

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

Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

До захисту допущено
Завідувач кафедри

М. М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ___ ” червня 2021 р.

Дипломна робота

освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр»

(назва ОКР)

з напрямку підготовки 136 Металургія

(код та назва напрямку підготовки)

на тему: «Оптимізація технологічного процесу відтворення
художніх виробів у металі»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ФЛ-71-2

Дячок Дарія Романівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник

к.т.н., доц. Лютий Р.В.

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

(підпис)

Консультант
з охорони праці

к.т.н., доц. Демчук Г.В.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант
з економічної частини

к.е.н., доц. Нараєвський С.В.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант
з нормоконтролю

к.т.н., доц. Лютий Р.В.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

к.т.н., с.н.с. Мисливченко О.М.

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

(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2021 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інститут матеріалознавства та зварювання імені Є.О. Патона
(повна назва)

Кафедра ливарного виробництва чорних та кольорових металів
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 136 Металургія
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М. М. Ямшинський
(підпис) (ініціали, прізвище)

«12» квітня 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Дячок Дарії Романівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Оптимізація технологічного процесу відтворення художніх виробів у металі»,
керівник роботи к.н.т., доц. Лютий Ростислав Володимирович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «25» травня 2021 р. №1355-с
2. Термін подання студентом роботи 9 травня 2021 року
3. Вихідні дані до роботи: Літературні джерела, електронні документи мережі Інтернет, методичні вказівки, зразки виробів для відтворення у металі.
4. Зміст роботи: 4.1 Вступ; 4.2 Сучасний стан технологій художнього та ювелірного лиття; 4.3 Методика виконання роботи; 4.4 Експериментальна частина; 4.5 Охорона праці; 4.6 Техніко-економічна частина; 4.7 Висновки
5. Перелік ілюстративного матеріалу: 5.1 Марки мідних сплавів для

художнього литва; 5.2 Хімічний склад, густина і температури фазових переходів олов'яних бабітів; 5.3 Хімічний склад, температури фазових переходів і деякі ливарні властивості сплавів, які імітують за кольором срібло; 5.4 Хімічний склад сплавів, які імітують за кольором срібло; 5.5 Властивості срібла і сплавів срібла з міддю; 5.6 Технічні характеристики сплаву ПОС60; 5.7 Технічні характеристики сплаву Л63; 5.8 Таблиця п'ятигодинного циклу прожарювання форм для виливків «Вікінг» і «Кельт»; 5.9 Можливі види дефектів; 5.10 Загальні та теплові характеристики силікону.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Демчук Г.В. к.т.н., доцент		
Організаційно-економічна частина	Нараєвський С. В. к.е.н., доцент		
Нормоконтроль	Лютий Р.В. к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 12.04.2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Переддипломна практика	12.04.21...16.05.21	
2	Відпрацювання методики проведення досліджень	17.05.21...20.05.21	
3	Виготовлення прес-форм	21.05.21...25.05.21	
4	Виготовлення виливків	26.05.21...28.05.21	
5	Аналіз отриманих результатів	29.05.21...30.05.21	
6	Оформлення розділу з охорони праці	31.05.21...01.06.21	
7	Оформлення економічного розділу	02.06.21...05.06.21	
8	Оформлення презентації	06.06.21...08.06.21	
9	Рецензування	14.06.21...15.06.21	
10	Захист роботи	16.06.2021	

Студент

(підпис)

Д.Р. Дячок
(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Р. В. Лютий
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 86 с., 20 рис., 30 табл., 16 посилань.

Мета роботи – оптимізація технологічних процесів відтворення у металі копій двох художніх виробів за наявними неметалевими оригіналами.

Методика дослідження – виготовлення силіконових та гіпсових прес-форм із різними варіантами ливникової системи; виготовлення гіпсо-кремнеземистих ливарних форм, їх прожарювання та заливання при різних температурах; контроль параметрів якості виливків (шорсткість поверхонь та наявність ливарних дефектів).

Результати та їх новизна – теоретично і практично встановлено придатність силіконових прес-форм для виготовлення якісних виливків із легкоплавких (олов'яно-свинцевих) сплавів; досліджено параметри технологічних процесів відтворення у металі копій художніх виробів; виготовлено серію якісних художніх виливків із олов'яно-свинцевого і мідного сплаву.

Основні показники – в результаті виконання роботи визначено оптимальні параметри технологічних процесів виготовлення художніх виробів. Відлито статуетку «Вікінг» масою 0,099 кг із олов'яно-свинцевого сплаву та масою 0,073 кг із латуні Л63, а також статуетку «Кельт» масою 0,468 кг із латуні Л63. Вироби не мають ливарних дефектів, шорсткість поверхонь виливка «Кельт» не перевищує 12,5 мкм, а «Вікінг» - 6,3 мкм.

Область застосування – Художнє та ювелірне литво унікальних виробів.

Економічна ефективність – 214 137,4 грн.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – за аналогією із дослідженими технологічними процесами, розроблення схем виготовлення схожих за розмірами та складністю литих художніх виробів в умовах дрібносерійного виробництва.

ХУДОЖНЄ ЛИТВО, ОЛОВ'ЯНО-СВИНЦЕВИЙ СПЛАВ, ЛАТУНЬ,
СИЛІКОН, СТАТУЕТКА, ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ, ГПС

ABSTRACT

Bachelor's dissertation: 86 pages, 20 figures, 30 tables, 16 references.

The purpose of the work – optimize the technological processes of reproduction in metal copies, two works of art, according to the available non-metallic originals.

Research methodology – production of silicone and plaster molds with different variants of the foundry system; production of plaster-silica molds, their calcination and pouring at different temperatures; control of quality parameters of castings (surface roughness and the presence of casting defects).

Results of the work and their novelty – theoretically and practically established the suitability of silicone molds for the manufacture of high-quality castings from low-melting (tin-lead) alloys; the parameters of technological processes of reproduction in metal copies of art products are investigated; made a series of high-quality art castings from tin-lead and copper alloy.

The main indicators – as a result of work the optimum parameters of technological processes of manufacturing of art products are defined. A 0.099 kg Viking figure made of tin-lead alloy and 0.073 kg L63 brass was cast, as well as a 0.468 kg Celt statue made of L63 brass. The products do not have casting defects, the surface roughness does not exceed 12,5 microns and 6,3 microns,

Areas of application – art and jewelry casting of unique products.

Economic efficiency – UAH 214,137.4.

Predictive assumptions about the development of the object of study – by analogy with the studied technological processes, the development of plans for the manufacture of similar size and complexity of cast art products in small-scale production.

ART CASSTING, BRASS, QUALITY OF CASTINGS, PLASTER, SILICONE, STATUTE, TIN-LEAD ALLOY

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ ХУДОЖНЬОГО ТА	
ЮВЕЛІРНОГО ЛИТТЯ.....	
1.1 Різновиди технологічних процесів.....	11
1.2 Ливарні сплави та їх властивості.....	14
1.3 Програми комп'ютерного дизайну і моделювання процесів.....	20
1.3.1 Програми комп'ютерного проектування процесу лиття.....	20
1.3.2 Загальні принципи розроблення програм.....	25
1.4 Постановка задач роботи.....	27
2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ.....	29
2.1 Вибір матеріалів.....	29
2.2 Устаткування.....	31
2.3 Порядок технологічних операцій.....	33
2.4 Параметри дослідження.....	35
2.4.1 Проектування ливникової системи.....	35
2.4.2 Вибір режимів прожарювання.....	37
2.4.3 Температури заливання.....	38
2.4.4 Контроль шорсткості.....	38
2.4.5 Дефекти виливків.....	38
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	40
3.1 Оптимізація технологічного процесу виготовлення художнього виливка «Вікінг».....	40
3.1.1 Характеристика моделі.....	40
3.1.2 Виготовлення прес-форми.....	41
3.1.3 Приготування суміші для виготовлення прес-форми.....	42
3.1.4 Фінішна підготовка прес-форми.....	44
3.1.5 Виготовлення воскової моделі.....	45
3.1.6 Виготовлення виливка «Вікінг» методом заливання легкоплавкого металу в силіконову форму.....	46

3.1.7 Фінішне оброблення виливка «Вікінг».....	47
3.2 Оптимізація технологічного процесу виготовлення художнього виливка «Кельт».....	47
3.2.1 Характеристика моделі.....	47
3.2.2 Підготовка статуетки до виготовлення гіпсової прес-форми.....	48
3.2.3 Приготування гіпсової суміші.....	50
3.2.4 Виготовлення воскової моделі та створення блоку-моделей.....	52
3.2.5 Підготовка та прожарювання форм.....	54
3.2.6 Плавлення металу та заливання форм.....	56
3.2.7 Фінішне оброблення та параметри якості виливків.....	58
3.3 Висновки.....	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
4.1 Загальні характеристики плавильного цеху.....	62
4.2 Джерела фізичної небезпеки і шкідливі фактори.....	65
4.3 Аналіз критичної небезпеки та шкідливих виробничих факторів, заходи щодо покращення умов праці у плавильному відділенні.....	66
4.3.1 Фізичні джерела шкідливих і небезпечних виробничих факторів у плавильному відділенні.....	66
4.3.1.1 Теплові фізичні небезпеки.....	66
4.3.1.2 Системи, які працюють під тиском.....	67
4.3.1.3 Електронебезпеки.....	69
4.4 Хімічні джерела небезпечних та шкідливих виробничих факторів у плавильному цеху.....	71
5 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
5.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	73
5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи.....	74
5.2 Розрахунок витрат на проведення роботи.....	74
5.2.1 Витрати на оплату праці.....	74
5.2.2 Єдиний соціальний внесок.....	77
5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень.....	77
5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання.....	78

5.2.5 Інші прямі невраховані витрати.....	79
5.2.6 Накладні витрати.....	79
5.2.7 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми..	80
5.3 Науково-технічна ефективність роботи.....	80
5.4 ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85

ВСТУП

Науково-дослідницька робота була виконана на базі майстерні «ЯРКО», яка має ливарний цех, де і проводились дослідження.

Мета даної роботи: оптимізація технологічних процесів відтворення у металі копій двох художніх виробів за наявними неметалевими оригіналами.

В процесі виконання роботи, я переконалась в тому, наскільки всі моделі індивідуальні та як важливо правильно підібрати технологію виготовлення вилівка. Для дипломної роботи ми з науковим керівником Лютим Р.В. вибрали дві статуетки, для тиражування яких будуть виготовлені дві різні форми: форма, виготовлена з силікону та з гіпсу.

Ми перевіримо наскільки економічно та безпечно можна виготовити роз'ємні форми для моделей, а також після того як зробимо воскові заготовки, перевіримо стійкість силіконової форми на лиття в неї олова.

Дана робота буде цікава та корисна тим, що студент після закінчення освітньої програми «Металургія» зможе не тільки побачити як працює підприємство, а ще й покаже підприємству як можуть працювати студенти в співпраці з ними. На виході ми отримаємо вилівки, які будуть доказом або спростуванням даної технології виготовлення статуеток.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТЕХНОЛОГІЙ ХУДОЖНЬОГО ТА ЮВЕЛІРНОГО ЛИТТЯ

1.1 Різновиди технологічних процесів

Найбільш поширений спосіб лиття – це лиття в разові піщані форми. Цей процес складається з таких технологічних операцій:

- виготовлення моделі вилівка;
- формування порожнини форми за моделлю;
- заливання розплавленого металу в форму;
- вибивання з форми та очищення литва.

Проте, в серійному виробництві використовують і інші способи виготовлення художніх вилівоків – наприклад методом лиття за моделями, що витоплюються.

Отримання вилівоків за моделями, що витоплюються полягає в тому, що моделі вилівоків і живильників виготовляють з легкоплавких матеріалів (воску, парафіну, стеарину, церезину тощо) шляхом запресовування або заливання їх у прес-форми. Затверділу модель витягують із прес-форми, припаюють до стояка, утворюючи блок моделей. На поверхню блоку наносять кілька шарів суспензії і обсипання, які після сушки утворюють на блоці високовогнетривку керамічну оболонку. Коли виплавляють з оболонки модельний склад, отримують тонкостінну оболонку ливарної форми вилівка. Отриману оболонку формують у спеціальних нероз'ємних опоках, прожарюють і заливають розплавом. [1]

Спосіб виготовлення художніх вилівоків за моделями, що витоплюються, не новий, їм користувалися при литті скульптур із бронзи ще в давнину. Перевага такого способу – можливість отримання вилівоків тонких за формою, без швів на поверхні, які не мають потреби в механічному обробленні. Однак складність і тривалість процесу виготовлення ливарної форми, висока собівартість разової моделі, у створенні якої бере участь скульптор, роблять цей спосіб не вигідним, тому

в виробництві скульптур його застосовують рідко. Його замінили більш зручним способом кускової формовки скульптур (по частинах). З розвитком промисловості і технічного прогресу в ХХ ст. конструкції деталей ускладнилися, з'явилися нові сплави, важко оброблювані різанням. Необхідно було підвищити якість виливків, точність їх розмірів, чистоту поверхні, зменшити, а іноді і ліквідувати припуски на механічне оброблення. В зв'язку з цим лиття за моделями, що витоплюються, знову привернуло увагу ливарників у виробництві художніх виливків. [2]

У сучасному ливарному виробництві колишній спосіб отримання виливків за моделями, що витоплюються, значно вдосконалили. Змінили процес в матеріали для виготовлення моделей, способи виготовлення форми та витоплювання моделей. Все це дало можливість одержувати виливки з високою точністю розмірів і малою шорсткістю поверхонь з будь-яких сплавів, в тому числі з таких, які не піддаються куванню і штампуванню і важко оброблюються механічно, з мінімальними припусками на оброблення.

Вакуумне лиття – це також один із поширених методів, заснований на використанні зниженого тиску, який крізь пористу формувальну суміш втягує розплавлений метал у порожнину форми. Серед його переваг є те, що перед заливанням металу з порожнини видаляються небажані гази, і те, що він більш безпечний для майстра, оскільки йому не доводиться працювати з обертовими механізмами. Для цього способу необхідний вакуумний насос, здатний створити сильне і рівномірне розрідження. [1]

Сутність методу полягає у наступному.

- розплавляють метал у печі, по мірі потреби додаючи флюс;
- коли метал нагрівається до оптимальної, встановлюють опоку на гумову прокладку, ливниковою чашею вгору, безпосередньо над отвором для підключення вакууму;
- вмикають вакуумний насос і проводять вакуум на столик для лиття; перевіряють манометр (тиск має становити не менше 635 мм рт. ст.);
- заливають метал у форму;

- через приблизно півхвилини відключають вакуум;
- витримують форму протягом твердіння та охолодження виливків;
- коли червоне світіння цоколя зникає, опоку охолоджують у холодній воді. [1]

В майстернях для індивідуальних замовлень можуть користуватись методом плавлення металу за допомогою пальника. Для лиття можна використовувати будь-який пальник, який виробляє достатньо тепла для того, щоб повністю розплавити метал. Температура плавлення металу постійна, але для завершення плавлення потрібно більше енергії (тобто більш сильне полум'я). Нагрівання буде більш ефективним, якщо великий злиток металу роздрібнити на менші частини. Чим більше площа поверхні (а це найкраще досягається подрібненням), тим швидше відбувається плавлення. Для плавлення невеликої кількості металу, менше 30 г, придатний повітряно-ацетиленовий пальник.

Але технології лиття дуже часто видозмінюються, тому з'являються нові технології, проте це лише деякі з багатьох досі винайдених варіантів. Одним із них є виготовлення виливків з двох металів. Чудово думати, ніби ви можете покласти в тигель два різних метали, одночасно розплавити їх і отримати біметалевий вилівок, однак цього не буде. Ливарники працювали століттями, щоб отримати ідеальні робочі якості сплавів з гарним зовнішнім виглядом виробів із них. Результат цих досліджень – сплави, які ми зазвичай використовуємо в ювелірному і художньому литті: стерлінгове срібло, золото різних проб і так далі. Виготовлення комбінованого виливка з двох металів – це процес, що складається з двох етапів. Фактично, це два виливки, зроблені один над іншим. [1]

Сутність методу біметалевого лиття:

- виготовляють воскову модель для першої деталі (залежно від форми моделі її виготовляють окремо, або роблять цілісну модель і потім розділяють її на дві частини);

- відливають першу деталь будь-яким із способів, видаляють ливникову систему, шліфують деталь середньозернистим наждачним папером;

- формують поверх першої деталі решту моделі з воску, відповідно до художнього задуму;

- встановлюють живильник і закріплюють модель на стояці (можливо, через масу першої деталі моделі потрібна додаткова опора);

- витоплюють віск і заливають другий сплав у форму.

Оскільки на першій деталі під час прожарювання форми утворюється оксидний шар, швидше за все, сплавлення деталей за місцем контакту не відбувається. Тому потрібно забезпечити механічне з'єднання між деталями.

1.2 Ливарні сплави та їх властивості

Художні виливки можуть бути виготовлені із бронзи, латуні, чавуну, неіржавкої сталі, сплавів на основі Ti, Al, Zn, Sn, благородних або дорогоцінних металів та їх сплавів. Якщо художній виріб достатньо великий і виготовити його у суцільнолитому вигляді неможливо, то його виготовляють з окремих фрагментів, які згодом з'єднують між собою методом зварювання або пайки. [3]

Якщо виливок виготовляють із сплаву неблагородних металів, схильних до окислення на повітрі, то її поверхню можуть покрити фарбою або прозорим лаком, позолотити або посрібнити, покрити емаллю і т.д. Поверхню олов'яних бронз, як правило, нічим не покривають, але в деяких випадках можуть використовувати патину (піддають низькотемпературному тонуванню). [3]

Дрібне ажурне художнє і декоративне литво переважно виготовляють з бронзи, латуні, сірого чавуну, тобто із сплавів з високою рідкотекучістю та формозаповнюваністю. Бронзи в основному використовують для виробництва монументальних художніх виливків (статуарного лиття),

бронзи і латуні – для малої скульптури і декоративних виливків (підсвічників, накладок, рукояток тощо). Сірий чавун переважно використовують для виробництва малої скульптури і т.д. [3]

Олов'яні бронзи марок БрО4Ц4С2,5, БрО6Ц6С3, БрО5Ц5С5, БрО3Ц7С5Н, БрО3Ц12С5, БрО5Ф, БрО10Ф, а також безолов'яні бронзи марок БрА9Ж3Л, БрА9Мц2, БрК3Мц, БрМц5 найчастіше відносять до числа сплавів для виробництва художнього і декоративного литва. [3]

Бронзи характеризуються високою рідкотекучістю і відносно низькою температурою заливання, добре оброблюються різанням, карбуються, гравіруються, поліруються і тонуються. Бронзи мають високі колористичні можливості. Залежно від хімічного складу, колір бронзових виробів може змінюватись від червоного до золотистого. Невисока стійкість бронз до окислення на повітрі є причиною того, що з часом поверхня бронзового виробу тьмяніє, а поверхня виробів з олов'яної бронзи покривається зеленуватим нальотом (шар оксиду міді). [3]

Латуні, на відміну від бронз, характеризуються більш високими ливарними властивостями, зокрема, більш високою рідкотекучістю і заповнюваністю форми, малими температурним інтервалом кристалізації і лінійною усадкою, більш низькою вартістю. До недоліків латуні як сплаву для художнього і декоративного литва, слід віднести більшу, ніж у бронз, схильність до окиснення і більш низькі, ніж у бронз, колористичні можливості. [3]

Марки сплавів на основі міді, встановлені ГОСТ 4116 для виробництва художнього і декоративного литва, наведені в табл. 1.1.

Художнє та декоративне литво виготовляють не тільки з числа сплавів, наведених у табл. 1.1, але і, як було зазначено вище, із будь-яких інших марок бронзи, латуні, а також бабітів, сірого чавуну, сталі, титанових сплавів тощо. Зокрема, до таких сплавів відносять подвійні алюмінієві бронзи БрА5 і БрА7, кремністі латуні ЛЦ17К3 і ЛЦ14К3С3, що характеризуються хорошими ливарними властивостями і яскравою золотистою поверхнею виливків. [3]

Таблиця 1.1 – Марки мідних сплавів для художнього литва

Сплав	Масова частка, % (решта – Cu)			Густина, кг/м ³	Призначення
	Sn	Zn	Pb		
БХ1	4,0...7,0	5,0...8,0	1,0...4,0	8790	Виробництво бюстів і статуй
БХ2	1,0...5,0	8,0...13,0	1,0...6,0	8810	Великогабаритне декоративне литво
БХ3	0,5...3,0	25,0...35,0	1,0...3,0	8460	Дрібне декоративне литво

Примітка. Сумарна частка домішок (Sb, Fe, Al) – не більше 1,5% (за масою).

З олова і його сплавів виготовляють дрібні виливки, переважно статуетки. Для підвищення міцності і жорсткості виробів в олово додають невелику кількість Sb, Pb, для підвищення рідкотекучості в нього додають невелику кількість сплаву Вуда. [3]

У ряді випадків кабінетне литво виготовляють з олов'яних бабітів. Хімічний склад (ГОСТ 1320), середні значення густини при 20°C, а також температури фазових переходів олов'яних бабітів наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад, густина і температури фазових переходів олов'яних бабітів

Сплав	Масова частка, % (решта – Sn)					Температури, °C		Густина, кг/м ³
	Sb	Cu	Cd	Ni	Pb	ліквідус	солідус	
Б88	7,3...7,8	2,5...3,5	0,8...1,2	0,15...0,25	–	320	–	7350
Б83	10,0...12,0	5,5...6,5	–	–	–	370	240	7380
Б83С	9,0...11,0	5,0...6,0	–	–	1,0..1,5	400	230	7400

Сірий чавун для художніх виливків, окрім заліза та 2,0...4,5% С (за масою) містить 1,0...3,5% Si і 0,5...1,0% Mn. З метою поліпшення

формозаповнюваності і рідкотекучості в сірому чавуні підвищують вміст P, Si, C і зменшують вміст S і Mn. Основними недоліками сірого чавуну як матеріалу для художнього і декоративного литва, є його крихкість, відносно невисока міцність, складність ручного механічного оброблення і необхідність захисту поверхні виробів від окислення. Для захисту від окислення поверхню таких виливків покривають прозорим лаком або чорною фарбою, що негативно впливає на рельєф поверхні виробу і знижує художню цінність. [3]

Художнє литво із неіржавких сталей виготовляють рідко, що обумовлено відносно невисокими ливарними властивостями цих сталей і високою температурою їх заливання (1570...1620 °C). При цьому після основних фінішних операцій виливки піддають піскоструменевому обробленню і/або електрополіруванню. В першому випадку готові вироби набувають сірувату матовість поверхні, а у другому – дзеркально-білу поверхню. [3]

Титанові виливки, як правило, виготовляють із сплаву VT5Л. Як і у випадку сталевих виливків, виливки з титанових сплавів переважно використовують для виготовлення корпусів наручних годинників. Після полірування вироби характеризуються яскраво-білою дзеркальною поверхнею, що не тьмяніє з часом. Основний недолік виливків з титанових сплавів – складність і дороговизна їх виробництва, необхідність використання спеціального обладнання, а також застосування для заливання графітових або коксо-графітових оболонкових форм. [3]

Мідно-нікелеві сплави (мельхіор, нейзильбер), хімічний склад, температури фазових переходів і деякі ливарні властивості яких наведені в табл. 1.3, застосовують в тих випадках, коли виливкам необхідно надати вигляду срібних виробів з чорнінням. [3]

До мідно-нікелевих сплавів, які імітують за кольором срібло, також відносять сплави, хімічний склад яких наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад, температури фазових переходів і деякі ливарні властивості сплавів, які імітують за кольором срібло

Сплав	Масова частка, % (решта – Cu)			Температури, °С		Лінійна усадка, %	Густина, кг/м ³
	Zn	Ni + Co	домішки, не більше	ліквідус	солідус		
Нейзильбер							
МНЦ 15-20	18...22	13,5...16,5	0,9	1080	–	2,0	8570
МН 25	–	24,0...26,0	1,3	–	–	2,2	8930
МНЦ 18-20	19...21	17,0...19,0	0,6	–	–	2,0	8570
Мельхіор							
МН 19	–	18,0...20,0	1,5	1190	1130	2,3	8930
МНЦ 12-24	23...25	11,0...13,0	0,6	–	–	2,3	8500
МНЦ 18-27	27...28	17,0...19,0	0,6	–	–	2,2	8430

Примітка. Для поліпшення рідкотекучості в сплави додають до 3% Si (за масою).

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сплавів, які імітують за кольором срібло

Індекс	Масова частка, %						Індекс	Масова частка, %		
	Cu	Ni	сірий чавун	Al	Sn	Fe		Cu	Ni	сірий чавун
1	57	20	20	3	–	–	5	66	18	16
2	59	11	24,5	–	5	–	6	55	16	29
3	58	20	19	–	–	3	7	49	12	39
4	47	16	35	–	–	2	8	46	20	34

Із числа сплавів благородних металів у виробництві кабінетного і ажурного литва найбільшого поширення набули сплави срібла з міддю.

Основним недоліком срібла і сплаву срібла з міддю 950-ї проби є невисокі механічні властивості, у зв'язку з чим вироби із цих матеріалів виготовляють досить рідко. [3]

Срібло 925-ї проби («стерлінгове срібло», «стандартне срібло») характеризується високими ливарними і механічними властивостями,

добре полірується і механічно оброблюється. Вироби з цього сплаву придатні для покриття емаллю і чорніння фарбами з низькою температурою плавлення. [3]

Срібло 900-ї проби використовують в основному для філігранних робіт. За кольором вироби з даного сплаву дещо відмінні від кольору чистого срібла, що обумовлено наявністю у сплаві значної кількості міді. Емаль на вироби із сплаву цієї проби не наносять, оскільки при температурі 779 °С (температура евтектичного перетворення) він починає плавитися. [3]

Срібло 875-ї проби використовують для виготовлення декоративних виробів. Сплав має високі ливарні і механічні властивості. Колір сплаву і стійкість до потускніння на повітрі аналогічні сплаву срібла 900-ї проби. [3]

Срібло 720-ої проби – евтектичний сплав, який через низьку пластичність і жовте забарвлення практично не використовують у виробництві художнього литва. У деяких випадках його використовують як припій. [3]

Властивості срібла і сплавів срібла з міддю наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Властивості срібла і сплавів срібла з міддю

Вміст Ag у сплаві, % (за масою)	Температура плавлення, °С	Температура ліквідусу, °С	Температура солідусу, °С	Інтервал кристалізації, °С	Густина, кг/м ³
100	960	–	–	0	10390
92,5	–	910	810	100	10290
90,0	–	890	779	111	10300
87,5	–	860	779	81	10160
80,0	–	820	779	41	10130
71,5	779	–	–	0	10000

Як і у більшості сплавів, у срібних сплавах від переплаву до переплаву на повітрі збільшується вміст розчинених газів і частка неметалевих

вкраплень. Така забрудненість може стати причиною зниження їх рідкотекучості та міцності, виникнення газових раковин у виливках. [3]

У зв'язку з цим для виготовлення тонкостінних великогабаритних ажурних виливків слід:

- використовувати первинний сплав;
- обмежити вміст звороту власного виробництва в шихті до 30...40% (за масою);
- максимально обмежити в шихті частку дрібних і тонких компонентів шихти (стружки, фольги, дроти), плавлення проводити швидко;
- не допускати значного перегрівання розплаву в процесі плавлення;
- забезпечити швидке, без спінювання, заповнення форми розплавом.

[3]

1.3 Програми комп'ютерного дизайну і моделювання процесів

Все частіше світ використовує 3D-технології для досягнення своїх цілей. Проте, 3D-технології можна використовувати не тільки у вигляді друку, ливарники використовують ряд 3D-програм для оптимізації процесів лиття та для наглядного проектування процесу заливання металу в форму.

MAGMASOFT, ProCAST, WinCast, LVMFlow, Полігон – це перелік небагатьох програм, які використовуються всім світом для виконання температурних розрахунків, прогнозування та оптимізації ливарних процесів.

1.3.1 Програми комп'ютерного проектування процесу лиття

MAGMASOFT – це комплексний та ефективний інструмент оптимізації для поліпшення якості лиття металів, оптимізації умов процесу та зменшення виробничих витрат. Методологія віртуального проектування експериментів та автономної оптимізації, надійні параметри процесів та оптимізовані схеми, встановлені для всіх литих матеріалів, включаючи

термічну обробку, ефективно та всебічно дають змогу покращувати якість литва. [4]

MAGMASOFT моделює заповнення металом форми, кристалізацію, розрахунок напружень і деформацій, структуру металевої матриці, розподіл перліту і фериту та багато інших корисних властивостей. [4]

У базовому варіанті програма MAGMASOFT standard дає змогу моделювати процеси лиття в піщано-глинисті форми і в кокіль. Для моделювання інших видів лиття необхідно купувати додаткові модулі:

- MAGMA lpc (лиття під низьким тиском),
- MAGMA hpc (лиття під високим тиском),
- MAGMA disa (моделювання лиття в безопочні форми для лінії Disamatic),
- MAGMA iron (чавунне литво).

Застосування MAGMASOFT дає змогу:

- оптимізувати режими заливання сплаву і затвердіння виливків;
- виконати температурний розрахунок прес-форм;
- оптимізувати ливникову систему;
- прогнозувати мікро- і макроструктуру, твердість і механічні властивості виливків;
- розраховувати і мінімізувати залишкові напруження і деформації;
- моделювати режими термічного оброблення. [5]

В процесі моделювання заповнення порожнини форми можливо визначити:

- температурні поля виливка і форми;
- вектори швидкостей руху сплаву в порожнині форми (напрямки руху сплаву у формі, модуль вектора);
- траєкторію руху частинок сплаву в порожнині форми, динаміку процесу заповнення, візуалізацію ліній струму заповнення форми;
- проводити моделювання процесів витіснення повітря з форми, шлакових вкраплень;
- процеси ерозії форм (постійної, разової);

– оптимізувати вентиляційні системи постійних форм (які проходять в них процеси під час заповнення форми). [5]

В процесі моделювання кристалізації вилівка можливо визначити:

– температурні поля протягом усього часу затвердіння і охолодження вилівка;

– градієнти температур у вилівку, формі й елементах ливникової системи: надливах, холодильниках, живильниках, стояці тощо;

– час затвердіння сплаву в будь-якому місці вилівка;

– мікроструктуру і механічні властивості сплавів, в тому числі різних видів чавунів – сірих, високоміцних, спеціальних і сталей;

– розподіл концентрацій вуглецю, кремнію, марганцю, сірки, фосфору в тілі вилівка;

– напрямок затвердіння сплаву;

– швидкість затвердіння вилівка;

– час фазового переходу;

– ефективність підживлення вилівка надливами;

– протяжність в часі і характер процесів міждендритного протікання;

– наявність величини і розташування мікро- і макродефектів, усадкових і газових раковин у тілі вилівка;

– розрахункову густину вилівка;

– величину лінійної усадки (в цілому і по осях X, Y, Z) і об'ємної усадки;

– якість вилівка за різними критеріями: «Nijama» та ін.;

– самостійно сформовані критерії для оцінки якості;

– залишкові напруження у вилівку після охолодження;

– деформацію форми вилівка по осях X, Y, Z;

– гарячі і холодні тріщини;

– побудова діаграми розвитку деформацій і залишкових напружень у вилівку і в формі;

– оптимальну температуру і час видалення вилівка з форми. [5]

ProCAST представляє собою професійну систему комп'ютерного 3D-моделювання ливарних процесів методом кінцевих елементів. [6]

Оригінальним розробником цього програмного продукту є компанія UES Inc. (США), ряд модулів розроблено швейцарською фірмою Calcom SA. У 2003 році обидві фірми увійшли до складу групи компаній ESI Group (Engineering Systems International), а програмний комплекс ProCAST став частиною сімейства PAM-систем для інженерного аналізу. [6]

Система працює під ОС UNIX, MS Windows і дає змогу моделювати практично всі варіанти ливарних технологій, включаючи вільне лиття в форми, лиття під низьким і високим тиском, лиття за моделями, що витоплюються тощо. Геометрія виливків може бути найскладнішою. [6]

Особливості та основні можливості системи ProCAST: розробники обрали нестандартний шлях побудови системи: складові її модулі вирішували не конкретні ливарні технології, а фізичні процеси, які в різних поєднаннях реалізуються цими технологіями. [6]

Використовуючи наочний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, користувач формує розрахункову модель, а необхідні модулі підключаються в процесі рішення (які саме – залежить від набору параметрів). Ось декілька цих модулів:

- ProCAST Thermal Solver – розрахунковий модуль моделювання теплового процесу, який враховує процеси затвердіння і формування усадкових дефектів;
- Radiation Module – модуль розрахунку тепловипромінювання в процесі кристалізації вилівка;
- ProCAST Flow Solver – модуль, який розраховує параметри потоку розплаву і аналізує заповнення форми;
- ProCAST Stress Solver – модуль розрахунку напружень і деформацій (термічні напруження) за пружно-пластичними і пружно-в'язкопластичними реологічними моделями;

- Grain Structure Module (SAFE) – модуль стохастичного прогнозування якості процесу кристалізації виливка, а також моделювання еволюції зерен і їх зростання в структурі розплаву при затвердінні;
- Inverse Module – модуль зворотного моделювання для уточнення граничних умов процесу за отриманими експериментальними вимірами. [6]

Доповненням до ProCAST являється модуль SAFE (Cellular Automated Finite Element – клітинний автомат на основі кінцевих елементів), який дає змогу змоделювати еволюцію розвитку кристалічної структури з моменту зародження перших кристалів. При цьому враховуються всі зовнішні фактори і властивості матеріалу, закладені в модель. У модулі застосовано найсучасніші стохастичні моделі, які дають змогу визначити розмір зерна, відстані між вторинними гілками дендритів, фази, радіус графітових вкраплень. [6]

Чисельне моделювання з використанням програмного забезпечення Win Cast Expert може показати нам, як відбувається заповнення форми, процес затвердіння і охолодження рідкого металу для виявлення дефектних ділянок. Win Cast Expert – це не тільки програмне забезпечення для візуалізації процесів лиття, а й система оптимізації процесу лиття, заснована на багаторічному досвіді в термічних процесах металів. [7]

LVMFlow – перша у світі програма саме для технологів-ливарників. Основним досягненням LVMFlow слід вважати перехід у 2007 році з використання МКР на МКО (LVMFlow CV), що дало змогу забезпечити LVMFlow найшвидшу швидкість обчислень, високу точність одержуваних результатів, а також простоту і легкість використання. [8]

В основу нової версії LVMFlow CV покладено метод об'єму, що контролюється Control Volume (CVM). CVM передбачає точний облік балансованих умов, в результаті чого різностінна сітка доповнюється набором геометричних характеристик, які описують істинний об'єм матеріалу в осередку сітки, яка не дорівнює об'єму просто кубика і площі дотичних матеріалів в кожному осередку. Наявність CVM дозволило вирішити задачу більш точного відстеження поширення фронту

затвердіння у виливку, а значить більш точного прогнозування можливих дефектів. [8]

LVMFlow призначено для проведення аналізу ливарної технології та її коригування в найкоротші терміни, що гарантує протягом 1-2 робочих днів підготувати технологію отримання якісних виливків. [8]

Полігон – програма для вирішення завдань, пов'язаних з усуненням пористості у виливках типу «турбінні лопатки». Володіє хорошими можливостями і може виступати як альтернатива ProCast. [9]

Однак, практичне застосування на ливарних підприємствах показало, що Полігон не може виступати як повсякденна програма для розроблення технології виготовлення виливків. Складність використання, тривалість отримання результатів, а також відсутність кваліфікованого персоналу звели використання Полігон на рядових підприємствах до нуля. Полігон слід використовувати в парі з іншою ливарною програмою як засіб для перевірки виливків відповідального призначення, або окремо для організації навчального процесу в університетах. [10]

1.3.2 Загальні принципи розроблення програм

Програми відрізняються за призначенням, виконуваними функціями, формами реалізації. Проте можна вважати, що існують деякі загальні принципи, які слід використовувати при розробленні програм. [11]

Частотний принцип – засновано на виділенні в алгоритмах і даних особливих груп за частотою використання. Для дій, що найчастіше зустрічаються при роботі програм, створюються умови їх швидкого виконання. До часто використовуваних даних забезпечується найшвидший доступ. Операції, які часто використовуються, намагаються робити більш короткими. Слід зазначити, що лише трохи більше 5% операторів програми надають істотний вплив на швидкість виконання програми. Цей факт дає змогу значну частину операторів програми кодувати без урахування

швидкості обчислень, звертаючи основну увагу при цьому на «красу» і наочність текстів. [11]

Принцип модульності – під модулем у даному контексті розуміють функціональний елемент даної системи, що має закінчене оформлення, виконане в межах вимог системи, і засоби сполучення з подібними елементами або елементами більш високого рівня даної або іншої системи. Способи відокремлення складових частин програм в окремі модулі можуть відрізнятися істотно. Поділ системи на модулі значною мірою визначається використанням методом проектування програм. [11]

Принцип функціональної вибірковості – цей принцип є логічним продовженням частотного і модульного принципів і використовується під час проектування програм. У програмах виділяється деяка частина важливих модулів, які постійно мають бути у стані готовності для ефективної організації обчислювального процесу. Цю частину в програмах називають ядром або монітором. При формуванні складу монітора потрібно врахувати дві суперечливі вимоги. До складу монітора, крім чисто керувальних модулів, мають увійти найчастіше використовувані модулі. Кількість модулів має бути такою, щоб обсяг пам'яті був не дуже великим. Програми, які входять до складу монітора, постійно зберігаються в оперативній пам'яті. Решта програм постійно зберігаються в зовнішніх пристроях і завантажуються в оперативну пам'ять тільки за необхідності, перекриваючи один одного також за необхідності. [11]

Принцип генерування – основне положення цього принципу визначає такий спосіб вихідного представлення програми, який би давав змогу здійснювати налаштування на конкретну конфігурацію технічних засобів, проблем, які вирішуються, умови роботи користувача. [11]

Принцип функціональної надмірності – цей принцип враховує можливість проведення однієї і тієї ж роботи різними засобами. Особливо важливим є врахування цього принципу при розробленні інтерфейсу для видачі одних і тих же даних різними способами виклику через психологічні відмінності у сприйнятті інформації. [11]

Принцип «за замовчуванням» – застосовується для полегшення організації зв'язків з системою як на стадії генерації, так і при роботі з уже готовими програмами. Принцип засновано на зберіганні в системі деяких базових описів структур, модулів, конфігурацій обладнання та даних, які визначають умови роботи з програмою. Цю інформацію програма використовує як задану за замовчуванням, якщо користувач забуде або свідомо не конкретизує її. [11]

1.4 Постановка задач роботи

Вироби художнього призначення є важливою частиною світової культурної спадщини, показником становлення і розвитку цивілізацій. Вони є також невід'ємними супутниками у суспільному та приватному житті. І хоча вони напряду не впливають на розвиток економіки, їх значення у культурному становленні народів і окремих особистостей важко переоцінити.

Металеві художні вироби найбільш міцні, стійкі до атмосферних впливів, а тому й довговічні. Однак процеси їх виготовлення складні, потребують спеціальних навичок та устаткування. Сьогодні з металу можна відтворити практично будь-яку річ. Історичний розвиток процесів лиття дав змогу виготовляти найскладніші деталі та вироби. Запровадження комп'ютерних технологій, у свою чергу, розширило можливості і прискорило процеси їх виготовлення.

Однак не завжди з техніко-економічних міркувань доцільно використовувати комп'ютерні технології, а також високопродуктивне устаткування. Часто процеси виготовлення художніх виробів мають одиничний характер і додаткове залучення комп'ютерних програм робить процес і кінцеву продукцію невиправдано дорогими. У таких випадках створюється технологічний ланцюжок ручних операцій, які за мінімальної витрати матеріалів, енергоресурсів та засобів механізації забезпечують виготовлення високоякісних одиничних художніх виробів.

У нашому випадку в наявності є два художньо-декоративних вироби, виготовлені із полімерного матеріалу. Необхідно розробити технологію створення їх металевих копій.

Тому метою нашої роботи є оптимізація технологічних процесів відтворення у металі копій двох художніх виробів за наявними неметалевими оригіналами.

Для реалізації поставленої мети вирішено ряд завдань у наступній послідовності:

1. Проаналізувати наявні технології виготовлення металевих художніх виробів.
2. Вибрати необхідні матеріали та устаткування для здійснення технологічних процесів.
3. Провести розрахунок параметрів теплової взаємодії виливків із ливарною формою, виготовленою із силіконової композиції «Віксел-451» для встановлення можливості лиття у такі форми.
4. Дослідити параметри технологічних процесів виготовлення виливків «Кельт» і «Вікінг» та встановити їх оптимальні значення.
5. На основі розроблених технологій представити точні копії двох художніх виробів.

2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Вибір матеріалів

Ливарна форма є проміжним етапом між моделлю та готовим виливком. Від кожного із цих об'єктів залежить вибір матеріалу для форми і складність її виготовлення. В ході виконання дипломної роботи для виготовлення металевих художніх виробів нам необхідно обрати матеріали для двох форм. При їх виготовленні нерідко використовують двокомпонентний силікон або ж поліуретан, який внаслідок змішування достатньо швидко твердіє при кімнатній температурі.

Для виливка «Вікінг» ми вибираємо форму з двокомпонентного силікону холодного твердіння, яку будемо виготовляти з двох напівформ. Для цього ми використовуємо силіконову композицію «Віксел-451» і каталізатор УК-3,5. Процес твердіння проходить протягом 4...24 год після змішування пасти із затверджувачем. Виробник: Україна, ДП «НДІ «ЕЛАСТИК», м. Київ.

Переваги такого матеріалу:

- відсутність додаткового обладнання;
- відсутність тиску та нагрівання, через що можна використовувати будь-які моделі;
- мінімальна усадка.

Недоліки:

- відносно висока ціна;
- ці прес-форми служать не так довго, як форми з гуми гарячої вулканізації, вони менш еластичні і міцні.

Форму для виливка «Кельт» буде зроблено дещо інакше: так як виливок вважається великим, то ми вибрали форму, яка буде виготовлена способом гумової оболонки та гіпсового кожуха. Каучук тупу «Gumosil M»

змішують з каталізатором М у необхідних пропорціях. Для гіпсового кожуха використовуємо високоміцний гіпс Г-10.

Наші виливки будуть виготовлені двома способами та із двох різних сплавів. Виливок «Вікінг» ми виготовимо із олов'яно-свинцевого сплаву ПОС60, а виливок «Кельт» – із мідно-цинкового сплаву Л63. Такі сплави ми взяли з розрахунку на методи заливання, які обрали.

«Вікінг» зробимо двома способами: литтям за моделями, що витоплюються, а також безпосереднім заливанням металу в силіконову форму. Сплав ПОС60 (табл. 2.1) є легкоплавким, а форма витримує до 260°, тому саме цей сплав теоретично можна залити у таку форму.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики сплаву ПОС60

Температура плавлення, °С	183...190
Густина, кг/м ³	8500
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*К	117
Міцність на розтяг, МПа, не менше	43
Твердість за Брінелем, НВ	15
Ударна в'язкість, Дж/м ²	0,39
Відносне подовження, %	46

Виливок «Кельт» плануємо виготовляти із сплаву Л63, який включає в себе 34,2...37,5% Zn і 62...65% (Cu), а також не більше 0,5% домішок. Ми працюємо саме з цією маркою, так як вона легко оброблюється на верстатах під тиском, також вона є економічно вигідною. Латунь Л63 має достатньо хороші механічні та технологічні властивості (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики сплаву Л63

Температура плавлення, °С	906
Температура гарячого оброблення, °С	750...880
Температура відпалу, °С	550...650
Міцність на розтяг, МПа, не менше	240
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*К	110
Густина, кг/м ³	8440
Коефіцієнт лінійного термічного розширення, $\alpha \cdot 10^{-6}$, К ⁻¹	20,5
Питома теплоємність, Дж/(кг*К)	385
Твердість за Брінелем, НВ	155

2.2 Устаткування

Під час виготовлення силіконових форм нам необхідно використовувати ваги. Ми користуємось ювелірними вагами НУ-В452. Одиниці маси: грам, карат, унція. Калібрування виконується автоматично. Найбільша маса зважування – 500 г, точність 0,01 г.

Виготовлення воскових моделей здійснювали на електронному інжекторі (2 л) з ручним насосом LOGIC та з електронним регулятором температури, точність якого 0,1 °С. Потужність інжектора 220 В, 50/60 Гц, маса – 6 кг, зовнішні розміри: 190×190×550 мм, робоча температура 75...90 °С.

При формуванні блоку моделей використано формувальну суміш Royal Cast (упаковки по 22,67 кг). Вона забезпечує литі поверхні високої точності при литті вакуумним способом. Вміст кристобаліту – 43%.

Прожарювання опок відбувається у муфельній печі з програматором, зовнішні розміри якої $800 \times 800 \times 800$ мм, внутрішні розміри камери $400 \times 400 \times 400$ мм, маса – 90 кг, потужність – 4 кВт. Використання таких печей для роботи з високими температурами є важливим етапом в процесі лиття. Двері є вогнетривкими, вони забезпечують постійну температуру в камері печі. Вона складається із чотирьох нагрівальних плит із високою тепловіддачею. Така конструкція дає змогу рівномірно розподілити температуру по всій камері, що і забезпечує хороші результати лиття.

Вакуумний насос 2НВР5ДМ використовувався для видалення повітря, газів і парів до достатнього рівня тиску. Технічні характеристики: електроживлення – 220 В, потужність електродвигуна – 0,37 кВт, рівень шуму – 57 дБ, швидкість – 1400 об/хв, маса – 18 кг.

Безшумний компресор повітряний на 50 л, робочий тиск – 0,8 МПа, рівень шуму – 42 дБ, маса – 55 кг. Компресором користувались для забезпечення стисненим повітрям обладнання.

Тигельна плавильна піч (4,2 кг), основні параметри якої: напруга живлення 220 В, споживана потужність – не більше 800 Вт, максимальна робоча температура 1150 °С.

Для оброблення металевих виливків ми використовуємо бормашину FOREDOM CC-FCT (К). Управління машиною здійснюється педаллю, яка контролює швидкість обертання. Такі бормашини використовують для свердління, шліфування, полірування, фінішного оброблення та для моделювання по воску. Машинки цієї фірми були представлені без наконечників, тому ми підбирали їх індивідуально.

Потужність бормашини – 75 Вт, максимальна швидкість обертання – 20000 об/хв, маса – 2,5 кг, зовнішні розміри двигуна (Д×Ш×В) – $120 \times 100 \times 100$ мм, електроживлення – 220 В, 50/60 Гц.

Наконечник для бормашини ми обрали також FOREDOM №30, сам наконечник необхідний для закріплення борів, фрез, дискоутримачів.

2.3 Порядок технологічних операцій

Виливок «Кельт» будемо виготовляти в такому порядку:

1. Закріплення статуетки на підставці: оптимально використовувати дерев'яну або пластикову підставку і закріпили статуетку двома шурупами.
2. Підготовка стрічки бинта, яку використовуємо як арматуру.
3. Приготування гумової суміші: суміш з Gumosil стає в'язкою протягом декількох хвилин, а остаточно твердіє через 15...25 хв, тому треба зробити декілька замісів по 20 г.
4. Перших 3 шари на поверхні статуетки промазати гумовою сумішшю, після третього шару прокласти шар бинта та дати час висохнути, потім зробити те саме ще 3 рази, останній раз промазати гумовою сумішшю.
5. Після повного висихання форми необхідно приблизно визначити, де буде проходити лінія роз'єму та позначити її маркером.
6. Встановлення підставки зі статуеткою на пластину, яка буде частиною рамки.
7. Закріплення пластини горизонтально до 4 інших так, щоб утворилась прямокутна рамка.
8. Приготування гіпсової суміші та заливання прямокутної рамки наполовину, після цього витримка до повного затвердіння гіпсу.
9. Розбирання форми, зачищення її поверхні, просвердлення центрувальних елементів (замків).
10. Виконання нової рамки та змащення отриманої гіпсової півформи декілька разів розділовим покриттям (рідка суміш воску з бензином).
11. Заливання гіпсовою сумішшю другої половини прес-форми.
12. Після остаточного затвердіння гіпсу вилучення статуетки з гумовою оболонкою та розрізання гумової оболонки по завчасно наміченій лінії роз'єму.
13. Вкладання гумової оболонки на місце у гіпсову прес-форму.
14. Виготовлення воскової моделі інжекторним способом.

15. Оброблення воскових моделей їх та закріплення на стояці для утворення блоку моделей.

16. Вибір опоку для блоку моделей.

17. Приготування гіпсо-кремнеземистої формувальної суміші та заливання її в опоку.

18. Розміщення форми у муфельній печі та встановлення програми режиму прожарювання.

19. Підготовка рідкого сплаву для заливання.

20. Встановлення на форму ковпака для подачі вакууму.

21. Заливання сплаву в форму.

22. Охолодження форми з металевою «ялинкою».

23. Вилучення блоку моделей із форми та охолодження його на повітрі.

24. Відокремлення виливків від ливникової системи.

25. Оброблення місць, де були живильники.

Виливок «Вікінг» буде виготовлятися із обох сплавів: олов'яно-свинцевого та мідно-цинкового. Для статуетки «Вікінг» порядок операцій його виготовлення такий:

1. Виготовлення фальшивої напівформи з пластиліну.

2. Занурення пластмасової статуетки наполовину в пластилін.

3. Підведення до статуетки живильників, керуючись тими ж правилами, як і в звичайному литті при використанні формувальної суміші.

4. Встановлення напівформи з пластиліну та моделі в рамку для виготовлення форми: це прямокутна рамка, виготовлена з 4 пластин.

5. Змішування двох компонентів силіконової суміші в одноразовій посудині одноразовим інструментом. Щоб забезпечити хороший результат, потрібно точно відміряти пропорції, використовуючи ваги. Дуже важливо, щоб два компоненти були ретельно перемішані, бажано використовувати шпатель і перемішувати декілька хвилин, в іншому випадку всередині форми будуть незатверділі липкі ділянки.

6. Вакуумування силіконової маси для видалення бульбашок повітря.

7. Заливання моделі готовою силіконовою сумішшю, не утворюючи нових бульбашок повітря.

8. Витримка силіконової маси на моделі для затвердіння, залишивши на всю ніч.

9. Кантування силіконової півформи разом з моделлю і фальшивою пластиліновою півформою та вилучення пластилінової півформи.

10. Встановлення напівформи з силікону та моделі в рамку для виготовлення форми: це прямокутна рамка, виготовлена з 4 пластин.

11. Заливання другої половини прес-форми силіконовою сумішшю.

12. Витримка силіконової маси на моделі для затвердіння,

Після цього виливок із мідно-цинкового сплаву виготовляють аналогічно п. 14...25, наведеним для виготовлення статуетки «Кельт». Виливок із олов'яно-свинцевого сплаву буде виготовлено методом заливання металу в силіконову форму: метал розплавляли у ложці, закріпивши форму перед цим, залили в неї розплавлений метал.

2.4 Параметри дослідження

Під час розроблення прес-форм та підготовки моделей до заливання металу є ряд змінних параметрів, від яких залежить якість кінцевих виливків.

2.4.1 Проектування ливникової системи

Ливникова система важлива не тільки під час заливання форми розплавом і формування вилівка, а також і для якісного відтворення воскової моделі. Для неї система ливників виконує наступні функції:

- забезпечує повне заповнення модельною композицією прес-форми та відтворення усіх елементів моделі;
- підтримує модель під час виготовлення ливарної форми;
- забезпечує розплавленому воску вихід з ливарної форми,
- утворює канали, через які в форму заливають розплав;
- орієнтує модель таким чином, щоб звести до мінімуму завихрення потоку під час заповнення форми;
- усуває можливості утворення недоливів та усадкових дефектів. [1]

Для виготовлення елементів ливникової системи підходить будь-який віск, краще за все круглий дріт із м'якого воску, так як він дає змогу більш точно розташувати модель всередині форми. У нашому випадку для виготовлення вилівка «Вікінг» прес-форму виконано із двох половинок, в яких потрібно завчасно продумати підведення воску або металу, тому ми можемо зробити живильники або із воскових дротів, або із пластиліну, враховуючи що верхня фальшива пів-форма у нас була з пластиліну. Після того, як буде готова нижня пів-форма, ми зробимо верхню та пізніше за допомогою скальпелю зможемо вирізати намічені живильники.

Під час вибору місць розташування елементів ливникової системи потрібно пам'ятати про такі правила:

- приєднувати живильники до наймасивніших частин моделі;
- приєднувати живильники там, де вони не зашкодять текстурі поверхні і звідки їх легко буде видалити після відливання;
- передбачити живлення кожної масивної частини вилівка від одного масивного живильника;
- для тонких ділянок, особливо якщо вони розташовані далеко від центру вилівка, можуть знадобитися додаткові живильники.

2.4.2 Вибір режимів прожарювання

Після того, як форми будуть встановлені в муфельну піч отвором вниз (при чому форми мають бути злегка підняті над подом печі, для відведення газів), необхідно виставити програму для їх прожарювання.

Можна зробити це двома способами:

1) Тригодинний цикл (для опок до 50×50мм):

- 1 год. при 150 °С;
- 1,5 год. при 350 °С;
- 0,5 год. при 680 °С.

2) П'ятигодинний цикл (для опок до 75×90мм):

- 2 год. при 150 °С;
- 1,5 год. при 350 °С;
- 1 год. при 550 °С;
- 1,5 год. при 630 °С;
- 0,5 год. при 680 °С.

Враховуючи особливості нашої форми (діаметр – 150 мм, висота – 350 мм) ми обрали п'ятигодинний цикл, але температури та час витримки збільшили (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Таблиця п'ятигодинного циклу прожарювання форм для виливків «Вікінг» і «Кельт»

Індекс	Температура, °С	Час набору температури, год.	Час витримки температури, год.
1	150	3	2,5
2	350	1	1,5
3	550	1	1,5
4	735	2	2
5	450	1	2

2.4.3 Температури заливання

Для заливання виливка «Вікінг» олов'яно-свинцевим сплавом ми обрали одну сталу температуру, та не експериментували з цим, так як нам відомо, що термічна стійкість силікону, який використовується для приготування форми становить 360 °С при довготривалому витримуванні, а для короткочасних заливань температура складає 260...300 °С.

Для заливання мідно-цинкового сплаву ми обрали три температури: 1010 °С, 1035 °С та 1085 °С.

2.4.4 Контроль шорсткості

Стандарт, який ми використовуємо для контролю шорсткості, застосовується до литих поверхонь. Еталонні зразки шорсткості використовуються для порівняння із поверхнею литих зразків. Еталонні зразки також можуть бути використані для візуального контролю шорсткості деталей, виготовлених іншими методами або після механічного оброблення.

2.4.5 Дефекти виливків

Виливки, що мають дефекти, відокремлюють від придатних. У деяких випадках, особливо у технологіях художнього лиття, дефекти можливо виправити.

Процес відбору дефектних виливків називають бракуванням, розрізняють виправні і невивправні дефекти. До виправного або умовного браку відносять виливки, дефекти яких легко усунути. До невивправного або безумовного браку відносять виливки, вартість виправлення яких більше,

ніж вартість виготовлення нового виливка. Брак завжди є причиною зниження рентабельності роботи ливарного цеху. Він тягне за собою непотрібні витрати коштів і часу, збільшує вартість виробів, що випускаються. При виробництві художніх виливків брак тягне за собою більші витрати, ніж при виготовленні звичайних промислових виливків. Це пояснюється складністю і тривалістю технологічного процесу їх виготовлення. Для боротьби з браком потрібно знати види дефектів, причини їх утворення та методи застереження. Дефекти та методи попередження, характерні для заданих у роботі виливків, приведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Можливі види дефектів

Види дефектів	Причини утворення	Методи попередження
Газові раковини	Великий вміст газів у металі; знижена газопроникність формувальних або стрижневих сумішей; низька температура заливання	Дотримання технології плавлення і розливання рідкого сплаву
Піщані раковини	Руйнування і засмічення форми під час формування; невірна ливникова система, яка веде до розмивання форми	Прискорити час виготовлення форм та скоротити час витримки форм до заливання
Холодні тріщини	Передчасне вилучення виливків із форми, сильні удари при обрубубуванні та правці	Збільшити час охолодження виливків у формі для зменшення розвитку термічних напружень
Гарячі тріщини	Недостатня податливість форми	Скоротити тривалість контакту рідкого металу з формою
Усадкові раковини	Нерівномірне охолодження металу в формі; неправильне розташування елементів ливникової системи в формі; висока температура заливання	Зменшити температуру заливання та обрати оптимальне розташування елементів ливникової системи

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Оптимізація технологічного процесу виготовлення художнього вилівка «Вікінг»

3.1.1 Характеристика моделі

У нашому випадку наявна готова неметалева модель. Виріб «Вікінг» є пластмасовою статуеткою, виготовленою на Донецькому заводі іграшок. Висота статуетки – 60 мм, максимальна товщина – 11 мм (тулуб), мінімальна товщина – 1,5 мм (меч), 3 мм (щит). Першою необхідною стадією для відтворення цієї статуетки у металі є визначення розташування моделі всередині прес-форми, розташування та кількості ливників. Візуальний аналіз показав, що по всій поверхні виробу є видима лінія з'єднання двох половин іграшки, яку свого часу отримано методом лиття із полімерного матеріалу. Встановлена лінія що спрощує для нас завдання (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Виріб «Вікінг», виготовлений на Донецькому заводі іграшок

Ми одразу вирішуємо робити форму за цим контуром, розташувавши модель рівно посередині форми. Живильники підведемо до двох ніг, ліктя та щита.

3.1.2 Виготовлення прес-форми

Процес виготовлення прес-форми для витоплюваних воскових моделей ми розпочнемо з підготовки фальшивої нижньої півформи. Для цього нам потрібно взяти пластину та викласти шар пластиліну, висота якого 10 мм. Далі ми робимо невелику яму на місці, де планується встановити статуетку. «Вікінг» лягає лицьовою стороною вниз на пластилін, утворивши зазори між виробом та фальшивою пів формою, тому за допомогою шпателью та залишків пластиліну ми закладаємо усі наявні зазори (це робиться для того, щоб силіконова суміш не залила лицьову сторону виробу).

На цьому етапі нам потрібно встановити живильники для запресовування модельної композиції у прес-форму, які будуть підведені до руки з щитом та до ноги. Живильники також будуть із пластиліну, що є найшвидшим та найраціональнішим вибором матеріалу. Також потрібно зробити замки у фальшивій півформі з пластиліну. Ми це зробили з метою майбутнього центрування двох половинок прес-форми, використовуючи восковий дріт діаметром 5 мм. Таким чином утворено отвори по контуру всієї фальшивої півформи. Коли силікон заповнить ці отвори, утворяться виступи, які і будуть потім слугувати замками (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Верхня фальшива півформа із пластиліну для виготовлення силіконової прес-форми для виливка «Вікінг»

Наступним кроком стало встановлення 4 пластин навкруги фальшивої півформи із пластиліну (розміри цієї півформи – 100×80 мм). З'єднувати ми їх будемо за допомогою гарячого клею. Таким чином, у нас утворилась заготовка для заливання силіконової суміші (приготування суміші описано в п. 3.1.3).

Після заливання форми та затвердіння нижньої силіконової півформи (описано в п. 3.1.4), ми розбираємо форму та очищуємо всі пластини від залишків силікону, клею та пластиліну за допомогою шпателью. Після цього встановлюємо готову нижню силіконову півформу на пластину та повторюємо складання форми із 4 пластин аналогічно описаному в минулому абзаці.

Якщо зробити півформу занадто низькою, це може призвести до того, що під час запресовування воску в форму вона може порватись, але якщо використати забагато пасти, та форма вийде дуже великою, це буде перш за все, неекономічно та не зручно для тих людей, хто буде працювати з нею, так як може не бути затискачів такого розміру, чи просто не вистачить сил, щоб тримати прес-форму біля інжектора. Висота нашої півформи – 30 мм.

Приблизний час виготовлення двох півформ (без урахування часу твердіння силікону) – 3 год.

3.1.3 Приготування суміші для виготовлення прес-форми

Перед тим, як почати приготування силіконової суміші, потрібно прочитати інструкцію з використання силікону та каталізатора. Ми придбали силіконову композицію «Віксел-451» масою 1 кг та каталізатор УК-3,5, маса 120 г. В інструкції було сказано, що на 100 г пасти потрібно 5,0...6,0 г (мл) каталізатора.

Перед використанням пасту потрібно перемішати до однорідної маси. Відібрати необхідну кількість силікону шпателем в одноразову посудину. Необхідну кількість пасти ми дізнаємось за простою формулою об'єму пр'ямокутного паралелепіпеда:

$$V = a \cdot b \cdot c = 100 \cdot 80 \cdot 27 = 215\,000 \text{ см}^3.$$

де a,b,c – сторони паралелепіпеда.

В такому разі ми беремо 215 г пасти та 10 г каталізатора (рис. 3.3). Додавання великої кількості каталізатора може призвести до того, що форма може поламатись в руках при першому ж вилученні воскової моделі. В іншому випадку, якщо додати замало каталізатора, то форма просто може не затвердіти, в такому разі не тільки не отримаємо форму, а ще й снує небезпека пошкодити модель, якщо вона виготовлена з воску, пластику чи крихкого матеріалу.



Рисунок 3.3 – Приготування силіконової суміші для заливання прес-форми

Підготувивши всі компоненти в одноразових посудинах, ми одразу йдемо до вакуумної установки, щоб не витратити час на транспортування вже залитої силіконової прес-форми. Додаємо до силіконової пасти каталізатор та ретельно перемішуємо до однорідної маси, заливаємо в готову форму з фальшивою пластиліною півформою на дні (ми не промазуємо нічим ні сам виріб «Вікінг», ні шар пластиліну). Вакуумуємо до того моменту, поки бульбашки повітря перестануть виділятися (рис. 3.4), пам'ятаючи, що час початку твердіння форми після додавання каталізатора від 0,5 до 1,5 год при температурі 20 °С. Процес вакуумування зайняв 2,5 хв.

Якщо додати надлишок каталізатора, це прискорить процес твердіння силікону, але форма не встигне добре провакууватись та бульбашки повітря утворять порожнини в формі, особливо на її робочій поверхні. В результаті ці дефекти передадуться на воскову модель, і їх потрібно буде прибирати вже з її поверхні.



Рисунок 3.4 – Дефект поверхні у вигляді бульбашок повітря

Далі залишаємо форму на рівній поверхні до повного затвердіння. Час повного затвердіння – 8 год, час повного набору властивостей – 24 год.

Після того, як було зроблено оснащення із нижньої половини силіконової прес-форми і 4 пластин для заливання верхньої половини силіконової прес-форми, ми повторюємо ті самі кроки, що описані вище.

Загальний час, витрачений на приготування силіконової суміші (не враховуючи час твердіння форм) – 35 хв.

3.1.4 Фінішна підготовка прес-форми

Після того, як було залито верхню половину прес-форми, та після очікування повного затвердіння силікону, ми знову розбираємо пластини, зачищуємо та відкладаємо. Форму необхідно також зачистити та розділити на дві пів-форми. Обрізаємо зайві частини силікону на гранях форми скальпелем та дістаємо статуетку «Вікінг».

Після того, як ми розділили половинки прес-форми, нам потрібно скальпелем прорізати живильники, які були зроблені пластиліном та додати ще один в праву руку фігурки та в ногу (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Готові половини прес-форми для виливка «Вікінг»

Загальна маса силіконової форми складає 430 г.

Загальний час, витрачений на виготовлення форми (з урахуванням часу твердіння половинок прес-форми) – 3 дні.

Якщо все зробити правильно, у виготовленій прес-формі можна отримувати якісні воскові моделі, які будуть потребувати мінімального зачищення, з готовими живильниками для підведення розплаву в ливарну форму.

3.1.5 Виготовлення воскової моделі

Для встановлення оптимального варіанту виготовлення воскової моделі до виробу «Вікінг» ми спробували зробити декілька варіантів підведення воскової модельної композиції у прес-форму:

1. У першому випадку ми підвели 2 живильники до двох ніг.
2. У другому варіанті підвели один масивний ливник до ніг та живильник до ліктя.

3. У третьому випадку встановили два живильники до ніг, до ліктя, щита та зробили перемичку між шоломом та мечем (рис. 3.6).

У перших двох випадках воскові моделі вийшли не цільними: недолиті руки, щит та меч, наявні усадкові раковини. Третій варіант був найкращим, тому він обраний як оптимальний, і з цих моделей в подальшому складали блоки та виготовляли ливарні форми.



Рисунок 3.6 – Оптимальна система розташування живильників у прес-формі для виготовлення воскових моделей виробу «Вікінг»

Опис виготовлення виливка «Вікінг» із мідно-цинкового сплаву буде ідентичний виготовленню другого виливка «Кельт» (детальну інформацію представлено у п. 3.2.4...3.2.7).

3.1.6 Виготовлення виливка «Вікінг» методом заливання легкоплавкого сплаву в силіконову форму

Для методу заливання олов'яно-свинцевого сплаву в силіконову прес-форму ми перш за все вивчили теплові характеристики силіконової прес-форми (табл. 3.1) та виявили, що вона теоретично має витримати навіть багаторазове (до 50 разів) заливання легкоплавкого сплаву з температурою в межах 260...300 °С та при витримуванні в ній виливка протягом 10...15 хв. При температурі 360 °С та витримуванні протягом 76 год під

тиском 0,2 МПа прес-форма, за даними виробника силіконової композиції, починає тріскатись (розриваються полімерні зв'язки).

Плавили сплав у ковші-ложці газовим пальником протягом 5...6 хв та у завчасно закріплену металевими тримачами прес-форму заливали розплав одним потоком, намагаючись не розбризкувати метал та не утворювати завихрень (рис. 3.7). Після того, як ми залишили форму, для кристалізації та достатнього охолодження виливка витримували 15 хв, після чого за допомогою товстих рукавиць розкривали форму та діставали виливок.

Таблиця 3.1 – Фізичні та технологічні властивості силікону

Густина пасти, кг/м ³	1000
Живучість, хв	30...180
Тривалість повного затвердіння, год	8...24
Міцність при розтягуванні, МПа	2,5
Відносне видовження до розривання, %	120...150
Лінійна усадка, %	1,0
Об'ємна усадка, %	3,0
Твердість за Шором (А), ум. од.	45
Термічна стійкість силікону, °С	360 (при витримуванні – 76 год за тиску 0,2 МПа)
Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	2060
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,137



Рисунок 3.7 – Процес заливання металу в силіконову прес-форму

3.1.7 Фінішне оброблення виливка «Вікінг»

Виливок «Вікінг» був відлтий таким методом, щоб зекономити час та витрати на виготовлення таких олов'яних статуеток, тому фінішне оброблення не було необхідним (рис. 3.8).

Із усіх фінішних операцій ми відрізули живильники, які були відлиті разом з виробом та обробили місця їх стикування з поверхнею виробу.



Рисунок 3.8 – Готовий виливок «Вікінг» із олов'яно-свинцевого сплаву

3.2 Оптимізація технологічного процесу виготовлення художнього виливка «Кельт»

3.2.1 Характеристика моделі

Статуетка «Кельт» є пластмасовою моделлю, також виготовленою на Донецькому заводі іграшок, тому як і з виробом «Вікінг» по всій моделі є видима лінія з'єднання двох половин прес-форми для виготовлення іграшки. Висота статуетки – 140 мм, максимальна товщина – 23 мм (тулуб), мінімальна товщина – 4 мм (сокира), 2 мм (щит). Прес-форму для виготовлення моделі цього виливка ми обрали двохкомпонентну: гумова оболонка, яка вкладається у гіпсовий кожух. Враховуючи цю особливість

виготовлення прес-форми, у нас немає можливості одразу зробити воскову модель із живильниками.

Закріплюємо статуетку двома шурупами до пластикової пластини так, щоб вона була статичною у вертикальній позиції (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Закріплена на підставці модель виробу «Кельт»

3.2.2 Підготовка статуетки до виготовлення гіпсової прес-форми

Процес створення гумової оболонки на поверхні виробу є найдовшим та найважливішим у виготовленні даної прес-форми. Якщо перші шари гуми зробити не ретельно, то є небезпека, що відбиток гумової оболонки буде не чітким і воскова копія вийде не якісною. Якщо не слідкувати за тим, як пошарово наносити гумову суміш, то всередині гумової оболонки можуть утворитись бульбашки повітря.

Розпочинаємо з підготовки одноразового посуду для змішування каучуку «Gumosil M» та каталізатора М. Пропорції змішування аналогічні силікону з п. 3.1.3. Також після третього шару гуми на поверхні статуетки нам буде необхідний бинт чи марля: вони будуть слугувати арматурою в цій оболонці, тому одразу нарізаємо на смужки.

Кожен шар, а це 20 г гуми та 0,1 г каталізатора, робимо маленькими замісами, так як час висихання суміші становить 15...20 хв. Розмішавши до однорідної маси каучук та каталізатор, ми починаємо наносити суміш зверху моделі до низу шпателем (рис. 3.10). Повторивши цю дію 3 рази, модель має покритись густим білим шаром, тільки після цього ми зможемо робити шар із бинту.



Рисунок 3.10 – Модель «Кельт» з першим шаром покриття із каучуку

У нашому випадку 3 шарів було достатньо, тому після нанесення 4-го шару каучуку, ми швидко накладаємо на ще липкий шар гуми бинт. Потрібно пройти всю модель, особливо ноги, руки, щит та інші тонкі місця. Бинт допоможе нам у разі руйнування оболонки: якщо вона десь зачепиться і порветься, то бинт буде тримати її суцільною. Після висихання шару із бинтом наносимо ще 2 шари гуми, після чого знову прокладаємо бинт (рис. 3.11). Останній шар робимо тільки з суміші каучуку та каталізатора для того, щоб нитки, які виглядають з оболонки, не створювали додаткового зчеплення під час виготовлення гіпсового кожуху. Якщо одного шару не достатньо, робимо 2 шари або підрізаємо всі нитки, що виступають.

Для виливка «Кельт» нам було необхідно 4 шари покриття гумою та 2 гумою з бинтом. Залишаємо модель на всю ніч для повного висихання гумової оболонки.



Рисунок 3.11 – Модель «Кельт» з 4 шарами каучуку та 2 шарами каучуку з бинтом

Загальний час, який витрачено на виготовлення оболонки (з урахуванням часу сушіння кожного шару) – 3 год.

3.2.3 Приготування гіпсової суміші

Модель, закріплена на пластині і покрита декількома шарами гуми, в такому стані заливається гіпсовою формою. Гуму, яка протекла з пластини під час обмазування статуетки, необхідно підрізати. Складання прес-форми під заливання гіпсовою сумішшю виконано з використанням тих самих пластикових пластин та гарячого клею (рис. 3.12). Розмір прес-форми у плані – 200×130 мм.



Рисунок 3.12 – Закріплена модель «Кельт» в оболонці з каучуку для заливання гіпсовою сумішшю

Замішуємо гіпсову суміш у пластичному контейнері з об'ємом води, необхідним для кристалоутворення гіпсу з метою його затвердіння. Вода має бути кімнатної температури або трошки теплішою, але не гаряча. Крок за кроком гіпс додають до води до тих пір, поки в воді не утвориться гіпсовий острів. Потім, не поспішаючи, перемішуємо гіпс за допомогою шпателя, уникаючи швидких енергійних рухів, щоб не збити гіпс у піну. Щоб вигнати на поверхню бульбашки повітря, необхідно постукувати по стінці контейнера дощечкою чи викруткою.

Встановлюємо підготовлену конструкцію для отримання гіпсової прес-форми на рівну поверхню. Заливаємо гіпсову суміш у форму при постійному обстукуванні. Утворені бульбашки повітря можуть зробити форму дуже пористою і вона досить швидко зруйнується. Також можна уникнути цього, підготувавши арматуру для гіпсової форми. Утворений шар гіпсу має залити рівно половину нашої оболонки (висота – 35 мм).

Залишаємо гіпс твердіти не менше ніж на 1 годину. При твердінні гіпсу відбувається екзотермічна реакція і виділяється тепло, тому бажано залишити форму на всю ніч.

Нижню половину прес-форми, краще почати робити, коли гіпс повністю просохне. Тоді ми знімаємо пластини, відкручуємо шурупи та дістаємо оболонку, зачищаємо пластини від залишків гіпсу та клею та починаємо зачищати верхню половину прес-форми. Краще робити це чимось гострим, але не занадто. У роботі ми використовували старий столовий ніж. Прорізали всі гострі виступи та згладили усі місця, які стикаються з гумовою оболонкою, так щоб вона вільно діставалась із гіпсової половини прес-форми та ставала на місце. Просвердлили центрувальні замки по контуру форми.

Гіпсову половину прес-форми необхідно промазати розділовим покриттям перед тим, як робити другу половину. Як розділове покриття використано розчин бензину з воском, яким змащено всі сторони гіпсової половини прес-форми 3 рази. Після цього дали просохнути розчину та встановили 4 пластикові пластини, щоб закріпити модель із половинкою гіпсової прес-форми.

Приготували гіпсову суміш та залили її для отримання нижньої половинки гіпсової прес-форми. Після повного висихання гіпсової суміші, пів-форми розділено, зачищено пластини та вилучено гумову оболонку. Нам потрібно дістати з неї модель виробу «Кельт». Для цього ми беремо скальпель та по завчасно наміченому контуру починаємо розрізати оболонку. Якщо піти не за контуром, то це утворить ще один зазор на моделі, чого нам не треба, тому потрібно старатись різати за лінією з'єднання, наміченою на поверхні виробу «Кельт» та утвореною під час її виготовлення на заводі іграшок.

Після успішного видалення моделі складаємо гумову оболонку та вкладаємо її в гіпсовий кожух (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 – Готова прес-форма для виливка «Кельт»

Загальна маса форми становить 1,2 кг. Загальний час виготовлення гіпсової форми з гумовою оболонкою – 2,5 дні.

3.2.4 Виготовлення воскової моделі та створення блоку-моделей

Виготовляти воскову модель ми будемо інжекторним способом. Для цього нам потрібно взяти гумову прокладку та пластикову прокладку з отвором посередині, для того щоб через цей отвір запресовувалася воскова модельна композиція до прес-форми. Тиск запресовування обираємо 0,1 МПа. Для проведення досліджень нам необхідно 6 витоплених моделей.

В цілому моделі отримано якісними, проте відмічено залив за розрізом оболонки. Але цей незначний недолік легко усувається під час оброблення воскових моделей.

Модель виливка «Кельт» було виготовлено у комбінованій прес-формі, яка не передбачає виконання інтегрованих живильників. Тому живильники ми закріпили безпосередньо під час складання блоків моделей. Живильники було прикріплено аналогічними трьома способами, як і для виливка «Вікінг». Так само, як і в тих випадках, третій варіант був найраціональнішим.

Під час кріплення до блоку воскових моделей виробів «Вікінг» та «Кельт» було використано додаткові живильники. Ми обрали один із найскладніших варіантів ливникової системи для складання блоку моделей, з метою розташування в одній ливарній формі відразу 4 виливків: два більших виливки «Кельт» та два менших виливки «Вікінг».

Додаткові живильники могли кріпитись до таких частин виробів: до ліктів, щитів, меча, сокири, нижньої частини тулуба (наймасивніша частина виробу), ніг, підставки на ногах, голови, спини, колін та до плечей.

Для виливка «Вікінг» ми обрали додатковий живильник у нижню частину тулуба, а всі інші наявні живильники просто потовщили (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Розташування додаткового живильника для виробу «Вікінг»

Для виливка «Кельт» було вирішено використати два додаткових живильника в щит, два живильника до ніг, один живильник до нижньої частини тулуба, живильник до ліктя правої руки та два живильники до сокири (до рукоятки та до «металевої частини» сокири).

Завдяки вибраним ливниковим системам виливки вийшли якісними та без наявних поверхневих та внутрішніх дефектів.

Блок моделей складається із 2 великих статуеток та 2 маленьких. Фігурки «Кельтів» будуть розташовані знизу спинами один до одного (найраціональніше розташування), а фігурки «Вікінгів» будуть зверху біля

їхніх сокир (рис. 3.15). Опис проектування ливникової системи наведено у п. 2.4.1.



Рисунок 3.15 – Блок витоплюваних моделей

Час на виготовлення воскових моделей, їх зачищення, виконання елементів ливникової системи та складання блоку моделей становить 24 год.

3.2.5 Підготовка та прожарювання форм

Перед прожарюванням форм, ми їх виготовляємо за готовими блоками витоплюваних моделей, використовуючи формувальну суміш Royal Cast. Номінальний час початку твердіння суміші – 8 хв. Якщо на формування піде більше часу, суміш почне твердіти раніше, ніж зможе повністю відтворити конфігурацію моделей. Тривалий процес формування може також призвести до появи заливів на поверхнях виливків через маленькі тріщини і розриви в формі. Якщо формування закінчити швидше, ніж за регламентований час, то формувальна суміш може відокремитись від води, яка піднімається наверх, та на поверхні виливка утворяться витягнуті сліди. У процесі формування ми використовували таймер, що допомогло нам контролювати час.

Навіть у разі обережного перемішування формувальна суміш буде переповнена бульбашками повітря. Ці бульбашки адсорбуються на поверхні моделей. Після витоплювання цих моделей і прожарювання форми ці бульбашки залишають у стінках форми маленькі сферичні заглиблення, які згодом передаються і на поверхні виливка. Якщо на поверхнях виливка буде лише декілька бульбашок, то видалити їх буде легко, проте їх може бути сотні і найчастіше вони скупчуються у важкодоступних місцях.

Найкращий спосіб видалення цих бульбашок – це помістити форми в машину для вакуумування. Суміш потрібно вакуумувати протягом 1,5 хв. Бажано передбачити підйом формувальної суміші та встановити на форму звичайну стрічку паперу діаметром, як форма, і висотою 150 мм.

У промислових умовах прожарювання виконують у муфельних печах, так як вони забезпечують відносно невеликі витрати і дають змогу впевнено контролювати процес. Для процесу прожарювання ми використовуємо додаткове обладнання: довгі щипці, товсті захисні рукавиці, жаростійк сітка із ніхромового дроту, система вентиляції та гачок для опоки.

Форми було розміщено в муфельній печі (див. п. 2.4.2) при кімнатній температурі та увімкнено піч. Перемикач температури встановлено на середнє значення. Якщо температура не регулюється, дверцята печі залишають відкритими. Коли з'являється відчутний запах плавлення воскової модельної композиції або вона починає витікати із форми, піч необхідно перевести на більш високу температуру. При оптимальній температурі прожарювання форма набуває червонуватого кольору. Після цього форму охолоджують на 150...200 °С нижче температури заливання розплаву.

У роботі ми використали п'ятигодинний цикл прожарювання форм (див. табл. 2.3). Перша стадія витримки (150 °С) призначена для витоплювання модельної композиції та видалення залишкової вологи із форми. Друга стадія (350 °С) призначена для плавного проходження поліморфних перетворень високоміцного гіпсу та кристобаліту, які

відбуваються приблизно при одній температурі. Третя стадія (570 °C) – для проходження фазового перетворення кварцової складової наповнювача. Витримка при 750 °C – для остаточного видалення залишків воскової модельної композиції та підготовки форми до заливання. Вказаний режим мінімізує внутрішні напруження у формувальній суміші, підвищує її міцність у прожареному стані та дає змогу уникнути ряду поверхневих дефектів виливків.

Загальний час, який витрачено на підготовку та прожарювання форм, – 24 год.

3.2.6 Плавлення металу та заливання форм

Для виготовлення виливків «Кельт» та «Вікінг» ми обрали мідно-цинковий сплав (див. табл. 2.2) та три температури заливання цього сплаву. Метал плавимо у тигельній печі з графітовим тиглем, використовуючи флюс – тетраборат натрію. Для очищення поверхні розплаву та покращення його робочих властивостей, вистачить 5-6 г флюсу. Якщо перебільшити вказану кількість, це може призвести до появи флюсових вкраплень у виливках та скоротить термін використання тиглю.

При температурі заливання сплаву 1010 °C виливок «Вікінг» був недолитим та спостерігались заливи на масивних частинах, що свідчить про те, що метал був холодний і мав недостатню рідкотекучість. Виріб «Кельт» на перший погляд здався якісним, проте після вибивання форми було виявлено холодні тріщини, які утворились при низьких температурах. Причинами таких тріщин є усадка сплаву, передчасне вибивання з форми, сильні удари при обрубванні та правці.

Температура 1035 °C виявилась найоптимальнішою для виливків «Вікінг» та «Кельт». При цій температурі не було виявлено ливарних дефектів.

Температура заливання 1085 °С, як показало дослідження, виявилась занадто високою, оскільки виливки мають поверхневі пори, плями та усадкові дефекти (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Поверхневі дефекти на виливках

На плавлення металу та заливання форми було витрачено 1 год. На вибивання форми, зачищення блоку виливків та розбирання блоку виливків витрачено ще 2 год.

Для розбирання блоку виливків ми використали шліфмашину кутову Dnipro-M GL-125S (рис. 3.17).



Рисунок 3.17 – Процес відокремлення виливків від ливникової системи

3.2.7 Фінішне оброблення та параметри якості виливків

У процесі виконання науково-дослідницької роботи вирішено основне завдання отримання виливків, які потребують мінімальних витрат на фінішне оброблення. Виливки «Кельт» і «Вікінг», відлиті із латуні при температурі 1035 °С, з розгалуженою ливниковою системою, потребували тільки відпилювання живильників та зачищення цих місць.

Під час порівняння ми встановили, що шорсткість поверхонь першого та другого варіантів виливків «Кельт» (відлитих при 1010 °С та 1085 °С) перевищує 25 мкм, а шорсткість третього виливка (відлитого при 1035 °С) не перевищує 12,5 мкм (рис. 3.18).

Вважаємо, що підвищена шорсткість литих поверхонь може бути пов'язана також із недостатньо тривалістю витримки форми в муфельній печі при температурі 450 °С. Форма прогрілась достатньо добре в місцях, де були розташовані тонкі деталі, проте масивні частини не встигли прогрітись, що забезпечило гірше відтворення поверхні цієї форми розплавом.



Рисунок 3.18 – Модель «Кельт» та її металева копія

Виливок «Вікінг» у всіх трьох варіантах вийшов із шорсткістю литих поверхонь 6,3 мкм. (рис. 3.19). Це обумовлено малими розмірами виробу порівняно із виливком «Кельт» (беремо до уваги, що блок моделей

складався з двох великих та двох маленьких виробів, і вони були залиті разом, при однакових умовах).



Рисунок 3.19 – Модель «Вікінг» та дві металеві копії

3.3 Висновки

1. Досліджено параметри технологічних процесів виготовлення копій художніх виробів методом лиття та виготовлено два представника: «Кельт» із мідно-цинкового сплаву масою 0,468 кг та «Вікінг» із мідно-цинкового сплаву масою 0,073 кг та із олов'яно-свинцевого масою 0,099 кг.

2. Практично встановлено принципову можливість виготовлення виливків із олов'яно-свинцевого сплаву безпосередньо у формах із силікону, що усуває ряд технологічних операцій виготовлення легкоплавких моделей, їх формоутворення, вилучення тощо і значною мірою підвищує точність литих виробів.

3. Проаналізовано вплив різних варіантів підведення металу, температури заливання та температури прожарювання гіпсо-кремнеземистої форми на формування ливарних дефектів та встановлено оптимальні параметри виготовлення якісного литва.

4. Визначено параметри якості литих декоративних виробів «Кельт» і «Вікінг» та показано, що розроблені технологічні процеси забезпечують відсутність ливарних дефектів, шорсткість поверхонь не перевищує 12,5 мкм та 6,3 мкм відповідно, обсяг операцій фінішного оброблення мінімальний, тобто вироби повною мірою мають товарний вигляд у литому стані.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розділ «Охорона праці» внесений до дипломної роботи з метою визначення та аналізування небезпечних факторів на робочих місцях виробничих дільниць. Важливою частиною цього розділу є розроблення заходів та засобів для їх уникнення.

4.1 Загальні характеристики плавильного цеху

Параметри плавильного відділення, в якому відбувалось литво наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри плавильного відділення

№	Назва	Основні характеристики	Кількість
Відділення			
1.	Параметри приміщення	7400мм × 6100мм; S = 46 м ²	-
2.	Кількість працівників	Працівники відділення	2
3.	Природне освітлення	Двокамерний склопакет WDS, 1100мм×1600 мм	1
4.	Штучне освітлення	Світлодіодний підвісний світильник лінійний герметичний led 36 w, 120 см, 6000K, IP65	6

В плавильному відділенні майстерні «ЯРКО» є спеціальне обладнання, інструменти, засоби індивідуального захисту та оснащення, які використовуються під час лиття металу. Обладнання, яке там знаходиться, перераховане в таблиці 4.2, його основні характеристики та розміри, також наведено в таблиці.

Таблиця 4.2 – Специфікація технологічного обладнання плавильного відділення

№	Найменування	Основні розміри Д/Ш/В	Основні характеристики	Кільк	Поз . на рис.
1.	Піч муфельна СНО–8.8.8/11 ТУ У 31.6-30676394.002-2002	800×800×800 мм	- матеріал: метал - вага: 90 кг - потужність: 4 кВт - напруга: 220 В, 50/60 Гц - температура: 1100°С	1	2
2.	Піч плавильна тигельна СМТ-8,3.4.3,5/12,5 (П)	830×400×350 мм	- матеріал: метал - вага: 4,2 кг - потужність: 10 кВт - напруга: 220 В, 50/60 Гц - температура: 1250 °С	1	1
3.	Насос вакуумний 2НВР-5ДМ	550×170×280 мм	- матеріал: метал - вага: 18 кг - потужність електродвигуна: 0,75 кВт - напруга: 220 В, 50/60 Гц	1	4
4.	Компресор повітряний КСТ-24	400×860×750 мм	- матеріал: метал - вага: 55 кг - потужність електродвигуна: 0,34 кВт - напруга: 220 В, 50/60 Гц - робочий тиск: 8 бар	1	3
5.	Вогнегасник типу ВП - 9	585×180 мм	- вага вогнегасної речовини: 9 кг, - витісняюча речовина: вуглекислий газ під тиском	1	5
6.	Датчик диму СПД-3	не більше 100×48 мм	- площа, що покривається: 20 м ²	2	-

План плавильного відділення та позначення обладнання показано на рисунку 4.1.

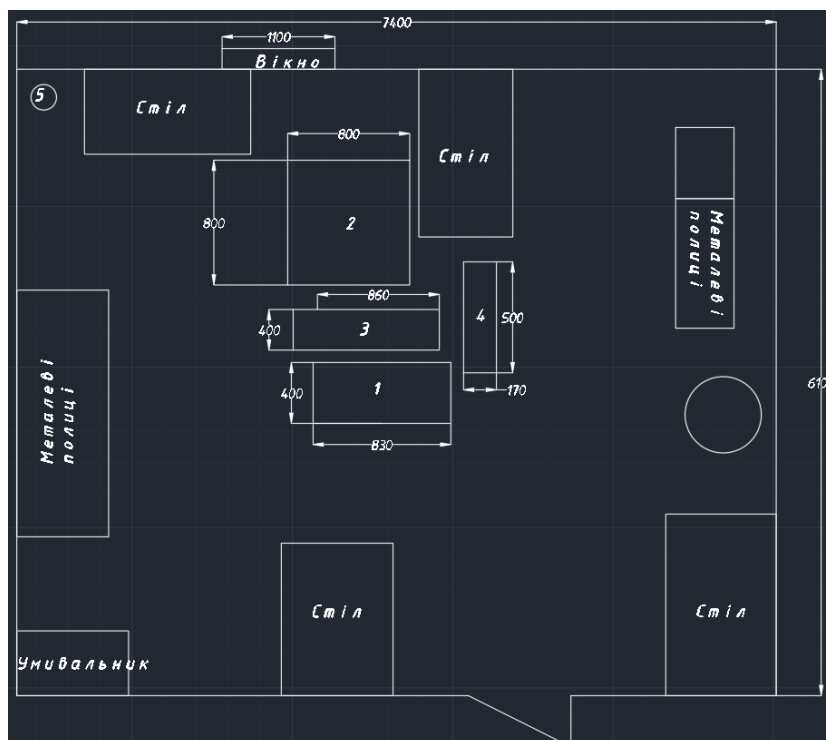


Рисунок 4.1 – План плавильного відділення

Відповідно до СНиП 2.09.02-85 [12], в таблиці 4.3 ми навели порівняння нормативних та реальних параметрів щодо об'єму і площі приміщення на 1 робітника.

Таблиця 4.3 – Реальні та нормативні параметри плавильного відділення

№	Параметри приміщення	Реальні значення	Нормативні значення
1.	Площа на 1 робітника	23 м ²	4,5 м ²
2.	Об'єм на 1 робітника	72,2 м ³	15 м ³
3.	Мінімальна ширина коридору	2,5 м	1,5 м

Відповідно до СНиП 2.09.02-85 [12], встановлено, що висота приміщення має бути 3,2 м, площа нашого відділення $S = 7,4 \times 6,1 = 46 \text{ м}^2$, а об'єм відділення $V = 7,4 \cdot 6,1 \cdot 3,2 = 144,4 \text{ м}^3$. За табл. 4.1, ми бачимо, що в приміщенні працює 2 людини, тому площа на одну людину дорівнює $S_{\text{ч}} = 46/2 = 23 \text{ м}^2/\text{чол.}$, а об'єм – $V_{\text{ч}} = 144,4/2 = 72,2 \text{ м}^3/\text{чол.}$

Можемо зробити висновок, що наше приміщення відповідає вимогам будівель виробничого призначення.

4.2 Джерела фізичної небезпеки і шкідливі фактори

Плавильне відділення є однією з найнебезпечніших ділянок в ливарних майстернях. Так, як там працюють з високими температурами, потрібно правильно підбирати обладнання та оснащення. Ми розглянемо ряд основних небезпек в цьому відділенні (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Шкідливі та небезпечні виробничі фактори при плавильних процесах

Види процесів	Шкідливі виробничі фактори			Небезпечні виробничі фактори		
	випромінювання в оптичному діапазоні (інфрачервоне)	запалення	електричний струм	іскри, бризки і викиди розплавленого металу	нагріті поверхні	системи, які знаходяться під тиском
Прожарювання форм	×	×	×	-	×	-
Плавлення металу	×	×	××	××	×	×
Заливання форм	-	-	-	××	×	××

Нотатки: ××– інтенсивний фактор; × – помірний фактор; (-) – незначний фактор чи його відсутність

4.3 Аналіз критичної небезпеки та шкідливих виробничих факторів, заходи щодо покращення умов праці у плавильному відділенні

4.3.1 Фізичні джерела шкідливих і небезпечних виробничих факторів у плавильному відділенні

4.3.1.1 Теплові фізичні небезпеки

Основні небезпеки для працівників, що можуть виникнути під час плавильних процесів у відділенні, наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Теплові небезпеки під час плавильних процесів

№	Назва обладнання	Джерело	Причини	Наслідки
1.	Піч муфельна СНО–8.8.8/11 ТУ У 31.6- 30676394.002- 2002	Камера печі	Деформація або несправність нагрівального елементу	Отримання фізичних травм
2.	Піч плавильна тигельна СМТ- 8,3.4.3,5/12,5 (П)	Тигель	Пошкодження внутрішнього отвору тигля, його зношення або неправильно встановлений тигель	Опіки та інші тілесні травми

Для уникнення виробничих травм та каліцтв вживаються певні заходи з охорони праці. Основна група цих заходів представлена у таблиці 4.6

Таблиця 4.6 – Заходи для забезпечення охорони праці робітників плавильного відділення

№	Група заходів з охорони праці	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні	Встановлення додаткових захисних кожухів, які будуть захищати нагрівальні елементи з середини камери печі	Уникнення прямого контакту з нагрівальними елементами
2.	Організаційні	Проведення інструктажів та перевірок по технологічному налаштуванню та заміні нагрівальних елементів і тиглів. Вести журнал заміни елементів	Доступність інформації для робітників щодо безпеки використання
3.	Експлуатаційні	Своєчасна заміна будь-яких пошкоджених елементів: тигель, програматор, нагрівальний елемент камери печі, кожух печі	Забезпечення безпечної роботи з піччю
4.	Засоби індивідуального захисту	Рукавички краги зварювальні, фартух брезентовий з ВП просоченням	Забезпечення працівників безпечного користування приладами

4.3.1.2 Системи, які працюють під тиском

Обладнання, яке працює під тиском може становити небезпеку здоров'ю робітників. Ключові небезпеки наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Ключові небезпеки зв’язані з системами, що працюють під тиском

№	Назва обладнання	Джерело	Причини	Наслідки
1.	Насос вакуумний 2НВР-5ДМ	Двигун	Несправність, перенавантаження роботою насоса	Можливість вибуху опоки під тиском, поломка тигельної печі
2.	Компресор повітряний КСТ-24	Лопатки	Деформація або несправність лопаток, скручування	Недійсний компресор, який може зіпсувати не тільки процес лиття, а й вакуумну установку

Для забезпечення безпечної роботи всіх учасників плавильного відділення, ми пропонуємо заходи, які забезпечать охорону праці (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Заходи для забезпечення охорони праці робітників зв’язані з системами, що працюють під тиском

№	Група заходів з охорони праці	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні	Вчасна заміна всіх важливих деталей обладнання: двигуни, лопатки, шланги, трубки.	Уникнення збою в роботі систем, що працюють під тиском
		редуктор тиску повітря	обмеження тиску в системі
		клапан скидання надлишкового тиску в системі ПСК	аварійне скидання надлишку тиску

Продовження таблиці 4.8

		манометр ДМ 05-МП-4У	індикатор тиску
2.	Організаційні	Поставити відповідальних на кожне обладнання та вести журнал заміни елементів	Доступність інформації для робітників щодо безпеки використання
3.	Експлуатаційні	Придбання та заміна лопаток та інших можливо несправних деталей оснащення; заміна масла; проведення заходів з наглядною заміною та використання компресору та насосу	Забезпечення безпечної роботи з піччю

4.3.1.3 Електробезпеки

У плавильному цеху присутні і електричні джерела небезпеки. Їх перелік, назва та причини джерела небезпеки бачимо у таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Електричні джерела небезпеки

№	Назва	Джерело	Причини	Наслідки
1.	Піч муфельна СНО–8.8.8/11 ТУ У 31.6- 30676394.002- 2002	Програматор	Замикання, порушення правил використання	Ураження струмом
2.	Насос вакуумний 2НВР-5ДМ	Електродвигун	Пошкодження ізоляції, порушення правил використання	Ураження струмом

Ми провели порівняння рівнів показників реальних та нормативних значень, які наведені в таблиці 4.10. нормативні значення були взяті з НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів». [13]

Таблиця 4.10 – Реальні та нормативні фактори небезпеки ураження струмом

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1.	Максимальний струм	1 А	0,025 А
		220 В	42 В

В таблиці 4.11 наведено групу технічних, організаційних, режимних та експлуатаційних засобів захисту від настання небезпечної ситуації на робочому місці.

Таблиця 4.11 – Засоби захисту від електротравм

№	Група заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні	Захисне заземлення печей, щоб не виникало статично напруження між вентиляцією та печами	Уникнення контакту з частинами, що під напругою
2.	Організаційні	Проведення інструктажів з електробезпеки; забезпечення робітників засобами індивідуального захисту	Доступність інформації для робітників

Продовження таблиці 4.11

3.	Режимні	Своєчасна перевірка та налаштування програматора в разі збою	Уникнення небажаних проблем при литті
4.	Експлуатаційні	Заміна пошкоджених деталей: двигунів, шлангів, розеток	Забезпечення безпечної роботи з об'єктом

4.4 Хімічні джерела небезпечних та шкідливих виробничих факторів у плавильному цеху

Одним з ключових факторів безпеки в цеху є вплив шкідливих випарів та речовин, які утворились в технологічному процесі при плавленні металу та вибиванні форм. Основні причини наслідки пов'язані з цим перераховано в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Хімічні джерела небезпек

№	Назва	Джерела	Причини	Наслідки
1.	Піч плавильна тигельна	Утворення пилу навкруг печі під час плавлення	Вдихання часток флюсу, що випаровуються	Ризик виникнення проблем з легенями
2.	Готові залиті форми	Розлітання пилу формувальної суміші під час вибивання	Вдихання утворених часток пилу та газів	Ризик виникнення алергій

Зіставивши показники реальних та нормативних значень, ми склали таблицю 4.13, нормативні значення було взято з (ГОСТ 12.1.005-88, СН 245-71). [14,15]

Таблиця 4.13 – Реальні та нормативні фактори небезпек

№	Фактор небезпеки	Реальне значення	Нормативне значення
1.	Пилоутворення від флюсу (натрій тетраборат)	3 мг/м ³	1,5 мг/м ³
2.	Пил формувальної суміші	2 мг/м ³	1 мг/м ³

Враховуючи, що реальні значення є дещо збільшеними, ми пропонуємо групу заходів з охорони праці (табл. 4.15) для мінімізації ризику отримання захворювань.

Таблиця 4.14 – Засоби захисту

№	Група заходів з ОП	Вид заходу	Критерій вибору
1.	Технічні	Встановлення вентиляції з площею в два рази більшої за попередню	Усунення пилу
2.	Організаційні	Забезпечення робітників засобами індивідуального захисту	Запобігання отруєнню
3.	Експлуатаційні	Заміна будь-яких пошкоджених елементів: перемикачів, які контролюють вентиляцію	Забезпечення постійної роботи вентиляції
4.	Засоби індивідуального захисту	Респіратори з клапаном і затискачем БукЗк-фпЗ та захисні медичні маски 4-х шарові	Запобігання отруєнню

Висновки: У цьому розділі розглянуть потенційні небезпеки та загрози для життя та здоров'я робітників плавильного цеху. Описано джерела, причини їх виникнення, та наслідки. Також запропоновано групу заходів їх усунення або зменшення.

5 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Науково-технічна актуальність теми досліджень

Художні вироби з металу є однією з перших складових світової культурної спадщини та водночас важливим показником становлення і розвитку людської цивілізації.

На сьогодні вироби художнього призначення є сталими об'єктами як суспільного, так і приватного життя людини, адже не впливаючи напряду на розвиток економіки, значення їх у культурному становленні народів надзвичайно вагоме.

Хоча процес виготовлення виливків потребує спеціальних навичок та устаткування, проте з металу сьогодні можна відтворити будь-що. Розвиток ливарного мистецтва, особливо із запровадженням комп'ютерних технологій, дає нам можливість виготовлення найскладніших деталей та виробів. Але, зважаючи на техніко-екологічні міркування, не завжди доцільно використовувати високопродуктивне устаткування чи комп'ютерні технології.

Для одиничних художніх виробів такі затрати не ж виправданими, адже вони роблять процес і кінцеву продукцію невиправдано дорогими. В таких випадках звісно набагато простіше створити технологічний ланцюг ручних операцій. Це дозволить зекономити на матеріалах, енергоресурсах, засобах механізації.

У цій дипломній роботі я показую технологію, як створити металеву копію двох художньо-декоративних виробів, виготовлених з полімерного матеріалу.

5.1.1 Мета і завдання науково-дослідницької роботи

Мета нашої роботи: оптимізація технологічних процесів відтворення у металі копій двох художніх виробів за наявними неметалевими оригіналами.

В результаті відповідної мети, було поставлено ряд завдань у наступній послідовності:

1. Проаналізувати наявні технології виготовлення металевих художніх виробів.

2. Вибрати необхідні матеріали та устаткування для здійснення технологічних процесів.

3. Провести розрахунок параметрів теплової взаємодії виливків із ливарною формою, виготовленою із силіконової композиції «Віксел-451» для встановлення можливості лиття у такі форми.

4. Дослідити параметри технологічних процесів виготовлення виливків «Кельт» і «Вікінг» та встановити їх оптимальні значення.

5. На основі розроблених технологій представити точні копії двох художніх виробів.

5.2 Розрахунок витрат на проведення роботи

Щоб дізнатись кошторис науково-дослідницької роботи, необхідно провести розрахунки на основі календарного плану проведення досліджень. Зазвичай, собівартість встановлюють на початку виконання роботи, щоб затвердити замовником та забезпечити повне фінансування досліджень.

Розрахунок усіх витрат на виконання науково-дослідної роботи, пов'язаних з виконанням теми складається з таких етапів:

- розрахунок витрат заробітної плати персоналу;
- єдиний соціальний внесок;

- розрахунок матеріалів та спеціального обладнання, необхідних для дослідницької роботи;
- енергоносії для проведення досліджень;
- вартість послуг сторонніх організацій;
- розрахунок витрат на службові відрядження;
- інші прями невраховані витрати;
- накладні витрати.

5.2.1 Витрати на оплату праці

Розрахунок витрат на оплату праці науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості окремих робіт по темі роботи (табл. 5.1) та їхньої заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах науково-дослідної роботи). [16]

Під час виконання досліджень було задіяно два виконавці: доцент, кандидат технічних наук та інженер-дослідник (бакалавр). Місячні посадові оклади заробітної плати співробітників кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» наведені в табл. 5.2. [16]

Заробітна плата одного з виконавців за день визначається як місячна заробітна плата, поділена на кількість днів в середньому за місяць, тому виходить, що при робочому тижні який складається з п'яти днів, кількість становить 21,2 дні. Значення заробітної плати за день показано в табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Трудомісткість етапів науково-дослідної роботи

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів	
	доцент, кандидат технічних наук	інженер – дослідник (бакалавр)
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	1	3
2. Аналіз науковотехнічних публікацій з теми	2	12
3. Розробка методики проведення роботи	2	2
4. Підготовка прес-форм для виробів	-	7
5. Підготовка моделей до заливання	-	3
6. Виготовлення виливків	-	15
7. Дослідження виливків	2	7
8. Оброблення та обговорення результатів	5	10
Всього	12	59

Величина фонду заробітної плати (ЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати виконавців:

$$\text{ЗП} = 12 \cdot 861,4 + 59 \cdot 377,4 = 32603,4 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн		
		посадовий місячний оклад	середньоденна зарплата	усього за виконавцями
Доцент, кандидат технічних наук	12	18262	861,4	10336,8
Інженер–дослідник (бакалавр)	59	8000	377,4	22266,6
Разом оплата праці науково-дослідної роботи				32603,4

5.2.2 Єдиний соціальний внесок

Єдиний соціальний внесок – це обов’язковий платіж до системи загальнообов’язкового державного соціального страхування. Нормативним законодавством України встановлено, що з 1 січня 2016 р. єдиний соціальний внесок становить 22,0% від заробітної платні.

$$\text{ЄСВ} = 0,22 \cdot \text{ЗП}$$

де ЗП – загальні витрати на оплату праці по темі.

$$\text{ЄСВ} = 0,22 \cdot 32603,4 = 7172,7 \text{ грн.}$$

5.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення виливків були використані наступні матеріали: силікон, гіпс, каучук, мідно-цинковий сплав, олов’яно-свинцевий сплав.

Розрахунок витрат на матеріали (V_M) наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Одиниця виміру	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Силікон «Віксел-451»	кг	0,5	600	300
Гіпс, Г-10	кг	0,5	5,18	2,6
Каучук «Gumosil R»	кг	0,5	650	325
Мідно-цинковий сплав, Л63	кг	1,7	285	484,5
Олов'яно-свинцевий сплав, ПОС60	кг	0,3	445	133,5
Загальні витрати на матеріали				1245,6

Транспортно-заготівельні витрати приймаємо на рівні 10 % від планової вартості загальних витрат на матеріали:

$$T_{\text{в}} = 1245,6 \cdot 0,1 = 124,56 \text{ грн.}$$

У такому разі загальна сума витрат на закупівлю матеріалів та їх транспортування буде становити:

$$V_{\text{м}} = 1245,6 + 124,56 = 1370,16 \text{ грн.}$$

5.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

В дослідженнях використовувались наступні прилади та обладнання: електронні ваги; муфельна піч СНО–8.8.8/11; піч плавильна тигельна СМТ-8,3.4.3,5/12,5 (П); насос вакуумний 2НВР-5ДМ; компресор повітряний КСТ-24. Все це оснащення було придбано раніше і використовується для виконання інших робіт, тому витрати на придбання,

утримання та експлуатацію обладнання відносяться до статті «накладні витрати».

Науково-дослідна робота, була проведена на базі ливарної майстерні «ЯРКО». Окремі службові відрядження не планувались. У виконанні даної дипломної роботи сторонні організації участі не приймали.

5.2.5 Інші прямі невраховані витрати

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10% від врахованих.

$$I_B = 0,1 \cdot (ЗП + ЄСВ + V_M), \quad (5.1)$$

де ЗП – фонд заробітної плати;

ЄСВ – єдиний соціальний внесок;

V_M – повна сума витрат на матеріали.

$$I_B = 0,1 \cdot (32603,4 + 7172,7 + 1370,16) = 4114,6 \text{ грн.}$$

5.2.6 Накладні витрати

До накладних витрат (H_B) включають витрати пов'язані з управлінням організацією-виконавцем теми, витрати на винахідництво і раціоналізацію; витрати на амортизацію основних засобів; витрати на науково-технічну інформацію; витрати на забезпечення нормальних умов праці і техніки безпеки; витрати на оплату послуг банків; податки, збори та інші обов'язкові платежі і витрати тощо. [16]

Розглянемо варіант розрахунку накладних витрат пропорційно сумі прямих витрат на рівні 20 %.

$$H_B = (ЗП + ЄСВ + V_M + I_B) \cdot 0,2,$$

Наразі H_B буде становити:

$$H_B = (32603,4 + 7172,7 + 1370,16 + 4114,6) \cdot 0,2 = 9052,17 \text{ грн.}$$

5.2.7 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість НДР складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних. Результати визначення вартості наведені у табл. 5.4.

Згідно з табл. 5.4 загальна планова калькуляція кошторисної вартості НДР складає:

$$V_{\text{НДР}} = 54313,03 \text{ грн.}$$

5.3 Науково-технічна ефективність роботи

Кінцевим результатом науково-дослідної роботи є отримання якісних художніх виливків.

Для визначення річного економічного ефекту скористаємося бальною системою оцінювання економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки (К1);
- можливість використання результатів розробки (К2);
- теоретичне значення та рівень новизни (К3);

Таблиця 5.4 – Планова калькуляція кошторисної вартості НДР

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1. Витрати на оплату праці	32603,4	Відповідно до розрахунків
2. Єдиний соціальний внесок	7172,7	22,0 % від загальних витрат на оплату праці
3. Матеріали для проведення досліджень	1370,16	Відповідно до розрахунків
4. Енергоносії для проведення досліджень	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
5. Спецобладнання для наукових цілей	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
6. Вартість послуг сторонніх організацій	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку включаються у статтю накладні витрати)
7. Витрати на службові відрядження	–	Відповідно до розрахунків (у нашому випадку не передбачено)
8. Інші невраховані прямі витрати по темі	4114,6	10 % від суми прямих розрахованих витрат по темі
9. Накладні витрати	9052,17	Відповідно до нормативів організації-виконавця теми (у нашому випадку 20 % від суми прямих витрат)
10. Усього витрат по темі	54313,03	Сума попередніх статей

– складність дослідження (К4). [16]

Оцінка визначається добутком всіх коефіцієнтів (Б).

$$Б = К_1 \cdot К_2 \cdot К_3 \cdot К_4;$$

де $К_1$ – важливість розробки;

$К_2$ – можливість використання результатів розробки;

$К_3$ – теоретичне значення та рівень новизни;

$К_4$ – складність розробки.

В нашому випадку оцінка ефективності згідно табл. 5.5 становить:

$$B = 3 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 5 = 450$$

Умовний ефект НДР розраховується за формулою:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot B - E_n \cdot V_{\text{НДР}},$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (може бути в межах 0,1 – 0,3);

$V_{\text{НДР}}$ – сумарні витрати на виконання НДР (підсумок табл. 5.4);

Таблиця 5.5 – Бальна оцінка ефективності НДР

Показник оцінки ефективності НДР	Умовне позначення показника	Характеристики даної роботи	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво	3
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результатами розробки можуть користуватися у різних галузях	10
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність процесів, які оптимізувалися	3
4. Складність дослідження	K_4	Роботу виконує один підрозділ, витрати від 50 000 до 100 000 гривень	5

Умовний ефект виконання НДР буде становити:

$$E_{\text{НДР}}^y = 500 \cdot 450 - 0,2 \cdot 54313,03 = 214137,4 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність НДР визначається коефіцієнтом умовної економічної ефективності E_e , він розраховується за формулою:

$$E_e = \frac{E_{\text{НДР}}}{B_{\text{НДР}}}$$

У нашому прикладі E_e буде становити:

$$E_e = \frac{214137,4}{54313,03} = 3,9$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта ($3,9 > 1$), виконання даної НДР є економічно обґрунтованим.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено параметри технологічних процесів виготовлення копій художніх виробів методом лиття та виготовлено два представника «Кельт» із мідно-цинкового сплаву масою 0,468 кг та «Вікінг» із мідно-цинкового сплаву масою 0,073 кг та із олов'яно-свинцевого масою 0,099 кг.

2. Практично встановлено принципову можливість виготовлення виливків із Sn-Pb сплаву безпосередньо у формах із силікону, що усуває ряд технологічних операцій виготовлення легкоплавких моделей, їх формоутворення, вилучення тощо і значною мірою підвищує точність литих виробів.

3. Проаналізовано вплив різних варіантів підведення металу, температури заливання та температури прожарювання гіпсо-кремнеземистої форми на формування ливарних дефектів та встановлено оптимальні параметри виготовлення якісного литва.

4. Визначено параметри якості литих декоративних виробів «Кельт» і «Вікінг» та показано, що ливарні дефекти відсутні, шорсткість поверхонь не перевищує 12,5 мкм та 6,3 мкм відповідно, обсяг операції фінішного оброблення мінімальний, тобто вироби повною мірою мають товарний вигляд у литому стані.

5. Розраховано техніко-економічні показники і встановлено, що собівартість виготовлення вилівка «Кельт» в умовах індивідуального виробництва становить 500 грн., вилівка «Вікінг» – 350 грн., що робить їх виготовлення економічно доцільним.

6. Розроблено заходи із забезпечення задовільних умов праці в майстерні «ЯРКО» під час виготовлення художнього литва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. МакКрайт Тим Практическое литье: Руководство для мастерской – Омск: Издательский Дом «Дедал-Пресс», 2005. – 162 с.
2. Зотов Б.Н. Художественное литье: Учеб. Пособие для учащихся средних профессионально-технических училищ. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1988. – 304 с.: ил.
3. Литейные свойства металлов и сплавов для прецизионного литья / [Богуслаев В.А., Репях С.И., Могилатенко В.Г. и др.] ; пор ред. С.И. Репях и В.Г. Могилатенко. – [1-е изд.]. – Запоріжжя : АТ «МОТОР СІЧ», 2016.
4. ДиалСофт [Электронный ресурс] / MagmaSoft. – Санкт-Петербург, 2021. – . – Режим доступа : <https://www.dial-soft.ru/magmasoft/>
5. LVLFlow моделирование литейных процессов [Электронный ресурс] / MagmaSoft. – Воронеж, 2019. – . – Режим доступа : <http://lvmflow.ru/liteinie-programmi/obzor-liteynyih-programm/magmasoft/>
6. САПР графика [Электронный ресурс] / ProCAST. – Киев, 2016. – . – Режим доступа : <https://sapr.ru/article/17620>
7. LVLFlow моделирование литейных процессов [Электронный ресурс] / WinCast. – Воронеж, 2019. – . – Режим доступа : <http://lvmflow.ru/liteinie-programmi/obzor-liteynyih-programm/wincast/>
8. LVLFlow моделирование литейных процессов [Электронный ресурс] / LVMFlow. – Воронеж, 2019. – . – Режим доступа : <http://lvmflow.ru/lvmflow/>
9. LVLFlow моделирование литейных процессов [Электронный ресурс] / ПолигонСофт. – Воронеж, 2019. – . – Режим доступа : <http://lvmflow.ru/liteinie-programmi/poligonsoft/>
10. Tech [Электронный ресурс] / Лучшие принципы разработки программ – Москва, 2016. – . – Режим доступа : <https://techrocks.ru/2019/02/10/best-software-engineering-principles/>

11. Технологии программирования [Электронный ресурс] / Офіційний веб-портал В помощь мастеру. – Москва, 2012. – . – Режим доступа : <https://wm-help.net/lib/b/book/4205506485/5>
12. СНиП 2.09.02-85*. Виробничі будівлі.
13. НПАОП 40.1-1.21-98. «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».
14. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
15. СН245-71. «Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий».
16. Гавриш О.А. Методичні рекомендації до розробки економічної частини дипломних проектів і робіт / О.А. Гавриш, В.І. Кривда, С.В. Нараєвський.// – К.: ІВЦ “Політехніка”. – 2010. – 54 с