

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в кокіль виливка
«Кришка» з удосконаленням процесу
проектування ливарного оснащення на основі
поєднання традиційних та адитивних технологій»**

Виконав здобувач вищої освіти II-го

курсу групи ПМ-23М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Олексій КРАВЧЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Кропивницький – 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет
 Факультет Механіко-технологічний .
 Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва .
 Рівень вищої освіти другий (магістерський) .
 Галузь знань 13 Механічна інженерія .
 Спеціальність 131 Прикладна механіка .
 Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
 ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Кравченка Олексія Івановича _____ .

1. Тема роботи: «Розробка технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з удосконаленням процесу проектування ливарного оснащення на основі поєднання традиційних та адитивних технологій» .
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент .
3. Строк подання роботи до захисту: 15.12.2024 р. .
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з удосконаленням процесу проектування ливарного оснащення. Виконати огляд існуючих типів ливарного обладнання для виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів методом лиття в кокіль. Розробити технологію лиття в кокіль виливка «Кришка». Виконати огляд існуючих типів 3Д друку. Дослідити можливості застосування 3Д друку при проектуванні та виготовленні ливарного оснащення. .
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) креслення правої половини кокіля; 3) креслення лівої половини кокіля; 4) креслення плити низу; 5) креслення ливарної форми в зборі..

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Конончук С.В.		
Технологічний	Конончук С.В.		
Науковий	Конончук С.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	30.09.2024	
2	Розрахунки по технологічній частині	10.10.2024	
3	Креслення по технологічній частині	20.10.2024	
4	Розрахунки і дослідження по науковій частині	30.10.2024	
5	Плакати по науковій частині	10.11.2024	
6	Оформлення пояснювальної записки	20.11.2024	
7	Перевірка на анти плагіат	30.11.2024	
8	Оформлення рецензії	10.12.2024	
9	Захист дипломного проекту	20.12.2024	

Дата видачі завдання

«___»_____2024 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____2024 р.

Підпис здобувача

_____ Кравченко О.І.

Анотація

КРАВЧЕНКО Олексій. Розробка технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з удосконаленням процесу проектування ливарного оснащення на основі поєднання традиційних та адитивних технологій. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 62 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Кришка». Досліджено шляхи удосконалення процесу проектування ливарного оснащення на основі поєднання традиційних та адитивних технологій.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з використанням сучасного високопродуктивного ливарного обладнання. На основі аналізу сучасних можливостей 3D друку, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення обґрунтовано необхідність удосконалення процесів проектування та виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій та розроблено рекомендації, які допоможуть прискорити впровадження у виробництво нових виливків із використанням оснащення, виготовленого за допомогою 3D принтера.

Ключові слова: плавильна піч, кокільний верстат, алюміній, виливок, кокіль, ливникова система, підживлювач, адитивні технології, 3D друк.

KRAVCHENKO Oleksiy. Development of the technology of casting in the "Cover" casting mold with the improvement of the process of designing foundry equipment based on a combination of traditional and additive technologies. Qualification work for the second (master's) level of higher education: CNTU, 2024. 62 p.

Foundry equipment is selected and the work of the foundry shop is described. The technology of die casting of the "Lid" casting is developed. Ways of improving the process of designing the foundry equipment based on a combination of traditional and additive technologies are investigated.

The relevance of the work lies in the development of the technology of die casting of the "Lid" casting using modern high-performance foundry equipment. Based on the analysis of modern capabilities of 3D printing, computer technology and software, the need to improve the design and manufacturing processes of foundry equipment based on the use of additive technologies has been substantiated and recommendations have been developed that will help accelerate the introduction into production of new castings using equipment manufactured using a 3D printer.

Keywords: melting furnace, chill machine, aluminum, casting, chill, sprue system, feeder, additive technologies, 3D printing

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	8
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	10
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	10
1.2. Плавильне відділення	11
1.3. Відділення кокільного литва	13
1.4. Відділення відрізання ливників та зачистки виливків	15
1.5. Допоміжні відділення	21
1.6. Висновки по розділу	23
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ ВИЛИВКА «КРИШКА»	25
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на відливки	25
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка	26
2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача	28
2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи	30
2.5. Опис технологічного процесу виготовлення відливка	36
2.6. Опис процесу проектування ливарного оснащення	38
2.7. Аналіз ливникової системи	38
2.8. Висновки по розділу	40
3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВАРНОГО ОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	41
3.1. Застосування адитивних технологій в промисловості	41
3.2. Огляд сучасних видів 3Д друку	45
3.3. Застосування адитивних технологій в ливарному виробництві	51

4.4. Опис процесу проектування і виготовлення ливарного оснащення із застосуванням адитивних технологій	55
3.5. Висновки по розділу	56
ВИСНОВКИ	57
ЛІТЕРАТУРА	59
ДОДАТКИ	62

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво - це ключовий процес, який забезпечує отримання деталей різноманітних форм для багатьох галузей промисловості. Литво є одним з найефективніших способів виготовлення заготовок та готових виробів завдяки своїй доступності та перевагам у механічних властивостях. Завдяки особливостям кристалізації металевого сплаву, виливки мають кращі характеристики порівняно з іншими методами виробництва.

Алюмінієві сплави - це поширений вибір для машинобудування, приладобудування, кораблебудування, автомобільної, авіаційної, хімічної та інших галузей промисловості. Їх висока питома міцність, чудові ливарні властивості, легка обробка різанням та інші переваги роблять алюмінієве литво одним з найпоширеніших видів ливарного виробництва.

Литво в кокіль є одним з найпоширеніших методів лиття алюмінієвих сплавів. Цей метод відзначається високою точністю, низьким рівнем браку, мінімальними припусками на обробку, високою продуктивністю, екологічністю, енергоефективністю, матеріалоощадністю та можливістю автоматизації. Однак, висока вартість матеріалів, обладнання та оснащення є недоліком цього методу.

Тому завдання розробки технологічного процесу лиття в кокіль, розрахунку та проектування ливниково-живильної системи, а також проектування ливарного оснащення є актуальними і потребують ефективних рішень, які ґрунтуються на застосуванні сучасної комп'ютерної техніки, систем автоматизованого проектування та адитивних технологій.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з удосконаленням процесу проектування ливарного оснащення.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розробка технології лиття в кокіль виливка «Кришка»;
- обґрунтування необхідності удосконалення процесів проектування та виготовлення ливарного оснащення на основі аналізу сучасних можливостей 3Д друку, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення;
- розробка рекомендацій щодо удосконалення процесу проектування ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів.

Предмет дослідження – удосконалення процесу проектування ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій.

Практичне значення – розроблені рекомендації дозволяють прискорити виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій від початку проектування 3Д моделі до впровадження металевого модельного комплексу у виробництво до 48 годин.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Кришка», описано процес проектування і виготовлення ливарного оснащення із застосуванням адитивних технологій.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Розташування ливарного цеху є ключовим фактором, який впливає на вартість продукції. Щоб оптимізувати виробництво, необхідно врахувати об'єм та вагу виливків, їх тип, екологічність матеріалів, обладнання та технології. Важливо також забезпечити матеріально-технічні можливості для доставки матеріалів та відвантаження готової продукції, а також наявність енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів. Звісно, не можна забувати про екологічність виробництва.

Оптимальним місцем для ливарного заводу є околиця міста, в промисловій зоні, відокремленій від житлової забудови лісосмугами. Відходи виробництва повинні бути зібрані, перероблені або утилізовані. Промислова зона має мати доступ до електроенергії, газу, централізованого водопостачання та водовідведення. Технічну воду можна отримувати зі свердловин або очищати з місцевих річок. Близькість до житлових районів та сусідніх сіл забезпечує наявність трудових ресурсів. Дорожні вузли та Одеська залізниця сприяють транспортуванню матеріалів, обладнання та продукції. Опалення цеху буде забезпечуватися власною котельнею з водяним опаленням.

Ливарний цех призначений для виготовлення алюмінієвих виливків для сільськогосподарського та автомобільного машинобудування методом лиття в металеві форми. У виробництві використовуються механізовані, автоматизовані або роботизовані одно- чи багатопозиційні охолоджувальні машини. Кокілі можуть мати дві і більше знімних частин, з механізмами для фіксації форми та видалення стрижня. Виливки включають заготовки для деталей гідромашин і агрегатів, таких як кришки, корпуси, втулки, обойми та розпірки для шестеренчастих насосів і гідромоторів.

Режим роботи ливарного цеху залежить від типу металу, обсягу виробництва, продуктивності та особливостей плавильної печі, середньої маси

виливка, а також технологічного процесу. Враховуючи серійність виробництва, ступінь механізації та автоматизації технологічного процесу, номенклатуру лиття, доцільним є двозмінний режим роботи. У разі необхідності технічне обслуговування або ремонт обладнання можуть проводитися в третю зміну.

1.2.Плавильне відділення

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється

Для виготовлення відливок кришка НШ 63Г-4-00-01 використовується сплав АК5М2 ДСТУ 2839-94. Використання цього сплаву забезпечує необхідні механічні властивості (міцність, твердість, відносне видовження) відливок без використання термічної обробки, що значно зменшує собівартість готового виробу без погіршення механічних властивостей та якості відливка. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1. Механічні властивості сплаву наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву АК5М2

Основні компоненти, % за масою					Домішок не більше, %			
Si	Mg	Cu	Mn	Al	Fe	Zn	Ni	Сума
4-6	0,2-0,8	1,5-2,5	0,6-1,2	осн.	1,0	1,0	0,5	2

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву АК5М2

Міцність на розрив не менше, МПа	Відносне видовження не менше, %%	Твердість по Брінелю, НВ
19	0,8	70-110

Алюмінієві сплави - це група металевих матеріалів, що належать до категорії кольорових сплавів. Вони високо цінуються в машинобудуванні завдяки своїм високим властивостям, які роблять їх ідеальними для виготовлення виливків.

Основою алюмінієвих сплавів є алюміній, до якого додаються легуючі елементи для покращення їхньої міцності, твердості, гнучкості та інших характеристик. Ці легуючі елементи діють як модифікатори, що покращують як механічні властивості, такі як міцність на розтягнення та зносостійкість, так і спеціальні властивості, наприклад, оброблюваність різанням та здатність до лиття.

1.2.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Плавку сплаву виконують в тигельній печі опору моделі НО-136. Ємність печі 220 кг. Швидкість плавки 120 – 150 хв. Перед початком плавки тигель печі просушують та фарбують захисним покриттям наступного складу:

- | | |
|------------------|--------|
| 1. Окис цинку | 250 г; |
| 2. Вода технічна | 1 л; |
| 3. Рідке скло | 100 г. |

Перед фарбуванням тигель очищають від бруду та старого покриття, нагрівають до температури 100 – 150 °С. Потім наносять перший шар покриття і просушують тигель при температурі 150 – 200 °С на протязі 10 – 15 хв. Далі наносять другий шар покриття і прокалюють тигель при температурі 750 °С. Стійкість такого покриття 25 – 30 плавок, або 10 – 15 змін. При руйнуванні вогнетривкого покриття тигля його відновлюють.

Завалку шихтових матеріалів виконують згідно розрахунку шихти у наступній послідовності: відходи власного виробництва (ливники, підживлювачі, браковані деталі), що за хімічним складом відповідають готовому сплаву АК5М2, чушковий сплав АК5М2. Лігатури (мідна, марганцева) використовують за необхідності для коригування хімічного складу сплаву.

Для модифікування сплаву використовують препарат EUTEKTAL T200. Використання даного препарату забезпечує подрібнення зерен, покращення структури і, як наслідок, покращення механічних властивостей виливка.

В процесі плавки частина металу втрачається в результаті утворення шлаку, оксидних плівок та угару. Також частина металу втрачається в процесі

розливки у вигляді зливів і сплесків. Втрати при плавці алюмінієвого сплаву АК5М2 в тигельній печі опору моделі НО-136 приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати при плавці алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
АК5М2	4,500		1,610	6,110

1.3. Відділення кокільного литва

Кокільні верстати — це спеціалізоване обладнання, яке використовується в ливарному виробництві для виготовлення відливків з металу. Вони працюють на основі технології лиття в кокілі, що дозволяє отримувати деталі з високою точністю та якістю. Ось кілька ключових аспектів, які варто знати про кокільні верстати:

1. Принцип роботи:

- Лиття в кокіль відбувається шляхом заливання розплавленого металу в металеві форми (кокілі).
- Процес відбувається під дією сили тяжіння, що забезпечує рівномірний розподіл металу в формі.

2. Типи кокільних верстатів:

- Верстати для лиття під тиском: використовуються для виготовлення складних форм з високою точністю.
- Верстати для вільного лиття: застосовуються для виготовлення простіших форм, де точність не є критично важливою.

3. Переваги використання:

- Висока продуктивність: кокільні верстати можуть виготовляти велику кількість відливків за короткий час.
- Якість відливків: забезпечують високу точність і гладкість поверхні.

- Економічність: зменшують витрати на матеріали завдяки повторному використанню форм.

4. Сфери застосування:

- Виробництво автомобільних компонентів.
- Виготовлення деталей для машинобудування.
- Ливарні цехи, що спеціалізуються на кольорових металах.

Кокільні верстати є важливим елементом сучасного ливарного виробництва, що дозволяє досягати високих стандартів якості та ефективності.

Для виготовлення вилівка Кришка НШ63Г використовуються однопозиційні універсальні кокільні машини моделі 82А403 з гідравлічним приводом. Технічна характеристика даної машини представлена в табл. 1.4:

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика кокільної машини мод. 82А403

Параметр, од. вим.	Значення
Продуктивність, відл./год	25
Зусилля запирання форми, т	25
Розміри підкокільних плит, мм	200x800
Хід піддона, мм	530
Розміри кокіля, мм	200x1000x800
Габаритні розміри машини, мм:	
довжина	2860
ширина	1650
висота	1550
Маса машини, т	5

Підготовка кокілів до роботи є важливим етапом у процесі лиття, оскільки від цього залежить якість відливків і ефективність виробництва. Нижче приведені деякі ключові етапи підготовки кокілів:

1. Очищення кокілів: Перед використанням кокілі потрібно ретельно очистити від забруднень, таких як залишки старого металу, пил та інші

забруднення. Це може бути зроблено за допомогою м'якої сухої ганчірки або спеціальних очищувальних засобів.

2. Покриття вогнетривкою фарбою: Внутрішню поверхню кокіля покривають вогнетривкою фарбою. Це допомагає запобігти злипанню кокіля з рідким металом під час заливання. Температура нагріву кокіля перед заливанням зазвичай становить 250-300°C.

3. Нагрівання кокілів: Кокілі можуть бути попередньо нагріті для забезпечення оптимального теплообміну між формою і рідким металом. Це також допомагає зменшити ризик тріщин у відливках.

4. Контроль за станом кокілів: Перед початком роботи важливо перевірити кокілі на наявність тріщин або інших дефектів, які можуть вплинути на якість відливок. У разі виявлення дефектів кокілі слід відремонтувати або замінити.

5. Забезпечення правильного кріплення: Кокілі повинні бути надійно закріплені на ливарній машині, щоб уникнути їх переміщення під час заливання металу.

Ці етапи підготовки кокілів допомагають забезпечити високу якість відливок і ефективність виробничого процесу.

1.4. Відділення відрізання ливників та зачистки виливків

Відрізання ливникової системи — це важливий етап у процесі обробки відливок, який забезпечує видалення елементів, що не є частиною готового виробу. Це може включати ливники, підживлювачі та інші допоміжні елементи, які використовувалися для подачі розплавленого металу в форму. Ось кілька ключових аспектів цього процесу:

- **Методи відрізання:**

Стрічкопильні та дископильні верстати. Ці верстати часто використовуються для точного та швидкого відрізання ливникової системи. Вони дозволяють досягти чистого зрізу без пошкодження основного відливка.

Механообробні верстати. У масовому виробництві можуть використовуватися автоматизовані фрезерні або токарні верстати, які забезпечують високу продуктивність і точність.

- Технологічні аспекти:

Важливо дотримуватися правильних режимів роботи, щоб уникнути перегріву або пошкодження відливків під час відрізання.

Перед початком відрізання необхідно перевірити, чи охололи відливки до безпечної температури.

- Контроль якості:

Після відрізання важливо перевірити якість зрізу, щоб упевнитися, що не залишилися дефекти, які можуть вплинути на експлуатаційні характеристики готового виробу.

- Вплив на подальшу обробку:

Якість відрізання може вплинути на наступні етапи обробки, такі як шліфування або полірування, тому важливо виконувати цей процес акуратно.

Відрізання ливникової системи є критично важливим для забезпечення високої якості готових виробів.

Для відрізання ливникової системи та підживлювачів використовуємо стрічкопильні верстати для різки металу CORMAK BS712R-400V, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.1, а технічна характеристика вказана у табл. 1.5.

Стрічкопильний верстат для різання металу CORMAK BS712R-400V - це надійне і професійне обладнання, яке дозволяє ефективно різати металеві заготовки, у тому числі ливники, підживлювачі. Спеціально розроблена стрічка забезпечує високу точність різання при мінімальних зусиллях, що значно підвищує продуктивність роботи.



Рис. 1.1. Стрічкопильний верстат CORMAK BS712R-400V

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика стрічкопильного
верстата CORMAK BS712R-400V

Висота верстата з встановленими лещатами	600 мм
Кількість швидкостей	4
Макс. діаметр різки заготовок квадрат 0°	180x180 мм
Макс. діаметр різки заготовок коло 0°	180 мм
Макс. діаметр різки заготовок прямокутник 0°	180x210 мм
Напруга мережі	380 В
Потужність двигуна	1100 Вт
Тип живлення	Від мережі
Тип натягу	Механічне
Тип регулювання	Гідравлічний
Тип управління	Гравітаційне
Товщина стрічкового полотна	0.9 мм
Швидкість подачі	50 м/хв
Швидкість різання	34 м/хв; 41 м/хв; 59 м/хв; 98 м/хв
Тип оброблюваного матеріалу	Метал
Тип різки	Горизонтальний; Вертикальний
Максимальний розмір заготівлі коло 45°	130 мм
Максимальний розмір заготовки квадрат 45°	130x130 мм
Максимальний розмір заготовки прямокутник 45°	140x90 мм
Довжина пильного полотна	2360 мм
Ширина пильного полотна	20 мм
Кут нахилу	45°

Стрічкопильні верстати відіграють важливу роль у ливарному виробництві, забезпечуючи ефективне та точне різання металевих заготовок, які використовуються для виготовлення відливків. Вони здатні обробляти великі обсяги матеріалу за короткий час, що є критично важливим для масового виробництва. Завдяки тонкій пильній стрічці, ці верстати забезпечують чисті та

точні зрізи, що зменшує відходи матеріалу і покращує якість готових виробів. Стрічкопильні верстати можуть використовуватися для різання різних типів металів, включаючи чорні та кольорові метали, що робить їх ідеальними для різних ливарних процесів. Багато сучасних стрічкопильних верстатів оснащені автоматизованими системами, що дозволяє зменшити ручну працю та підвищити ефективність виробництва. Стрічкопильні верстати використовуються для попереднього різання металевих заготовок, які потім підлягають ливарному процесу. Після лиття, відливки часто потребують додаткового різання для видалення ливникової системи та інших елементів, що не є частиною готового виробу. Використання стрічкопильних верстатів дозволяє зменшити витрати на матеріали завдяки точному різанню та зменшенню відходів. Швидкість різання дозволяє зменшити час обробки заготовок, а чисті зрізи зменшують потребу в подальшій обробці, що підвищує загальну якість продукції. Можливість налаштування верстатів під різні типи матеріалів і форми робить їх гнучкими та універсальними. Стрічкопильні верстати є незамінними в ливарному виробництві, оскільки вони забезпечують високу продуктивність і якість обробки.

Зачистка виливків - це важливий етап у ливарному виробництві, який забезпечує якість готових виробів. Цей процес включає видалення залишків ливникової системи, облоя, заусенців та інших дефектів, що виникають під час лиття. Для цього використовують різні методи, наприклад, гідравлічне очищення, де вода під високим тиском видаляє пісок та інші забруднення з поверхні виливків. Це ефективний метод для очищення виливків складних форм. Також використовується механічна зачистка, що передбачає застосування абразивних та металевих кругів для обробки поверхні виливків, що дозволяє досягти високої якості обробки та підготовки до подальших етапів. У деяких випадках виливки піддаються термічній обробці, що допомагає зменшити напруги в матеріалі та покращити його механічні властивості. Після завершення процесу зачистки

проводиться контроль якості готових виливків на наявність дефектів, що дозволяє забезпечити відповідність виробів технічним вимогам. Зачистка виливків не лише покращує їх зовнішній вигляд, але й підвищує їх експлуатаційні характеристики. Це важливий етап, який впливає на подальшу обробку та використання готових виробів.

Для фінішної очистки виливків використовуємо обдирно шліфувальні верстати (рис. 1.2, табл. 1.7). Обдирно-шліфувальний верстат 3М634 призначений для зачищення та обдирки виливків від облоя, залишків ливниково живильної системи, заусенців та інших виступів. Також на даному верстаті можна виконувати різноманітні слюсарні роботи – зняття задирок, фасок, обдирки литників, заточування металорізального деревообробного та іншого інструменту, точіння та профілювання металевих матеріалів, тощо.



Рис.1.2 - Обдирно-шліфувальний верстат 3М634

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика обдирно-шліфувального верстату

Характеристика	Величина	Одиниці
Кількість шліфувальних кругів	2	шт
Діаметр круга	400	мм
Максимальна ширина круга	40	мм
Посадковий діаметр круга	203	мм
Висота центру круга від підлоги	850	мм
Відстань між кругами	700	мм
Частота обертання шпинделя	1398	об/хв
Маса виливків	20	кг
Живлячий струм	380	В
Потужність двигуна	2,8	кВт
Годинна продуктивність	0,3...0,5	т/год
Габарити верстата	900x600x1200	мм
Маса	450	кг

1.5. Допоміжні відділення

1.5.1. Дільниця ремонту і футеровки ковшів

Ремонт і футерування ковшів є ключовими процесами в ливарному виробництві, що забезпечують тривалу експлуатацію та безперебійне функціонування обладнання. Дільниця ремонту і футеровки ковшів відповідає за відновлення цілісності та захисту ковшів від руйнування, що виникає внаслідок контакту з розпеченим металом.

Футерування ковшів полягає у створенні захисного шару всередині ковша, який складається з вогнетривких матеріалів, таких як шамотна цегла, шамот мелений, пісок, зв'язуючі матеріали, вогнетривкі обмазки та покриття. Цей шар захищає метал ковша від руйнування та забезпечує його тривалу експлуатацію.

Ремонт ковшів включає в себе заміну пошкоджених ділянок футеровки, заварювання тріщин та дірок, а також вирівнювання деформацій. Процес ремонту та футеровки ковшів є складним і вимагає високої кваліфікації від фахівців.

Після ремонту ковші просушують при температурі цеху на протязі 8 – 12 год. Після висушування ковші прокалюють газовим пальником при температурі 600 – 800 °C на протязі 1 – 2 год. До повного випаровування вологи.

Завдяки своєчасним ремонтним роботам та якісному футеруванню ковші здатні витримувати високі температури та агресивне середовище, забезпечуючи безперебійне функціонування ливарного виробництва.

1.5.2 Склад модельного оснащення

Склад модельного оснащення – це невід'ємна частина процесу лиття в кокіль, розташований поруч з відділенням лиття для зручного доступу до кокілів. Зберігання кокілів на стелажах у зібраному вигляді забезпечує їх легку ідентифікацію та використання. Кожен кокіль розміщується навпроти робочого місця, де він буде встановлюватись, що оптимізує робочий процес.

Поруч зі складом розташована модельно-ремонтна майстерня, де проводяться ремонти кокілів, що є ключовим фактором для підтримки їх ефективності та довговічності. У майстерні використовуються різноманітні металообробні верстати, такі як шліфувальний, токарний, фрезерний, свердлильний, а також ручний металообробний інструмент та слюсарний інструмент.

Завдяки цьому широкому спектру інструментів, майстерня забезпечує обробку, ремонт та налаштування кокілів, що гарантує їх високу якість та надійність у процесі лиття.

1.5.3. Лабораторії, службові та побутові приміщення

Лабораторія спектрального аналізу та відділ технічного контролю є важливими складовими частинами ливарного цеху.

Лабораторія спектрального аналізу розташована біля плавильного відділення і використовується для проведення аналізу матеріалів, що підлягають плавленню, що дозволяє контролювати якість сплаву.

Відділ технічного контролю знаходиться біля складу готової продукції і оснащений обладнанням для дослідження механічних властивостей матеріалів, вимірювальним інструментом, засобами контролю параметрів технологічних процесів, такими як: Термопари, Секундоміри, Аналітичні ваги. Цей відділ забезпечує контроль якості готової продукції та технологічних процесів.

Адміністративні приміщення розташовані в одній будівлі з ливарним цехом і включають приміщення: Начальника цеху, Головного металурга, Технолога, Енергетика, Кімната майстрів, Технологічне бюро

Побутові приміщення рівномірно розподілені по периметру цеху, що забезпечує комфорт для працівників.

Ця організація допомагає забезпечити ефективність роботи ливарного цеху, контроль якості продукції та комфорт працівників.

1.6. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного відділення, відділення кокільного литва, відділення відрізання ливників та зачистки виливків, допоміжні відділення – дільниця ремонту і футеровки ковшів, склад модельного оснащення, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.

3. Для плавки металу було обрано електричні тигельні печі опору НО-136 ємністю 220 кг. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики.

4. Для виготовлення виливків вибрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики кокільної машини. Описано процес підготовки кокілів до роботи.

5. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат CORMAK BS712R-400V. Зачистка виливків від залишків ливників , облою виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

ВИЛИВКА «КРИШКА»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на відливки

Деталь кришка – НШ63Г-4-00-01 виготовляється литтям в кокіль з алюмінієвого сплаву марки АК5М2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву подані в розділі 1 таблиці 1.1 і 1.2.

Габаритні розміри деталі 207x145x35 (див. креслення деталі).

Згідно конструкції насосу кришка призначена для закриття отвору корпусу насосу, який служить для переміщення масла по гідросистемі. Виходячи з цього, кришка має овальну форму. Для зменшення металоємкості виробу, а також для надання відливку додаткової міцності на кришці передбачено ребра жорсткості. Загалом конструкція кришки досить проста. Привалочна до корпусу поверхня кришки плоска. Отвори під болти кріплення не проливаються, а отримуються в деталі механічною обробкою. Використання стержнів при литті даного вилівка не потрібне.

Максимальна товщина стінки відливка 35 мм, мінімальна 13 мм.

Відливаються шість ребер жорсткості і технологічна решітка, які отримуються за допомогою металевої вставки. Технічні вимоги допускають на поверхнях, що не оброблюються одиничні раковини, шлакові включення, забруднення та інші дефекти в кількості не більше 5 штук на деталь, діаметром не більше 2 мм і глибиною не більше 1,5 мм. Базові поверхні А і Б повинні бути чистими без ужимин і одутостей. Загальна пористість не повинна бути вище еталону № 2 шкали пористості по ДСТУ 3015-95, а зональна не вище бала 3 шкали пористості по ДСТУ 2839-94.

З метою вирівнювання товщини стінки відливка, що дає можливість ліквідувати термічні вузли і концентрацію ливарних напруг, технологія отримання відливка передбачає виготовлення останнього литтям в кокіль. При чому виливається одночасно одна деталь. Це дає можливість спростити засоби для механічної обробки.

Зовнішня поверхня відливка залежить від внутрішньої поверхні кокілю а внутрішня поверхня в свою чергу оформляється блоком формоутворюючих і вставок.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

Розробка технологічного процесу виготовлення відливка включає в себе: визначення положення відливка в формі лінії роз'єму форми, розміщення підживлювача, визначення місця підводу металу.

Положення відливка в формі визначається конструкцією деталі. Найкращим вважають таке положення відливка, яке забезпечує отримання точних розмірів, виключає брак по газовим і усадочним раковинам.

Відливки має просту зовнішню поверхню, що обробляється. Для забезпечення однакових властивостей відливка, раціонального розміщення підживлювача і направленої затвердіння, а також щоб звести число ліній роз'єму до мінімуму приймаємо:

1. Положення відливка в кокілі на торець так, що поздовжня вісь відливка паралельна вертикальній лінії роз'єму.

2. Підживлювач встановлено в нижній частині плоскої поверхні, що обробляється для забезпечення вільного підживлення відливка і направленої затвердіння.

3. Постановку ребер жорсткості проводити знизу, а вставки монтуються на кокільній плиті низу.

Таким чином, положення відливка в формі, місце знаходження підживлювача і лінії роз'єму дає такі переваги:

1. Відливки легко видаляється з кокілю, що здешевлює його виготовлення.

2. Відливки не має виступаючих частин, що зменшує число стержнів до мінімуму а також спрощує виготовлення внутрішньої поверхні кокілю.

3. Відливок має ливарні ухили на механічну обробку з внутрішньої сторони 3 мм і з зовнішньої сторони також 3 мм.

4. Відливок виготовляється в кокілі з простою лінією роз'єму (вертикальною), що збільшує стійкість кокілю.

5. Конструкція відливка забезпечує рівномірне охолодження.

6. Відсутні гострі внутрішні кути, глибокі отвори малого діаметру, що спрощує внутрішню поверхню кокілю.

7. Базова частина відливка розміщена в одній частині кокілю, що забезпечує точність його розмірів.

8. З аналізу конструкції деталі слідує, що:

а) деталь має просту поверхню;

б) деталь має різні отвори, тому конструкція відливка змінена і дещо відрізняється від конструкції окремої деталі. Це полегшує виготовлення відливків з застосуванням складних стержнів, а головне окремі деталі відливка легше обробляються.

2.2.1. Вибір припусків на механічну обробку. Величина припуску на механічну обробку залежить від роду сплаву, що заливається, розмірів відливка, точності виготовлення, положення в кокілі, складності конфігурації.

Припуски на механічну обробку приймаємо [2]:

- зовнішні бокові поверхні - 3 мм;

- верхні поверхні - 3 мм.

Допуски на розміри відливка:

до 40 мм $\pm 0,5$ мм;

41 - 100 мм $\pm 0,5$ мм;

101 - 250 мм $\pm 0,7$ мм.

Ухили стержнів для вільного видалення стержнів при вибивці приймаємо 3°.

2.2.2. Припуски на усадку. Під припуском на усадку розуміють збільшення всіх лінійних розмірів кокілю на величину усадки матеріалу відливка. Припуск на усадку виражається у відсотках від розмірів відливка. З урахуванням матеріалу відливка (алюмінієвий сплав АК5М2) усадку приймаємо 1,8 – 1,9 %.

2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача

Одним із важливих етапів розрахунку підживлювача є визначення його оптимальної конфігурації виходячи з того, що підживлювач слугує резервуаром рідкого металу та забезпечує живлення відливка. Розрахунки показують, що найкращою формою горизонтального перерізу підживлювача в даному випадку є коло. Розрахунок виконують з урахуванням наступних положень: час твердіння підживлювача повинен бути більше часу твердіння підживлюємого вузла; об'єм підживлювача повинен бути достатнім для компенсації усадки рідкого металу при затвердінні; усадочна раковина не повинна виходити за межі підживлювача і досягати його шийки.

Об'єм усадочної раковини визначають за формулою:

$$V_P = \beta \cdot (V_{відл} + V_n), \quad (2.1)$$

де $V_{відл}$ - об'єм відливка, см^3 ;

V_n - об'єм підживлювача, см^3 .

$$V_{відл} = (\pi \cdot r^2 + a \cdot d) \cdot h, \quad (2.2)$$

де r – радіус відливка, $r = 14,5$ см; $a = 6,5$ см, $d = 14,4$ см – проміжні розміри;

h – висота відливка, $h = 3,5$ см.

$$V_{відл} = (3,14 \cdot 14,5^2 + 6,5 \cdot 14,5) \cdot 3,5 = 2640,5 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм підживлювача:

$$V_n = \frac{\beta}{k} \cdot V_{відл}, \quad (2.3)$$

де $\beta = 0,035 \dots 0,08$ - коефіцієнт;

$$k = 0,25$$

$$V_n = \frac{0,065}{0,25} \cdot 2640,5 = 686,5 \text{ см}^3$$

$$V_p = 0,065 \cdot (2640,5 + 686,5) = 216,25 \text{ см}^3$$

Приймаємо підживлювач овальної форми за специфіки конструкції відливка.

Приймаємо $a=15,0$ см, $b=7,5$ см [3], тоді висота підживлювача:

$$h = \frac{V_p}{a \cdot b}, \quad (2.4)$$

де a - довжина підживлювача, см;

b - ширина підживлювача, см.

$$h = \frac{216,25}{15 \cdot 7,5} = 2 \text{ см.}$$

З урахуванням зменшення об'єму підживлювача за рахунок округлень приймаємо висоту підживлювача 50 мм.

2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи

Приймаємо нижню ливникову систему, так як вона рекомендується для відливків подібної форми і в найбільшій мірі забезпечує спокійне заповнення форми виключаючи спінювання, розбризкування та окислення розплаву, добре затримує неметалеві включення, що знаходяться в розплаві і можуть потрапити у форму, сприяє задовільній заповнюваності і послідовному витискуванню повітря та газів із порожнини форми. Нижня ливникова система легко відділяється при обрубці, витрата металу на неї менша ніж на вертикально - щільову систему.

Таким чином, нижня ливникова система в залежності від конкретних розмірів відливка і умов лиття повністю чи частково виконує три основні функції: заповнюємість, ламінарність, шлакозатримку. Вона в найбільшій мірі відповідає вимогам, що пред'являються до ливникових систем, і отримала найбільше розповсюдження при литті відливків із легких сплавів.

Визначаємо вихідні данні:

Виходячи з маси відливка 2,780 кг та висоти 3,5 см орієнтовно задаємо співвідношення:

$$F_c : F_k : F_{ж} \quad (2.5)$$

де F_c - площа перерізу стояка, см²;

F_k - площа поперечного перерізу колектора, см²;

$F_{ж}$ - площа поперечного перерізу живильника, см².

Визначаємо висоту стояка:

$$h_c = h_{відл} + h_{нід}, \quad (2.6)$$

де $h_{відл}$ - висота відливка, см;

$h_{нід}$ - висота підживлювача, см.

$$h_c = 3,5 + 5 = 8,5 \text{ см.}$$

Виходячи із залежності між висотами стояка і чаші, приведений на стор.113 [3] для $h=100$ мм приймаємо висоту чаші $H_q = 40$ мм.

Розраховуємо початковий гідростатичний напір по формулі:

$$H_o = h_q + h_c, \quad (2.7)$$

де h_q - рівень розплаву в чаші, мм; приймаємо $h_q = 35$ мм;

h_c - висота стояка, мм.

$$H_o = 65 + 35 = 100 \text{ мм.}$$

По кресленню відливка знаходимо площу перерізу А-А на рівні підводу розплаву.

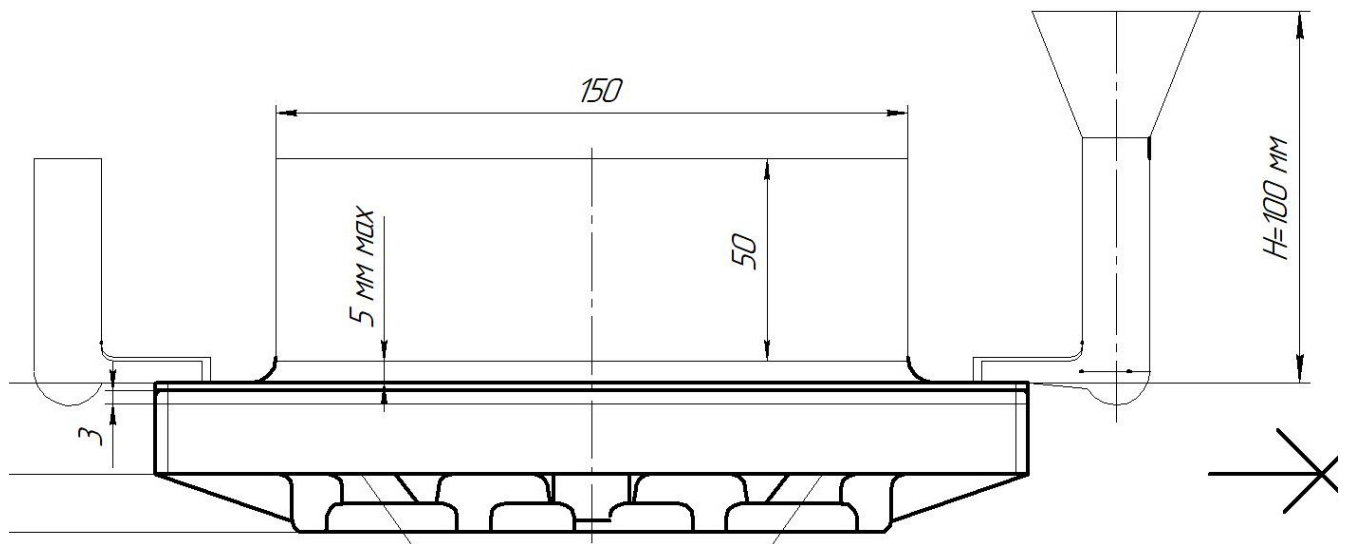


Рис. 2.1. Схема до розрахунку ливникової системи.

$$F_\phi = \pi \cdot r^2 + a \cdot b, \quad (2.8)$$

де r - радіус відливка, см;

a, b – розміри прямокутної ділянки посередині, см.

$$F_{\phi} = 3,14 \cdot 7,5^2 + 6,5 \cdot 14,5 = 150,5 \text{ см}^2.$$

Знаходимо середній розрахунковий напір по формулі:

$$H_p = H_0 - \frac{h_{\text{відл}}}{2}, \quad (2.9)$$

де H_0 - розрахунковий гідростатичний напір, см;

$h_{\text{відл}}$ - висота відливка, см.

$$H_p = 10,0 - \frac{3,5}{2} = 8,25 \text{ см.}$$

Визначення розрахункової швидкості руху розплаву по стояку.

По номограмі рис.69 [3] для бокової ливникової системи (тип Л-2А):

$d_{\text{ст}} = 0,016$ м - діаметр стояка в нижньому перерізі;

$H_0 = 0,1$ м - початковий гідростатичний напір;

$L_k = 0,0$ м - довжина колектора;

$n=1$ - кількість живильників.

Для $F_c: F_k: F_{\text{жс.}} = 1 : 2 : 3$, швидкість руху розплаву $V_c = 1,3$ м/с.

Максимально допустима швидкість руху розплаву визначається по таблиці 24 [3] $V_{\text{стmax}} = 1,86$ м/с.

Відливки по конфігурації відносяться до категорії простих, тому витрату розплаву визначаємо за формулою:

$$Q_{\phi} = R \cdot P_{\phi}, \quad (2.10)$$

де $R = 2...6$ - коефіцієнт заповнюваності. Приймаємо $R = 2$;

P_ϕ - периметр перерізу форми в місці підводу розплаву:

$$P_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot a, \quad (2.11)$$

$$P_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 7,5 + 2 \cdot 6,5 = 60,1 \text{ см},$$

$$Q_\phi = 2 \cdot 60,1 = 120,2 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Визначаємо середню швидкість підйому розплаву у формі, за формулою:

$$V_\phi = \frac{Q_\phi}{F_\phi}, \quad (2.12)$$

де Q_ϕ - витрата розплаву, $\text{см}^3/\text{с}$;

F_ϕ - площа перерізу відливка, см^2 .

$$V_\phi = \frac{120,2}{150,5} = 0,78 \text{ см/с}$$

По табл. 7 [3] для відливка товщиною $\sigma_{\text{від}} = 35 \text{ мм}$ і висотою $h_{\text{від}} = 35 \text{ мм}$ знаходимо мінімальну швидкість підйому розплаву $V_{\phi \text{ min}} = 0,45 \text{ см/с}$.

Оскільки $V_\phi > V_{\phi \text{ min}}$, то заповнюваність форми буде забезпечено.

Визначаємо площу перерізу стояка за формулою:

$$F_c = \frac{Q_\phi}{V_c}, \quad (2.13)$$

де Q_ϕ - витрата розплаву, $\text{см}^3/\text{с}$;

V_c - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку, см/с .

$$F_c = \frac{120,2}{63,25} = 1,9 \text{ см}^2.$$

Визначаємо діаметр стояка:

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c}{\pi}}, \quad (2.14)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,9}{3,14}} = 1,56 \text{ см},$$

Приймаємо $D_c = 16 \text{ мм}$.

Оскільки при вільному падінні течії розплаву в стояку її швидкість збільшується то переріз течії постійно зменшується зверху вниз. Якщо вертикальному каналу не надати конусність, то при заливці в стояку буде відбуватись підсмоктування повітря через роз'єм форми. При цьому самим небезпечним є верхній переріз стояка.

Для каналу круглого перерізу:

$$d_{cv} \geq d_{ch} \sqrt[4]{\frac{\mu_c^2 \cdot H}{\mu_r^2 \cdot h_r}}, \quad (2.15)$$

де d_{cv} , d_{ch} - відповідно, діаметри верхнього і нижнього перерізу стояка, мм;

$\mu_c = 0,25 - 0,95$ - коефіцієнт витрати системи в нижньому перерізі стояка;

H – гідростатичний напір, см;

$\mu_r = 0,98$ – коефіцієнт витрати системи в ливниковій чаші.

$$H = h_c + h_r, \quad (2.16)$$

де h_c – висота стояка, см;

h_r – висота рівня металу в чаші, см.

$$H = 6,5 + 3,5 = 10 \text{ см};$$

$$d_{cv} \geq 14 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,6^2 \cdot 10,5}{0,98^2 \cdot 5,2}} = 15,9 \text{ мм.}$$

Виходячи з раніше прийнятого співвідношення $F_c: F_k: F_{ж}$, по табл 25 [71] для $F_c = 1,9 \text{ см}^2$ (ближнє значення $F_c = 2,0$) знаходимо сумарну площу перерізу колектора рівну $F_k = 3,08$ і його розміри, довжину a - 18,5 мм; ширину $b=17,5$ мм; висоту $h = 18,5$ мм.

Визначаємо фактичну швидкість потоку в колекторі за формулою:

$$V_k = V_c \cdot \frac{F_c}{F_k}, \quad (2.17)$$

де V_c - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку, см/с;

F_c - площа перерізу відливка, см^2 ;

F_k - площа перерізу колектора, см^2 .

$$V_k = 130 \cdot \frac{1,7}{4} = 55,25 \text{ см/с.}$$

Максимально допустима швидкість визначається за формулою:

$$V_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k}, \quad (2.18)$$

де R_k - площа поперечного перерізу колектора, см^2 .

$$V_{\kappa \max} = \frac{42}{0,4} = 105 \text{ см/с.}$$

Оскільки $V_{\kappa} < V_{\kappa \max}$, то умова спокійного протікання розплаву в колекторі буде забезпечена.

Враховуючи, що $F_{\text{жс}} = 3F_c$, приймаємо $F_{\text{жс}} = 3 \cdot 2,0 = 6,0 \text{ см}^2$.

Товщину живильника приймаємо рівною $\delta_{\text{ж}} = 6 \text{ мм}$

Знаходимо висоту живильника:

$$c = \frac{F_{\text{жс}}}{\delta_{\text{ж}}}, \quad (2.19)$$

де $F_{\text{жс}}$ - площа перерізу живильника, см^2 ;

$\delta_{\text{жс}}$ - товщина живильника, см .

$$c = \frac{6}{0,6} = 10 \text{ см.}$$

2.5. Опис технологічного процесу виготовлення відливка

Технологічний процес виготовлення відливка в кокіль включає в себе такі операції: збирання кокілю, підготовка кокілю до роботи, заливка кокілю, охолодження відливка, видалення відливка, очистка і контроль якості відливка.

1. Відливка кришка НШ63Г-4-00-01 виготовляється в кокілі, який монтується на одно позиційну гідравлічну машину моделі 82А403, кокіль монтується на штоки бокових гідро циліндрів та на направляючі. Також вмонтовані вставки.

2. Після збирання кокілю проводиться його розігрів до температури 250...300 °С з допомогою пальника.

3. На розігрітий кокіль наноситься фарба GILLOLIN AL223

пульверизатором. Це протипригарна тепло ізолююча фарба у вигляді порошку. Матеріал виготовлення фарби - оксидна кераміка і графіт. Для нанесення фарби на кокіль, необхідно розвести її водою в пропорції 1:5. Фарбу наносити в два етапи з просушуванням після нанесення першого шару на протязі 2-3 хв. Рекомендований шар фарби - 0,2 мм. В процесі роботи в разі потреби проводити повторне фарбування.

4. Після просушування кокілю, за допомогою гідроприводу машини, кокіль закривається і встановлюються в необхідне положення напівформи. Можна проводити заливку металу.

5. Метал - алюмінієвий сплав АК5М2 (хімічний склад, механічні властивості вказані в розділі 1 таблиця 1.1, 1.2). Температура заливки сплаву 720 °С Сплав заливається в форму ковшем ємністю 10 кг.

6. Після охолодження і повного затвердіння відливка за допомогою гідроприводу видаляються стержні з відливка і кокіль розкривається.

7. Відливок знімаються з кокілю захопивши кліщами за підживлювач і скидають у тару. Після заповнення тари вона транспортується цеховим транспортом на очисну ділянку.

8. На очисній ділянці відливки цеховим транспортом подаються на робоче місце біля стрічкочисного верстата для відділення підживлювачів. Залишок від підживлювача допускається висотою до 5 мм.

9. Після очистки відливки подаються цеховим транспортом на естакаду очисної ділянки для пред'явлення ВМТК. Контроль відливоків вибірковий. Контролюються такі параметри:

- твердість (90... 110 НВ) заміряється в частині підживлювача по центру відливка на приладі ТШ-2 при діаметрі шарика 10 мм, навантажені 1000 кгс та витримці 30 с;

- візуальний огляд відливоків для виявлення видимих дефектів (допускаються різні дефекти на поверхнях, що оброблюються, але не більше 2/3 припуску на механічну обробку);

- заміряються (базові) розміри відливка, що контролюються.

10. Відливки кришки перевіряють на герметичність на спеціальних випробувальних гідравлічних стендах.

2.6. Опис процесу проектування ливарного оснащення

Кокіль для виготовлення відливок кришка НШ 63Г-4-00-02 виготовляється литтям з сталі 45. Для покращення властивостей сталі її легують такими елементами: Cu - 1 %, V - 0,5 %, Ti - 0,1 %, Sn - 0,2 %, Al - 3 %. Легуючі елементи вводяться в ківш. Після виготовлення відливка проводиться механічна обробка формують поверхонь кокілю.

Кокіль має ребра жорсткості для зменшення металоємкості і ваги. Основа кокілю виготовляється з сталі 45 того ж складу, що і кокіль.

Вставки (див. креслення) виготовляються шляхом механічної обробки плоскої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал вставок також сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Бокові формують і плиту низу виготовляються також шляхом механічної обробки плоскої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал - сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Всі формують поверхні піддаються термообробці - азотування, товщиною $h = 0,05$ мм (HRC30...35).

2.7. Аналіз ливникової системи

При виготовленні відливка кришка НШ 63Г-4-00-01 на АТ "Гідросила" основними видами браку є: газові раковини, газова пористість в підживлюючій частині, а також неметалеві включення.

Утворення зазначених дефектів залежить від режимів заповнення форми, конструкції ливникової системи, якості шихтових матеріалів та застосування

якісних фарб для покриття робочої порожнини, забезпечення вільного видалення газів з ливарної порожнини під час заливки і кристалізації.

Неметалеві включення є одним із самих розповсюджених дефектів, а їх усунення - однією із найважливіших задач.

Причини утворення неметалевих включень: турбулентний рух розплаву по каналах ливникової форми інжекція повітря та газів через роз'єм форми; проникнення із заливочного ковша завжди присутніх в розплаві оксидів та інших сполук.

Таким чином, не правильно спроектована ливникова система утворює турбулентний рух (великий переріз стояка), каскадне скидання розплаву (щільовий високий живильник).

Газова пористість під підживлювачем є наслідком недостатнього живлення верхньої частини відливка (недостатній об'єм існуючого підживлювача).

Отже, режим заповнення форми розплавом слід регулювати таким чином, щоб відбувалося плавне заповнення робочої порожнини форми і щоб в неї не надходило повітря, захват газів при плавці та розливі.

Таким чином, ливникова система даної конструкції і основними розмірами її елементів забезпечує режим заповнення форми розплавом, а саме виконується умова:

$$V_{\phi} > V_{\phi \min}, \quad (2.20)$$

де V_{ϕ} - середня швидкість підйому розплаву у формі, м/с;

$V_{\phi \min}$ - мінімально допустима швидкість підйому розплаву у формі, м/с. Тобто

$$9,07 \text{ м/с} > 0,52 \text{ м/с}.$$

Ламінарність потоку забезпечується розмірами ливникової системи і її конструкцією.

2.8. Висновки по розділу

1. Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок.
2. Розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок.
3. Розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему та виконано перевірку її ефективності.
4. Описано процес проектування ливарного оснащення.
5. Описано технологічний процес виготовлення виливка.
6. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, правої і лівої напівформ, плити низу та кокіля в зборі.

3. УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ЛИВАРНОГО ОСНАЩЕННЯ НА ОСНОВІ ПОЄДНАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1. Застосування адитивних технологій в промисловості

Адитивні технології, або 3D-друк, - це сучасний метод виробництва, який відрізняється від традиційних способів обробки матеріалів. Замість зрізання зайвого матеріалу, 3D-друк будує об'єкт шар за шаром, склеюючи, сплавляючи або спікаючи матеріал.

Раніше 3D-друк часто називали "швидким прототипуванням", оскільки його використовували для створення моделей і прототипів. Це було особливо актуально до 2005-2007 років, коли 3D-друк дозволяв швидко отримати наочне уявлення про майбутній виріб. Однак перші технології, наприклад, стереолітографія, мали обмеження: створені моделі були тендітними і не призначалися для функціонального використання.

Згодом з'явилися нові технології, такі як екструзійний друк (FDM), що дозволило створювати функціональні деталі, наприклад, кронштейни, шестерні, які можуть витримувати невеликі навантаження. Сьогодні 3D-друк використовується не тільки для прототипування, а й для створення готових виробів.

Нові технології 3D-друку дозволили вийти за межі пластику, розширивши можливості створення об'єктів з металевих сплавів, таких як сталь, алюміній, титан, а також з матеріалів, армованих безперервним вуглеволокном. Це відкрило шлях до створення не лише прототипів, а й повністю функціональних зразків, здатних витримувати навантаження, властиві реальним виробам.

Таким чином, адитивні технології, які раніше асоціювалися виключно зі швидким прототипуванням, перетворилися на потужний інструмент виробництва, здатний створювати як макети, так і готові вироби.

Сьогоднішній ринок адитивних технологій динамічно розвивається, прагнучи розширити сфери застосування 3D-друку. Цей пошук тісно пов'язаний з дослідженням нових матеріалів, які можна використовувати для пошарового вирощування. Нещодавно вчені розробили технологію друку виробів з кераміки, що відкриває нові горизонти для застосування 3D-друку в різних галузях. Крім того, технологія FDM, яка раніше використовувалася для друку з пластику, була адаптована для роботи з композитами, що містять безперервне вуглеволокно. Це дозволило створювати надзвичайно міцні та легкі вироби, що відповідає потребам сучасного виробництва.

З появою нових технологій 3D-друку та матеріалів, ринок адитивних технологій продовжує динамічно розвиватися, відкриваючи нові можливості для інновацій та створення нових продуктів.

Світ 3D-друку переживає бурхливий розвиток, і він постійно змінюється. Одним із ключових напрямків є пошук нових матеріалів для друку. Наприклад, ОДК шукає 22 нових сплавів, щоб розширити можливості 3D-друку. Наразі доступно лише 7 сплавів, але кількість буде зростати, що дозволить створювати більш різноманітні та складні вироби.

Ще один важливий тренд - зменшення шорсткості поверхонь, надрукованих на 3D-принтерах. Дослідники працюють над тим, щоб замінити порошок розміром 40-80 мікрон на порошок розміром 10 або 5 мікрон. Це зробить вироби гладшими і точнішими, що дозволить використовувати їх як кінцеві вироби без додаткової обробки.

Великі компанії, такі як General Electric, Airbus та Lockheed Martin, активно впроваджують 3D-друк у свої виробничі процеси. General Electric прогнозує, що через 10 років 50% деталей для газотурбінних двигунів будуть друкуватися. Airbus вже встановив на свої літаки 22 000 деталей, надрукованих на 3D-принтері. Lockheed Martin заявляє про 50% зниження трудовитрат у виробництві.

NASA навіть планує друкувати цілі космічні супутники.

Світ 3D-друку сьогодні зосереджений переважно в Німеччині та США, де розташовані ключові компанії, такі як 3D Systems, Stratasys, EOS, SLM, General

Electric (ConceptLaser, Arcam), Renishaw та Trumpf. Німецькі компанії відомі своїми 3D-принтерами для металу, який зараз є найпопулярнішим матеріалом для адитивного виробництва. Порівняння з традиційними технологіями показує, що 3D-друк має свої переваги та недоліки, але його ключова сила - це швидкість та простота запуску виробництва. Найголовніша перевага - це можливість створювати прототипи та персоналізувати вироби. Уявіть собі машинобудівну деталь - кронштейн. Якщо потрібно створити кілька різних кронштейнів, кожен з яких унікальний, то традиційні методи виготовлення будуть надто дорогими. Адже для кожного кронштейна потрібне окреме оснащення, програмування та налаштування верстата. 3D-друк вирішує цю проблему, дозволяючи швидко та ефективно створювати різні прототипи без зайвих витрат.

У випадку використання адитивних технологій, підлягає зміні виключно 3D модель деталі в програмі комп'ютерного моделювання (Computer-Aided Design, або скорочено CAD).

Змінена CAD модель надалі просто відправляється на 3D друк, де 3D принтер сам виготовляє виріб із необхідною конфігурацією. В даному випадку немає необхідності створювати оснастку для закріплення виробу, що обробляється.

Адитивні технології – це справжній прорив у ливарному виробництві. Завдяки можливості швидко виготовляти прототипи, вони стають незамінними для створення моделей, елементів ливникової системи, таких як стояки, шлаковловлювачі та живильники.

Ще один плюс адитивних технологій – це можливість створювати складні форми, які неможливо отримати традиційними методами. Це дозволяє зменшити металоємність виливків та виготовити деталі з різною товщиною стінок, включаючи внутрішні елементи.

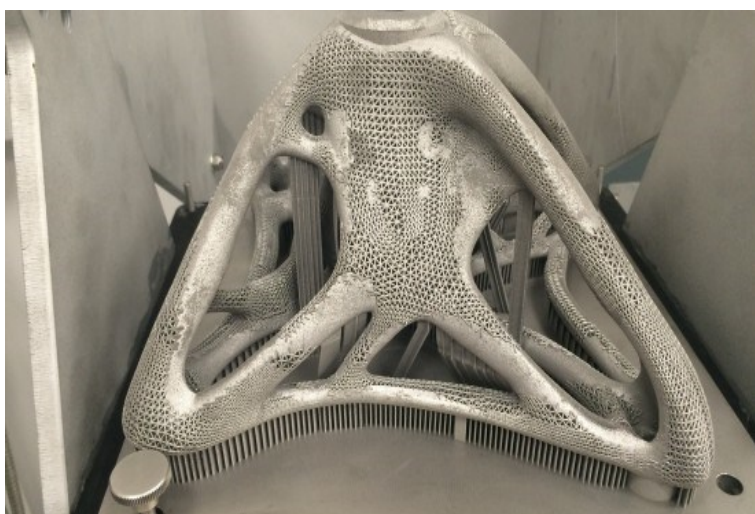
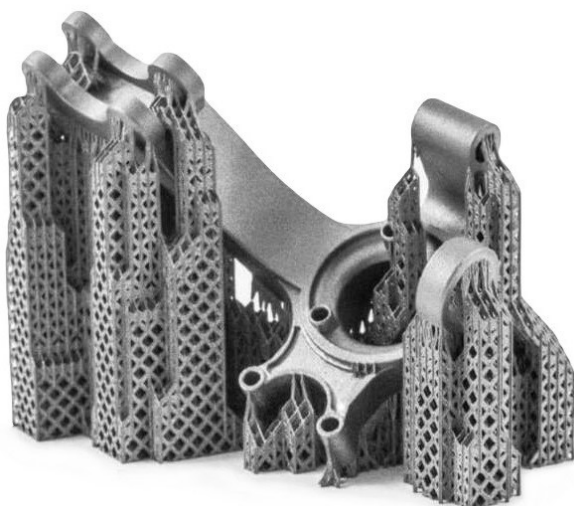
Адитивні технології відкривають нові можливості для створення внутрішніх каналів та порожнин, які неможливо виготовити традиційними методами. Наприклад, ви можете створити внутрішній спіралеподібний канал, що неможливо зробити за допомогою фрезерування або свердління.

Крім того, адитивні технології дозволяють створювати коміркові структури, або "сітки", які значно зменшують масу деталі, не впливаючи на її міцність. Це робить вироби легшими та ефективнішими, що особливо актуально в машинобудуванні та інших галузях.

Завдяки можливості створення складних геометричних форм, адитивні технології дозволяють використовувати тільки необхідну кількість матеріалу в потрібних ділянках виробу. Це призводить до отримання легших виробів, які відповідають всім вимогам, що пред'являються до них.

Таким чином, адитивні технології відкривають нові горизонти в ливарному виробництві, дозволяючи створювати легші, міцніші та більш ефективні вироби. (рис 1.1).

Адитивні технології, завдяки можливості створення цілісних конструкцій за допомогою 3D-друку, дозволяють значно зменшити кількість деталей у виробках. Це призводить до спрощення виробництва і складання, оскільки виготовлення та збирання стають швидшими і менш трудомісткими. Крім того, зменшення кількості деталей зменшує ризик виникнення дефектів, оскільки менше потенційних точок, де може виникнути брак. Також, скорочення номенклатури деталей спрощує процес складання і зменшує потребу в складських запасах, що оптимізує логістику виробництва. Таким чином, адитивні технології сприяють підвищенню ефективності виробництва і зниженню вартості кінцевого продукту.



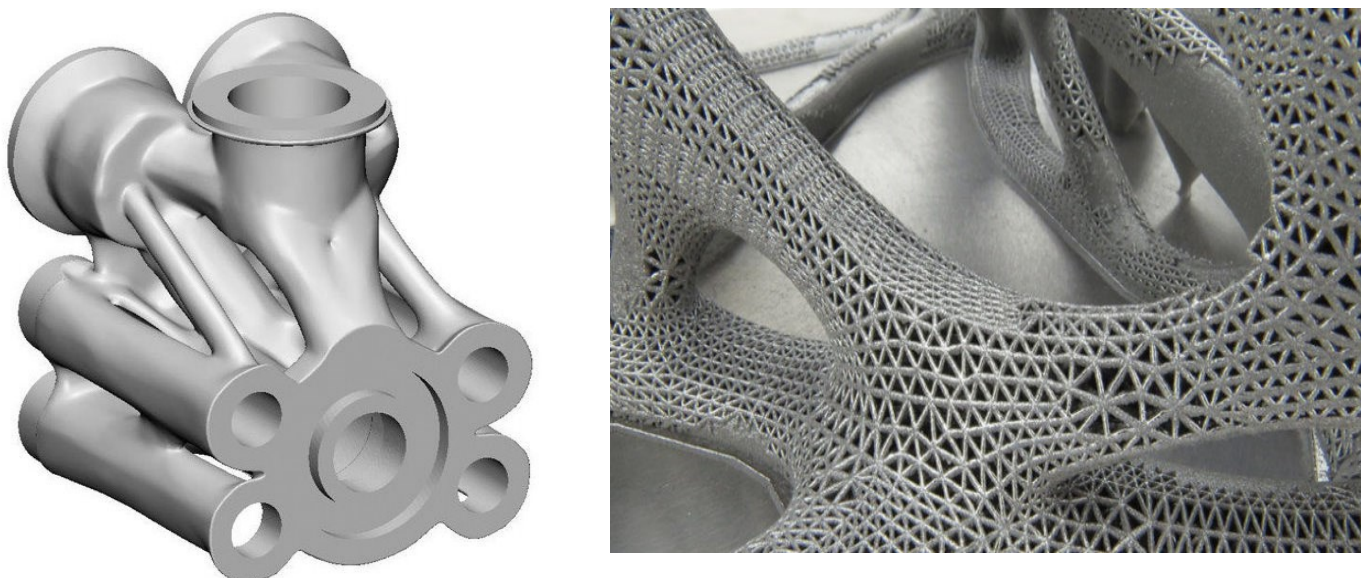


Рисунок 3.1 – Надруковані на 3Д принтері вироби

Адитивні технології вирізняються екологічністю завдяки тому, що використовують лише необхідну кількість матеріалу, на відміну від традиційних методів, де значна частина матеріалу перетворюється на відходи. При адитивному виробництві матеріал використовується з максимальною ефективністю, що дозволяє зменшити кількість відходів і зберегти ресурси. Наприклад, у випадку фрезерування з бруска металу лише 5% матеріалу може бути використано для кінцевої деталі, тоді як адитивні технології дозволяють використовувати 50% і більше матеріалу, що значно знижує кількість відходів. Це робить адитивні технології екологічно чистішим і більш стійким рішенням для виробництва, оскільки вони мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище.

3.2. Огляд сучасних видів 3Д друку

Екструзійна технологія 3D-друку, також відома як Fused Deposition Modeling (FDM), є однією з найпопулярніших технологій адитивного виробництва, яка дозволяє створювати об'єкти шляхом послідовного нашарування розплавленого матеріалу. Екструзійний принтер використовує екструдер, який нагріває термопластичний матеріал до рідкого стану, а потім

подає його через сопло, що переміщується по трьох осях (X, Y, Z), формуючи об'єкт шар за шаром. Для цієї технології використовують різні термопластики, такі як PLA, ABS, PETG та інші, кожен з яких має свої унікальні властивості, що впливають на міцність, гнучкість та стійкість до температури готових виробів.

Екструзійні 3D-принтери відносно недорогі та доступні, а технологія проста в освоєнні, що робить її популярною серед початківців. Однак, точність друку може бути нижчою, ніж у інших технологій, таких як SLA (стереолітографія), а іноді шари можуть не злипатися належним чином, що призводить до дефектів у готовому виробі.

Незважаючи на ці недоліки, екструзійна технологія 3D-друку використовується в різних сферах, включаючи прототипування, медицину, автомобільну промисловість та освіту. Ця технологія продовжує розвиватися, відкриваючи нові можливості для створення складних і функціональних об'єктів..

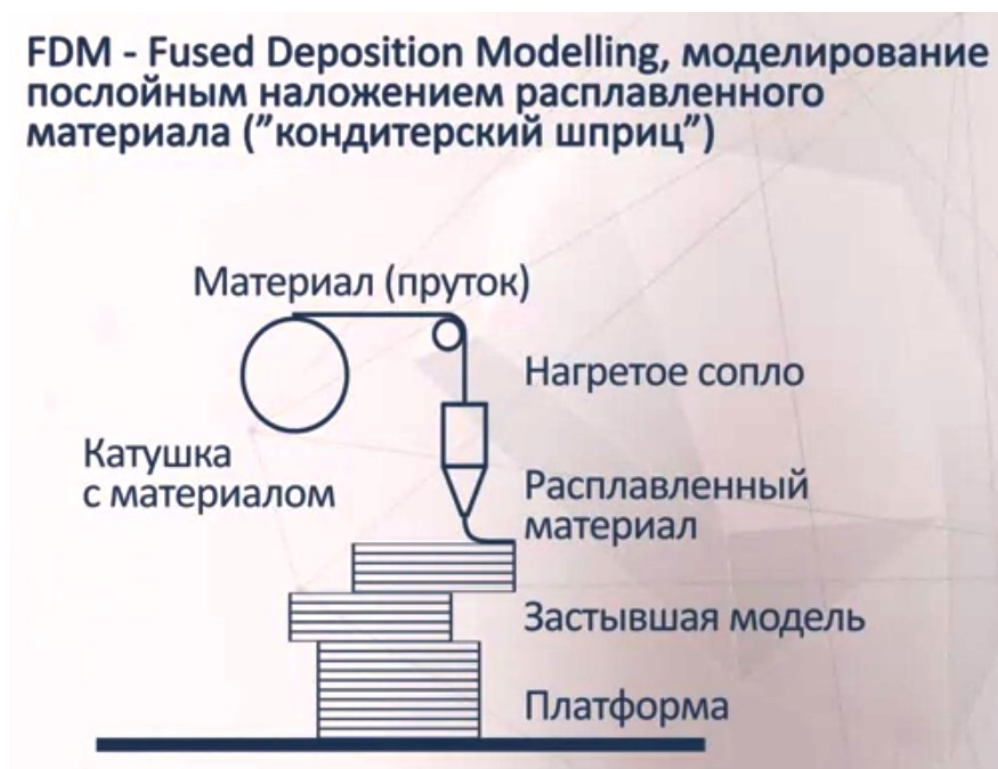


Рисунок 3.2 – Технологія FDM друку

Спочатку на платформу наноситься перший шар і зазвичай відбувається заштриховування, тобто заповнення шару. Можна заповнювати не весь шар а з

проміжками для полегшення виробу і економії матеріалів. Якщо потрібно, то заповнення може бути суцільним.

Після того, як завершився друк першого шару, екструдер піднімається на висоту другого шару, обходить контур другого шару і заповнює («заштриховує») його. Варто зазначити, що зазвичай штрихування на наступному шарі йде під кутом 90 градусів до штрихування попереднього шару, тобто сітка штрихування розташовується то в одну діагональ, то в іншу - це дозволяє робити виріб міцнішим і запобігає справі мінації шарів.

Слід зазначити, що FDM технологія на даний час є найдоступнішою. В якості 3Д принтера для виготовлення оснастки ливарного виробництва можна рекомендувати модель TRONXY X8 (рис.3.3)

TRONXY

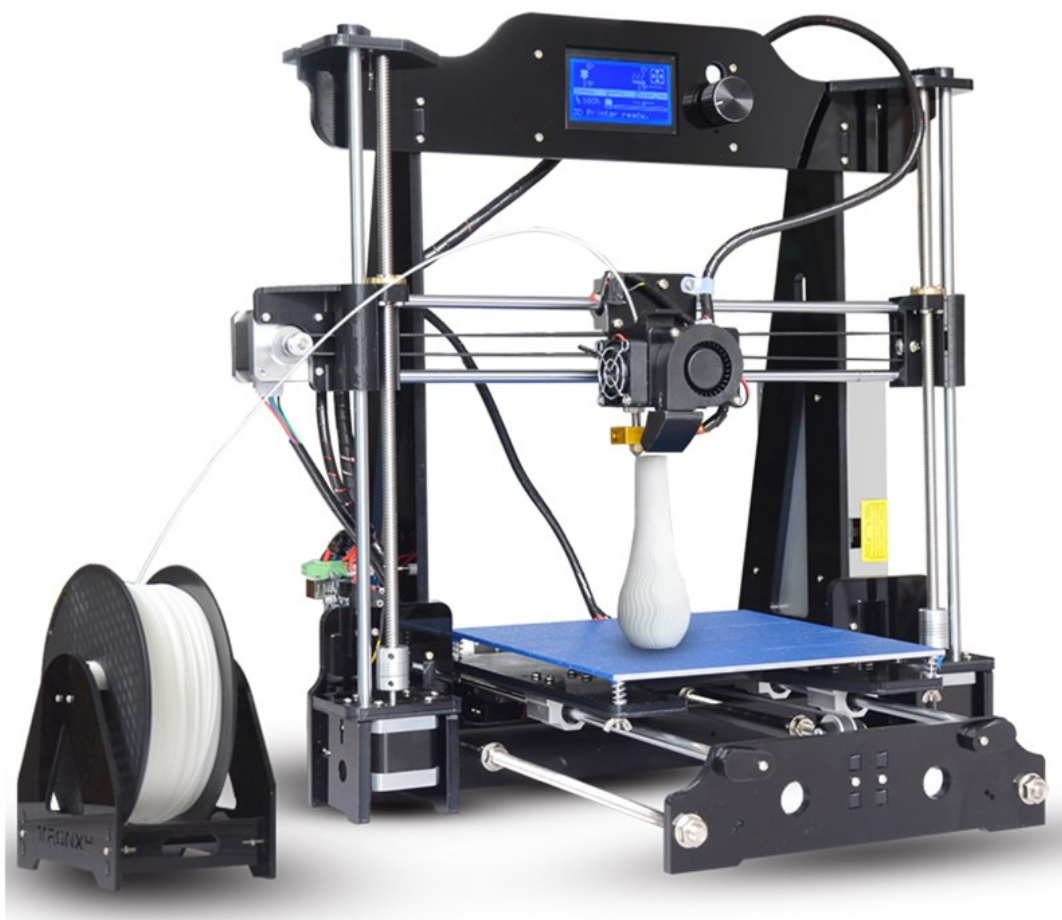


Рисунок 3.3 – 3D-принтер TRONXY X8

Технологія LOM, або Laminated Object Manufacturing, є одним із методів 3D-друку, який використовує тонкі ламіновані листи матеріалу, зазвичай паперу, пластику або металевої фольги. Процес починається з того, що ці листи вирізаються за допомогою ножа або лазера відповідно до заданої форми. Після цього вони поетапно склеюються або спікаються, формуючи тривимірний об'єкт.

Ця технологія дозволяє досягти високої точності та деталізації, а також забезпечує можливість створення складних форм. Однією з переваг LOM є те, що вона може використовувати недорогі матеріали, що робить її економічно вигідною для виробництва прототипів та малих серій виробів.

LOM також відрізняється від інших методів 3D-друку, оскільки в ній не використовується рідкий або порошковий матеріал, а лише листи, що робить процес менш складним і більш доступним для широкого кола користувачів.

Ця технологія активно використовується в різних галузях, включаючи архітектуру, промисловий дизайн та навіть в освіті, де студенти можуть вивчати основи 3D-друку та дизайну.

SLA (стереолітографічна) технологія. Технологія SLA (стереолітографія) є одним із найпопулярніших методів 3D-друку, який використовує світлочутливу смолу для створення тривимірних об'єктів. Процес починається з того, що лазерний промінь сканує поверхню смоли, затверджуючи її в тих місцях, де він проходить. Це відбувається шар за шаром, що дозволяє формувати деталі з високою точністю та складністю.

Однією з основних переваг SLA є можливість отримання дуже гладких поверхонь і тонких деталей, що робить цю технологію ідеальною для виготовлення прототипів, ювелірних виробів та медичних моделей. Система контролю лазера дозволяє досягати високої роздільної здатності, що є важливим для багатьох застосувань.

SLA також відрізняється від інших методів 3D-друку, оскільки використовує рідкий матеріал, який затверджується під впливом світла, а не порошкові або екструзійні матеріали. Це робить процес більш чутливим до деталей, але й вимагає більшої обережності в роботі з матеріалами.

Ця технологія активно використовується в різних галузях, включаючи промисловий дизайн, архітектуру та медицину. SLA принтер зображено на рис.3.4.



Рисунок 3.4 – Фотополімерний SLA 3Д принтер FORMLABS FORM 3L

У випадку зворотної технології SLA для 3Д друку потрібно стільки полімеру, скільки буде використано в самому виробі і невеликий об'єм для заливання кількох шарів – у цьому випадку йдеться про мілілітри, тобто мінімально необхідний об'єм значно менше. Така технологія – зворотна стереолітографія – дуже добре підходить для ювелірного виробництва.

Селективне лазерне сплавлення (SLM), селективне лазерне спікання (SLS). Селективне лазерне сплавлення (SLM) та селективне лазерне спікання (SLS) - це дві дуже схожі технології 3D-друку, які використовують лазер для спікання або сплавлення порошкових матеріалів, створюючи тривимірні об'єкти.

SLM працює шляхом направлення лазера на шар порошкового матеріалу, який розплавляє його, створюючи міцний з'єднаний шар. Потім наступний шар порошку наноситься поверх розплавленого шару, і процес повторюється, поки не буде створена повна модель. Ця технологія відрізняється від SLS тим, що вона використовує більш високу температуру та тиск, що дозволяє досягти більш високої щільності та міцності матеріалу.

SLS, з іншого боку, використовує лазер для нагрівання порошкового матеріалу до температури, яка достатня для його спікання, але не розплавлення. Це призводить до менш щільного матеріалу, але дозволяє друкувати з більш широким спектром матеріалів, включаючи пластик, метал, кераміку та композити.

Обидві технології мають свої переваги та недоліки. SLM забезпечує високу точність та міцність, але вимагає більш дорогих матеріалів та обладнання. SLS є більш універсальною, але з меншою точністю та міцністю.

Вибір між SLM та SLS залежить від конкретного завдання та вимог до готового виробу. SLS та SLM 3Д принтери представлено на рис. 3.5 – 3.6.



Рисунок 3.5 – Промисловий SLS 3Д принтер ProtoFab



Рисунок 3.6 – Промисловий SLM 3Д принтер SLM Solutions

3.3. Застосування адитивних технологій в ливарному виробництві

Важливо розуміти, що адитивні технології не завжди є єдиним рішенням. Їх можна використовувати в комплексі з традиційними методами виробництва, створюючи гібридні технології. Наприклад, для виготовлення прототипів можна надрукувати модель за допомогою FDM і потім обробити її традиційними методами.

Також, адитивні технології можуть використовуватися як допоміжний інструмент у виробництві металевих виробів. Наприклад, можна надрукувати майстер-модель з фотополімеру, а потім отримати металевий виріб за допомогою лиття.

Це дозволяє отримати вироби складної форми з меншою вагою, що особливо актуально для авіації, космосу та інших галузей, де вага є критичним фактором.

Застосування адитивних технологій в гібридних процесах значно скорочує час виведення нових товарів на ринок. Наприклад, процес отримання металевої деталі з 3D-моделі, який раніше займав від 2 тижнів до місяця, тепер може бути

завершений за 48 годин. Це робить адитивні технології цінним інструментом для сучасного виробництва..

Процес починається з друку деталей з фотополімеру, що триває від 4 до 10 годин. Після цього деталь обробляється спеціальним способом - її поміщають в гіпс або спеціальну суміш, щоб створити оболонку. Ця технологія, відома як лиття в оболонкові форми, дозволяє отримати міцну та точну форму.

Далі, деталь з оболонкою поміщають в піч, де відбувається плавне нагрівання. Фотополімер розплавляється і випаровується, залишаючи порожню форму. Наступний етап - заливання металу в розплавленому стані в цю форму. Після того, як метал застигне, оболонку видаляють, а деталь очищають від залишків.

Завдяки цьому процесу, тепер можна отримати деталі складної форми всього за 2 дні, що раніше було неможливим.

Крім того, можна використовувати технологію FDM друку для створення великих майстер-моделей, які не обмежені розмірами одного принтера. Наприклад, можна надрукувати 7 деталей макета розміром 600x500x200 мм на різних принтерах, а потім склеїти їх в єдиний макет.

Отриману майстер-модель можна використовувати для лиття в пісок, гіпс або оболонкові форми, залежно від форми деталі та вимог до процесу. Цей метод дозволяє отримати деталі з складними формами та великими розмірами, що розширює можливості сучасного виробництва.

Спрощена послідовність етапів виробництва виливків із застосуванням адитивних технологій SLA 3Д друку представлена на рис. 3.7.



- 1) Промодель надрукована на SLA 3Д принтері з випалюваного фотополімера
- 2) Оболонкова форма: промодель покрита стандартною «кіркою» відповідно технології лиття по виплавляємим моделям
- 3) Виливок після виплавлення фотополімера із оболонкової форми та заливки її рідким металом

Рисунок 3.7 - Етапи виробництва виливків із застосуванням адитивних технологій SLA 3Д друку

Останнім часом спостерігається значний прогрес у сфері 3D друку ливарних форм та піщаних стержнів. Цей метод передбачає пошарове нанесення піску на платформу, а потім, за допомогою сопла, подачу зв'язуючого речовини в потрібні місця відповідно до 3D моделі. Зв'язуюче речовина склеює піщинки, формуючи міцну структуру. Після нанесення кожного шару платформа опускається, дозволяючи надрукувати наступний шар. Таким чином, формується піщана форма або стержень. Після завершення друку, форма знімається з платформи, а пісок, де не було нанесено зв'язуючого, легко висипається. Як

зв'язуючі речовини використовують фуранові, фенольні та неорганічні сполуки. Завдяки пошаровому склеюванню піску можна створювати форми та стержні з надзвичайно складною конфігурацією, які недосяжні для традиційних методів формовки (рис. 3.8 – 3.9).



Рисунок 3.8 – Надрукована на 3Д принтері ливарна форма і виливок



Рисунок 3.8 – Надрукований на 3Д принтері піщаний стержень

4.4. Опис процесу проектування і виготовлення ливарного оснащення із застосуванням адитивних технологій

Після традиційного проектування ливарного оснащення, описаного в другому розділі, необхідно створити 3D модель елемента в CAD системі. Далі, використовуючи спеціальну програму, задаються параметри 3D друку: розташування на платформі, необхідність та розміщення підтримок, щільність заповнення моделі, висота шару, параметри екструдера і так далі. Після налаштування всіх параметрів, програма здійснює слайсинг 3D моделі, розрізаючи її на шари, що дозволяє приступити до друку.

Наступним кроком є фінішна обробка надрукованої моделі: видалення підтримок, досягнення необхідної шорсткості поверхні та точності розмірів шляхом механічної обробки. На цьому етапі можна оцінити якість отриманого виробу та, за необхідності, внести корективи в 3D модель.

Після 3D друку всіх елементів модельного комплекту, їх монтують на підмодельній плиті. Далі виготовляють ливарну форму традиційним методом формовки. Після заливки металу, вибивки форми та фінішної обробки металевого модельного комплекту, його піддають механічній обробці.

Після контролю якості та розмірів металевого модельного комплекту, його монтують на кокільну машину. На завершення, після приймально-здавальних випробувань та контролю якості виливків, модельний комплект ливарного оснащення впроваджують у виробництво.

Блок-схема процесу проектування і виготовлення ливарного оснащення із застосуванням адитивних технологій представлена на рис. 3.9.



Рисунок 3.9 - Блок-схема процесу проектування і виготовлення ливарного оснащення із застосуванням адитивних технологій

Таким чином на основі аналізу сучасних можливостей 3Д друку, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення обґрунтовано необхідність удосконалення процесів проектування та виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій. Розроблено рекомендації щодо підвищення швидкості впровадження у виробництво нових виливків із застосуванням виготовленого за допомогою 3Д принтера оснащення. Згідно із запропонованим способом виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій, час від початку проектування 3Д моделі до впровадження металевого модельного комплексу у виробництво складає не більше 48 годин.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в кокіль виливка «Кришка» з підвищенням якості литва на основі дослідження термодинаміки процесу рафінування металу.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибрано обладнання для виготовлення виливків та описано роботу ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Кришка»;
- обґрунтовано необхідність удосконалення процесів проектування та виготовлення ливарного оснащення на основі аналізу сучасних можливостей 3Д друку, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення;
- розроблено рекомендації щодо удосконалення процесу проектування ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій.

В першій частині магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, відділення відрізки ливників та зачистки виливків, допоміжні відділення. 3. Для плавки металу було обрано електричні тигельні печі опору НО-136 ємністю 220 кг. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики. Для виготовлення виливків вибрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82A403. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики кокільної машини. Описано процес підготовки кокілів до роботи. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат CORMAK BS712R-400V. Зачистка виливків від залишків ливників, облою виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

В технологічній частині магістерської роботи виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, розроблені модельно-ливарні вказівки та

технічні умови на виливок, розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему та виконано перевірку її ефективності, описано процес проектування ливарного оснащення, описано технологічний процес виготовлення виливка, розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, правої і лівої напівформ, плити низу та кокіля в зборі.

В науковій частині магістерської роботи на основі аналізу сучасних можливостей 3Д друку, комп'ютерної техніки та програмного забезпечення обґрунтовано необхідність удосконалення процесів проектування та виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій. Розроблено рекомендації щодо підвищення швидкості впровадження у виробництво нових виливків із застосуванням виготовленого за допомогою 3Д принтера оснащення. Згідно із запропонованим способом виготовлення ливарного оснащення на основі застосування адитивних технологій, час від початку проектування 3Д моделі до впровадження металевого модельного комплексу у виробництво складає до 48 годин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування машинобудівних заводів та цехів / За ред. В.М. Шестопада. - М.: Машинобудування, 1974. - 294 с.
2. Логінов І.З. Проектування ливарних цехів.-Мінськ: Вища шк., 1975. - 230 с.
3. Рибальченко Н.А. Проектування ливарних цехів. - Вид-во Харк. ун-ту, 1965. - 306 с.
4. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник/Б.Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. -188 с.
5. Аксьонов П.М. Обладнання ливарних цехів. - М.: Машинобудування, 1997. - 510с.
6. Основи проектування ливарних цехів та заводів/Л. І. Фанталів, Б.В. Кнорре, С. І. Четвертухін: Під. ред. Б.В. Кнорре. - М.: Машинобудування, 1979. - 375 с.
7. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985. - 319 с.
8. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с.
9. Степанов Ю.А., Баландін Г.Ф., Рибкін В.А. Технологія ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1983. - 287 с.
10. Засоби та системи автоматизації ливарного виробництва / К.С. Богдан, В.М. Горбенко, В.М. Денисенко, Ю. П. Каширін. - М.: Машинобудування, 1981. - 287 с.
11. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.
12. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок ливникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаков. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.

13. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни "Технологія ливарної форми" для студентів спеціальності 0502/Упоряд. В.С. Миронов, В.І. Кудя. - Кіровоград: КИСГМ, 1985. - 88 с.
14. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1993. - 368 с.
15. Гуляєв А.П. Металознавство. - М.: Машинобудування, 1984. - 545 с.
16. Рубцов М.М. Спеціальні види лиття. - М.: Машгіз, 1955. - 331 с.
17. Пупань Л.І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л.І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 91 с.
18. Галдін М.М. Ливникові системи для виливків із легких сплавів. - М.: Машинобудування, 1978. - 195 с.
19. Лиття в кокіль / За ред. А.І. Вейника. - М.: Машинобудув., 1980. - 415 с.
20. James D. Bethune. Engineering Design and Graphics with SolidWorks 2016 // 2016, 829 p.
21. Конончук С.В. Основи 3D моделювання в ливарному виробництві: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників спеціальностей 131 “Прикладна механіка”, 133“Галузеве машинобудування” / С.В. Конончук, О. В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020. – 81 с.
22. Конончук С.В. Комп’ютерне проектування оснащення ливарного виробництва: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів-ливарників спеціальності 131 “Прикладна механіка” / С.В. Конончук, О. В. Скрипник, В.В. Пукалов. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 99 с.
23. Paul J. Schilling, Randy H. Shih. Parametric Modeling with SOLIDWORKS 2022 // 2022, 610 p.
24. Дубінін М.П. Беліков О.А та ін. Кокільне лиття - Довідковий посібник. М.: Машинобудування, 1967. - 456с.
25. Баландін Г.Ф. Теорія формування виливка. М. Видавництво МДТУ ім. Н.Е. Баумана, 1998 рік. 359 с.

26. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1971. С. 352.
27. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві метали. Промислові деформовані, спечені та ливарні алюмінієві сплави. Довідник М.: Металургія. 1972. С. 552.
28. Фрідлєндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983. С. 560.
29. Колобнєв, І.Ф. Термічна обробка алюмінієвих сплавів/І.Ф. Колобнєв. М.: Металургія, 1966. - 394с.
30. Охорона праці: Навч. посібник для вищих навч. закладів/В. Ц. Жидецький [та ін.]; ред. Ст. Ц. Жидецький; Укр. держ. лісотехнічний ун-т, Укр. академія друкарства. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
31. Глиняна Н. М. Охорона праці в ливарному виробництві: курс лекцій для студентів вищих навчальних закладів 0904 “Металургія” / Н.М. Глиняна. - Краматорськ: ДДМА, 2009. - 184 с.

ДОДАТКИ