення його витрат рекомендують заповнення матеріалом на 15-20% [2].

Мета розробки – впровадження технологій 3D-друку в ливарне виробництво.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Сутність методу лиття за моделями, що витоплюються

Метод отримання литих виробів в форми, виготовлені за восковою моделлю, що виплавляється, використовувався ливарниками здавна та по праву відноситься до найстаріших способів отримання литих виробів. Тим не менш, свій промисловий розвиток метод лиття за моделями, що витоплюються отримав лише в середині ХХ століття. В даний час цим методом виготовляють ювелірні, художні та медичні вироби, деталі побутової техніки, інструмент (ріжучий та вимірювальний), магніти, деталі нафтобурового обладнання, деталі для машин та агрегатів сільськогосподарства, хімічної та харчової промисловості, деталі автомобілів дизельних двигунів, авіаційних та ракетних двигунів.

Отримані даним методом литі деталі успішно конкурують з деталями, виготовленими гарячою чи холодною штамповкою, з металевих порошків, виготовлених механічною обробкою з прокату чи кованих заготовок.

Литі деталі, в порівнянні з іншими деталями, виготовленими вищевказаними способами мають ряд переваг, а саме: нижча вартість, можливість отримання складних криволінійних поверхонь, внутрішніх порожнин та виступів, розміщених в різних площинах, при мінімальній механічній обробці, що особливо важливо при виготовленні деталей з складнооброблюваних матеріалів (титану, жароміцних нікелевих сплавів, легированих сталей і ін.); можливістю забезпечення максимального наближення вилівка до форми готової деталі, що різко знижує об'єм механічної обробки; однорідністю механічних властивостей за всіма напрямками, в порівнянні з деталями, отриманими з деформованих заготовок.

Унікальність методів лиття за моделями, що виплавляються проявляється в можливості виготовлення деталей, практично, будь-якої конфігурації, масою від декількох грамів до 200 кілограмів та більше, зі стінкою товщиною до 0,2 мм, габаритними розмірами до 1500 мм та більше, з допуском на відхилення $+0,05 \dots -0,10$

мм, зі сплавів будь-якого типу, в тому числі на основі заліза, нікелю, кобальту, ніобію, хрому, міді, титану, алюмінію, магнію, золота, срібла, платини та ін.

Відсутність роз'єму форми забезпечує виливкам, що виготовляються, в порівнянні з іншими видами лиття, підвищену геометричну точність та точність маси, а використання дрібнодисперсних наповнювачів в рідких зв'язувальних матеріалах, що використовуються для виготовлення керамічних оболонкових форм, дозволяє отримати виливки з шорсткістю поверхні до $Ra=1,25$ мкм.

Собівартість тони виливків, що отримують методом лиття за моделями, що виплавляються, в 1,5...10 разів та більше, вища за собівартість виливків, що отримують в піщано-глинисті форми, але на 20...90% нижче собівартості деталей, що виготовляють механічною обробкою з поковок. Використання точних литих заготовок замість деформуючих дозволяє знизити об'єм механічної обробки в 3...10 разів та в 5...10 разів підвищити коефіцієнт використання металу, суттєво знизити трудоемність виготовленні деталі[3].

Схема типового технологічного процесу виготовлення виливків методом лиття за моделями, що виплавляються складається з:

- креслення деталі.
- розробка креслення виливка.
- розробка конструкції ливниково-живильної системи.
- розробка креслення модельного блоку.
- розробка карти технологічного процесу.
- розробка та виготовлення прес-форм.
 - Виготовлення моделей виливків.
 - Виготовлення моделі ливниково-живильної системи.
- збірка модельного блоку.
- пошарове нанесення та сушіння вогнетривкого покриття на модельному блоці.
 - виплавляння модельного складу з керамічної оболонки.
 - підготовка керамічної оболонки до заливання.
 - прожарювання форми.

- формування керамічної оболонки в опорний наповнювач.
- плавлення металу.
- заливання форми.
- охолодження залитих блоків.
- вибивка виливків.
- попереднє очищення виливків від керамічної оболонки.
- обрубка виливків.
- кінцеве очищення виливків.
- контроль якості виливків.
- термічна обробка виливків.
- зачищення залишків живильників на виливках.
- кінцевий контроль якості виливків.
- ремонт виливків.
- передача придатних виливків в механічний цех.

1.2 Виготовлення моделей

У литті за моделями, що витоплюються моделі виливків та моделі ливниково-живильної системи є одноразовими та виготовляються з легкоплавких модельних складів.

Модельний склад – це воскоподібний чи металевий легкоплавкий сплав з температурою плавлення від 42 °С до 165 °С. Основою більшістю модельних складів, що використовуються для виготовлення моделей виливків загальномашинобудівного значення є парафін. Для виготовлення моделей виливків спеціального значення використовують модельні склади, виготовлені на основі природних та синтетичних восків, смол і ін. Для забезпечення визначених технологічних властивостей в деякі модельні склади вводять твердий наповнювач (до 40% за об'ємом) чи безпосередньо перед запресуванням в прес-форму в модельний склад замішують повітря (до 35% за об'ємом).

Залежно від вихідної структури застосовуваних матеріалів, модельний склад в твердому стані може бути кристалічним, аморфним або мати змішану структуру.

Залежно від співвідношення об'ємних часток кристалічних і аморфних складових в структурі модельного складу, він набуває властивостей і характеристик, властивих, відповідно, або кристалічним, або аморфним речовинам (плинність, крихкість, міцність, матовість поверхні моделей та ін.).

1.3 Вимоги до модельних матеріалів

У цехах лиття по виплавлюваних моделях для виготовлення моделей виливків і ЛПС використовують модельні склади, які перш початково знаходяться в рідкому, пастоподібному або твердому стані. При цьому, для виготовлення моделей з пастоподібного або рідкого модельного складу, його нагрівають до відповідної температури.

У даний час з числа відомих способів виготовлення моделей, що витоплюються найбільшого поширення набув спосіб запресовування в прес-форму модельного складу, що знаходиться в пастоподібному стані. Використання, будь-якої воскоподібної легкоплавкої речовини в "чистому" вигляді для виготовлення моделей даним способом не представляється можливим. Це пов'язано з тим, що кожна окремо взята речовина (наприклад, парафін, стеарин, буровугільний віск, бітум нафтовий та ін.) не володіє необхідним рівнем властивостей та технологічності, необхідних для отримання якісних моделей в тих чи інших промислових умовах. Наприклад, парафін недостатньо міцний та схильний до утворення утяжин в моделях, церезин нафтовий має високу лінійну усадку, низьку твердість та міцність, схильний прилипати до поверхонь прес-форми і ін.

У зв'язку з цим кожен модельний склад являє собою сплав двох та більше компонентів або суміш нерозчинних одна в одній речовин. При цьому, як правило, один з компонентів сплаву є розчинником, а інші компоненти – технологічними добавками (легуючими компонентами та/або наповнювачем). Кожен з легуючих компонентів модельного складу надає йому певний рівень властивостей та характеристик. Наприклад, церезин синтетичний або віск поліетиленовий надають пара-

фіну твердість, міцність, теплостійкість, розширюють температурний інтервал за-
твердіння, підвищують плинність сплаву в пастоподібному стані, стеарин, введе-
ний в парафін, знижує схильність до утворення утяжин в моделях і ін.

У переважній кількості випадків модель, що витоплюється є практично точ-
ною копією майбутньої деталі. При цьому нерідко умови формування моделі вили-
вка не менш складні, ніж умови формування самого виливка.

По суті, модель, що отримують з рідкого або пастоподібного модельного
складу – це виливок, отриманий в результаті заливки або запресування й охоло-
дження модельного складу в невіддатливій прес-формі, з використанням приміти-
вної ливникової системи. З огляду на відносно складні умови формування моделей
та високі вимоги до їх якості, при розробці модельні склади оцінюють за наступним
комплексом властивостей.

1.4 Фізичні властивості та параметри модельних складів

1. Межа міцності при статичному згині (при 18...20 °C) – визначає здатність
моделей та модельних блоків протидіяти руйнуванню під дією механічних наван-
тажень в процесі їх зберігання та технологічних маніпуляцій з ними. Чим більше
значення цієї величини, тим міцніший модельний блок, тим менше втрат моделей
та модельних блоків в процесі виготовлення керамічної оболонки. Міцність най-
більш поширених модельних складів, як правило, знаходиться в межах від 3 до 8
МПа.

2. Твердість (пенетрація) при 20 °C – опосередковано характеризує ступінь
захищеності поверхні моделей від механічних пошкоджень (подряпин, вм'ятин) та
схильність моделей до деформації (викривлення).

Твердість модельного складу – міра (глибина) проникнення голки певних ро-
змірів в зразок модельного складу, при певному навантаженні на голку, за певний
час, при 25 ° C. Чим менша пенетрація, тим твердіший модельний склад (випробу-
ваної речовина).

3. Теплотривкість (теплостійкість) – здатність виробів з модельного складу, при підвищених температурах, зберігати свою форму або максимальна температура, при якій моделі та модельні блоки зберігають точність форми. Тобто, теплостійкість визначає максимальну температуру, нижче якої модельний склад забезпечує збереження форми виробу з нього.

Необхідну мінімальну величину теплотривкості модельного складу призначають в залежності від максимальної (сезонної) величини температури повітря в відділеннях виготовлення моделей та нанесення вогнетривкого покриття, умов сушіння вогнетривкого покриття на модельних блоках, вимог до якості лиття і ін.

Теплотривкість модельних складів оцінюють по зміні жорсткості, показником якої служить так звана деформаційна теплостійкість – температура, при якій починає розвиватися неприпустимо велика деформація зразка, що знаходиться під навантаженням власної маси та нагрівається за визначеним режимом.

4. Пластичність – показник величини максимальної деформації зразка модельного складу до його руйнування. Опосередковано характеризує тріщиностійкість модельного складу. Тріщиностійкість модельного складу зростає з підвищенням його пластичності (в'язкості) та зниженням величини вільної лінійної усадки.

5. Модуль пружності (E) при 18 ... 20 ° C – параметр, що характеризує жорсткість виробів з модельного складу або пружність моделей та модельних блоків (пружність – це властивість макроскопічних тіл чинити опір зміні їх об'єму або форми під впливом механічної напруги, при знятті прикладеної напруги, коли об'єм та форма пружнодеформованого тіла відновлюються).

Показник враховують при виборі модельних складів, придатних для виготовлення великогабаритних тонкостінних моделей, наприклад, моделей протяжних неохолоджуваних турбінних лопаток. При всіх інших рівних умовах, використання модельних складів з високим модулем пружності забезпечує найбільш високу точність форми виливків.

6. Вільна лінійна усадка – показник відносної зміни лінійних розмірів моделі, затверділої та охолодженої до 18...20 °C, в умовах вільної усадки, в порівнянні з аналогічними розмірами робочої порожнини прес-форми.

Показник використовують для прогнозування розмірної точності моделей та розрахунку розмірів робочих порожнин прес-форм. Крім розмірної точності, даний показник помітно впливає на схильність модельного складу до утворення тріщин в моделях та на їх викривлення.

Слід зазначити, що величина вільної лінійної усадки модельного складу залежить не тільки від природи матеріалу модельного складу, а й умов отримання моделі, її форми та розмірів, умов підготовки модельного складу до запресування в прес-форму, однорідності модельного складу за об'ємом та ін. Величину лінійної усадки зменшують шляхом насичення модельного складу повітрям безпосередньо перед його запресуванням в прес-форму або шляхом введення в модельний склад твердого та (або) рідкого наповнювача.

7. Ускладнена лінійна усадка – показник відносної зміни лінійних розмірів моделі, затверділої та охолодженої до 18...20 °C в умовах утрудненої усадки, в порівнянні з аналогічними розмірами робочої порожнини прес-форми.

1.5 Виникнення адитивних технологій

Як правило, інноваційному обладнанню для обробки потрібна достатня кількість часу, щоб подолати всі бар'єри консервативних заводських структур і стати звичним для виробничого та технологічного процесу, а потім, як говориться, піти в маси і стати звичайним для самих широких кругів користувачів. Однак є одна область, в якій розповсюдження нової технології пішло по іншому шляху: від відносно простого застосування ентузіастами до повномасштабного процесу прототипування та промислового використання для випуску найрізноманітнішої і часто унікальної продукції.

Мова йде про тривимірний друк. Найперші технології 3D-друку з'явилися в початку 1980-х рр. В той час вони називалися технологіями швидкого прототипування і не проектувались на широке застосування і тим більш використання в промислових масштабах. Перша заявка на патент 3D-друку методом стереолітографії була подана в 1980 г. в Японії доктором Хідео Кодама (Hideo Kodama), а в 1981 г.

він вже надрукував перший зразок. Але, не завершивши оформлення патенту (можливо, він не оцінив його перспективи), Хідео Кодама втратив пріоритет офіційного винахідника. Але більш сумна історія відбулась в Франції, де в 1984 р. групою винахідників – Аленом Ле Миуті (Alain Le Méhauté), Олів'є де Вітте (Олів'є де Вітте) та Жан Клодом Андре (Жан Клод André) – була подана заявка на патент швидкого прототипування, доречі, також методом стереолітографії, яка була відхилена з вердиктом «відсутність перспектив застосування».

Тому офіційним народженням цієї технології вважається 1986 рік, коли американський винахідник Чак Халл (Charles W. Hull) отримав свій патент. Хоча деякі спеціалізовані видання все ж таки вважають «батьками» 3D-друку саме Алена Ле Миуті та його колег, які подали заявку на кілька тижнів раніше Чака Халла [4].

Використання в промисловості 3D-друку пов'язують із третьою промисловою революцією, яка буде відрізнитись широким освоєнням адитивного виробництва [5], останній термін згадується в якості синоніму 3D друку. Використання 3D принтерів, перш за все, дозволить знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище, заощадити до 90% вихідного матеріалу в відмінності від поточного "субтрактивного виробництва" [6], що передбачає розбирання матеріалів на частини, підбір відповідних елементів та їх об'єднання, на яких засновується теперішнє традиційне виробництво. Якщо сьогодні принцип виробництва деталей складається переважно з видалення із заготовки «зайвого» матеріалу, то адитивне виробництво («add» – «додавати») використовує інший принцип створення об'єктів – пошаровий. 3D-принтери вирощують об'єкт з нуля, додаючи до нього дрібні порції матеріалу, що формують шари, тому цей процес і називається адитивним.

1.6 Класифікація існуючих видів адитивних технологій

Чіткої класифікації адитивних технологій на даний час не існує, але їх можна розділити за такими групами:

- за модельними матеріалами, що використовуються (рідкі, сипучі, полімерні, металопошкокові та ін.);
- за наявністю чи відсутністю використання лазеру;

- за методами підводу енергії для фіксації побудованого шару (за допомогою теплової дії, опромінення ультрафіолетовим чи видимим світлом, завдяки зв'язуючим і ін.);
- за методами формування шару, тощо.

ASTM International-American Society for Testing and Materials, організація в США, яка займається розробкою технічних стандартів для широкого спектру матеріалів, систем та послуг, в тому числі адитивних технологій розділяє їх на 7 категорій.

В першій технології Material extrusion (технологія видавлювання) матеріал пропускають через сопло, де він нагрівається, а потім наноситься шар по шару на будівельну платформу. Сопло може рухатися горизонтально, а платформа – по вертикалі після того, як накладається кожний новий шар. Шари матеріалу з'єднуються під дією температури або за допомогою хімічних речовин. Матеріал часто подається до машини у вигляді котушки (рис. 1.1).

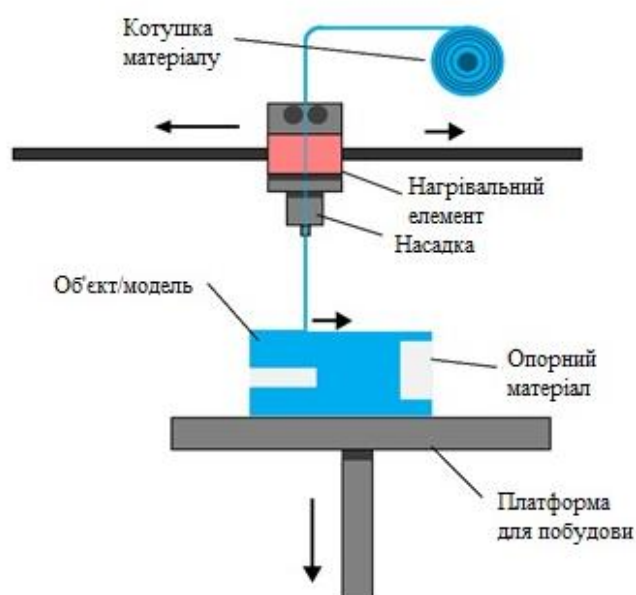


Рисунок 1.1 – Технологія Material extrusion

Наступна технологія Material Jetting (струменева технологія) є однією з стандартних технологій 3D-друку, що придатна як для настільної версії 3D-принтерів

так і промислових. 3D-модель будується на будівельній поверхні, до якої крапле-подібно або безперервно подають розчин будівельного матеріалу, кожний шар якого потім твердіє під дією ультрафіолетового випромінювання.

Типовий пристрій для такого 3D-друку має голівку принтера, що складається з двох форсунок та джерела ультрафіолетового випромінювання (УВ). Одна форсунка використовується для нагрівання будівельного матеріалу, а інша форсунка використовується для струменю матеріалу підтримки (рис. 1.2).

Матеріал підтримки не є частиною моделі, але, як правило, розміщується вздовж будівельного матеріалу для фіксації моделі. Тому головка принтера забезпечує послідовне нанесення будівельного матеріалу та матеріалу підтримок, в той час як джерело УВ спрямовує випромінювання на щойно нанесений матеріал. Після закінчення побудови та твердіння моделі вилучають підтримки.

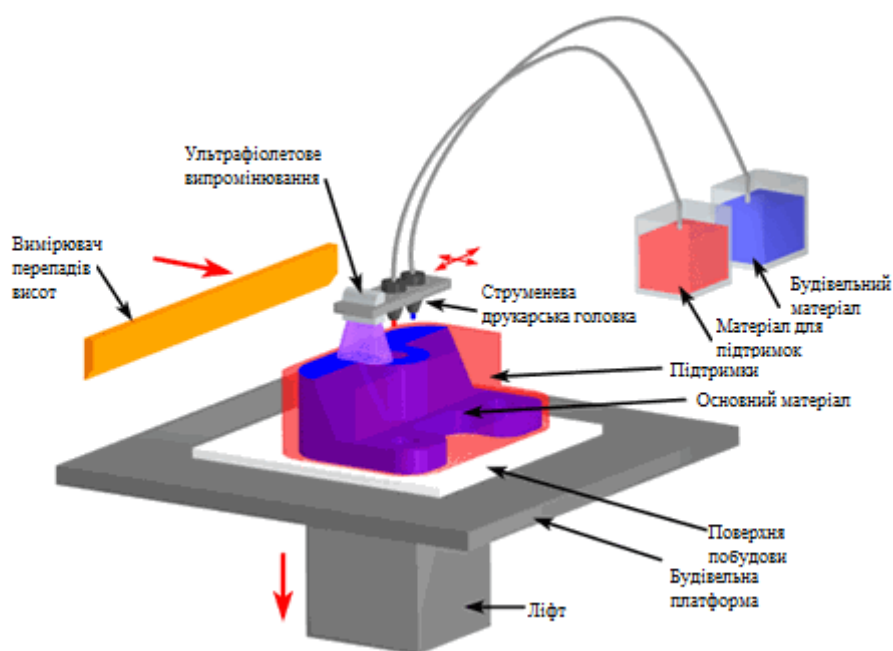


Рисунок 1.2 – Технологія Material Jetting

У наступній технології Binder Jetting використовують два матеріали: порошковий та зв'язувальний. Зв'язувальний матеріал діє як клей між шарами порошку. Друкована голівка рухається по горизонталі вздовж осі x і y машини і наносить по чергові шари основного та зв'язувального матеріалу. Після кожного шару, на-

друкований об'єкт опускають на платформі (рис. 1.3). Надрукований об'єкт самостійно тримається в порошковому шарі і видаляється з нього після завершення друку.

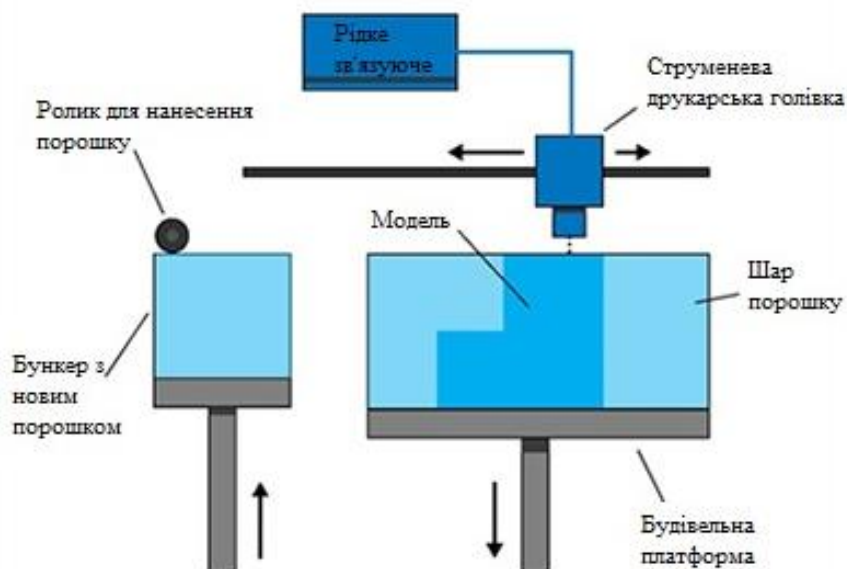


Рисунок 1.3 – Binder Jetting

Технологія Sheet Lamination включає в себе ультразвукове адитивне виробництво (UAM) та виробництво листових об'єктів (LOM). В ультразвуковому адитивному виробництві листи або стрічки з металу з'єднують разом за допомогою ультразвукового зварювання (рис. 1.4). Процес вимагає додаткової механічної обробки і видалення незвареного металу.

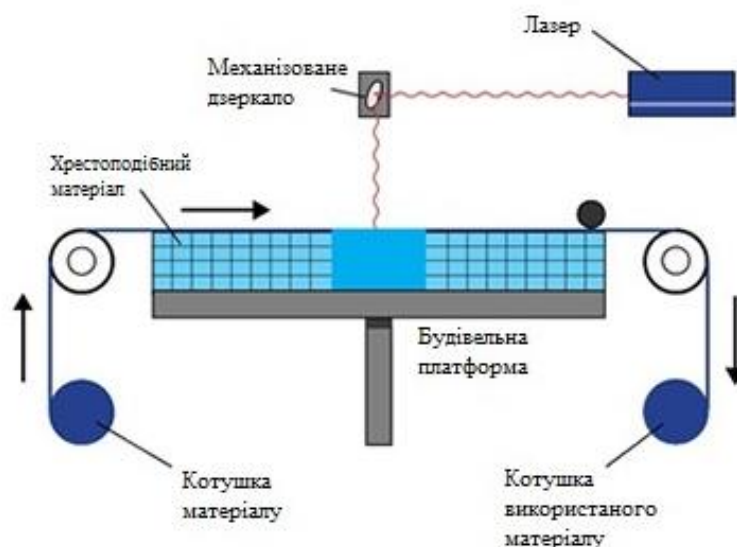


Рисунок 1.4 – Sheet Lamination

У технології виробництва листових об'єктів (LOM) також йде пошарове будування, але як матеріал використовується папір та клей замість зварювання. Такий друк часто використовуються для естетичних і візуальних моделей, але він не підходить для структурного використання. В технології UAM використовуються метали включаючи алюміній, мідь, нержавіючу сталь та титан. Процес низькотемпературний і дозволяє створювати складну внутрішню геометрію.

П'ятою адитивною технологією є Vat photopolymerization. Вона заснована на зміцненні фотополімерів під впливом ультрафіолетового випромінювання. Є два загальні методи цієї технології: стереолітографія (SLA) та безперервна рідка побудова моделі (CLIP).

В стереолітографії 3D-модель будується на платформі, яка занурюється в смолу на глибину одного шару. При направленні випромінювання у конкретні координати відбувається твердіння рідкої смоли в цьому шарі. Після створення шару платформа піднімається і модель вилучають з смоли (рис. 1.5). Потім її знову поміщають в смолу, на таку глибину щоб всі побудовані шари були занурені в смолу, для створення наступного шару. Для фіксації моделі в смолі використовуються підтримки.

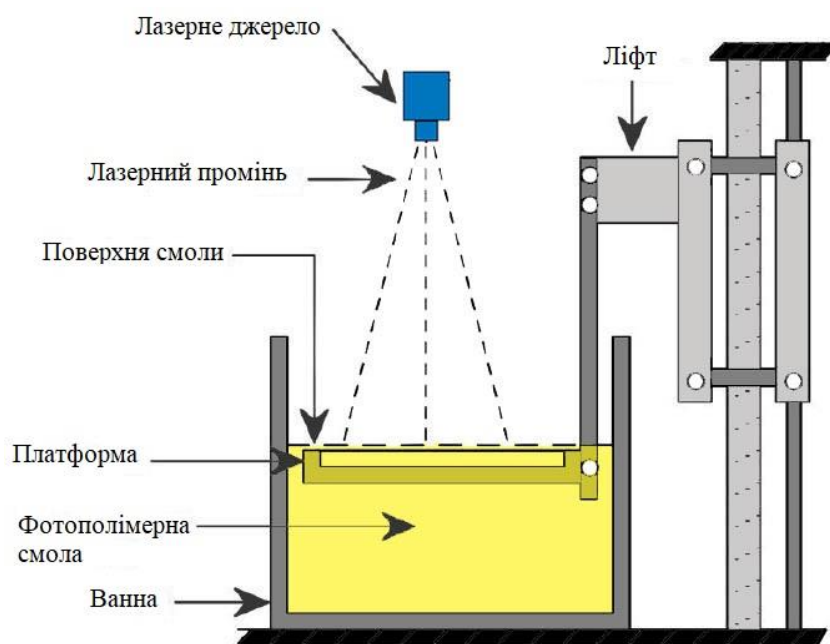


Рисунок 1.5 – Стереолітографія

У технології CLIP лазерний проектор розташований у нижній частині, а порошкова смола в контейнері, має проникне кисневе вікно між лазерним проектором та смолою, що дозволяє виконувати швидко безперервне будівництво 3D-моделі і здатне змінювати імпульси ультрафіолетового випромінювання. Проникне кисневе вікно створює мертву зону між залишками рідких смол, відмінними від смоли, що піддається впливу випромінювання (рис. 1.6). Це дозволяє проводити випромінювання через побудований шар без зупинки побудови, що пришвидшує процес.

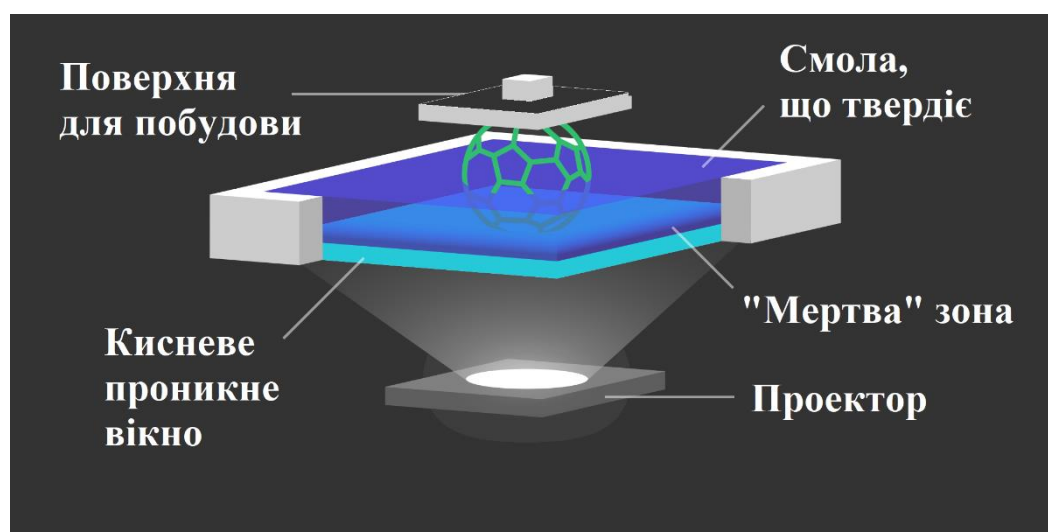


Рисунок 1.6 – Технологія CLIP

Шоста категорія Powder Bed Fusion включає в себе наступні широко використовувані методи друку: пряме лазерне спікання металу (DMLS), електронно-променеве плавлення (EBM), вибіркве термічне спікання (SHS), селективне лазерне розплавлення (SLM) та вибіркве лазерне спікання (SLS).

Методи Powder Fusion (PF) використовують лазер або електронний промінь для розплавлення та сплавлення порошку матеріалу між собою. Електронно-променеве спікання (EBM) вимагає вакууму, але може використовуватися з металами та сплавами при створенні функціональних частин.

Всі методи цієї технології включають розповсюдження порошкового матеріалу над попередніми шарами. Для цього використовують різні механізми, включаючи ролик або лезо. Бункер або резервуар забезпечує свіжий запас матеріалу (рис. 1.7). Пряме лазерне спікання металом (DMLS) таке ж, як і SLS, але з використанням

метал, а не пластмаси. Вибіркове термічне спікання відрізняється від інших процесів використанням нагрітої термічної друкарської голівки, щоб з'єднати порошковий матеріал між собою. Як і в попередніх технологіях, шари додають роликом між сплавленнями.

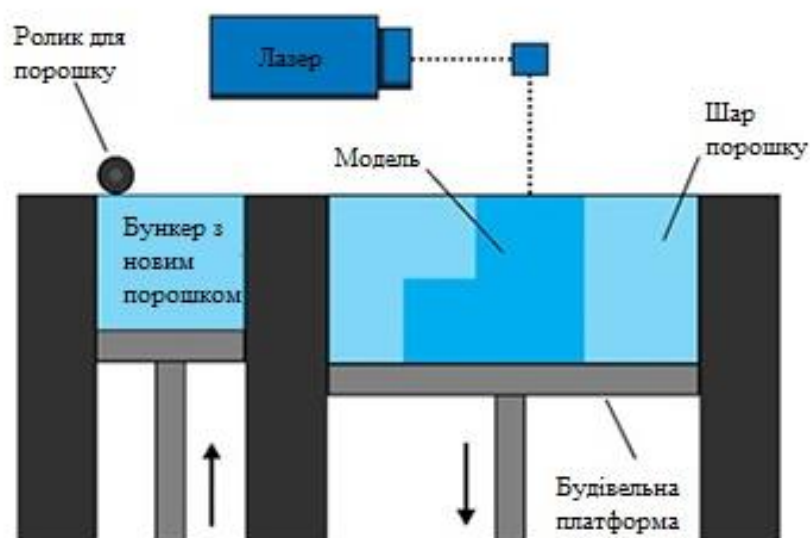


Рисунок 1.7 – Powder Bed Fusion

В останню сьому категорію Directed energy deposition входять технології, в яких матеріал та енергію підводять одночасно в місце побудови. Це більш складний процес друку, який зазвичай використовується для відновлення або додавання додаткового матеріалу до існуючих об'єктів.

Типова машина DED складається з сопла, встановленого на багатоосьовій «руці», яка вкладає розплавлений матеріал на вказану поверхню, де вона твердіє. Процес принципово схожий на Material Extrusion, але сопло може рухатися в декількох напрямках і не закріплене на певній осі.

Матеріал, який може бути нанесений з будь-якого кута, розплавляється під дією лазера або електронного променя. Процес можна використати для полімерів, кераміки, але зазвичай його використовують для металевого порошку або дроту. Типовим застосуванням технології є ремонт і поновлення конструкційних деталей (Рис. 1.8).

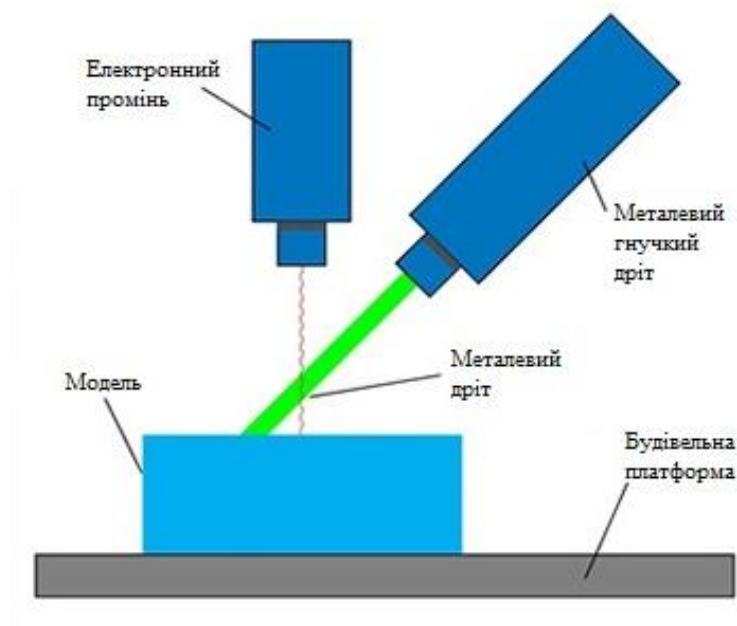


Рисунок 1.8 – Directed energy deposition

У ливарному виробництві знайшли своє застосування такі технології: Material extrusion, Material Jetting, Binder jetting, Vat photopolymerization, Powder bed fusion та Directed energy deposition.

1.7 Використання адитивних технологій в ливарному виробництві

Аналіз сучасних технологій ливарного виробництва та факторів, що впливають на них, показав, що для допомоги інноваційному розвитку ливарного виробництва необхідне використання комп'ютерних, нанотехнологій та технологій прототипування. Використання адитивних технологій в ливарному виробництві дозволяє «вирощувати» ливарні моделі та форми, які не можливо було виготовити традиційними способами, а також значно скорочує терміни виготовлення модельної оснастки.

Використання в процесі вакуумного лиття форм і моделей, отриманих за допомогою адитивних технологій, дало можливість зменшити час виготовлення пілотних, дослідних зразків і в ряді випадків серійної продукції – в десятки разів.

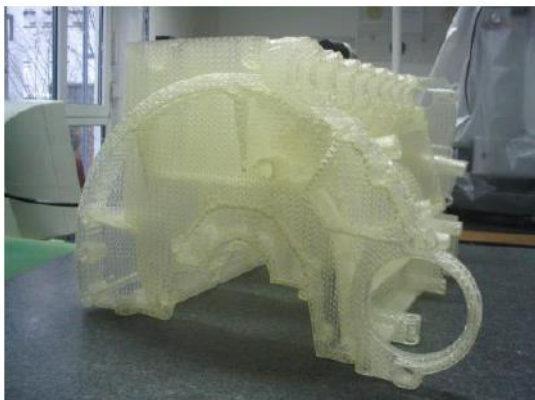
Перехід на цифровий опис виробів – CAD та адитивні технології призвели до кардинальних змін в ливарному виробництві, що особливо проявилось в високотехнологічних галузях – авіаційній та аерокосмічній області, атомній індустрії, медицині та приладобудуванні, в галузях, де характерним є дрібносерійне, одиничне виробництво.

Основною перевагою використання адитивних технологій перед іншими – «короткий термін виготовлення виливків з моменту отримання креслення литої деталі. Виливок простої форми можна виготовити протягом доби». Ці технології знаходять «все більш широке використання в таких галузях промисловості, як авіація та машинобудування при виготовленні виливків з Al- та Mg-сплавів».

Використання методів отримання ливарних синтез-форм та синтез-моделей за рахунок технологій пошарового синтезу дозволили радикально скоротити час створення нової продукції. Наприклад, для виготовлення першого дослідного зразка деталі, характерної для автомобільного двигунобудування – блоку циліндрів, – традиційними методами потрібно не менше 6 місяців, при цьому основні часові затрати йдуть на створення модельної оснастки для лиття.

Використання для цієї цілі технології Quick-Cast (вирощування ливарної моделі з фотополімеру на SLA-машині з наступним литтям по випалюваній моделі) скоротило термін отримання першого виливка до 2 тижнів. Ця ж деталь може бути отримана менш точною, але повністю придатною для даних цілей технологією – литтям в вирощувані піщані форми на машинах типу S-Max.

Значна частина виливків, що не має спеціальних вимог за точністю лиття чи структурі, може бути отримана в вигляді готової продукції протягом 3-4 днів з врахуванням підготувально-завершувального часу: пряме вирощування воскової моделі Quick-cast-моделі (1 день); формування + сушіння форми (1 день); прокалювання форми та власне лиття (1 день) (рис. 1.9).



а



б

а – Quick-cast модель; б – чавунний виливок

Рисунок 1.9 – Блок циліндрів

Розвиток трьохвимірних CAD/CAM/CAE-технологій призвело до суттєвої модернізації сучасного ливарного виробництва і, в першу чергу, дослідного виробництва. Ціль цієї модернізації – в створенні умов для повноцінної реалізації принципу «безпаперових» технологій протягом всього процесу створення нового виробу – від проектування та розробки CAD-моделі до кінцевого продукту – бути невід’ємною частиною проектування та виготовлення виробів різноманітного призначення з широкою номенклатурою використовуваних матеріалів.

Для цього ливарні цехи та дільниці устатковують новим обладнанням, що дає широкі можливості, але потребує освоєння нових знань.

На сьогоднішній день тенденції розвитку сучасного ливарного виробництва такі, що річ йде вже не лише про створення точних копій (моделей) деталей машин, які також важливі та використовуються в технологіях лиття моделями, що витоплюються, але і про створення готових функціональних виробів.

1.8 Технології лиття металів та пластмас з використанням синтез-моделей та синтез форм

Особливе значення AF-технології мають для пришвидшеного виробництва виливків. AF-машини використовуються для отримання: ливарних моделей; майстер-моделей; ливарних форм та ливарної оснастки.

Ливарні моделі можуть бути отримані (вирощені) з:

- порошкових полімерів для наступного лиття по випалюваних моделях;
- фотополімерних композицій, в тому числі, за технологією Quick-cast для наступного лиття за випалюваними моделями чи за технологією MJ (Multi Jet) для лиття за витоплюваними моделями.

1.9 Синтез-моделі з порошкових полімерів

В якості модельного матеріалу для традиційного лиття по випалюваних моделях широко використовується полістирол. В зв'язку з розвитком технологій шарового синтезу полістирол став дуже популярним в області прототипування, а також для промислового виготовлення одиничної та дрібносерійної продукції. Полістирольні моделі виготовляють на AF-машинах, що працюють за SLS-технологією (рис. 1.10, 1.11). Цю технологію часто використовують для виготовлення виливків складної форми відносно великих розмірів з помірними вимогами за точністю.



Рисунок 1.10 – Полістирольна модель та виливок головки циліндра ДВС

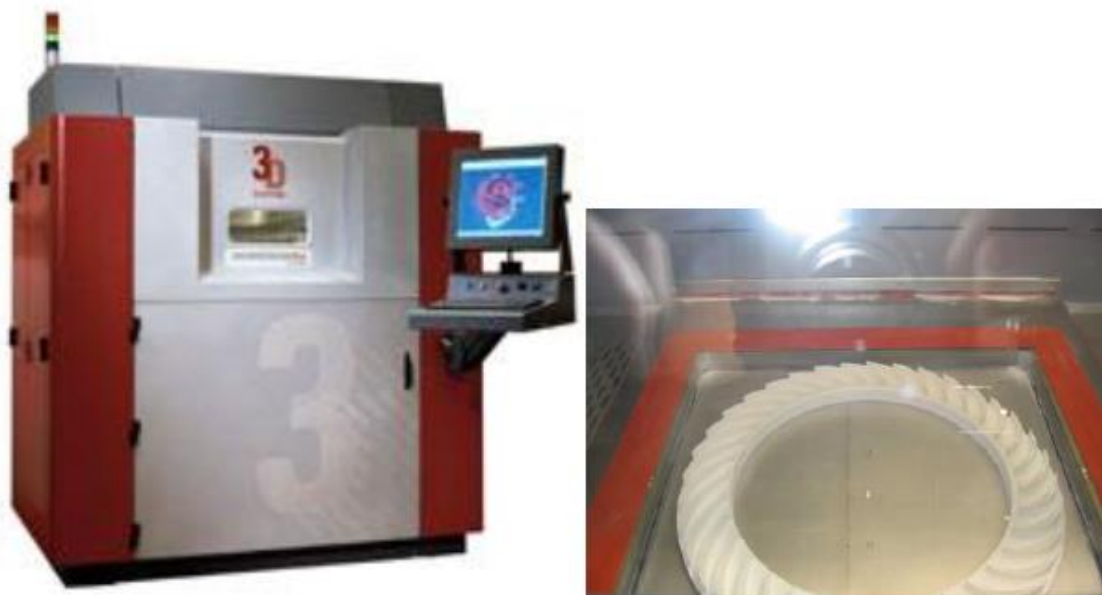


Рисунок 1.11 – SLS-машина sPro 60 та модель колеса турбіни

Суть SLS-технології полягає в наступному: модельний матеріал – полістирольний порошок з розміром часток 50-150 мкм – накочується спеціальним роликком на робочу платформу, встановлену в герметичній камері з атмосферою інертного газу – азоту. Лазерний промінь «пробігає» там, де комп'ютер «бачить» в даному перерізі CAD-моделі «тіло», як би «заштрихований» переріз деталі, як це робить конструктор олівцем на кресленні.

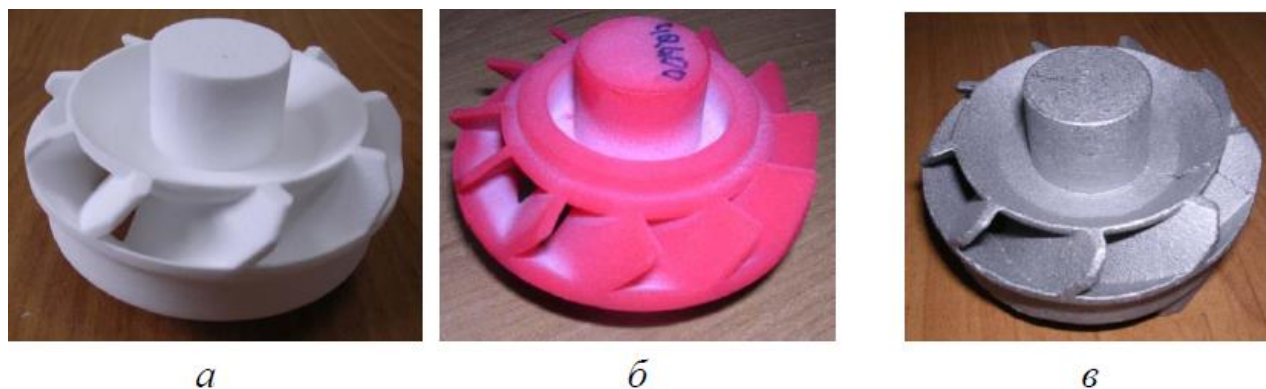
У цьому випадку лазерний промінь являє собою джерело тепла, під дією якого відбувається спікання часточок полістиролу (робоча температура – біля 120°C). потім платформа опускається на 0,1-0,2 мм і нова порція порошку накочується зверху затверділого, формується новий шар, який також спікається з попереднім. Процес повторюється до повної побудови моделі, яка в кінці процесу залишається в масиві неспеченого порошку. Далі модель вилучається з машини та очищається від порошку. Перевагою даної технології є відсутність підтримок, під час побудови модель та всі її шари, що будуються утримуються масивом порошку.

Наявні на ринку машини фірм 3D Systems і EOS дозволяють будувати досить великі моделі (розмірами до 550x550x750 мм) без необхідності склеювання

окремих фрагментів, що підвищує точність виливків і надійність, особливо вакуумного лиття. При цьому можлива висока деталізація побудови моделей: можуть бути побудовані поверхневі елементи (номера деталей, умовні написи і ін.) З товщиною фрагментів до 0,6 мм, гарантована товщина стінки моделі – до 1,5 мм.

Технології лиття по воскових і полістирольних моделям принципово не відрізняються, оскільки використовуються однакові формувальні матеріали, ливарне і допоміжне обладнання. Відмінності полягають в тому, що воскова модель – «ви-плавляється», а полістирольна модель – «випалюється», а також в нюансах формування і термообробки опок, що мають важливе значення.

При роботі з полістирольними моделями вимагають нейтралізації горючі гази, матеріал частково вигоряє в самій формі, в результаті чого виникає небезпека утворення золи та засмічення форми, тому необхідно передбачати можливість стікання матеріалу з застійних зон. Безумовною вимогою є використання прожарювальних печей з програматорами, програма зпалювання полістиролу істотно відрізняється від програми виплавляння воску. При певних навичках і досвіді лиття по випалюваним полістирольних моделям дає хороший результат (рис. 1.12).



а – після вирощування; б – після інфільтрації; в – чавунний виливок.

Рисунок 1.12 – Полістирольна модель:

До недоліків технології відносять наступне: процес спікання порошку – це тепловий процес, який характеризується нерівномірністю розподілу тепла по робочій камері і масиву матеріалу, викривленням внаслідок температурних деформацій. В результаті того що порошок полістиролу НЕ сплавляється, як, наприклад,

порошки поліаміду або металу, а саме спікається – структура моделі пориста, схожа на структуру пінопласту.

Це в подальшому полегшує видалення матеріалу моделі з форми з мінімальними внутрішніми напруженнями при нагріванні. Побудована модель вимагає досить обережного поводження при очищенні і при подальшій роботі в підготовці до формування.

Для dodання міцності і гарного з'єднання з ливникової системою та формування модель просочують спеціальним складом на восковій основі, цей процес називається інфільтрацією. При цьому модель поміщають в спеціальну піч і при температурі близько 80°C просочують спеціальним складом (рис. 1.13). Інфільтровані моделі мають червоний колір, з машини витягають полістирольні моделі сніжно-білого кольору.



а



б

Рисунок 1.13 – Полістирольні інфільтровані моделі (а) і алюмінієві виливки (б)

Використання інфільтрату у вигляді воску має і свої переваги: він розплавляється в опоці при випалюванні раніше полістиролу і, коли полістирол набуває плинність, видаляє його з форми, тим самим зменшуючи масу «випалюваної» частини полістиролу і знижуючи ймовірність утворення золи. Останнім часом з'явилися полістирольні модельні порошки, які не потребують інфільтрації.

При застосуванні технології отримання випалюваних синтез-моделей – InkJet від компанії Voxeljet Technology GmbH (Німеччина) в якості модельного матеріалу використовується порошковий акриловий полімер (поліметилметакрилат – оргскло, modified acrylic glass) (рис. 1.14). Застосовувані при цьому машини VX500, VX800 і VX1000 мають розміри робочої зони 500x400x300, 850x450x500 і 1060x600x500 мм відповідно.

В процесі роботи рідкий сполучний склад вприскується через багатосоплову головку і пов'язує (склеює) основний модельний матеріал. Один шар формується приблизно за 30 с, таким чином, при кроці побудови 0,2 мм машина може будувати моделі зі швидкістю від 12 до 48 мм на годину по висоті.

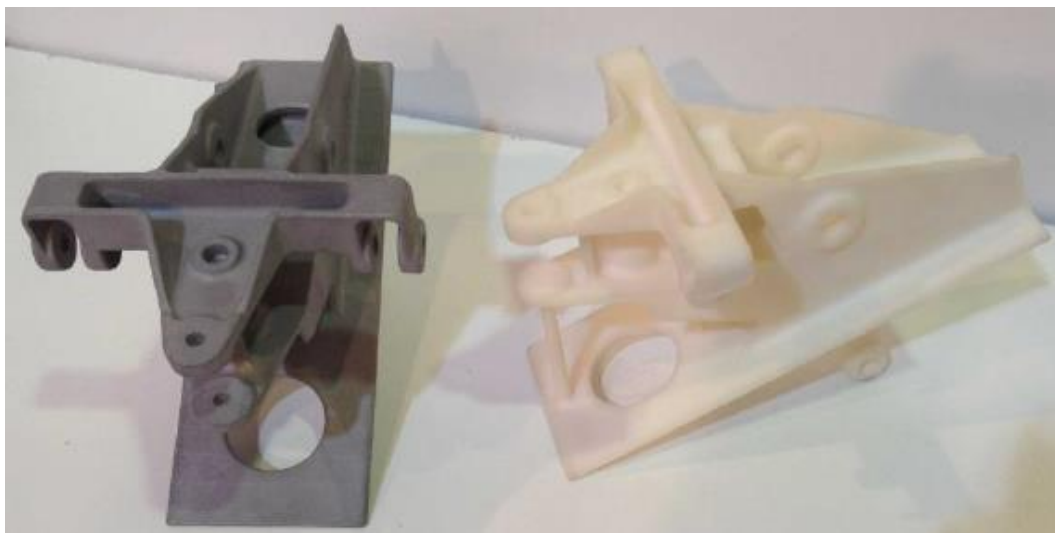


Рисунок 1.14 – Виливок Voxeljet

У базовій версії машини VX500 і VX800 оснащуються розпорошувальною головкою GSH 768, що має 768 п'єзоелектричних форсунок. У цьому випадку досягається роздільна здатність 250 dpi (точок на дюйм). В якості опції може бути встановлена головка C-VKH 2656, забезпечуюча роздільну здатність до 600 пі і можливість зменшення кроку побудови до 80 мкм. Передбачена також опція швидкої зміни контейнера, на установку якого потрібно близько 30 с. Машини позиціонуються як більш продуктивні і дешеві альтернативи машинам 3D Systems і EOS. Габарити VX500 – 1790x1852x1660 мм, вага – 1200 кг; VX800 – 2600x2350x2300 мм, вага – 2500 кг.

Модель VX1000 (рис. 1.15) оснащена потужною друкуючою голівкою з 10624 форсунками, яка дозволяє отримати роздільну здатність до 600 dpi. Товщина шару за один прохід складає 100 мкм при ширині друку 450 мм, час створення шару – менше 30 с. Цей високопродуктивний верстат відрізняє не тільки швидкість і точність, а й екологічність.

Він може працювати з неорганічними формувальними матеріалами, на противагу органічним зв'язуючим речовинам, неорганічні зв'язки не згорають в процесі лиття. При цьому повністю виключаються викиди, шкідливі для здоров'я і навколишнього середовища, які виникають при використанні органічних речовин. VX1000, спроектований як високопродуктивний верстат, відрізняється в своєму класі компактними розмірами при загальній вазі близько 4 т.



Рисунок 1.15 – Модель Voxeljet.

[Інформація с сайта <http://gerprom.com>]

До переваг технології відноситься те, що процес побудови проводиться при кімнатній температурі, що знижує ризик теплових деформацій, характерних для SLS-технології. Моделі також піддають інфільтрації воском, але сам процес проходить в більш щадному режимі, ніж при інфільтрації полістирольних моделей.

У процесі виготовлення виливків іноді використовують вирощування ливарної формувальної оснастки з порошкового поліаміду, широко використовується для функціонального прототипування. Моделі з поліаміду досить міцні і в багатьох випадках дозволяють відтворити прототип максимально близько до виробу.

У ряді випадків виявляється економічно більш доцільним застосування поліамідних моделей в якості альтернативи дерев'яним моделям. Модель вирощують так само, як і полістирольну. При цьому по можливості роблять її полою з мінімально можливою товщиною стінок з метою мінімізації температурних деформацій. Потім модель для додавання міцності і жорсткості заповнюють зсередини епоксидною смолою. Після цього закріплюють у формувальному ящику, фарбують і далі – за традиційною технологією формують. Представлена модель вирощена з двох частин, в процесі виготовлення частини були склеєні, заповнені епоксидною смолою і закріплені в формувальному ящику. Тривалість операцій склала 2 дня.

1.10 Синтез-моделі з світлозатверджуваних смол

Суть технології полягає у використанні спеціальних світлочутливих смол, які тверднуть вибірково і пошарово в місцях підведення за заданою програмою променю світла. Способи засвічення шару різні (лазер, ультрафіолетова лампа, прожектор видимого світла, світлодіоди). Найбільшого поширення для лиття металів отримали SLA, Polyjet і DLP-технології. Перший спосіб передбачає послідовно «пробігання» лазерного променю по всій поверхні формуємого шару там, де в перетині «тіло» моделі. Другий спосіб твердіння проводиться променем у вигляді лінії в процесі формування шару за рахунок випромінювання від керованої ультрафіолетової лампи. Третій спосіб передбачає засвічення всього шару одночасно за рахунок створення так званої маски – «фотографії» поточного перетину CAD-моделі.

Різниця в способах формування шарів обумовлює і різницю в швидкості побудови моделі. Швидкість вирощування по DLP- і Polyjet-технологій вище. Але стереолітографія як і раніше залишається-ся найточнішою технологією і застосовується там, де вимоги до чистоти поверхні і точності побудови моделі є основними і визначальними. На думку авторів роботи, «малі питомі витрати енергії на затвердіння, безвідходність і екологічна чистота роблять цю технологію найбільш привабливою з точки зору створення на її основі установок для оперативного макетування».

Технології нелазерного «засвічування» із заданою експозицією, використовувані, наприклад, фірмами Objet Geometry і Envisiontec, у багатьох випадках успішно конкурують зі стереолітографією, залишаючи за собою явну перевагу в швидкості побудови і вартості моделей. Ряд виробничих завдань може бути успішно вирішений за допомогою AF-машин різного рівня.

Таким чином, раціональний вибір технології отримання моделей і, отже, прототипуючого обладнання повинен проводитися з урахуванням конкретних виробничих умов і реальних вимог до моделей. У тих випадку, коли вирішуються різноманітні завдання, доцільно мати дві машини: одну – для виготовлення виробів з підвищеними вимогами, другу – для виконання «рутинних» завдань і тиражування моделей.

1.11 Стереолітографія

Фірма 3D Systems – піонер в області практичного освоєння технологій швидкого прототипування – в 1987 р представила для комерційного освоєння стереолітографічну машину SLA-250 з розмірами зони побудови 250x250x250 мм.

Основою в SLA-процесі є ультрафіолетовий лазер (твердотільний або CO₂). Лазерний промінь в даному випадку не є джерелом тепла, як в SLS-технології, а джерелом світла. Промінь "штрихує" поточний перетин CAD-моделі і затверджує тонкий шар рідкого полімеру в місцях проходження. Потім платформа, на якій проводиться побудова, занурюється у ванну з фотополімером на величину кроку побудови і новий рідкий шар наноситься на затверділий шар, і новий контур «обробляється» лазером.

При вирощуванні моделі, що має нависаючі елементи, одночасно з основним тілом моделі з того ж матеріалу будуються підтримки у вигляді тонких стовпчиків, на які укладається перший шар нависаючого елемента, коли приходить черга його побудови. Процес повторюється до завершення побудови моделі. Потім модель витягується, залишки смоли змиваються ацетоном або спиртом, підтримки видаляють. Для підвищення міцності моделі поміщаються в спеціальну камеру дополімеризації – шафа з ультрафіолетовою лампою.

Якість поверхні стереолітографічних моделей вельми висока і часто модель не вимагає подальшої обробки. При необхідності чистота поверхні може бути поліпшена, «зафіксована» фотополімер добре обробляється, і поверхня моделі може бути доведена до дзеркальної. У деяких випадках, якщо кут між споруджуваною поверхнею моделі і вертикаллю менше 30° , модель може бути побудована без підтримок. Так можуть бути побудовані моделі, для яких не виникає проблем видалення підтримок з внутрішніх порожнин, це дозволяє отримувати моделі, які неможливо виготовити традиційними методами.

Висока точність об'єктів, одержуваних при використанні стереолітографією, а також їх дорожня орієнтація переважають її переважно на використання в медицині (створення унікальних ортопедичних протезів), автомобільної і авіаційної промисловості. Висока вартість обладнання та матеріалів перешкоджає широкомасштабному впровадженню і використанню на вітчизняних машино-будівельних заводах.

Стереолітографія широко застосовується для вирощування ливарних моделей; виготовлення майстер-моделей (для подальшого отримання силіконових форм, воскових моделей і виливків з поліуретанових смол); створення дизайн-моделей, макетів і функціональних прототипів; виготовлення повнорозмірних і масштабних моделей для гідродинамічних, аеродинамічних, міцнісних та інших видів досліджень.

Для виготовлення ливарних деталей застосовують так звані Quick-Cast-моделі, тобто моделі для «швидкого лиття», по яким, за аналогією з восковими моделями, можуть бути швидко отримані металеві виливки. Quick-Cast-моделі використовують в технологічних процесах, аналогічних процесам, в яких застосовують воскові й полістирольні моделі.

Моделі Quick-Cast мають стільникову структуру масиву стінок: зовнішні і внутрішні поверхні стінок виконують суцільними, а саме тіло стінки формують у вигляді набору сот. Це, по-перше, на 70% знижує загальну масу моделі, а отже, менше модельного матеріалу потрібно випалювати при підготовці форми до зали-

вки металом. По-друге, в процесі випалювання будь модельний матеріал розширюється і чинить тиск на стінки форми, при цьому форма з тонкостінними елементами може бути зруйнована [7].

1.12 Висновки та постановка завдання дослідження

Швидкий розвиток науки та промислова революція в усіх галузях вимагають змін на всіх етапах виготовлення деталей. Повільні та великозатратні технології виготовлення моделей та оснащення значно гальмують цей розвиток.

Основною ціллю стає пришвидшити окремі етапи отримання готової деталі за рахунок впровадження зовсім нових технологій в, здавалосьь, зовсім незвичний для них напрям. Так, наприклад, за допомогою адитивних технологій можна пришвидшити терміни отримання готової моделі для подальшого виготовлення оболонки в якій буде отримуватись виливок.

Для досягнення великої точності виливків та отримання високоякісних виливків потрібно адаптувати технологію 3D друку моделей та налаштувати всі параметри таким чином, щоб цей процес був найбільш вигідним та збалансованим.

Завдання дослідження – визначити вплив матеріалу SmartCastPla на виготовлення виливків литтям в разові керамічні форми за таких умов:

- температура прожарювання оболонки 700 °C, 750 °C та 800 °C;
- висота друкованого шару 100 мкм, 200 мкм та 300 мкм.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вихідні матеріали та їх підготовка

У якості вихідних матеріалів використовували моделі надруковані на 3Д-принтері з матеріалу SmartCastPla.

Також використовувався алюміній марки А0, хімічний склад якого наведено у табл. 2.1 та сталь марки 30Л (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Хімічний склад алюмінію марки А0 ГОСТ 11069–2001

Вміст хімічних елементів, %							
Al	Fe+Si	Mn	Cu	Mg	Zn	Ti	Інші
Не менше 99,00	≤ 0,95	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,10	≤ 0,02	≤ 0,03

Таблиця 2.2 – Хімічний склад сталі марки 30Л ГОСТ 977-88

C	Si	Mn	S	P
0.27 - 0.35	0.2 - 0.52	0.45 - 0.9	до 0.06	до 0.06

2.1 Отримання моделей

Виробничий цикл виготовлення моделі починався з обробки тривимірної цифрової моделі. Друк відбувався шляхом видавлюванням («екструзією») та нанесенням мікрокрапель розплавленого термопластика з формуванням наступних шарів, що застигають відразу після екструдкування.

Пластикова нитка розмотувалась з котушки та подавалась в екструдер – пристрій, оснащений механічним приводом для подачі нитки, нагрівальним елементом для плавки матеріалу та соплом, через яке здійснюється безпосередньо екструзія.

Нагрівальний елемент служить для нагрівання сопла, яке в свою чергу плавив пластикovu нитку та подавав розплавлений матеріал на нерухому платформу, на якій будувалась модель.

Екструдер переміщається в горизонтальній та вертикальній площинах під контролем алгоритмів, аналогічних використовуваних в верстатах з числовим програмним управлінням. Сопло переміщається по траєкторії, заданій системою автоматизованого проектування («САПР» або «CAD» по англomовної термінології).

Модель будувалася шар за шаром, знизу до верху. Як правило, екструдер приводиться в рух покроковими моторами або сервоприводами. Найбільш популярною системою координат, яка застосовується в FDM, є Декартова система, побудована на прямокутному тривимірному просторі з осями X, Y і Z.

Альтернативою є циліндрична система координат, яка використовується так званими «дельта-роботами». Було надруковано моделі з висотою шару 100 мкм, 200 мкм та 300 мкм (див. рис. 2.1).

Моделі припаювались до воскових стояків припаюванням.

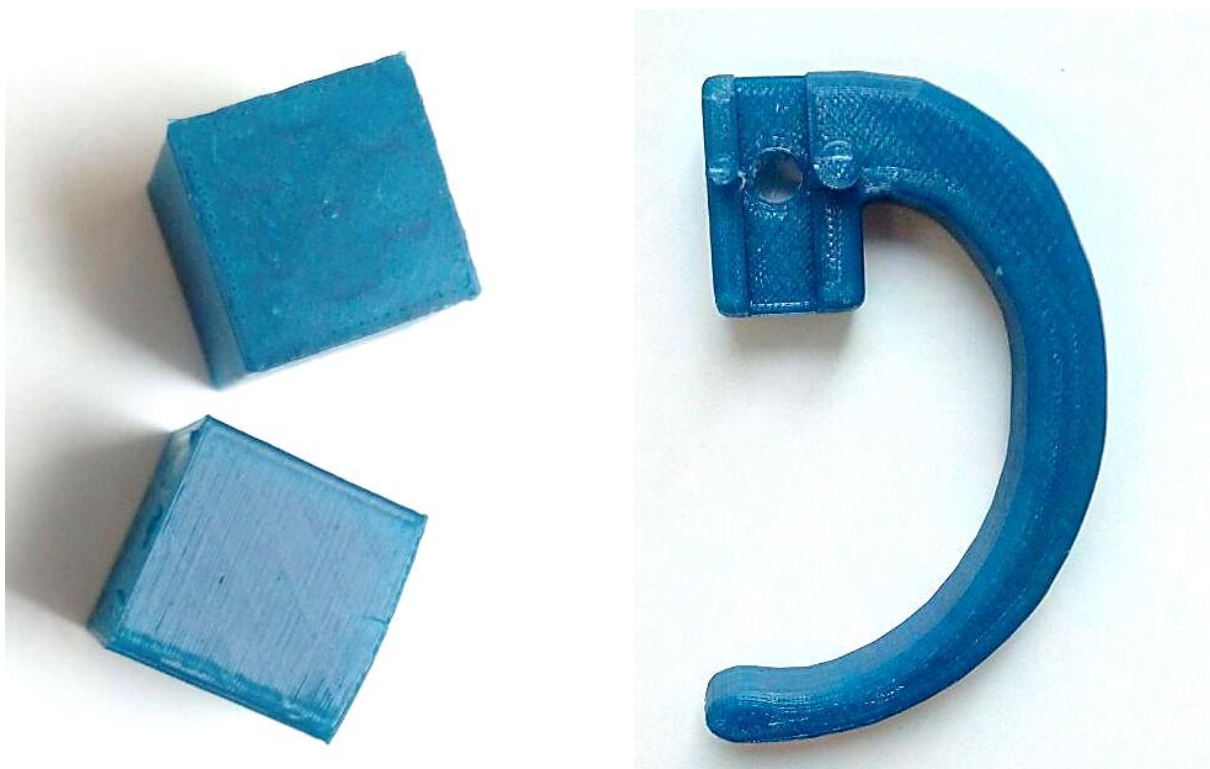


Рисунок 2.1 – Моделі надруковані на 3-Д принтері (матеріал SmartCastPla)

2.2 Приготування гідролізованого розчину етилсилікату

Вихідними матеріали для приготування гідролізованого розчину етилсилікату є:

- етилсилікат 40 ГОСТ 26376-80;
- розчинник – спирт етиловий (головна фракція);
- кислота соляна – ГОСТ 3118-77;
- вода дистильована;
- кислота оцтова.

Гідролізу піддають етилсилікат для надання йому властивостей зв'язуючого. Гідроліз супроводжується поліконденсацією (об'єднанням різних або однакових молекул в одну з утворенням полімерів та виділенням найпростішої речовини).

Послідовність процесу: відведену кількість кислоти вливають в дистильовану воду та перемішують. Підкислену воду додають в розчинник в кількості 10% від загальної кількості розчинника та ретельно перемішують.

Заливають в гідролізер 1/3 частину ЕТС-40, включають перемішування і вливають 1/3 частину підкисленою води. Суміш перемішують протягом 8...10 хвилин. Вливають в гідролізер 1/3 частину загальної кількості розчинника, призначеного для розведення ЕТС-40 і решту вихідного ЕТС-40.

Перемішують 2...3 хвилини. Вливають в гідролізер решту підкисленої води, суміш перемішують протягом 8...15 хвилин. Вливають решту розчинника, суміш перемішують протягом 10...15 хвилин. Потім вводять в гідролізер маршаліт в такій кількості, щоб в'язкість була 27...30 с.

2.3 Виготовлення оболонкової форми

У даній технології використовувалась багатошарова оболонка(див. рис. 2.2). Поверхню блоку моделей змочували суспензією зануренням і швидко занурювали

в пісок. Суспензія прилипає до його поверхні і точно відтворює конфігурацію; зернистий матеріал впроваджується в шар суспензії, змочується нею, фіксує суспензію на поверхні блоку, створює скелет оболонки і потовщує її.

Після нанесення кожного шару оболонка сушиться (див. Рисунок 2.3). Для виготовлення даних оболонок було нанесено по 7 таких шарів на кожний модельний блок.



Рисунок 2.2 – Керамічні форми



Рисунок 2.3 – Керамічні форми під час сушіння

2.4 Проведення плавки

Алюмінієвий розплав для експериментів готували у печі опору місткістю 10 кг. Температура розплаву складала 730...750 °С.

Сталь марки 30Л плавили в індукційній печі місткістю 60 кг. Температура розплаву складала 1650...1700 °С.

2.5 Прожарювання та одночасне випалювання моделі з оболонки

Для скорочення часу прожарювання та випалювання моделі з оболонки здійснювалося одночасно при трьох різних температурах 700 °С, 750 °С та 800 °С в печі.

Прожарювання оболонкових форм проводять для видалення залишків модельних складів, газотвірних речовин з матеріалу оболонки, завершення процесів її твердіння. Крім того, нагрівання форми забезпечує краще заповнення при заливці.

До оболонки, що представляє собою капілярно-пористе тіло, теплота може бути передана випромінюванням (радіацією), конвекцією, теплопровідністю або поєднанням цих процесів. Склад газів в печі повинен бути окислювальним, щоб вигоріли всі залишки модельного складу та продукти деструкції зв'язуючого матеріалу, включаючи вуглець. Відпрацьовані гази слід безперервно видаляти з області нагріву оболонок.

В якості наповнювача використовують вогнетривкі матеріали, які мають однаковий коефіцієнт термічного розширення (КТР) з матеріалом оболонки, так як при розходженні в КТР можливе виникнення напружень та тріщин в оболонковій формі при її прожарюванні та заливці, тому використовувався маршаліт в якості наповнювача.

Оболонкові форми, заформовані в сипучий вогнетривкий матеріал, нагріваються зсередини, з боку робочої порожнини швидше, ніж зовні через шар формувального матеріалу. Щоб в стінці форми не виникли термічні напруження внаслідок

одностороннього нагріву, початкову температуру печі та швидкість нагріву вибирають з умови рівномірного нагріву оболонкової форми. Для кварцових матеріалів ця швидкість дорівнює 100 °С/год. Після нагріву до потрібної температури дають витримку для завершення процесу прожарювання. Загальна тривалість прожарювання форми 6-8 год.

2.6 Заливання, вибивання, обрубка та очищення виливків

Після заливки форми охолоджують природним шляхом – на повітрі або примусово – обдуванням холодним повітрям чи водою. Природне охолодження відбувається досить повільно. Наприклад, середня швидкість охолодження сталевих виливків, залитих в форму з опорним наповнювачем при 900 °С, становить ~ 6 °С/хв. Та ж форма, але без наповнювача, охолоджується зі швидкістю 30 °С/хв. В нашому випадку форма охолоджувалась з наповнювачем.

Практика роботи цехів лиття по виплавлюваних моделях і дослідження показують, що при повільному охолодженні металу (наприклад, при заливці в форми, нагрітої до 900 °С) якість металу вища, ніж при заливці в дещо охолоджені або холодні форми. Саме тому заливання відбувалося одразу після вилучення форми з печі, а охолодження було повільним.

Вибивання є трудомісткою і важкої операцією при виробництві виливків, так як в процесі вибивання виділяється велика кількість теплоти, пилу, газів. Оскільки дана робота виконувалась в лабораторних умовах, то вибивання здійснювалось за допомогою за допомогою ручних інструментів.

На блоках виливків після вибивання є залишки оболонки та наповнювача. Після охолодження наповнювач обсипається, блоки проходять попереднє очищення і далі надходять на операцію відділення від ливниково-живильної системи та остаточне очищення.

Для відділення виливків від ливникової системи застосовують такі способи: відбиття на вібраційних установках, відрізку на металорізальних верстатах, відділення на пресах, газополуменеве та анодно-механічне різання (див рис. 2.4). В нашому випадку відділення виливків відбувалося на металорізальному станку.

Для проведення подальших досліджень було відшліфовано окремі частини поверхні виливка.



Рисунок 2.4 – Приклади отриманих виливків

2.7 Визначення якості поверхні виливків

Якість поверхні виливка контролюємо порівнянням поверхні виливка з робочими зразками шорсткості. Зразки шорсткості відтворюють металеві поверхні, отримані після лиття без жодної механічної обробки.

Зразки призначені для оцінки шорсткості поверхні шляхом порівняння з ними візуально і на дотик.

2.8 Визначення розмірної точності даного способу лиття

Розмірна точність виливка являє собою ступінь відповідності фактичних та зазначених в кресленні (або технічних умовах) розмірів.

Розрахунок розмірної точності виливка проводимо за формулою:

$$r = \left(1 - \frac{|l_m - l_b|}{l_m}\right) \cdot 100\% \quad (2.1)$$

де r – значення точності розмірів виливка (розмір моделі приймається як 100 %), %;

l_m – розмір моделі, мм;

l_b – розмір готового виливка, мм.

2.9 Вимірювання твердості

Вимоги до вимірювання твердості за Брінелем відбувається згідно з ГОСТ 9012-59:

- вимірювання проводять при температурі 20 °С;
- при вимірюванні твердості прилад повинен бути захищений від ударів і вібрації;
- опорні поверхні столика та підставки, а також опорні та робочі поверхні зразка повинні бути очищені від сторонніх речовин (окалини, мастила та ін.);
- зразок повинен бути встановлений на столику або підставці стійко щоб уникнути його зміщення та прогину під час вимірювання твердості;
- діаметр кульки та відповідне зусилля вибирають таким чином, щоб діаметр відбитка знаходився в межах від 0,24 до 0,6 діаметру кульки;
- при вимірюванні твердості наконечник плавно призводять до зіткнення з поверхнею зразка та плавно прикладають задане зусилля до тих пір, доки воно не досягне необхідної величини;
- тривалість витримки наконечника під дією заданого зусилля повинна відповідати відомому інтервалу значень твердості даного матеріалу, якщо немає інших вказівок в нормативно-технічній документації на металопродукцію.

Діаметр відбитка вимірюють за допомогою мікроскопа або інших засобів вимірювання з граничною похибкою:

$\pm 0,5\%$ (при застосуванні кульок діаметром 1,0; 2,0 або 2,5 мм);

$\pm 0,25\%$ (при застосуванні кульок діаметром 5,0 і 10,0 мм) від діаметра кульки.

Вимірювання твердості сталевих зразків проводилось при використанні кульки діаметром $D = 10$ мм та навантаженні $F = 29430$ Н (3000 кгс), а алюмінієвих зразків – при $D = 10$ мм та навантаженні $F = 2450$ Н (250 кгс).

2.10 Висновки до розділу 2

1. Було визначено вихідні матеріали та процес їх підготовки.
2. Моделі отримували шляхом 3-Д друку.
3. Визначено співвідношення вихідних матеріалів для приготування гідролізованого розчину етилсилікату.
4. Виготовлено оболонкові форми.
5. Було проведено плавки сплавів 30Л та А0.
6. Після прожарювання форм провели заливання їх отриманими сплавами.
7. Форми було вибито та проведено всі підготовчі дії над виливками для наступних досліджень.
8. На отриманих виливках було визначено якість поверхні, розмірну точність та твердість.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

При виготовленні дрібносерійної або одиночної продукції та отриманні дослідної партії деталей основною проблемою є велика тривалість процесу. Для зменшення часу виготовлення виливків від декількох тижнів до декількох днів доцільно використовувати адитивні технології для отримання моделей.

4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження

4.2.1 Витрати на оплату праці

Витрати на оплату праці науково-дослідного персоналу розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі дослідження та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Під час виконання магістерської дисертації було задіяно три виконавці: доцент, кандидат технічних наук; інженер-дослідник (магістр) та технік 1 категорії.

Так як відсутні методики розрахунку трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації, їх значення встановлювали на базі експертних оцінок від провідних фахівців. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів магістерської дисертації наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів магістерської дисертації

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість, людино-днів		
	доцент, кандидат технічних наук	інженер-дослідник (магістр)	технік 1 категорії
1. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	5	20	—
2. Обґрунтування мети та напрямів дослідження	2	7	—
3. Розробка методики проведення експериментів	2	4	2
4. Проведення експериментів	5	10	14
5. Дослідження зразків	2	16	-
6. Обговорення отриманих результатів	10	20	-
Разом за виконавцями теми	26	77	16

Денну заробітну плату кожного з виконавців визначали як місячну заробітну плату, поділену на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2 дні.

Місячні посадові оклади заробітної плати співробітників кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та величина денної заробітної плати виконавців роботи наведені в табл. 4.2.

Фонд заробітної плати (ФЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з виконавців:

$$\text{ФЗП} = 2 \cdot 568,49 + 77 \cdot 0 + 16 \cdot 245,7 = 18711,94 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн.		
		посадовий місячний оклад	середньоденна зарплата	усього за виконавцями
Доцент, к. т. н.	26	12052,00	568,49	14780,74
інженер-дослідник	77	-	-	-
технік 1 категорії	16	5209,00	245,7	3931,2
Разом оплати праці науково-дослідної роботи				18711,94

4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Згідно з діючим законодавством України єдиний соціальний внесок є обов'язковим відрахуванням на загальнодержавне соціальне страхування і складає 22%. Базою для нарахування єдиного соціального внеску слугують загальні витрати на оплату праці по науково-дослідній роботі.

$$B_c = 0,22 \cdot 18711,94 = 4116,63 \text{ грн.}$$

4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення експериментальних зразків використовували матеріал SmartCastPla, сталь 30Л та алюміній марки А0. Дані про вартість використовуваних матеріалів та загальні витрати на матеріали B_M наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн/кг	Сума, грн
SmartCastPla	кг	0,2	2100	420
Сталь 30Л	кг	20	25	500
Алюміній А0	кг	10	52,1	521
Загальні витрати на матеріали (B_M)				1441

4.2.4 Витрати на енергоносії

У процесі виконання науково-дослідної роботи, для забезпечення розплавлення сплавів було використано 231 кВт електроенергії, вартість якої становить 204,137 коп./кВт·год.

$$B_{\text{ЕН}} = 204,137 \cdot 231 = 47155,647 \text{ коп.} = 471,56 \text{ грн.}$$

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

При виконанні магістерської дисертації усі роботи проводили лише з використанням наявного обладнання на кафедрі ливарного виробництва КПП ім. Ігоря Сікорського. Витрати на утримання та експлуатацію обладнання відносимо до статті «Накладні витрати».

4.2.6 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації сторонні організації участі не приймали.

4.2.7 Витрати на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням магістерської дисертації за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПП ім. Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

4.2.8 Інші невраховані прямі витрати

Інші невраховані прямі витрати ($C_{\text{ІНШ}}$) плануємо у розмірі 10% від врахованих:

$$V_{\text{ІНШ}} = 0,1 \cdot (18711,94 + 4116,63 + 1441 + 471,56) = 2474,11 \text{ грн.}$$

4.2.9 Накладні витрати

Накладні витрати включаються до калькуляції кошторисної вартості теми пропорційно обсягам витрат на оплату праці основних виконавців або пропорційно сумі прямих витрат на виконання теми досліджень по нормативам організації-виконавця цього дослідження.

Ця стаття включає витрати, пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних фондів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату по-слуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо.

Норматив відрахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат по темі магістерської дисертації:

$$НВ = 0,2 \cdot (18711,94 + 4116,63 + 1441 + 471,56 + 2474,11) = 5443,00 \text{ грн.}$$

4.2.10 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість магістерської дисертації визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція планової кошторисної вартості магістерської дисертації за темою

Найменування статей витрат	Позначення	Сума	
		грн.	%
1	2	3	4
1.Витрати на оплату праці	ФЗП	18711,94	57,29
2.Єдиний соціальний внесок	Вс	4116,63	12,6
3.Матеріали для проведення досліджень	ВМ	1441	4,41
4.Енергоносії для проведення досліджень	ВЕН	471,56	1,44
5.Спецобладнання для наукових цілей	—	—	—
6.Вартість послуг сторонніх організацій	—	—	—
7.Витрати на службові відрядження	—	—	—
8.Інші невраховані прямі витрати по Темі	ВІНШ	2474,11	7,59
9.Накладні витрати	НВ	5443,00	16,67
10.Кошторисна вартість теми		32658,24	100

4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводиться в даній роботі, має пошуковий та теоретичний характер, а отже розрахунок очікуваного річного економічного ефекту досить складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У зв'язку з цим доцільно використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (K1);
- можливість використання результатів розробки (K2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- складність розробки (K4).

Шкала для оцінки важливості розробки K1:

1. Ініціативна робота, яка не є, а ні частиною комплексної програми, а ні завданням директивних органів – 1;
2. Робота, яка виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3;
3. Робота представляє собою частину відомчої програми – 5;
4. Робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7;
5. Робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8.

Приймаємо показник важливості розробки $K1 = 1$

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки $K2$

1. Результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1;
2. Результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3;
3. Результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5;
4. Результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8;
5. Результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10.

Приймаємо показник $K2 = 8$

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення $K3$:

1. Аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2;
2. Одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3;
3. Одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5;
4. Створення нових теорій, методик і т. п. – 6;
5. Одержання інформації, яка служить формуванню нових напрямків – 8

Приймаємо показник $K3 = 3$.

Шкала для оцінки показників складності дослідження $K4$:

1. Робота виконується одним підрозділом, витрати менше 20 тис.грн. – 1;
2. Робота виконується одним підрозділом, витрати 20...100 тис.грн. – 3;
3. Робота виконується одним підрозділом, витрати 100...200 тис.грн. – 5;

4. Робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, витрати від тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;

5. Робота виконується декількома організаціями витрати понад 1млн.грн. – 9.

Приймаємо показник $K_4 = 3$

Загальна оцінка Б визначається як добуток коефіцієнтів :

$$B = 1 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 3 = 144$$

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається за формулою

$$C_{\text{НДР}} = 500 \cdot B \cdot E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (5.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_{\text{Н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E_{\text{Н}} = 0,15 \div 0,5$;

$V_{\text{НДР}}$ – витрати на виконання магістерської дисертації (планова річна кошторисна вартість виконання магістерської дисертації). $V_{\text{НДР}} = 32499,9$ грн.

Таким чином, умовний економічний ефект становить:

$$C_{\text{НДР}} = 500 \cdot 144 \cdot 0,50 \cdot 32658,24 = 55670,88 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність магістерської дисертації визначається коефіцієнтом ефективності $E_{\text{НДР}}$, який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат

$$E_{\text{НДР}} = C_{\text{НДР}} / V_{\text{НДР}}. \quad (5.2)$$

Підставивши значення у формулу (5.2) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{НДР}} = 55670,88 / 32658,24 = 1,7.$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної магістерської дисертації є економічно обґрунтованим.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Розраховано планову кошторисну вартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів
2. Обґрунтовано актуальність та економічну доцільність проведення роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНІЙ СИТУАЦІЇ

5.1 Мета розділу

Охорона праці – це система правових соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Постійний розвиток науки та техніки потребує введення нових технологій у процеси промислового виробництва. В той же час дефіцит сировинних джерел, та їх висока вартість вимагає виконання більш економічних та ефективних видів обробки металів. Водночас із впровадженням нових технологій, слід дотримуватись чітких вимог охорони праці та довкілля.

Саме тому надзвичайно важливе значення відіграє питання створення належних умов до праці, що в свою чергу дозволить знайти потенціальні фактори ризику, зберегти здоров'я людей, підтримувати на належному рівні їх працездатність. Поліпшення умов праці приводить до підвищення продуктивності, якості продукції, трудової дисципліни, зниження плинності кадрів, числа аварій, травматизму, профзахворювань і зв'язаних з цим економічних втрат .

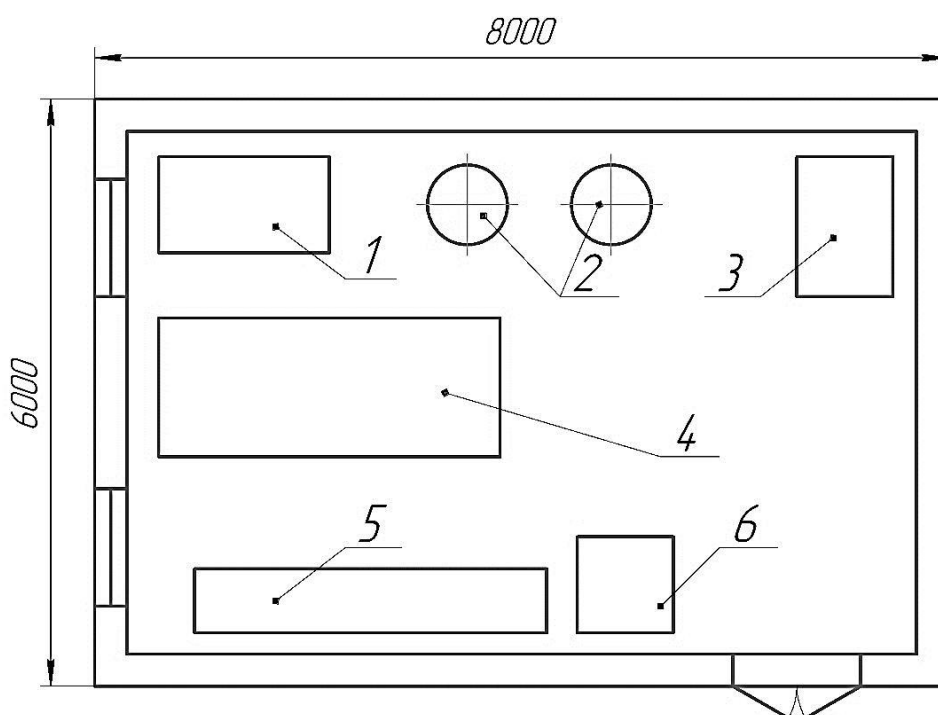
Мета розділу – провести аналіз умов праці, пов'язаних з виконанням даної роботи, та розробка заходів і засобів, спрямованих на усунення або приведення несприятливих чинників до нормативних значень, а також забезпечення безпеки персоналу у разі надзвичайної ситуації.

Темою даної магістерської дисертації є «Використання адитивних технологій при отриманні виливків в разові керамічні форми».

5.2 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів при виконанні науково-дослідної роботи

Експериментальна частина магістерської дисертації виконувалась в лабораторіях 001 та 003 кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Виходячи з того, що більша кількість робіт проводилась в лабораторії 001, план якої наведено на рис. 5.1, то розглядати будемо саме її.



1 – автоклав; 2 – печі опору; 3 – сушарка; 4 – лабораторний стіл; 5 – установка для приготування розчину етилсилікату; 6 – установка з киплячим шаром

Рисунок 5.1 – Технологічне планування ливарної лабораторії з устаткуванням:

Розглянемо небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ), які мають відношення до даної роботи. НШВФ ділять на п'ять груп: фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні та соціальні [10].

Фізичні фактори: машини та механізми які рухаються, обертаються; системи та устаткування, які знаходяться під підвищеним тиском; підвищена запиленість та за-

газованість повітря; підвищена температура повітря в виробничих приміщеннях; підвищений рівень шуму, вібрації, ультразвуку; коливання барометричного тиску; понижена вологість повітря; підвищений рівень іонізуючих випромінювань; підвищена напруга в електричній мережі; підвищений рівень електромагнітних випромінювань; підвищена напруженість електричного, магнітного полів; недостатня освітленість робочої зони; гострі кромки, задирки на поверхні інструментів, обладнання.

Хімічні фактори: різноманітні хімічні речовини, які знаходяться в лабораторіях.

5.2.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Аналіз умов праці в приміщеннях проходився при використанні такого обладнання (рис. 5.1)

- піч опору;
- сушарка;
- установка для приготування розчину етилсилікату;
- установка з киплячим шаром.

Основні фактори ризику, які можуть виникати при виконанні дослідження [11]:

- наявність шуму та вібрації;
- використання кислот для приготування розчину етилсилікату;
- ультрафіолетове й інфрачервоне випромінювання;
- наявність пилу, озону, оксидів азоту й аероіонізації;
- ураження електричним струмом та ін.

Згідно зі СНиП 2.09.04-87 норма площі на одну особу становить $4,5 \text{ м}^2$, а норма об'єму приміщення на одну особу – 15 м^3 .

Параметри лабораторії (рис. 5.1):

- довжина лабораторії $a=8 \text{ м}$;
- ширина лабораторії $b=6 \text{ м}$;
- висота лабораторії $h=3 \text{ м}$;
- площа лабораторії складає 48 м^2 ;
- об'єм лабораторії 144 м^3 .

Оскільки кількість робітників у лабораторії не перевищує 3-х осіб, то площа та об'єм, що припадає на одного працівника складає:

- площа лабораторії на одного працюючого 16 м^2 ;
- об'єм лабораторії на одну людину 48 м^3 .

Порівнявши оптимальні значення об'єму та площі приміщення з отриманими значеннями робимо висновок, що розміри приміщення по відношенню до кількості працюючих в ньому людей повністю відповідають оптимальним умовам. Отже, геометричні параметри лабораторії відповідають нормам [11].

5.2.2 Мікроклімат та випромінювання в лабораторії

Згідно з ДСН 3.3.6.042 – 99, категорія робіт П₆ середньої важкості (роботи, що виконуються стоячи, пов'язані із ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів, та супроводжуються помірним фізичним напруженням.) – енерговитрати складають 201-250 ккал/год (232-290 Вт) [12].

Мікроклімат в лабораторіях відповідає параметрам наведеним у табл. 5.1 [13].

Таблиця 5.1 Оптимальні мікрокліматичні умови

Період року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с		Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ² , джерело: САТ-0,01		Примітки (система опалення та вентиляції)
		вим.	доп.	вим.	доп.	вим.	доп.	вим.	доп.	
Холодний	П ₆	14	13...23	73	75	0,3	< 0,4	1200	140	Природне водяне опалення

Продовження табл. 5.1

Теплий	II ₆	25	15...27	52	55 при 24 °С і нижче	0,4	0,2...0,5	1400	140	Місцева витяжна примусова вентиляція
--------	-----------------	----	---------	----	----------------------	-----	-----------	------	-----	--------------------------------------

Відносна вологість, температура та швидкість руху повітря в робочій зоні приміщення не виходять за межі допустимого. Мікроклімат відповідає оптимальним умовам.

Інфрачервоне випромінювання значно перевищує норми праці, тому повинні застосовуватись такі способи захисту:

- теплоізоляція гарячих поверхонь;
- охолодження тепловипромінюючих поверхонь;
- екранування джерела випромінювання;
- застосування засобів індивідуального захисту;
- використання спецодягу з бавовняної тканини з вогнестійкою просоченням, спецвзуття, окуляри зі світлофільтрами з жовто-зеленого або синього скла, рукавичок, рукавиць, захисних масок.

5.2.3 Шкідливий вплив формувальних матеріалів

Вихідними матеріалами для приготування гідролізованого розчину етилсилікату є:

- етилсилікат 40 ГОСТ 26376-80 (тривала дія продукту при концентраціях, що перевищують ГДК 20 мг/м³, призводить до місцевої дратівної дії на слизових оболонках очей та дихальних шляхів. відноситься до легкозаймистих, горючих та вибухонебезпечних рідин. Температурні межі запалення парів в повітрі: нижній – 35 °С, верхній – 100 °С. Вибухонебезпечні концентрації в суміші з повітрям 0,7-23% (за об'ємом). Температура спалаху у відкритому тиглі – 83 °С; в закритому тиглі – 38 °С, температура самозаймання – 240 °С);

– розчинник – спирт етиловий (головна фракція) (найбільш поширена небезпека на виробництві – вплив парів етилового спирту в процесі його використання. Тривала дія концентрацій, що перевищують 1000 мг/м^3 , призводить до подразнення слизової оболонки очей і носа, головного болю, сонливості, втоми та наркотичного стану. Етиловий спирт – горюча рідина, і його пари утворюють вогненебезпечні та вибухові суміші з повітрям при кімнатній температурі. Температура спалаху – не менше 13°C , температура самозаймання – не менше 404°C);

– кислота соляна – ГОСТ 3118-77 (відноситься до речовин III класу небезпеки (ГОСТ 12.1.007-76). Гранично допустима концентрація хлористого водню в повітрі робочої зони – 5 мг/м^3 . Кислота надає припікаючу дію на слизові оболонки і шкіру, сильно дратує дихальні шляхи);

– вода дистильована;

– кислота оцтова (безбарвна легкозаймиста рідина з різким запахом. Гранично допустима концентрація (ГДК) парів оцтової кислоти в повітрі робочої зони виробничих приміщень відповідно до ГОСТ 12.1.005 становить 5 мг/м^3 (3-й клас небезпеки).

– Етилсилікат зберігається в добре закупорених скляних бутлях, що знаходяться в металевій шафі, що замикається, в лабораторії;

– спирти зберігаються в металевій шафі, що замикається;

– максимальна температура електропаяльників для пайки моделей до столу не перевищує 50°C ;

– в лабораторії лиття по виплавлених моделях присутні ящики з сухим піском і азбестові ковдри.

При виконанні робіт, пов'язаних з використанням кислот та інших шкідливих речовин, застосовувались засоби індивідуального захисту:

– захисні окуляри (при роботі з пилоподібним кварцом, на шприц-машині, при завантаженні кислот в ванну);

– респіратори (при роботі з пилоподібним кварцом);

– протигази (при переливанні луку і розчинів аміаку);

– гумові рукавички та фартух (при роботі з кислотами) і ін.

При формуванні та прокалюванні ливарних форм використовували опоки необхідних габаритних розмірів, в яких відсутні тріщини і інші дефекти.

5.3 Освітлення

Правильно підібране освітлення надає нормальні умови для організації робочого процесу.

Знаходження світлової енергії однобічне, при розміщенні вікон з південної сторони. Нормоване значення коефіцієнту природної освітленості (далі КПО), e_N визначаємо за формулою

((5.1)

$$e_N = e_H \cdot m,$$

де e_H – значення КПО за таблицями 1 і 2 (для робіт середньої точності $e_H = 1,5$);

m – коефіцієнт світлового клімату за таблицею 4 (світлові прорізи в зовнішніх стінках будинків, для Київської області $m = 0,85$) [14].

$$e_N = 1,5 \cdot 0,85 = 1,275$$

Розрахунок рівня природного освітлення здійснюється за формулою:

$$100 \cdot \frac{S_o}{S_n} = \frac{e_H \cdot K_j \cdot \eta}{\tau \cdot r} \cdot K_{зд}; \quad (5.2)$$

$$\text{де } e_H = \frac{100 \cdot S_o \cdot \tau \cdot r}{S_n \cdot K_j \cdot \eta \cdot K_{зд}} \quad (5.3)$$

де $S_n = 48 \text{ м}^2$ – площа приміщення; $K_j = 1,2$ – коефіцієнт запасу, враховує зниження світлопропускання вікон і середовища у приміщенні; $\eta = 19,5$ – світлова характеристика вікон, залежить від відношення розмірів приміщення (довжини до глибини та глибини до висоти від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна); $S_o = 4,5 \text{ м}^2$ – площа вікон; $K_{зд} = 1$ – коефіцієнт, який враховує затінення будівлями, які розташовані навпроти (залежить від відношення відстані між будівлями до висоти карнизу протилежного будинку над підвіконником); τ_0 – загальний коефіцієнт світлопропускання.

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (5.3)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу, який визначається в залежності від виду світлопропускного матеріалу (при подвійному склі 0,8); τ_2 – коефіцієнт, який враховує втрати світла у віконній рамі (вид рами дерев'яні 0,75); $\tau_3 = 1$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau_3=1$; при верхньому – $\tau_3=(0,8-0,9)$; $\tau_4 = 1$ – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях .

$$\tau_0 = 0,8 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6$$

$$e_H = \frac{100 \cdot 4,5 \cdot 0,6 \cdot 5,3}{48 \cdot 1,2 \cdot 13 \cdot 1} = 1,91$$

Таким чином, коефіцієнт природного освітлення в нашому приміщенні становить 1,91 більше нормованого значення $e_N = 1,275$ розрахованого раніше, то можна зробити висновок, що КПО відповідає встановленим нормативним вимогам ДБН В.2.5.28-2006. Таким чином природне освітлення в денний час дає змогу економити електроенергію і можливість працювати при природному освітленні.

5.3.1 Штучне освітлення

Освітлення, що забезпечує нормальні зорові роботи, є важливим чинником в організації і проведенні НДР, тому що при поганому освітленні підвищується втомленість, а це негативно впливає на здоров'я людини.

Освітлення лабораторії природне та штучне. Для місцевого освітлення використовуються лампи розжарювання, для загального – люмінесцентні ЛБ- 40 (12 одиниць у лабораторії). Тому освітлення лабораторії штучне і природне [15].

Штучне освітлення Е повинно бути не менше 400 лк. Так, як штучного (загального) освітлення не достатньо, то використовується місцеве освітлення за допомогою 2 ламп розжарювання. Завдяки цьому освітлення лабораторії відповідає вимогам ДБН В .2.5.28- 2006. і складає 400 лк.

Для забезпечення нормованих значень освітленості в приміщенні потрібно проводити чищення скла віконних рам і світильників не рідше двох разів у рік і проводити своєчасну заміну перегорілих ламп.

5.4 Безпека роботи за установками

При роботі в лабораторії потрібно дотримуватись таких дій:

- виконувати усі вказівки по дотриманню правил охорони праці;
- виконувати роботу, по якій проінструктований і до якої він допущений;
- утримувати робоче місце протягом робочого дня в чистоті і порядку, не заха-
ращувати робоче місце і проходи матеріалами;
- працювати тільки справним інструментом, пристосуваннями і механізмами, і
застосовувати їх тільки за призначенням;
- дотримуватися при виконанні робіт відповідних технологічних процесів, пра-
вил та норм з охорони праці.

Робітникам відповідно діючих норм видається безкоштовно спецодяг: брезен-
товий або х/б костюм, черевики шкіряні з гумовим носком, противошумові навуш-
ники або біруші, рукавиці брезентові, респіратор, каска захисна, окуляри захисні.

5.5 Електробезпека

В приміщенні розташовано таке електрообладнання: сушарка, печі опору, установка для виготовлення розчину етилсилікату. Для роботи використовувалась все вище перелічене обладнання.

Приміщення лабораторії відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Причинами ураження електричним струмом можуть бути:

– доторкання до частин електроустановок, що випадково знаходяться під струмом внаслідок замикання фази на корпус, ушкодження ізоляції або іншої несправності;

– потрапляння під напругу під час проведення ремонтних робіт на вимкненому обладнанні за причиною помилкового включення або з причини недотримання часу, необхідного для зняття електричних зарядів з високовольтних шин, розрядки конденсаторів.

Вплив електричного струму на організм може мати небезпечні для здоров'я людини наслідки і навіть привести до смерті. Ймовірність смертельного випадку при поразці електричним струмом вища, ніж при інших причинах травматизму.

Небезпека ураження електричним струмом збільшується при невиконанні правил експлуатації електрообладнання, термінів ремонту обладнання. Дія електричного струму може викликати опіки, механічні ушкодження організму людини. Усі струмопровідні частини електроустановок ізолювані, що забезпечує технічну працездатність електроустановок, зменшує вірогідність попадань людини під напругу, замикань на землю і на корпус електроустановок.

У лабораторії, де проводилися дослідження, вірно виконане захисне заземлення корпусів, електроустаткування і приладів. Розташування робочих місць таке, що виключається можливість дотику до корпусів, електроустаткування і приладів.

5.6 Пожежна безпека

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, за яким з регламентованою імовірністю виключається виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей .

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків [15].

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 приміщення ливарної лабораторії відносяться до категорії «Г» – приміщення, в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному та розплавленому стані, процес оброблення яких супроводжується виокремленням променистого тепла, іскор, полум'я.

У випадку пожежі у лабораторії може горіти:

- електроустановки та їхня проводка;
- паркет та штори;
- шафи та паперові документи, що знаходяться в них.
- виникнення пожеж у лабораторії можливо за наступними причи-

нами:

- 1) порушення технологічного режиму;
- 2) несправність електроустаткування;
- 3) необережне звертання з вогнем;
- 4) ремонт устаткування на ходу;
- 5) неправильне користування устаткуванням.

Для запобігання пожеж необхідно виключити перераховані недоліки і строго дотримуватись правил протипожежної безпеки [10, 15].

У випадку пожежі на електроустановці, що знаходиться під напругою, полум'я не гаситься водою, а використовується вуглекислотний чи вуглекислотноброметиловий вогнегасник.

На випадок пожежі в лабораторії є водопровід, вогнегасник вуглекислотноброметиловий ОУБ-3 (ГОСТ 111564-65), а на сходових клітках і в коридорах шухляди з піском, вогнегасники ОХП-10, ОП-1Б, пожежні крани. Приміщення обладнане пожежною сигналізацією автоматичної дії комбінованого типу (оповісник КИ-1).

Основними заходами по пожежній безпеці є регулярна перевірка працездатності засобів гасіння пожежі і систем пожежної сигналізації; перевірка виправності електричної проводки; щорічне випробування опору ізоляції підвищеною напругою близько 500В; обережне відношення з легкоплавкими речовинами.

Усі роботи з етилсилікатом-40 слід проводити в приміщеннях з припливно-витяжною вентиляцією, що працює механічно, в захисних окулярах, в спецодязі і гумових рукавичках, далеко від електронагрівальних приладів. В аварійних випадках слід застосовувати протигази марки БКФ. Засоби пожежогасіння – кошма, вуглекислі вогнегасники, пісок, вода.

Резервуари, технологічне обладнання, трубопроводи та зливо-наливні пристрої, пов'язані з прийомом, зберіганням і переміщенням етилового спирту, повинні бути захищені від статичної електрики відповідно до правил захисту від статичної електрики. У аварійних умовах при підвищеній концентрації етилового спирту в повітрі, а також у разі пожежі слід використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, протигази. Засоби пожежогасіння: розпорошена вода, пісок, азбестова ковдра, всі види вогнегасників.

Роботи з оцтовою кислотою слід проводити далеко від вогню. При загорянні для гасіння слід застосовувати піни ПО-1Д, ПО-ЗАІ, "Сампо", газові та порошкові склади.

Правила техніки безпеки при роботі з паяльником для попередження загоряння полягають в наступному:

- потрібно стежити, щоб розігріте жало не дотикалось до електричних проводів як самого паяльника, так і інших приладів, які можуть бути поруч;
- перед самою роботою перевіряти в якому стані знаходиться провід інструменту, чи немає пошкоджень на корпусі, а також оцінити стан вилки;
- паяльник завжди потрібно класти на підставку.

5.7 Безпека в надзвичайній ситуації

У Законі України «Про захист населення і території в умовах надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» встановлено наступне визначення надзвичайної ситуації: «Надзвичайна ситуація – це порушення умов життєдіяльності людей викликані виробничими аваріями, катастрофами, стихійними лихами, епідеміями

які привели або можуть привести до людських жертв і великим матеріальним збиткам».

Ефективність захисту населення у надзвичайній ситуації (НС) може бути досягнута тільки на основі усвідомленого урахування принципів забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях і ефективному використанні всіх засобів і способів, що послаблюють її негативні впливи та збільшують безпеку населення.

Залежно від характеру причин виникнення надзвичайної ситуації розрізняють:

- надзвичайну ситуацію техногенного характеру;
- надзвичайну ситуацію екологічного характеру;
- надзвичайну ситуацію природного характеру;
- надзвичайну ситуацію соціального характеру.

Принципи забезпечення безпеки в умовах НС за ознаками їх реалізації умовно ділять на три групи. Перша – це завчасна підготовка і накопичення засобів захисту (колективних та індивідуальних) від небезпечних і шкідливих чинників, забезпечення їхньої готовності для використання населенням, а також підготовка до проведення заходів щодо евакуації населення з небезпечних зон (зон ризику).

Друга – диференційований підхід у забезпеченні повного обсягу захисних заходів в залежності від виду джерел небезпечних і шкідливих чинників, а також від місцевих умов. Третя – комплексне ефективне застосування засобів і способів, які забезпечують надійний захист від наслідків НС, узгоджене здійснення усіх заходів, що гарантують безпеку життєдіяльності в сучасному техносоціальному середовищі.

Щоб запобігти виникненню надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру в нашій країні функціонує Єдина державна система запобігання і регулювання на надзвичайній ситуації техногенного характеру.

Кожний рівень ЄДСЗР має координуючі та постійні органи управління щодо розв'язання завдань у сфері запобігання надзвичайної ситуації, захисту населення.

Координуючі органи ЄДСЗР:

- загальнодержавний рівень: (державна комісія з питань техногенно- екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій; національна рада з питань безпечної життєдіяльності населення);

- регіональний рівень;
- місцевий рівень;
- об'єктовий рівень.

Надзвичайна ситуація, що може виникнути в лабораторії, буде належати до об'єктового рівня, тому що не підлягає критеріям які відповідають іншим рівням НС, а саме загальнодержавному, регіональному та місцевому. Згідно Класифікатора надзвичайних ситуацій в Україні надзвичайною ситуацією об'єктового рівня вважається така ситуація, що розгортається на території об'єкта або на самому об'єкті і наслідки якої не виходять за межі об'єкта або його санітарно-захисної зони. Для спрощення машинної обробки інформації класифікатор визначає оригінальний код кожної надзвичайної ситуації, що складається з 5-ти цифр, які вказують на клас, групу і вид надзвичайної ситуації (О – об'єктовий, М – місцевий, Р – регіональний, Д – державний).

Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002 будівля відноситься до I ступеня вогнестійкості (будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів).

Основний засіб захисту населення в надзвичайних ситуаціях – це евакуація населення, його укриття в захисних спорудах, використання засобів індивідуального захисту і медичної профілактики. Захисні споруди – це інженерні об'єкти, спеціально призначені для захисту населення від фізичних, хімічних, біологічно небезпечних і шкідливих чинників [15].

Розглянемо таку надзвичайну ситуацію як пожежа (картка 10212 Класифікатора надзвичайних ситуацій – Пожежі (вибухи) в будівлях та спорудах громадського призначення).

Виникнення пожеж в лабораторії можливе за такими причинами:

- порушення правил протипожежної безпеки;
- несправність електроустаткування;
- необережне поводження з вогнем та розплавленим металом;
- ремонт устаткування на ходу;
- конструктивні недоліки устаткування;

- неправильне користування устаткуванням.

У випадку виникнення надзвичайної ситуації, а саме закорочення кабельної електропроводки, що знаходиться під напругою та іскрить необхідно:

- відключити подачу току до лабораторії;
- сповістити про пожежу за допомогою пожежної сигналізації;
- спробувати знешкодити подальше розповсюдження полум'я;
- гасити полум'я необхідно вогнегасниками типу ВВ-2, ВВ-8, а також піском;
- необхідно швидко евакуюватися в безпечні приміщення або на двір.

План евакуації з лабораторії 001 9 корпусу НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського, де проводилися дослідження зображено на рис 5

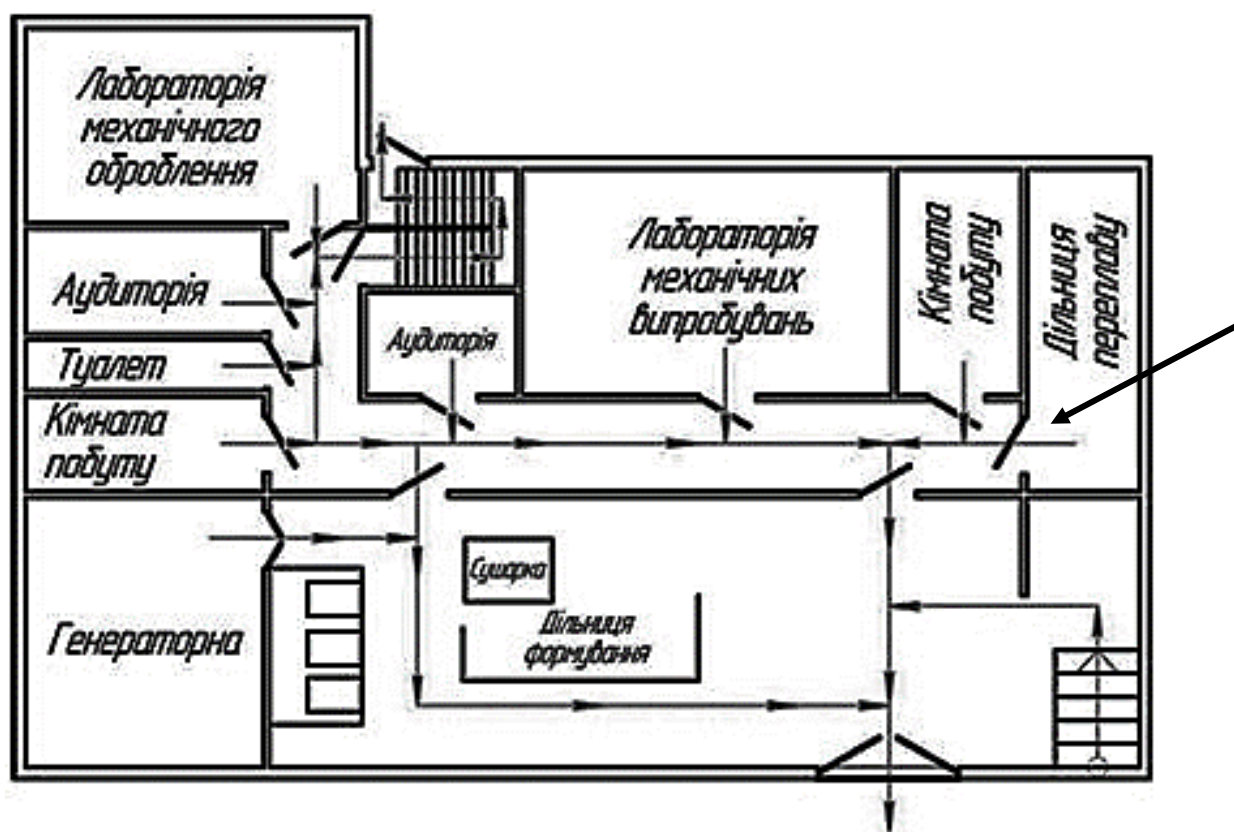


Рисунок 5.2 – План евакуації працівників із лабораторії (лабораторія де виконувалися позначена на рисунку стрілкою)

Найвіддаленіша відстань для евакуації = $11+14+2+9=36$ м. Процес евакуації з робочого місця можна розбити на три етапи:

- евакуація з лабораторії (кількість працівників 2, ширина проходу 1 м)
- шлях до сходів (кількість працівників 8, ширина проходу 2 м)

Перевіримо, чи відповідає це значення нормативним даним. Для цього визначимо щільність людей в загальному проході. Оскільки на один прохід припадає 8 особи, а його площа від найвіддаленіших робочих місць становить $14 \cdot 2 = 28 \text{ м}^2$, то $Z = 8/28 = 0,29 \text{ особи/м}^2$. Максимально допустима відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу з поверху при такому значенні Z та об'ємі приміщень 3136 м^3 становить 100 м. В нашому випадку ця вимога виконується.

Визначаємо необхідну ширину евакуаційного виходу, якщо кількість людей на 1 м ширини такого виходу становить 110 осіб, в нашому випадку 48. Отже $B=8/110=0,07$ м. В нашому випадку $= 2$ м, що відповідає цій вимозі.

За формулою 5.5 розраховуємо щільність людей у проходах на кожному етапі:

$$D = \frac{N \cdot f}{l \cdot d} \quad (5.5)$$

де N – число людей на ділянці;

f – середня площа горизонтальної проекції людини дорослої в літньому одязі – $0,1 \text{ м}^2$);

l – довжина проходу, м;

d – ширина проходу, м;

$$D_1 = \frac{2 \cdot 0,1}{11 \cdot 1} = 0,018, \text{чол/м}^2;$$

$$D_2 = \frac{8 \cdot 0,1}{14 \cdot 2} = 0,028, \frac{\text{чол}}{\text{м}^2};$$

Скориставшись одержаними даними, отримаємо $v_1=75,33$, $v_2=47$, $v_3=100$;

Визначаємо значення t_1 , t_2 :

- $t_1 = 7 / 75,33 = 0,09$ хв;
- $t_2 = 3 / 47 = 0,06$ хв;
- $t_2 = 28 / 100 = 0,28$ хв;
- $t = 0,09 + 0,06 + 0,28 = 0,43$ хв $= 25,8$ с.

Таким чином, розрахований час для евакуації людей з приміщення становить близько 25,8 секунд, а максимально допустимий же час, при заданих умовах, становить 1,25 хв [16].

6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

6.1 Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології)

Ідея проекту направлена на впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво, а саме використання матеріалу SmartCastPla як заміну легкоплавким модельним складам при литті за моделями, що витоплюються.

Потенційним товаром даного стартап-проекту є матеріал SmartCastPla та технологія його використання в даній галузі (рис. 6.1).

Дослідження технології виготовлення виливків за даною технологією знаходяться ще на початковому етапі, тому не можливо дати повної інформації щодо ринкової спроможності.



Рисунок 6.1 – Модельний блок виготовлений з матеріалу SmartCastPla

Метод отримання литих виробів в форми, виготовлені за восковою моделлю, що виплавляється, використовувався ливарниками здавна та по праву відноситься до найстаріших способів отримання литих виробів.

Отримані даним методом литі деталі успішно конкурують з деталями, виготовленими гарячою чи холодною штамповкою, з металевих порошків, виготовлених механічною обробкою з прокату чи кованих заготовок.

Литі деталі, в порівнянні з іншими деталями, виготовленими вищевказаними способами мають ряд переваг, а саме: нижча вартість, можливість отримання складних криволінійних поверхонь, внутрішніх порожнин та виступів, розміщених в різних площинах, при мінімальній механічній обробці, що особливо важливо при виготовленні деталей з складнооброблюваних матеріалів (титану, жароміцних нікелевих сплавів, легованих сталей і ін.); можливістю забезпечення максимального наближення виливка до форми готової деталі, що різко знижує об'єм механічної обробки; однорідністю механічних властивостей за всіма напрямками, в порівнянні з деталями, отриманими з деформованих заготовок.

Для виготовлення дрібносерійної або одиночної продукції, створення прес-форм, не є економічно ефективним рішенням. 3D друк, з іншої боку, дає багато переваг, що дозволяють ливарним підприємствам виготовляти окремі деталі або навіть дрібні серії деталей в значно коротші терміни.

Замість того, щоб вкладати кошти в оснащення, ливарні компанії можуть вибрати 3D друк своїх зразків в матеріалі, що підходить для лиття. SmartCastPla – матеріал, що унікально підходить для інвестиційного лиття. Цей простий друкарський матеріал, що здатен створювати моделі складної форми з відмінною гладкою поверхнею. Матеріал розкладається при температурі близько 600 °C та забезпечує повне вигорання, залишаючи після себе чисту форму, готову до заливання.

Актуальністю даної тематики та метою розробки є те, що пропуск етапу розроблення оснащення дозволяє зекономити величезну кількість часу. Як правило, це може скоротити час до отримання першого металевого виливку на 3-4 тижні. Незалежність від стороннього постачальника прес-форм також знижує ризик у чутливих за часом проектах. 3D друк також дозволяє прискорити зміну дизайну виробу, перший друкарський шаблон вже можна зробити за кілька годин залежно від розміру деталі. Це дозволяє змінювати дизайн декілька разів навіть протягом одного дня.

Вартість матеріалу 3D надрукованих моделей приблизно 70 €/кг. Деталі зазвичай друкуються з найменшою кількістю необхідного матеріалу, що економить час друку та витрати матеріалу. Для прискорення процесу вигорання матеріалу та зменшення його витрат рекомендують заповнення матеріалом на 15-20%.

6.2 Опис ідеї та визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Таблиця 6.1 – Опис ідеї впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди користувача
Розробка технології виготовлення виливків з використанням технологій 3Д-друку	1. Тяжке машинобудування; 2. Ювелірне виробництво; 3. Художнє литво.	При впровадженні нової технології на підприємстві, за допомогою використання 3Д-друку, можна скоротити час отримання готової продукції

Від існуючих аналогів дана технологія, перш за все, відрізняється меншою ціною, простотою в експлуатації, а також можливістю швидко та якісно провести друк моделей та зміну їх конфігурації [8].

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			
		Наш проект	Конкурент 1 Компанія «3Dprinting»	Конкурент 2 Компанія «3Dreams»	Конкурент 3 Компанія «СИНТ»
технології 3Д-друку в ливарному виробництві					
1	Собівартість процесу	Дешевший	дорожчий	дорожчий	Дорожчий
		S	W	W	W
2	Вартість обслуговування	Висока	Висока	Висока	Висока
		N	N	N	W
3	Тривалість моделювання	Низька	Середня	Середня	Висока
		S	N	W	W
4	Продуктивність	Середня	Низька	Середня	Висока
		N	W	N	S
5	Екологічність (обсяг відходів)	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали	Витратні матеріали
		W	W	W	W

Примітка: * W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона)

6.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

В табл. 6.3 представлені технології, які дозволяють отримати моделі 3Д-друком. Основна мета технології – отримати модель пошаровим нанесенням матеріалу максимально приближених розмірів та форми.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Технологія 1 (Стереолітографія)	Технологія існує	Доступна
Технологія 2 (Технологія друку STACKER)	Технологія існує	Доступна
Технологія 3 (Синтез-моделей з світ- лозатверджуваних смол)	Технологія потребує розроб- лення для даного конкретного ви- падку	Зараз не до- ступна

За результатами аналізу табл. 6.3 можна зробити висновок, що проект можна реалізувати різними технологіями, але потрібні ще дослідження, які могли б точно визначати яка з технологій більш продуктивна та дозволяє отримати більш точні та якісні моделі [9].

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	2	3
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж за 2018 рік	5000 моделей (виготовлено в Україні)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	В 2019 році за прогнозами використання «надрукованих» моделей збільшиться на 50-55% у порівнянні з 2018 роком
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ASTM International Standarts
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку)	> 1

За результатами аналізу табл. 6.4 можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням. Аналітики відзначають зростання капітальних інвестицій з 2019 р.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Технологія 3Д-друку моделей	Юридичні особи (компанії), які виготовляють виливки за технологією лиття за моделями, що витоплюються: - Державна акціонерна холдингова компанія "Артем"; - ДП «Київський бронетанковий завод»; - ПРАТ "ВЛКЗ".	- стандарти; - технічні регламенти; - специфікації; - умови експлуатації	- розміри продукту; - геометрія продукту; - собівартість; - час експлуатації; - простота використання та обслуговування; - ліцензія
2	Швидкість процесу			
3	Кількість використаних матеріалів			

Країною де найбільш швидко розвивалися подібні технології в 2018 році є США.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (див табл. 5.6 та 5.7).

6.4 Загрози та можливості стартапу

Таблиця 6.6 – Фактори загроз стартап-проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нестабільність економічної ситуації	Зменшення фінансування та попиту на готову металургійну продукцію	Застосування короткострокових стратегій. Приймання участі у програмах, в тому числі міжнародних, задля залучення додаткових інвестицій.
2	Експортний ризик	Можливість зупинки виконання договору через порушення логістичних зв'язків та ускладнення політичної і економічної ситуації	Передбачити постачання продукції клієнтам на умовах FBO, при цьому усі процедури по розмитненню в порту призначення лягають клієнта

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей стартап-проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вихід на міжнародний ринок	Змога залучити до співпраці більше компаній	Збільшення обсягу виробництва
2	Розміщення інформації про проект в мережі інтернет	Можливість збільшити цільову аудиторію	Знаходження нових напрямків реалізації проекту

Матрицю аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей даного стартап-проекту, що дозволяє визначити які проблеми даного проекту треба вирішити, можна спостерігати в табл. 6.8.

Таблиця 6.8 – SWOT-аналіз стартап-проекту – впровадження технологій 3Д-друку в ливарне виробництво

Сильні сторони: – Наявність технологій, здатних забезпечити виготовлення виливків різноманітних конфігурацій в коротші терміни; – Низькі виробничі витрати.	Слабкі сторони: – Технологія не дуже відома, том потребує рекламування; – Недостатня кількість досліджень властивостей даного матеріалу.
Можливості – Розвиток сегменту 3-Д матеріалів на світовому ринку; – Застосування інтернет-реклами дозволяє розширити цільову аудиторію потенційних клієнтів.	Загрози – Конкуренція з боку інших виробників різноманітних моделей.

Розробка оптимальної технології виготовлення моделей 3Д-друком ще триває, тому не можливо дати повної інформації щодо ринкової спроможності та створити маркетингову модель товару. Дисертаційна робота була спрямована на дослідженні впливу матеріалу та технологічних характеристик 3Д-друку моделі на властивості виливків.

6.5 Висновки до розділу 6

З аналізу ринкової спроможності стартап-проекту можна зробити висновок, що хоч дана технологія поки що мало досліджена та через дещо високу вартість обладнання, дана технологія мало використовується в промисловості, але з ростом науково-технічного прогресу її використання зростатиме .

Встановлено, що перспективи впровадження технології дуже високі для науково-дослідних інститутів та при отриманні дослідних партій виливків.

ВИСНОВКИ

Було проведено дослідження впливу 3Д-друку та матеріалу SmartCastPla на технологію отримання виливків литтям в оболонкові форми.

Визначено залежності твердості, шорсткості та розмірної точності для сплавів 30Л та А0 від температури прожарювання та висоти друкованого шару.

Проаналізувавши отримані залежності можна стверджувати, що зменшення висоти друкованого шару, як для вуглецевих так і алюмінієвих сплавів, призводить до збільшення таких характеристик як твердість, шорсткість та розмірна точність.

Підвищення температури прожарювання оболонки дозволяє підвищити шорсткість та геометричну точність. При цьому твердість алюмінію марки А0 також збільшується, а залізовуглецевого сплаву 30Л навпаки.

Оскільки зменшення висоти друкованого шару сповільнює швидкість друку моделей, а також збільшення температури прожарювання форми вимагає більших затрат електроенергії, то оптимальними будуть товщина друку 200 мкм та 750 °С.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. <https://3dsmart.com.ua/about-us/goszakaz>
2. 3D SMARTPRINT. 3D напечатанные модели для литья в оболочковые формы [Електронний ресурс] / 3D SMARTPRINT – Режим доступу до ресурсу: <https://3dsmart.com.ua>
3. Репях С. И. Технологические основы литья по выплавляемым моделям / Сергей Иванович Репях. – Днепропетровск: Лира, 2006. – 1056 с.
4. Рентюк В. Сказ о том, как игрушечная лягушка помогла совершить прыжок в сферу высоких технологий / Владимир Рентюк. // Control Engineering Россия Август 2017. – 2017. – С. 48–51.
5. Рифкин Дж. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. – М.: Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.
6. Данилишин Б. М. Третья промышленная революция и Украина // Новое время, 25.10.2014. – [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://nvua.net/opinion/danylyshyn/17573.html>.
7. Зленко П. М. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ / П. М. Зленко, А. И. М, А. Н. А. – Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013. – 222 с.
8. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с
9. 3D SMARTPRINT. 3D напечатанные модели для литья в оболочковые формы [Електронний ресурс] / 3D SMARTPRINT – Режим доступу до ресурсу: <https://3dsmart.com.ua>
10. Желібо Є.П, Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів освіти України I-IV рівнів акредитації/ За ред. Є.П.Желібо . – Київ: «Каравела»; 2001. – 320 с.

11. ДСанПін 3.3.2-007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуально дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин.
12. ДСН 3.3.6.042-99 – Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
13. ГОСТ 12.1.005-88 – Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
14. ДБН В.2.5-28 2006 - Норми природного і штучного освітлення.
15. Основи охорони праці: Підручник / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно та ін.; За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.: Основа, 2003. – 472 с.
16. Пожежна профілактика в населених пунктах / І.А. Чуб, Ю.В. Луценко, Є.А. Яровий, Ю.В. Уваров, – Х: НУЦЗУ, 2014. – 86 с.
17. ГОСТ 11069-2001 Алюминий первичный. Марки
18. ГОСТ 977-88 Отливки стальные. Общие технические условия
19. ГОСТ 26376-80 Этилсиликат 40
20. ГОСТ 3118-77 Кислота соляная
21. ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю