

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 першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології виготовлення виливка
Корпус НШ32УК методом лиття в кокіль»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ(ОЛ)-21-3СК

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Вадим КРАВЧУК

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 перший (бакалаврський) .
 Галузь знань 13 Механічна інженерія .
 Спеціальність 131 Прикладна механіка .
 Освітньо-професійна програма «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА
 ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
 ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Кравчука Вадима Миколайовича _____.

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ32УК
методом лиття в кокіль _____.
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент _____.
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2024 р. _____.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в кокіль
виливка Корпус НШ32УК. Виконати огляд існуючих способів виготовлення
виливків із алюмінієвих сплавів. Розробити технологію виготовлення виливка
Корпус НШ32УК методом лиття в кокіль.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-
ливарних вказівок; 2) 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.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2024	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2024	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2024	
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2024	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2024	
6	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	15.06.2024	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2024	

Дата видачі завдання

«___»_____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Кравчук В.М.

Анотація

КРАВЧУК Вадим Миколайович. Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ32УК методом лиття в кокіль. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 37 с.

Вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву. Для плавки сплаву вибрано плавильно-роздавальні печі НО-136. Описано процес плавки та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків обрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403. Описано процес підготовки кокілів до роботи та технологічний процес лиття. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, 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, вибрано параметри контролю якості відливків.

Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

Ключові слова: алюміній, деталь, виливок, модельно-ливарні вказівки, кокіль, ливниково-живильна система.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	8
1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	8
1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву	9
1.3. Кокільна машина для лиття алюмінієвих сплавів	10
1.4. Вогнетривкі покриття для кокілів та плавильного інструменту	11
1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків	13
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА КОРПУС НШЗ2УК	16
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	16
2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка	17
2.2.1. Вибір припусків на механічну обробку	18
2.2.2. Припуски на усадку	18
2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача	19
2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи	20
2.5. Опис технологічного процесу виготовлення відливка	27
2.6. Опис процесу проектування ливарного оснащення	29
2.7. Аналіз конструкції ливникової системи	30
2.8. Контроль якості відливків	31
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	34
ДОДАТКИ	37

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво забезпечує отримання виливків різноманітної конфігурації для багатьох галузей промисловості. Литво є одним із найдешевших способів отримання заготовок та готових виробів. Завдяки особливостям кристалізації сплаву та утворення структури, виливки мають кращі механічні властивості у порівнянні з іншими способами отримання заготовок.

Алюмінієві сплави широко використовуються в машинобудуванні, приладобудуванні, кораблебудуванні, автомобільному, авіаційному будуванні, хімічній промисловості, тощо. Завдяки високій питомій міцності, добрим ливарним властивостям, гарній обробці різанням та іншим перевагам алюмінієве литво займає суттєву частку поміж ливарних сплавів.

Одним з найпоширеніших способів лиття алюмінієвих сплавів є лиття в кокіль. Даний спосіб характеризується високою розмірною точністю, низьким відсотком браку, мінімальними припусками на механічну обробку, високою продуктивністю, екологічністю, малою енергоємністю та матеріалоємністю, можливістю автоматизації і роботизації.

До недоліків алюмінієвого литва в кокіль можна віднести відносно високу вартість матеріалів, обладнання та оснащення.

Тому вирішення задач розробки технологічного процесу лиття в кокіль, розрахунку і проектування ливниково-живильної системи та задач проектування ливарного оснащення є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус НШ32УК».

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного обладнання;
- опис послідовності розробки технології лиття;

- розрахунок і конструювання ливникової системи;
- опис технологічного процесу виготовлення відливка;
- опис процесу проектування ливарного оснащення;
- вибір параметрів контролю якості відливків.

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

Предмет дослідження – розробка модельно ливарного оснащення для виготовлення виливка «Корпус НШ32УК».

Практичне значення – розраховано та спроектовано модельно ливарне оснащення для виготовлення виливка «Корпус НШ32УК».

Особистий внесок – Вибрано матеріали, обладнання для виготовлення виливка «Корпус НШ32УК» та описано його роботу, розраховано ливниково-живильну систему виливка, описано процес проектування ливарного оснащення та спроектовано креслення модельно ливарних вказівок та форми в зборі.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

Матеріали та обладнання, що використовуються в ливарному виробництві відіграють значну роль в якості та собівартості відливок, тому їх вибір та використання повинні бути оптимальними в кожному конкретному технологічному процесі в залежності від технічних вимог до відливка, виду виробництва, способу лиття тощо. При виборі матеріалів необхідно керуватись їх якістю, доступністю, вартістю, екологічністю та зручністю у використанні.

При литті алюмінієвих сплавів в якості шихтових матеріалів зазвичай використовують чушковий алюміній відповідного хімічного складу, відходи власного виробництва, алюмінієвий лом, тощо. Для корегування хімічного складу використовують чушковий первинний алюміній та різноманітні лігатури, що мають в своєму складі ті чи інші необхідні елементи (мідь, кремній, магній, марганець, титан, олово, тощо).

Для рафінування алюмінієвих сплавів використовують флюси, які внаслідок протікання хімічної реакції з виділенням газів інтенсивно перемішують розплав, захоплюючи неметалеві домішки, виносять їх на поверхню. Після рафінування розплав вистояється. Шлак спливає і його знімають з поверхні металу шлакозчищалкою у спеціально підготовлену виливницю.

1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення відливок корпус НШ 32УК-3-00-02 використовується сплав АК5М2Ц4 ДСТУ 2839-94. Використання цього сплаву забезпечує необхідні механічні властивості (міцність, твердість, відносне видовження) відливок з використанням термічної обробки по режиму Т 1, що значно покращує механічні властивості відливка та якість

готової деталі. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1. Механічні властивості сплаву наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
AK5M2Ц4	4,0–6,0	0,2– 0,8	1,5– 3,5	0,2– 0,8	0,05– 0,2	3,5– 8,0	< 1,3	Основа

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву

Сплав	Вид ТО	Границя міцності при розтягу, кгс/мм ² (Па)	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральної пробі
AK5M2Ц4	T1	22 (216)	1,3	95–125	1,25	410

Алюмінієві сплави відносяться до кольорових сплавів і завдяки своїм перевагам широко застосовуються для виготовлення виливків в машинобудуванні. Це сплави, які мають алюмінієву основу та один або кілька легуючих елементів, які покращують як механічні (твердість, міцність, відносне видовження), так і спеціальні (оброблюваність різанням, рідинотекучість, пластичність, тощо) властивості.

1.2. 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 10 – 15 плавов.

Завалку шихтових матеріалів виконують згідно розрахунку шихти у наступній послідовності: відходи власного виробництва (ливники, підживлювачі, браковані деталі), що за хімічним складом відповідають готовому сплаву АК5М2Ц4, чушковий сплав АК5М2Ц4. 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 АК5М2Ц4 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
АК5М2Ц4	4,500		1,610	6,110

1.3. Кокільна машина для лиття алюмінієвих сплавів

Для виготовлення виливка корпус НШ 32УК-3-00-02 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

1.4. Вогнетривкі покриття для кокілів та плавильного інструменту

В якості вогнетривкого кокільного покриття використовують покриття на основі окису цинку графітової або графіто-керамчної основи наступного складу (табл. 1.5) :

Таблиця 1.5 – Склад вогнетривких покриттів для кокілів
та плавильного інструмента

Складова покриття	Номер покриття			
	П1	П2	П3	П4
Окис цинка	50 г	250 г	450 г	—
Вода технічна	1 л	1 л	1 л	1 л
Рідке скло	—	100 г	—	—
Gillolin A1223	—	—	—	250 г

Порядок приготування покриттів (П1, П2, П3) на основі окису цинку наступний. В ємність для приготування покриттів налити воду, підігріту до температури 60 – 80 ° С. Просіяти окис цинку через сито з діаметром 0,5 мм.

Засипати в воду окис цинку дрібного помолу, додержуючись вказаної пропорцій та ретельно перемішати. При приготуванні покриття П2 додати рідке скло у вказаній пропорцій та ретельно перемішати.

Порядок приготування покриття (П4) на основі препарату Gillolin A1223 наступний. Ємкість для приготування покриття наповнити однією об'ємною частиною препарату Gillolin 1223. В ємність додати від 3 до 5 об'ємних частин води з температурою оточуючого середовища (20 °С). Суміш ретельно перемішати до отримання однорідного складу.

Порядок нанесення вогнетривкого покриття на плавильний інструмент такий. Перед нанесенням вогнетривкого покриття на плавильний інструмент (ковші, счищальки, дзвінок) їх очищують від старого покриття, настилів, шлаку, окислів та інших забруднень та наносять тонкий рівномірний шар вогнетривкого покриття пульверизатором, пензлем, або занурюють у об'єм покриття. Після нанесення вогнетривкого покриття плавильний інструмент нагрівають до температури 150 – 200 С °. Покриття відновлюють по мірі його руйнування.

Порядок нанесення вогнетривкого покриття на кокілі наступний. Перед нанесенням вогнетривкого покриття формоутворюючу порожнину кокіля очищують від старого покриття, настилів, шлаку, окислів та інших забруднень. Продувають половини кокіля стиснутим повітрям. Підживлюючу частину кокіля утеплюють азбестовим листом товщиною 5 мм. Встановлюють інжекційну горілку у внутрішню порожнину кокіля. Нагрівають кокіль до температури 150–200° С. Допускається нагрів кокіля рідким металом. Повільним струменем металу починаючи з 1/8 об'єму вилівка і доводячи його поступово до придатного вилівка. Виконують 6–7 промивочних заливок. Покривають кокіль вогнетривким покриттям. Встановлюють інжекційний пальник у внутрішню порожнину кокіля. Просушують кокіль на протязі 5 – 7 хвилин. Кокіль фарбують по мірі руйнування покриття.

Після нанесення вогнетривкого покриття, форму підігрівають до певної температури (не більше 200° С). Після досягнення виливком температури 400 °С, форму розкривають і видаляють виливок.

Температура заливки залежить від хімічного складу сплаву, від конфігурації, товщини стінок виливка. Тривалість витримки виливка в формі призначають із врахуванням його розмірів і маси. Передчасне розкриття викликає руйнування виливка в результаті його малої міцності. У випадку дуже великої витримки у формі виливка можуть з'являтися тріщини усадочного характеру в наслідок непіддатливості форми. Тривалість витримки виливка визначають розрахунком і коригують експериментально при впровадженні технологічного процесу.

1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків

Для відрізання ливниково-живильної системи та підживлювачів використовують стрічкопильний верстат JET HVBS-812 R, технічна характеристика якого вказана у табл. 1.6. Стрічкопильний верстат по металу JET HVBS-812RKT призначений для розрізання практично всіх матеріалів, що зазвичай використовуються в машинобудуванні, як алюмінію та його сплавів, кольорових металів, так і сплавів чорних металів. Дані верстати характеризуються високою надійністю, жорсткістю конструкції та високою продуктивністю при відносно невеликих розмірах та зручності монтажу. У даному стрічкопильному верстаті можливе різання матеріалів під кутом, яке забезпечується завдяки використанню поворотних лещат або шляхом повороту плеча пили. Для пилок великих розмірів можна використовувати систему охолодження.

Конструктивні особливості верстата: великі шківни зі зменшеною масою та механізованим упором для зручного натягування полотна пили; подвійні регульовані роликові підшипники, які слугують напрямними для полотна стрічкової пили; гідравлічна система регулювання подачі різання матеріалу з кінцевим вимикачем; зручні лещата з можливістю регулювання губок, швидкості затискання та кута повороту лещат до 45°; широкі діапазони регулювання

швидкості різання і подачі; автоматичне вимикання різання при досягненні наскрізного пропилю заготовки; широкий діапазон регулювання кінцевих вимикачів; можливість подачі в зону різання охолоджуючої рідини для запобігання перегріву полотна пилки і заготовки.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика
стрічкопильного верстата JET HVBS-812 R

Зона обробки при 90°	Діаметр 200 мм
	180x305 мм
Зона обробки при 45°	Діаметр 127 мм
	120x125 мм
Розміри полотна пили	19x0,9x2362 мм
Регулювання лещат	0 - 45°
Діаметр шківів пили	290 мм
Швидкості пластин	25, 40, 60, 80 мм/хв
Потужність мотору	600 Вт/с
Ємність для охолоджувальної рідини	8 літрів
Продуктивність	0,2 т/год
Габаритні розміри верстата	1780x790x1120 мм
Маса	120 кг

Для фінішної очистки виливків використовуємо шліфувально-обдирні верстати (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.

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

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА КОРПУС НШЗ2УК

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок

Деталь корпус – НШЗ2УК-3-00-02 виготовляється литтям в кокіль з алюмінієвого сплаву марки АК5М2Ц4. Хімічний склад та механічні властивості сплаву подані в розділі 1 таблиці 1.1 і 1.2.

Габаритні розміри деталі 116x101,5x149 (див. креслення деталі).

Згідно конструкції насосу корпус призначений для установки в ньому валів із зубчатих шестерень, які виконують роль механізму, що служить для переміщення масла по гідросистемі. Виходячи з цього, корпус має два отвори діаметром 51 мм. Із сторони розрізу є два платика розміром 50 мм, які отримуються за допомогою плоских вставок та металевих стержнів. Внутрішня поверхня відливка має складну конфігурацію.

Максимальна товщина стінки відливка 24 мм, мінімальна 12 мм.

Відливаються два отвори діаметром 19,5 мм, які отримуються за допомогою металевих стержнів. 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 стержнів і вставок.

2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка

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 циліндричної поверхні, для забезпечення вільного підживлення відливка і направленої затвердіння.

3. Постановку стержнів проводити знизу, а вставки монтуються на кокілі.

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

4. Відливки 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 складну внутрішню поверхню;

б) деталь має різну товщину стінок, тому конструкція відливка змінена і значно 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]:

- нижня і зовнішня бокові поверхні - 2 мм;

- внутрішні бокові поверхні - 2 мм;

- верхні поверхні - 3,0 мм.

Допуски на розміри металевих стержнів:

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 АК5М2Ц4) 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:

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

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

V_n - об'єм підживлювача, см^3 .

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

де r – радіус відливка, $r=14,9$ см;

h – висота відливка, $h=11,5$ см.

$$V_{\text{відл}} = 3,14 \cdot 14,9^2 \cdot 11,5 = 8016,8 \text{ см}^3.$$

Визначаємо об'єм підживлювача:

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

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

$k = 0,25$

$$V_n = \frac{0,065}{0,25} \cdot 8016,8 = 2084,4 \text{ см}^3$$

$$V_p = 0,065 \cdot (8016,8 + 2084,4) = 656,5 \text{ см}^3$$

Приймаємо підживлювач прямокутної форми за специфіки конструкції відливка.

Приймаємо $a=10,0$ 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.

$$h = \frac{656,5}{10 \cdot 7,5} = 8 \text{ см.}$$

Приймаємо висоту підживлювача 80 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 - щильву 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 10,15 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.

$$h_c = 10,15 + 8 = 18,15 \text{ см.}$$

Виходячи із залежності між висотами стояка і чаші, приведений на стор.113 [3] для $h=200$ мм приймаємо висоту чаші $H_q = 60$ 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 $h_q = 55$ мм;

h_c - висота стояка, мм.

$$H_o = 245 + 55 = 300 \text{ мм.}$$

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

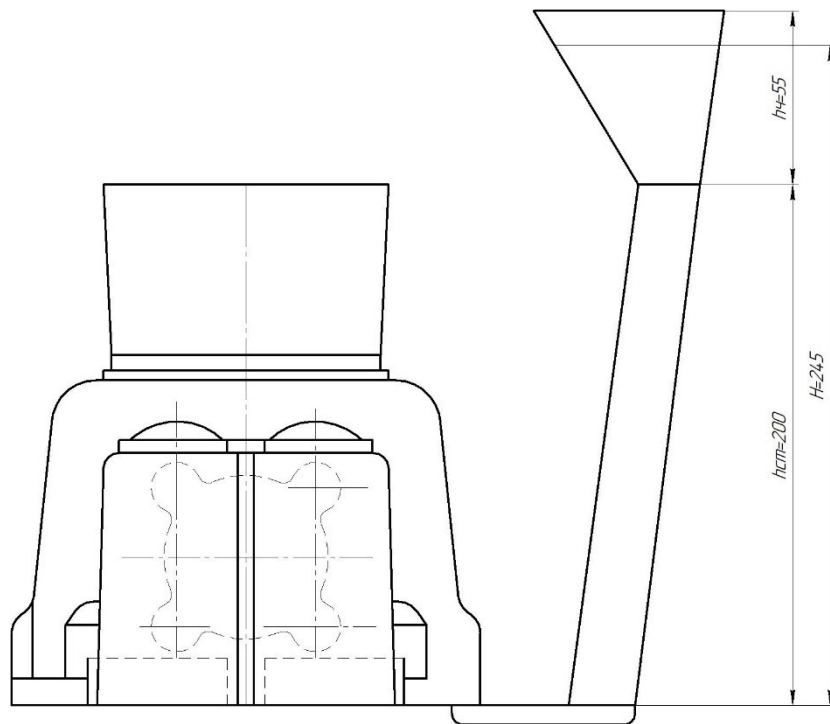


Рис. 2.1. Схема до розрахунку ливникової системи.

$$F_\phi = \pi \cdot r^2 - 2 \cdot \pi \cdot r_1^2, \quad (2.8)$$

де r - радіус відливки, см;

r_1 - радіус отвору, см.

$$F_\phi = 3,14 \cdot 7,6^2 - 2 \cdot 3,14 \cdot 5^2 = 24,36 \text{ см.}$$

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.

$$H_p = 30,0 - \frac{10,15}{2} = 24,95 \text{ см.}$$

Визначення розрахункової швидкості руху розплаву по стояку.

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

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

$H_0 = 0,384$ м - початковий гідростатичний напір;

$L_k = 0,140$ 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] $V_{\text{сmax}} = 1,86$ 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:

$$P_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1, \quad (2.11)$$

$$P_{\phi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 7,6 + 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5,0 = 110,52 \text{ см},$$

$$Q_{\phi} = 2 \cdot 110,52 = 221,056 \text{ см}^3/\text{с}.$$

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 .

$$V_{\phi} = \frac{221,056}{24,36} = 9,07 \text{ см/с}$$

По табл. 7 [3] для відливка товщиною $\sigma_{\text{від}} = 21 \text{ мм}$ і висотою $h_{\text{від}} = 101,5 \text{ мм}$ 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 .

$$F_c = \frac{221,056}{130} = 1,9 \text{ см}^2.$$

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:

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

де d_{cv} , d_{cn} - 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.

$$H = 18,3 + 5,2 = 23,5 \text{ см};$$

$$d_{cs} \geq 14 \cdot \sqrt[4]{\frac{0,6^2 \cdot 23,5}{0,98^2 \cdot 5,2}} = 15,9 \text{ мм.}$$

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 $a = 18,5 \text{ мм}$; ширину $b = 17,5 \text{ мм}$; висоту $h = 18,5 \text{ мм}$.

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, см²;

F_k - площа перерізу колектора, см².

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

Максимально допустима швидкість визначається за формулою:

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

де R_k - площа поперечного перерізу колектора, см².

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

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

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

Товщину живильника приймаємо рівною $\delta_{ж} = 7 \text{ мм}$

Знаходимо висоту живильника:

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

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

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

$$c = \frac{6}{0,7} = 8,6 \text{ см.}$$

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 корпус НШ32УК-3-00-02 виготовляється в кокілі, який монтується на одно позиційну гідравлічну машину моделі 82А505, технічна характеристика машини в розділі 1, кокіль монтується на штоки бокових гідроциліндрів та на направляючі. Також вмонтовані стержні.

2. Після збирання кокілю проводиться його розігрів до температури $250...300 \text{ }^\circ\text{C}$ 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 стержні. Можна проводити заливку металу.

5. Метал - алюмінієвий сплав АК5М2Ц4 (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. Відливки 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 3 мм.

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

- твердість (100... 125 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 відливок 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 корпус перевіряють на герметичність на спеціальних випробувальних гідравлічних стендах.

2.6. Опис процесу проектування ливарного оснащення

Кокіль для виготовлення відливків корпус НШ 32УК-3-00-02 виготовляється литтям з сірого чавуну марки СЧ 20. Для покращення властивостей чавуну його 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 формоутворюючих поверхонь кокілю. Кокіль виготовляється без підживлюючої частини, ця частина виготовляється з нелегованого сірого чавуну марки СЧ 20 шляхом механічної обробки заготовки. Частина підживлювача прикріплюється болтами до кокілю.

Кокіль має ребра жорсткості для зменшення металоємкості і ваги. Основа кокілю виготовляється з чавуну СЧ 20 того ж складу, що і кокіль.

Стержні круглі (див. креслення) виготовляються шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Плоскі стержні виготовляються шляхом механічної обробки плоских заготовок. Контактуючі поверхні з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Бокові стержні виготовляються також шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

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

2.7. Аналіз конструкції ливникової системи

При виготовленні відливка корпус НШ 32УК-3-00-02 на ПАТ "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. Контроль якості відливків

Відливки, що пройшли проміжний контроль на різних стадіях технологічного процесу, піддаються остаточному контролю для визначення їх відповідності вимогам стандартів і технологічних умов. Перевіряють хімічний склад сплаву, структуру, геометрію і розмір відливків, механічні властивості, встановлюють поверхневі і внутрішні дефекти.

Хімічний склад сплаву перевіряють один раз за плавку за допомогою спектрального аналізу.

Механічні властивості сплаву перевіряють для виливків однієї партії, але не рідше, ніж один раз на тиждень.

Структуру, пористість виливків перевіряють для виливків однієї партії, але не рідше, ніж один раз на тиждень.

Геометрію і розміри виливків перевіряють в бюро технічних вимірів відділу технічного контролю при встановленні нового кокіля, або при переналагоджуванні кокільних машин.

Поверхневі дефекти відливків у вигляді тріщин, раковин, пригару визначають візуально шляхом порівняння з еталоном, не видимі поверхні дефекту визначають з допомогою магнітної і світлової дефектоскопії.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання розробки технології виготовлення виливка «Корпус НШ32УК» методом лиття в кокіль.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибрано матеріали та обладнання для виготовлення виливків та описано роботу ливарного обладнання;
- описано послідовність розробки технології лиття;
- розраховано і сконструйовано ливникову систему;
- описано технологічний процес виготовлення відливка;
- описано процес проектування ливарного оснащення;
- вибрано параметри контролю якості відливків.
-

В першому розділі вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву.

Для плавки сплаву вибрано плавильно-роздавальні печі НО-136 ємністю 220 кг. Описано процес підготовки печі до плавки, нанесення на тигель і плавильний інструмент вогнетривкого покриття. Описано процес плавки та рафінування алюмінієвих сплавів.

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

Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

В другому розділі виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, 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, вибрано параметри контролю якості відливків.

Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник / Б. Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. 188 с.
2. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1997. 510с.
3. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2-е изд. Перераб. М.: Машиностроение, 1978. 432 с.
4. Рожнецкий И.А. Практические и лабораторные работы по литейному производству. – Киев:Вища школа, 1973. – 83 с.
5. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 125 с.
6. В. П. Мовчан, М. М. Бережний. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 336 с.
7. Хричиков В.Е., Меняйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
8. Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навч. посіб. до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 136 «Металургія» спеціалізації «Ливарне виробництво» / А.М. Фесенко.–Краматорськ : ДДМА, 2017. – 112 с.
9. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного лиття : підручник для вищих учбових закладів / С. І. Реп'яха, В. Г. Могилатенко, З. А. Івченко [та ін.]; під ред. С. І. Реп'яха, В. Г. Могилатенка. - 2-ге вид., допов. та доопрац. - Запоріжжя : Мотор Січ, 2016. - 474 с.
10. Теорія ливарних сплавів : навч. посібник / Г. А. Бялік, В. В. Наумик, В. В. Луньов, А. В. Пархоменко. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 156 с.

11. Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів: навч. посібник / Г. А. Бялік, Е. І. Цивірко, О. Ф. Кузовов, В. В. Луньов. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 98 с.
12. Формувальні матеріали : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.
13. Теоретичні основи ливарного виробництва : навч. посіб. / Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І, Дробязко В.М., [та ін.]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.
14. Ливарна гідравліка: Навчальний посібник / [В. М. Дробязко, А. М. Фесенко, Р. В. Лютий, М. А. Фесенко]; Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.
15. Дмитрович А.М. Справочник литейщика. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 390 с.
16. Пономаренко О.И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства: Монография / О.И Пономаренко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
17. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко, В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека. – Київ: Вініченко, 2016. – 224 с.
18. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. К.: ІСДО, 1993. 552 с.
19. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. 125 с.
20. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1993. 368 с.
21. Рубцов Н. Н. Специальные виды литья. М.: Машгиз, 1955. 331 с.
22. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1967. 239 с.
23. Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 195 с.

24. Литье в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. М.: Машиностроение, 1980. 415 с.
25. Применение алюминиевых сплавов. Справочное руководство / М. Б. Альтман [и др.]. Москва : Металлургия, 1973. 408 с.
26. Дубинин Н.П. Беликов О.А и др. Кокильное литье. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1967. 456с.
27. Белов А.Ф., Добаткин В.И., Квасов Ф.И. и др. Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1971. С. 352.
28. Белов А.Ф., Добаткин В.И., Квасов Ф.И. и др. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочник. М.:Металлургия.1972.С. 552.
29. Фридляндер И.Н. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1983.С.560.
30. Колобнев, И.Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1966. 394с.
31. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокиль алюмінієвих сплавів. Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя : АА Тандем, 2018. С. 119-120.

ДОДАТКИ