

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології лиття в кокіль виливка
«Корпус НШ100» з забезпеченням
регулювання теплового режиму кокіля»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го

курсу групи ПМ-22М-1

ОПП «Прикладна механіка»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Олександр КОРТАК

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Кропивницький – 2023

Анотація

КОРТАК Олександр. Розробка технології лиття в кокіль виливка «Корпус НШ100» з забезпеченням регулювання теплового режиму кокіля. Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2023. 74 с.

Вибрано ливарне обладнання та описано роботу ливарного цеху. Розроблено технологію лиття в кокіль виливка «Корпус НШ100». Досліджено можливість регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного моделювання потоку повітря в каналах центрального стержня.

Актуальність роботи полягає у розробці технології лиття в кокіль виливка «Корпус НШ100» з використанням сучасного високопродуктивного ливарного обладнання. На основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах центрального стержня розроблено нову конструкцію стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться до 45,8 % теплоти. Таким чином, розроблена конструкція охолоджуваного центрального стержня дозволяє підвищити продуктивність процесу лиття, підвищити якість литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищити ресурс кокіля.

Ключові слова: виливок, кокіль, охолодження, теплообмін, теплоємність, теплопровідність, стержень, комп'ютерне моделювання.

Summary

KORTAK Oleksandr. Development of a casting technology for the "HIII100 body" casting with the provision of the control of the thermal regime of the coke oven. Qualification work at the second (master's) level of higher education: CUNTU, 2023. 74 p.

Foundry equipment is selected and the work of the foundry shop is described. The technology of casting in the casting mold "NSH100 housing" has been developed. The possibility of adjusting the thermal regime of the mold based on computer modeling of the air flow in the channels of the central rod was investigated.

Keywords: casting, mold, cooling, heat exchange, heat capacity, thermal conductivity, rod, computer modeling.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ	8
1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху	8
1.2. Плавильне відділення	9
1.3. Відділення лиття в кокіль	19
1.4. Відділення відрізки та обрубки ливників	26
1.5. Відділення фінішної очистки виливків	28
1.6. Допоміжні відділення	29
1.7. Висновки по розділу	31
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ ВИЛИВКА «КОРПУС НШ100»	33
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	33
2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка	34
2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	37
2.4. Технологічний процес виготовлення виливка	42
2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення	44
2.6. Аналіз ливникової системи	45
2.7. Висновки по розділу	46
3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ КОКІЛЯ	47
3.1. Обґрунтування способу охолодження кокіля на основі аналізу конструкцій і способів охолодження кокілів	47
3.2. Розробка нової конструкції охолоджуваного кокіля	55
3.3. Побудова 3D-моделі стержня	57
3.4. Комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation	60

3.5. Аналіз ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля	66
3.6. Висновки по розділу	68
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	72
ДОДАТКИ	75

ВСТУП

Актуальність роботи. Незважаючи на поважний вік, який налічує понад 7000 років, ливарне виробництво залишається основним постачальником заготовок деталей для машинобудування та інших галузей промисловості.

Алюмінієве литво завдяки своїм відомим перевагам займає суттєву частку від загальної маси виливків. Алюмінієві сплави мають високу питому міцність, малу густину, пластичність, відносно не дорогі і доступні, добре зварюються, піддаються механічній обробці, мають гарні ливарні властивості та стійкі до корозії.

Виливки з алюмінієвих сплавів отримують практично усіма способами лиття, але найпоширенішими є спеціальні способи лиття, а саме, лиття в металеві форми – кокілі.

Лиття в кокіль дозволяє отримувати якісні виливки заданої конфігурації з достатньо високою розмірною точністю і мінімальними припусками на механічну обробку. Технологічний процес лиття в кокіль характеризується високою продуктивністю, економічністю, малою трудомісткістю, високим ступенем механізації і автоматизації.

Основним недоліком технології лиття в кокіль є висока теплоакумуюча здатність форми, яка вимагає підігрівання форми на початку процесу лиття і її охолодження в процесі подальшої роботи, коли форма розігріта. Якщо форму в процесі розливки не охолоджувати, то час затвердіння вилівка значно збільшується. Це призводить до погіршення структури металу і, як наслідок, до зменшення його механічних властивостей. Крім того, локальні перегрівання форми призводять до утворення у виливку дефектів усадкового характеру – усадкових раковин і пористості. Також, суттєве перегрівання форми призводить до виникнення термічних напружень і зменшує ресурс кокіля. Тому дослідження, спрямовані на забезпечення регулювання теплового режиму кокіля є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ100» з забезпеченням регулювання теплового режиму кокіля.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного цеху;
- розробка технології лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ100»;
- дослідження можливості регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного моделювання потоку повітря в каналах центрального стержня;
- конструювання центрального стержня кокіля, який забезпечує регульоване повітряне охолодження форми.

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

Предмет дослідження – регулювання теплового режиму кокіля шляхом охолодження центрального стержня стисненим повітрям.

Практичне значення – запропоновано нову конструкцію центрального стержня, який забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля за допомогою пневматичної системи цеху.

Особистий внесок – розроблено технологію лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ100», обґрунтовано необхідність охолодження центрального стержня, розроблено конструкцію охолоджуваного стержня та на основі комп'ютерного моделювання потоку повітря підтверджено можливості регулювання теплового режиму кокіля.

1. ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА ОПИС РОБОТИ ЛИВАРНОГО ЦЕХУ

1.1. Обґрунтування розташування та режиму роботи ливарного цеху.

Місце розташування ливарного цеху є важливим чинником формування собівартості випускаємої продукції. На вибір місця розташування ливарного цеху впливають такі фактори, як об'єм литва, маса виливків, вид литва, екологічність використовуваних матеріалів, обладнання та технологій, логістичні можливості доставки необхідних матеріалів у достатній кількості та вчасної відправки готової продукції, можливості забезпечення виробництва енергетичними, матеріальними і трудовими ресурсами, екологічність виробництва, тощо.

Враховуючи перераховані вище фактори, місце розташування ливарного цеху доцільно вибрати на околиці міста, в промисловій зоні, відділений від живих масивів лісосмугами. При цьому всі відходи виробництва повинні уловлюватися, перероблятися, або утилізуватися. В промисловій зоні є можливість під'єднання до електричної мережі, газової мережі, мережі централізованого водопостачання та водовідведення. Технічну воду можна отримувати із свердловини, або через очисні станції із місцевих річок. Близькість розташування житлових масивів та сусідніх селищ вирішує питання забезпечення виробництва трудовими ресурсами. Наявність автотранспортних розв'язок та проходження Одеської залізниці дозволяють транспортувати матеріали, обладнання та продукцію у необхідній кількості.

Опалення цеху планується здійснювати із власної котельної установки з використанням водяної системи опалення.

Ливарний цех призначений для випуску алюмінієвого литва для потреб сільськогосподарського та автотранспортного машинобудування методом лиття в металеві форми – кокілі. На такому виробництві зазвичай використовують механізовані, автоматизовані, або роботизовані одно-, або багатопозиційні кокільні верстати. Самі кокілі можуть бути з двома і більше з'ємними частинами, з механізмами запирання форми, видалення стержнів, тощо.

Номенклатура виливків представляє собою заготовки деталей до гідравлічних машин і агрегатів: кришки, корпуси, втулки, обойми, проставки до шестеренних насосів, гідравлічних моторів.

Режим роботи ливарного цеху залежить від об'єму (серійності) виробництва, середньої маси виливків, виду металу, продуктивності та особливостей застосування плавильних печей, особливостей технологічних процесів.

Для нашої номенклатури виливків, серійності виробництва та ступеня механізації та автоматизації технологічних процесів підходить двозмінний режим роботи ливарного цеху. У випадку необхідності, обслуговування або ремонт обладнання можливо здійснювати у третю зміну.

1.2.Плавильне відділення

1.2.1. Характеристика сплаву що виплавляється

Згідно з завданням на випускну кваліфікаційну роботу для виготовлення виливків використовується сплав АК5М2Ц4. Хімічний склад та механічні властивості сплавів наведені у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
АК5М2Ц4	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
АК5М2Ц4	Т1	22 (216)	1,3	95–125	1,25	410

Алюмінієві сплави відносяться до кольорових сплавів. 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.

Залежно від застосування того чи іншого легуючого елемента розрізняють сплави: алюмінієво-мідні, алюмінієво-кремнієві, алюмінієво-магнієві, алюмінієво-марганцеві. До лігатур можуть відноситись також титан, олово, цинк, тощо. Наш сплав АК5М2Ц4 згідно з табл. 1.1 містить кремній у кількості 5%, мідь у кількості 2%, марганцю – 0,5% і цинк у кількості до 8%. Також у сплаві присутній титан у невеликій кількості – до 0,2%. Залізо в алюмінієвих сплавах є шкідливою домішкою, яка призводить до утворення голчастої структури при кристалізації, і, як наслідок, до підвищення крихкості сплаву при механічній обробці.

До основних переваг алюмінію слід віднести доступність (велике поширення у земній корі), малу густину у порівнянні з чорними сплавами при достатньо високій міцності, здатність до багаторазового використання, добру корозійну стійкість, гарну оброблюваність різанням, високі ливарні властивості, добру зварювальну здатність та багато інших переваг.

Завдяки перерахованим перевагам алюмінієві сплави широко застосовуються в автомобільній, хімічній, авіаційній, машинобудівній, приладобудівній та інших галузях промисловості як в Україні, так і у всьому світі.

1.2.2. Вибір плавильного агрегату

Для плавки алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 вибираємо індукційну тигельну піч ІАТ-2,5/1,15. Індукційні тигельні печі завдяки своїм відомим перевагам широко застосовують для плавки алюмінієвих сплавів в ливарних цехах. Втрати металу на угар, зливи і сплески невеликі, висока продуктивність,

високий коефіцієнт корисної дії, добрі санітарно-гігієнічні умови праці. Завдяки постійному перемішуванню металу внаслідок дії індукційних струмів отримується однорідний за температурою та хімічним складом сплав. Дана обставина також сприяє швидшому засвоєнню легуючих елементів при введенні лігатур у розплав.

В результаті плавки частина металу втрачається в результаті утворення шлаку, оксидних плівок та угару. Втрати при плавці алюмінієвого сплаву приведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати при плавці алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
AK5M2Ц4	4,500		1,610	6,110

Індукційні печі зарекомендували себе як надійні і практичні плавильні установки для ливарної індустрії. При використанні промислової частоти вони особливо ефективні для плавки малорозмірних матеріалів, зокрема, стружки. Чудова рівномірність температури розплаву і його гомогенність є додатковими перевагами. Ці печі виготовляються виходячи з конкретних потреб виробників високоякісних литих виробів з легких металів та напівфабрикатів, забезпечують покращену гнучкість у роботі, високу продуктивність та широкі можливості регулювання процесу плавки.

В наш час на протязі ряду років провідні ливарні підприємства успішно використовують індукційні тигельні печі OTTO JUNKER для плавки і обробки надзвичайно широкого спектра сплавів.

Безканальна тигельна індукційна піч має замінний керамічний тигель для розплавлення і перегріву металу за допомогою зовнішнього спірального водоохолоджувального індуктора.

Як правило піч має магнітопровідні екрани, систему гідравлічного нахилу, замкнену систему водяного охолодження індуктора та силових кабелів, систему

безперервного зважування, що дозволяє здійснювати автоматизоване завантаження печі шихтовими матеріалами, систему контролю параметрів процесу, термопари для контролю температури розплаву, системи автоматизованого керування процесом плавки.

Завдяки багаторічному досвіду виробництва тигельні індукційні печі OTTO JUNKER зарекомендували себе як високонадійне, легко встановлюване, і добре експлуатуєме обладнання.

Електропіч індукційна тигельна ІАТ–2,5/1,15 призначена для розплавлення перегрівання сталі, чавуну та кольорових сплавів. Плавка кольорових сплавів виконується в графітових тиглях, а плавка чорних металів в набивних тиглях. Технічна характеристика печі наведена в табл. 1.4. Піч зображена на рис. 1.1



Рис. 1.1. Індукційна тигельна піч OTTO JUNKER IAT-2,5/1,15

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика індукційної печі
IAT–2,5/1,15 OTTO JUNKER

Технічний параметр	Показник	
	Плавка в гарячому тиглі	Плавка в холодному тиглі
Ємкість печі, т:		
по сталі	2,5	2,5
по міді	2,8	2,8
по алюмінію	0,85	0,85
Потужність, кВт :		
живлючого перетворювача	320	320
споживаєма	250	250
Температура перегріву, °С :		
сталі	1600	1600
міді	1200	1200
алюмінію	760	760
Питома втрата електроенергії на розплавлення та перегрів, кВтгод/т :		
сталі	665	750
міді	480	700
алюмінію	380	600
Максимальна швидкість плавки, т/год :		
сталі	1,5	1,0
міді	2,25	1,6
алюмінію	1,15	0,85
Час розплавлення та перегріву, год		
сталі	1,3	2,0–2,2
міді	1,0	1,4–1,8
алюмінію	0,6	0,8–1,0

1.2.3. Розрахунок балансу металу

Баланс металу розраховуємо на 1 т придатних виливків.

Загальна маса металевої завалки для плавильних печей, що припадає на 1 т придатних виливків, т:

$$M = \frac{100 \cdot (П + Л + Б)}{100 - y - z}, \quad (1.1)$$

де

П – маса придатного литва,

Л – маса ливників,

Б – маса браку,

у – відсоток угару при плавці, в зв'язку з тим що цей сплав дуже активний до окислення,

з – відсоток зливів, метал що залишається в ковші та іде на переплав.

$$M = \frac{100 \cdot (1,000 + 0,354 + 0,058)}{100 - 1,61 - 4,5} = 1,504 \text{ т}$$

Тобто, для отримання 1т придатних виливків необхідно розплавити 1,504 т металу.

Визначаємо відносний вміст складових балансу:

- придатного литва, ливників та браку:

$$п = \frac{П}{М} \cdot 100\%; \text{ л} = \frac{Л}{М} \cdot 100\%; \text{ б} = \frac{Б}{М} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Для сплаву АК5М2Ц4:

$$п = \frac{1,000}{1,504} \cdot 100\% = 66,48\%,$$

$$\text{л} = \frac{0,354}{1,504} \cdot 100\% = 23,54\%,$$

$$\text{б} = \frac{0,058}{1,504} \cdot 100\% = 3,86\%$$

Визначаємо масу угару та зливів, т

$$y = \frac{1,61}{100\%} \cdot 1,504 = 0,024 \text{ т}$$

$$z = \frac{4,5}{100\%} \cdot 1,504 = 0,068 \text{ т}$$

Таблиця 1.5

Відомість балансу металу сплаву АК5М2Ц4

Складові балансу	т	%
Придатне литво	1,000	66,48
Ливники	0,354	23,54
Брак	0,058	3,86
Угар	0,024	1,61
Зливи	0,068	4,52
Всього	1,504	100,00

Перед використанням у плавильному відділенні всі шихтові матеріали повинні пройти спеціальну підготовку – подрібнення, очищення від мастил і бруду та сторонніх включень (пісок, окиси, сторонні метали), сушка (видалення води), підігрівання (переважно застосовують для лігатур).

Чушкові вихідні матеріали та зливки в'язких металів таких як алюміній, олово, мідь розрізають на алігаторних ножицях. Умови зберігання шихтових матеріалів на складах мають великий вплив на якість металу оскільки потрапляння у розплав навіть невеликої кількості води викликає насичення розплаву воднем, і весь метал іде у брак. Шихтові матеріали повинні відповідати сертифікату якості, бути ретельно захищені від атмосферних опадів, сухими і не забрудненими.

Склад зберігання шихтових матеріалів зазвичай розташовують у окремому закритому приміщенні, яке безпосередньо сполучається з плавильним відділенням.

В залежності від хімічного складу сплаву та наявних шихтових матеріалів, співвідношення окремих складових в шихті буде різним. Шихта може складатися з лише свіжих металів – сплав алюмінію відповідного хімічного складу в чушках, з свіжих металів з додаванням, відходів та брухту. За необхідності, для коригування хімічного складу сплаву у шихту додають відповідні лігатури. Найбільш часто зустрічається випадок складання шихти з використанням відходів власного виробництва, оскільки на будь якому машинобудівному підприємстві утворюються відходи (ливники, зливи, стружка), які необхідно кудись дівати. Цілком логічно їх використовувати в якості шихтових матеріалів.

Перед тим, як розпочати процес плавки необхідно виконати розрахунок шихти, тобто визначити кількість окремих компонентів шихтових матеріалів, які розплавляють для отримання сплаву необхідного хімічного складу. При цьому вихідними даними для розрахунку є: хімічний склад сплаву за ГОСТ або ТУ; хімічний склад вихідних шихтових матеріалів; угар або пригар окремих складових сплаву в процесі його виготовлення.

В якості шихтових матеріалів для приготування сплаву АК5М2Ц4 використовуються 65% свіжого чушкового алюмінію та 35% відходів власного виробництва. При чому, як свіжий чушковий алюміній, так і відходи власного виробництва мають такий же хімічний склад, як і готовий сплав. Але, в цьому випадку необхідно звертати увагу на хімічний склад відходів власного виробництва. Адже при багаторазовому використанні матеріалів в процесі плавки можуть вигорати деякі елементи, наприклад, цинк. Також при тривалій витримці розплавленого металу в чавунних тиглях, розплав може насититися залізом, важкі елементи опуститися до низу ванни, а легкі піднятися. Тому необхідно ретельно слідкувати за хімічним складом відходів власного виробництва, не допускати тривалого відстоювання розплавленого металу в печі, періодично перемішувати метал в роздавальній печі. Це забезпечить отримання

відповідного сплаву заданого хімічного складу. Виходячи з цього розрахунок шихти робити не потрібно.

Для рафінування металу перед заливкою і розливкою у кокілі необхідно передбачити роздаточні печі, в кількості 2 печі на одне робоче місце дільниці лиття в кокіль. При цьому, з однієї печі відбувається заливка форм, а в іншій печі в той же час відбувається підготовка печі, переливка розплаву з плавильного відділення барабанним ковшем в роздавальну піч, рафінування розплаву, витримка, зняття шлаку. В якості роздаточної печі було обрано електричні печі опору НО-136, технічна характеристика яких показана у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика печі НО–136

Технічний параметр	Показник
Загальна маса печі без фундаменту і тигля	1365 кг
Продуктивність печі (у режимі плавки)	70 кг/год
Напруга жиличої мережі	380 В
Число фаз	3
Частота струму	50 Гц
Максимальна робоча температура	850° С
Число теплових зон	1
Час розігріву печі до робочої температури при потужності:	
40 кВт	3,5–4 год
48 кВт	2,5–3 год
55 кВт	1,5–2 год
Маса одноразового завантаження (по алюмінію)	200–220 кг
Розміри робочого простору :	
діаметр	500 мм
глибина	604 мм
Габаритні розміри печі :	
діаметр	1700 мм
довжина	2300 мм
висота	1770 мм

Технологічний процес плавки алюмінієвого сплаву в індукційній печі наступний. Процес плавки алюмінієвого сплаву не викликає особливих труднощів. Оксидна плівка Al_2O_3 , що утворюється на поверхні розплаву захищає

його від насичення киснем і воднем з атмосфери печі. Необхідно мати на увазі, що захисні властивості окисної плівки змінюються під дією різних металів.

Весь процес приготування рідкого сплаву з доведенням його до розливки у форми можна розділити на такі основні етапи: пуск печей, виведення їх на робочий режим; підготовка шихтових матеріалів та їх завантаження в піч; плавка (приготування сплаву необхідного об'єму, хімічного складу і температури), довантаження шихтових матеріалів; рафінування і модифікування (за необхідності), витримка для спливання шлаку, зняття шлаку з поверхні металу шлакозчищалками у виливниці.

Пуск печі. Перед пуском нового тигля піч необхідно добре просушити, а потім поступово нагріти до 900 °С. Сушити треба з такою швидкістю, щоб рівномірно прогріти усю футеровку печі і тим самим уникнути утворення в ній тріщин. Ця операція надзвичайно важлива, оскільки в значній мірі саме вона визначає тривалість експлуатації печі. Індукційні печі потребують сушіння, чим більше буде видалено з футеровки вологи, тим краще буде сплав.

Перші декілька десятків плавок рекомендується проводити для переплавки відходів. Спочатку завантажують чушкові метали, потім великі відходи та тугоплавкі лігатури, а також браковані деталі. По розплавленню всієї шихти до сплаву додають присадки легкоплавких металів. Шихту завантажують так, щоб уникнути пошкодження тигля. Для очищення сплаву перед розливкою, від газових та металевих включень, щоб запобігти утворенню газових раковин та інших ливарних дефектів, проводять рафінування з використанням пробат флюса АЛ224. Пробат флюс АЛ224 представляє собою світло білий порошок без запаху. Порядок проведення рафінування наступний:

- провести відбір флюса спеціальною міркою;
- загорнути навіску в папір у вигляді конверту. Слідкувати за тим, щоб товщина конверта не перевищувала 10 мм;
- підготувати плавильний інструмент до рафінування: занурний дзвоник, зчищалка повинні бути пофарбовані вогнетривкою фарбою на основі окису

цинку та ретельно просушені, виливниці для збору шлаку повинні бути очищені та просушені;

- помістити навіску флюса в занурний дзвоник;
- занурний дзвоник з флюсом вводити в середину ванни з металом на глибину 50 – 100 мм від дна ванни, температура металу при цьому повинна бути 720 – 730 °С;
- при рафінуванні виконувати рухи занурним дзвоником по спіралі від центра до периферії та в зворотному напрямку, а також знизу до гори протягом 5 – 8 хв.;
- по закінченню рафінування занурний дзвоник витягти з розплаву та ретельно очистити. Закінченням рафінування вважати зупинення бурління металу;
- після рафінування розплав витримати протягом 10 – 15 хв. Для спливання шлаку і виходу газів;
- поверхню сплаву ретельно очистити від шлаку зчищалкою. Шлак зібрати в підготовлену виливницю;
- провести розливку металу;
- у випадку вистоювання сплаву після рафінування більше 60 хв необхідно провести повторне рафінування;
- після закінчення роботи необхідно вибити шлак з виливниці в спеціально виділену тару.

1.3. Відділення лиття в кокіль

Лиття в металеві форми є одним з прогресивних способів отримання виливків. Сутність процесу полягає в багаторазовому застосуванні металевої форми, яка має найбільш високу стійкість, ніж звичайна піщано-глиниста форма. Висока міцність матеріалу металевої форми дозволяє виконувати робочі порожнини форми з найбільш точними стабільними розмірами та відповідно отримувати виливки відповідно до 5-го класу точності.

Металева форма зазвичай складається з 2-х напівформ плити та вставок.

Рідкий метал заливається у форму через ливникову систему. Перед заливкою на робочу поверхню наносять напилення шар вогнетривкої фарби. Склад фарби залежить від заливаемого сплаву, а товщина від необхідної швидкості охолодження виливка. Крім того шар вогнетривкого покриття запобігає термічному угару поверхні форми який виникає внаслідок заливки металу.

В якості вогнетривкого кокільного покриття використовують покриття на основі окису цинку графітової або графіто-керамчної основи наступного складу (табл. 1.7) :

Таблиця 1.7 – 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 ємкість для приготування покриттів налити воду, підігріту до температури 60 – 80 ° С. Просіяти окись 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, счищальники, 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 вилівка. Тривалість витримки вилівка в формі призначають із врахуванням його розмірів і маси. Передчасне розкриття викликає руйнування вилівка в результаті його малої міцності. У випадку дуже великої витримки у формі вилівка можуть з'являтися тріщини усадочного характеру в наслідок непіддатливості форми. Тривалість витримки вилівка визначають розрахунком і коригують експериментально при впровадженні технологічного процесу.

Для лиття дрібних та середніх виливків масою до 7 кг приймаємо кокільні машини моделі 59K613.

Шестипозиційні карусельні кокільні машини 59K613 призначені для масового виробництва виливків з чорних і кольорових сплавів в кокілях з вертикальним роз'ємом. На кожній позиції такого кокілю є рухома і нерухома плита для кріплення на них відповідних частин кокілю. Привід машин – гідравлічний, цикл роботи – напівавтоматичний.

Всі технологічні операції в межах одного цикла – заливка розплаву в кокіль, охолодження виливка в кокілі, виштовхування виливка з кокілю, очищення і нанесення вогнетривкого покриття на робочу поверхню кокілю – виконуються за заданою програмою на певних позиціях і регулюються за часом.

Технічна характеристика шестипозиційних кокільних машин призначених для виробництва фасонних виливків приведена в таблиці 1.8:

Таблиця 1.8

Технічна характеристика шестипозиційних кокільних машин

Параметри	59K613
Кількість позицій	6
Розмір робочого місця для кріплення частини кокілю (ширина x висота), мм	500x400
Найменша відстань між плитами, мм	500
Хід плити, мм	400
Зусилля розмикання кокілю, кгс	4000
Час повороту каруселі на 1 позицію, с	6
Діаметр каруселі, мм	4600
Продуктивність, заливок/год	до 180
Максимальна металоемність кокілю, кг:	
• для чорних сплавів	40
• для кольорових	10
Висота машини над рівнем підлоги, мм	2350
Спільна висота, мм	2900
Маса машини, кг	25000

На рис. 1.3 представлена **шестипозиційна кокільна машина моделі 59K613**, призначена для виробництва фасонних виливків з алюмінієвих сплавів широкої номенклатури.

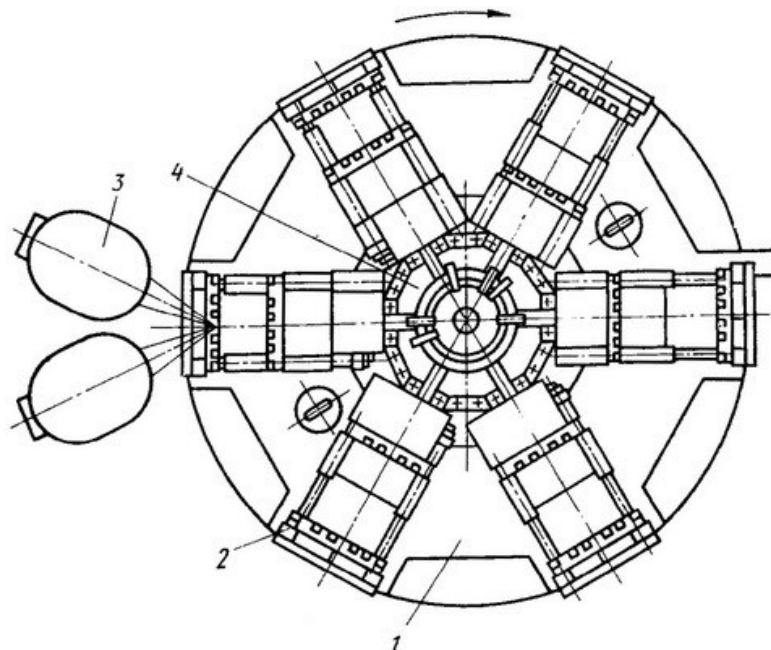


Рис. 1.3 – Карусельна кокільна машина моделі 59K613:
1 – платформа, 2 – кокільна секція, 3 – дозатор розплаву, 4 – гідравлічна розподільна колонка управління

Платформа 1 машини 59K613 (рис. 1.3) вмонтовується на порожнистій колоні. Маса платформи сприймається центральним опорним підшипником кочення. Періодичне обертання платформи з позиції на позицію здійснюється гідромеханічним пристроєм, що забезпечує точний поворот її на необхідний кут і фіксацію на окремих позиціях. Кокільні секції в машині для зручності простановки стержнів виконуються похилими і працюють по копіру.

Заливку розплаву на машині проводять двохпозиційним заливочним пристроєм, який керується дистанційно із спільного пульта управління. Для виробництва виливків з алюмінієвих сплавів можуть застосовуватися стандартні дозатори.

Окрім карусельних кокільних машин існує більше 30 моделей машин різних по рівню автоматизації і продуктивності, деякі з них в наш час експлуатуються у вітчизняній промисловості. Ці машини мають пневматичний і

гідравлічний приводи, вертикальний і рідше горизонтальний або похилий роз'єм матриці кокілю. Деякі карусельні машини для повороту каруселі мають електричний привід.

Існують карусельні кокільні машини з програмним управлінням. Змінюючи за програмою в широкому діапазоні параметри технологічного процесу на цій машині, можна отримувати виливки різної складності з чорних і кольорових сплавів.

Для лиття крупних виливків масою понад 7 кг приймаємо однопозиційні універсальні кокільні машини моделі 82А403 з гідравлічним приводом. Технічна характеристика даної машини представлена в табл. 1.9:

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика однопозиційної 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

На рис. 1.4 представлена однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403 з гідравлічним приводом. Машина має дві рухомі підкокільні плити, рухомий піддон, плити для кріплення нижнього, бокових і верхнього стержнів, а також з'ємник виливків з форми. Дана машина призначена для виробництва виливків складної конфігурації з алюмінієвих сплавів широкої номенклатури.

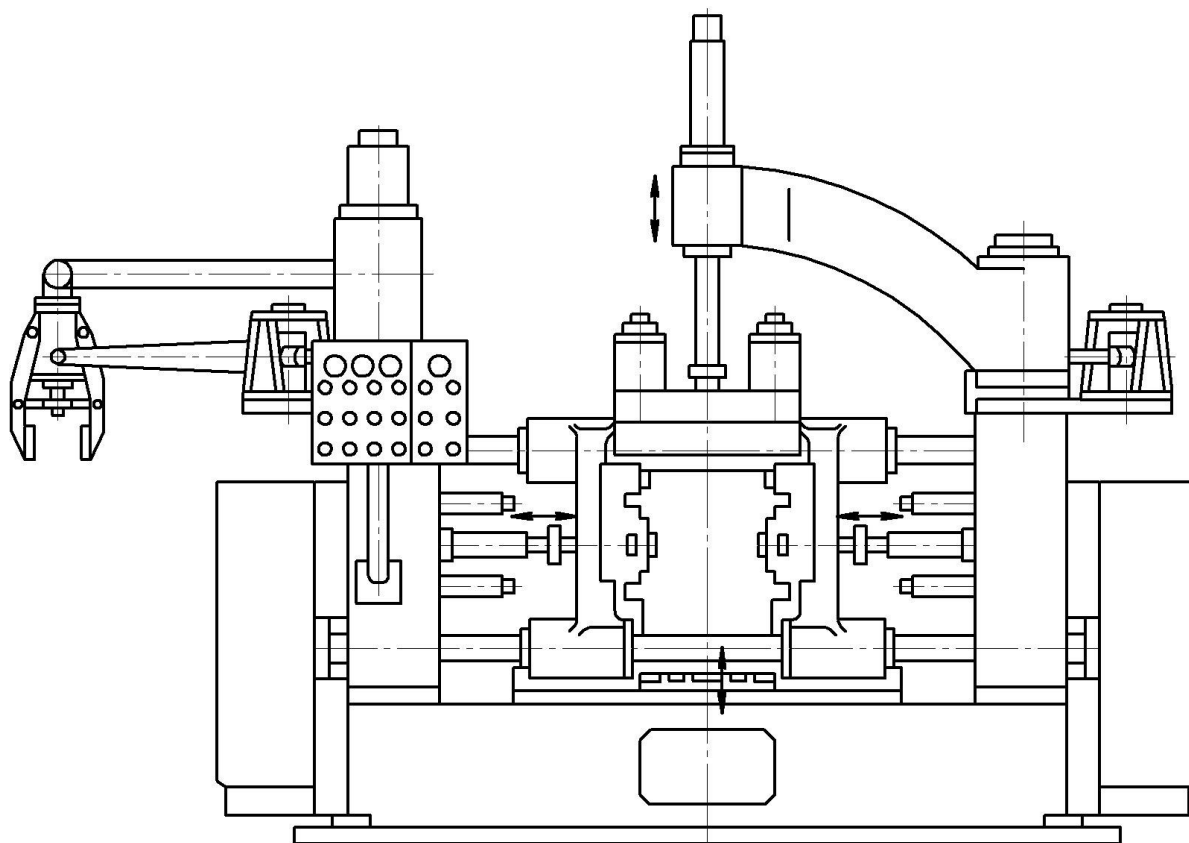


Рисунок 1.4 – Загальний вид однопозиційної універсальної кокільної машини мод. 82А403

Основним вузлом машини є рама, яка об'єднує всі вузли в єдине ціле, орієнтує їх спеціальним чином відносно один одного і забезпечує їх взаємодію. На раму встановлені правий і лівий гідроприводи, які служать для запирання кокіля і його розкриття після затвердіння виливка. На кожному з гідроприводів встановлені механізми виштовхування виливка. Також верстат має приводи нижніх, бокових і верхнього стержнів. Підколонні плити закріплені консольно на циліндричних направляючих, які в свою чергу кріпляться на нерухомих стійках. Підкокільні плити мають Т-подібні пази для кріплення кокіля. На підкокільну плиту встановлюється плита низу кокіля і розміщується металевий стержень та виштовхувачі.

Принцип роботи машини наступний. Вмикається гідронасос, який нагнітає тиск в гідросистемі. Всі гідро циліндри вмикаються на виштовхування, половини кокіля рухаються назустріч до повного змикання, стержні заводяться в простір форми. Після збирання кокіля у форму заливають розплавлений метал через ливникову систему до повного заповнення. Потім метал витримується у формі

до повної кристалізації (температура вибивки складає 450-500 °С). Після затвердіння металу гідро циліндри стержнів перемикаються на режим втягування і стержні з виливка видаляються. Потім вмикають правий і лівий приводи розкриття кокіля. При русі половин кокіля плита виштовхувачів зупиняється, внаслідок чого виливок виштовхується з форми. Потім маніпулятор захвачує виливок разом з ливниковою системою за підживлювач і передає його на стіл для відбивання ливників. Після повернення половин кокіля і маніпулятора до початкового положення спрацьовують кінцеві електричні вимикачі, які вмикають подачу робочої рідини в гідро циліндри. Описаний вище цикл повторюється до завершення розливки металу з роздавальних печей.

Біля кожного з верстатів передбачено гартувальні баки з водою, в які занурюються виливки після видалення їх з кокіля. Дана операція проводиться з метою термічної обробки виливка, а саме часткового гартування для підвищення механічних властивостей виливка.

1.4. Відділення відрізки та обрубки ливників

Для відрізання ливниково живильної системи та підживлювачів приймаємо стрічкопильний верстат JET HVBS-812 R, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.5, а технічна характеристика вказана у табл. 1.10.



Рис. 1.5. Стрічкопильний верстат JET HVBS-812 R

Таблиця 1.10 – 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 шківа 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

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 шківи 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 пропилу заготовки; широкий діапазон регулювання кінцевих вимикачів; можливість подачі в зону різання охолоджуючої рідини для запобігання перегріву полотна пилки і заготовки.

1.5. Відділення фінішної очистки виливків

Для фінішної очистки виливків використовуємо шліфувально-обдирні верстати, зовнішній вигляд якого представлено на рис. 1.6, а технічна характеристика вказана у табл. 1.11.

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.

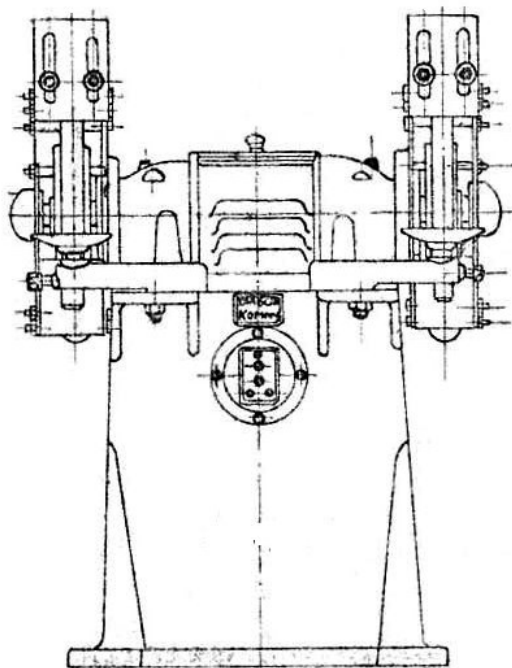


Рис. 1.6. Обдирно-шліфувальний верстат 3М634

Таблиця 1.11 – 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

1.6. Допоміжні відділення

1.6.1. Дільниця ремонту і футеровки ковшів

Дільниця ремонту і футеровки ковшів розташовується на плацу ливарного цеху безпосередньо біля плавильного відділення. На даній дільниці розташовуються футерувальні матеріали для ремонту і футеровки роздавальних барабанних ковшів – шамотна цегла прямокутна і фасонна, шамот метений, пісок, звязуючі матеріали, вогнетривкі обмазки і покриття. Дільниця оснащена газовим пальником для сушки і прокалки ковшів після футеровки і ремонту.

Ковші після футеровки і ремонту ретельно висушують спочатку на атмосферному повітрі цеху – 24 год. Потім ковші поступово прогрівають газовим пальником 4...6 годин до повного видалення вологи і прокалюють до температури 800 °С протягом 1...2 год.

1.6.2 Склад модельного оснащення

Склад модельного оснащення розмішують біля відділення лиття в кокіль. Кокілі розмішують на стелажах у зібраному виді. Кожен кокіль розміщується навпроти робочого місця, на якому він буде встановлюватись.

Безпосередньо біля складу модельного оснащення розташовують модельно-ремонтну майстерню для ремонту кокілів. В цій майстерні зазвичай використовуються металообробні верстати – шліфувальний, токарний, фрезерний, свердлильний, та ручний металообробний інструмент та слюсарний інструмент.

1.6.3. Лабораторії, службові та побутові приміщення

Лабораторія спектрального аналізу розташовується біля плавильного відділення.

Відділ технічного контролю знаходиться біля складу готової продукції. Даний відділ оснащений обладнанням для дослідження механічних властивостей матеріалів, вимірювальним інструментом, засобами контролю параметрів технологічних процесів – термопарами, секундомірами, аналітичними вагами, тощо.

Адміністративні приміщення цеху – начальника цеху, головного металурга, технолога, енергетика, кімната майстрів, технологічне бюро – розташовуються в одній будівлі з ливарним цехом.

Побутові приміщення також рівномірно розподілені по периметру цеху.

1.6.4. Склад готової продукції

Зазвичай, алюмінієве литво зберігається і транспортується в металевих коробах. Склад готової продукції розташовується біля відділення для виконання фінішних операцій. Склад представляє собою площу, на якій встановлені з

одного боку пусті короби, а з іншого – короби з виливками. Допускається встановлювати короби в два яруси. Для транспортування коробів використовуються кран-балки та автомобільні навантажувачі.

До складу готової продукції повинен забезпечуватись вільний проїзд як з ливарного цеху, так і заїзд через транспортні ворота.

1.6.5. Склад шихтових матеріалів

Склад шихтових матеріалів розташовуємо перед плавильним відділенням. Шихтові матеріали завозяться на склад в металевих коробах, або зв'язаними у штабелі автомобільним транспортом. Склад представляє собою площу, на якій встановлені короби з возвратом власного виробництва (ливники, брак, переплав стружки), короби і штабелі з чушковим алюмінієм. Допускається встановлювати короби і штабелі в два яруси. Для транспортування шихтових матеріалів використовуються кран-балки та автомобільні навантажувачі.

До складу шихтових матеріалів повинен забезпечуватись вільний проїзд як з боку плавильного відділення, так і заїзд через транспортні ворота.

1.7. Висновки по розділу

1. Обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху.
2. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, відділення відрізки та обрубки ливників, відділення фінішних операцій, допоміжні відділення – дільниця ремонту і футеровки ковшів, склад модельного оснащення, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, адміністративних та побутових приміщень.
3. Для плавки металу було обрано індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 фірми OTTO JUNKER ємністю 850 кг. Описано будову печі, наведено її технічні

характеристики. Для розливання сплаву у форми вибрано роздавальні печі НО-136 ємністю 220 кг. Описано процес рафінування алюмінієвих сплавів.

4. Для виготовлення вибрано два кокільних вертати. Для дрібних і середніх виливків масою до 7 кг обрано шестипозиційну кокільную машину моделі 59K613. Для крупних виливків масою понад 7 кг обрано однопозиційну універсальну кокільную машину моделі 82A403. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики кокільних машин. Описано процес підготовки кокілів до роботи та технологічний процес лиття.

5. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат JET HVBS-812RKT. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ

ВИЛИВКА «КОРПУС НШ100»

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок

Деталь – це виріб, виконаний із однорідного матеріалу без виконання складальних або монтажних операцій. Виливком називається деталь, отримана безпосередньо литтям металу в форму – порожнину, в яку заливається метал через ливникову систему і в якій відбувається затвердіння металу.

Деталь – корпус гідравлічного шестеренчастого насоса НШ100-3-01 (рис.2.1) (МР-131.23.04.02.01.00) виготовляється литтям у кокіль алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 по ДСТУ 2839-94. Виливок відноситься до II класу по ДСТУ 3015-95, точність виливка 9-0-0-8 ГОСТ 26645-85. Різностінність не більше 3 мм, короблення не більше 2 мм, перекис по роз'єму до 1,5 мм. Ливарні нахили - 3°, ливарні радіуси - 3 мм. Загальна пористість повинна бути не вище еталона №2 шкали пористості по ДСТУ 2839-94.

Виливок має складну конфігурацію як назовні так і у внутрішній порожнині. Корпус представляє собою циліндр, зміцнений з зовнішнього боку ребрами жорсткості. З боків до корпуса примикають платики, які мають плоску форму і служать для під'єднання шестеренчастого насоса до гідросистеми. Нижня торцева поверхня є базовою і служить для монтажу всіх внутрішніх деталей насоса всередині корпуса і закривається кришкою. Верхня торцева поверхня має отвір для виходу привідного валу насоса. Внутрішня поверхня корпуса має складну конфігурацію кількох конусів, яка отримується за допомогою виступів на металевому центральному стержні. В місцях, де передбачена механічна обробка, призначаються припуски. Механічна обробка проводиться на внутрішніх, торцевих поверхнях і на плоских бокових поверхнях платиків. На поверхнях, які є базовими не повинно бути раковин, заливів, неметалічних включень, вони повинні бути чистими. На деяких не оброблюваних поверхнях виливка допускаються одиничні раковини, неметалічні включення в кількості 4 шт., діаметром не більше 3 мм, глибиною не більше 1 мм, відстань між

дефектами не менше 10 мм. Габарити деталі 212x202x185 мм. Маса деталі – 7,7 кг. Твердість – не менше 80 НВ. Допуск зміщення або перекося вилівка по площині роз'єму до 1 мм. На поверхнях, які обробляються, допускаються різні дефекти, які не перевищують половини глибини припуску на механічну обробку. Залишки від підживлювача, випора та живильників необхідно зачистити в межах допуску на базові розміри. Допускається загальна пористість вилівка не вище еталона № 2 шкали пористості по ДСТУ 3015-95, а зональна не вище бала 3.

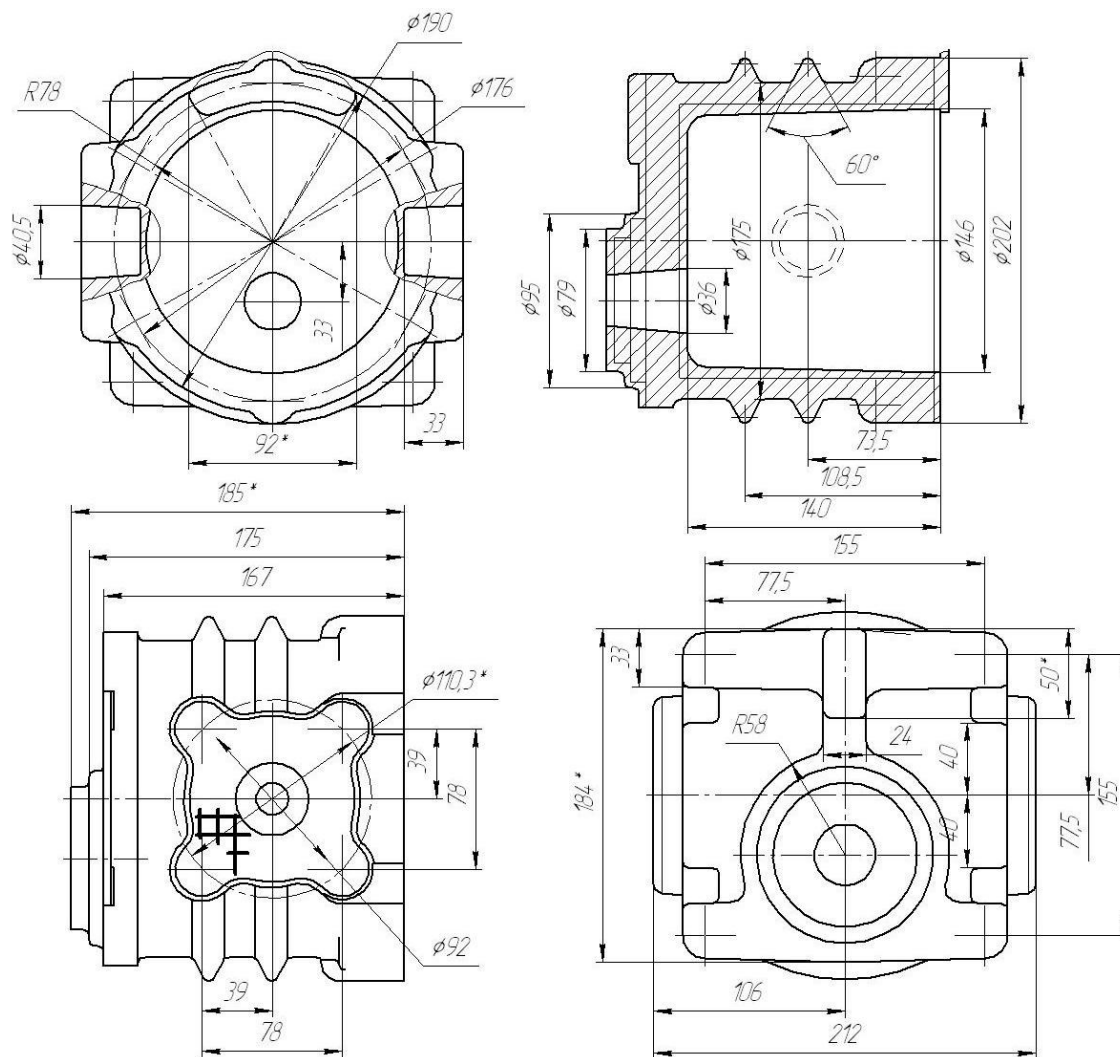


Рис. 2.1. Виливок корпус насоса НШ100-3-01

2.2. Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення вилівка

Перш ніж приступити до технологічного процесу виготовлення вилівка потрібно проаналізувати і досконально вивчити його конструкцію та технологічні вимоги. Після того, як був виконаний аналіз, необхідно визначити

положення виливка у формі в період заливки і затвердіння, поверхні роз'єму форми, встановити величину припусків на механічну обробку і усадку, радіуси округлень і ливарні уклони.

2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми. Для отримання якісного виливка, необхідно вибрати раціональний роз'єм форми. Поверхня роз'єму визначається конструкцією виливка, технологічними вимогами та місцевими конструктивними особливостями виливка. Але слід користуватись загальними положеннями з технології ливарної форми та теорії ливарного виробництва: поверхня роз'єму повинна бути плоскою; число поверхонь роз'єму повинно бути мінімальним; вибираючи роз'єм форми треба забезпечити зручність контролю розмірів форми; поверхня роз'єму повинна по можливості бути суцільною; роз'єм форми повинен бути таким, щоб не було підвісних стержнів, а головні стержні мали зручне розташування; роз'єм повинен бути вибраний так, щоб бази механічної обробки розташовувались в одній частині форми з оброблюваними поверхнями та не перетинались площиною роз'єму; циліндричні поверхні рекомендується розташовувати вертикально.

Проаналізувавши всі вимоги, вибираємо лінію роз'єму яка має вертикальне розташування з однією поверхнею роз'єму по середині деталі, при виконуються основні положення та принцип направленого затвердіння (рис. 2.2).

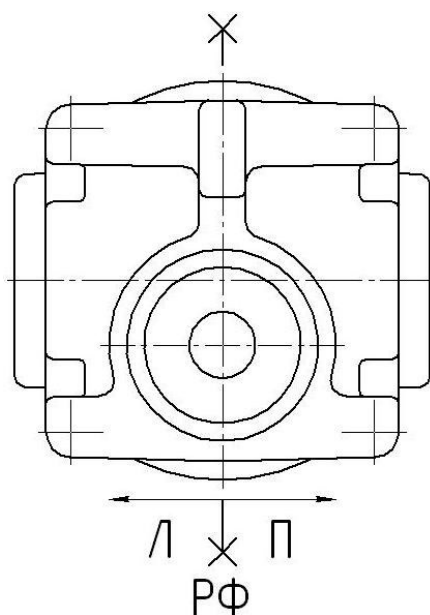


Рис. 2.2. Вибір поверхні роз'єму виливка

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку. Розміри виливків відраховують від розмірів готової форми на величину припуску на механічну обробку. Величина припуску вибирається від най більшого розміру вилівка, положення оброблюваної поверхні при заливці (зверху, знизу, збоку), способу отримання вилівка, класу точності вилівка.

Величина припуску на механічну обробку для виливків із алюмінієвих сплавів при литті в кокіль регламентується ГОСТ 26645-85. Припуски на механічну обробку для поверхонь зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Припуски механічну обробку виливків із алюмінієвих сплавів при литті в
кокіль

Найбільший розмір	Положення при заливці	Найменший розмір
3,5	Верх	2,0
3,5	Низ	2,0
3,5	Збоку	2,0
3,5	Внутрішня поверхня	2,0

2.2.3. Вибір радіусів округлень та ливарних нахилів. Радіуси округлень регламентовані ГОСТ 10948-64. На креслені вказані не всі значення округлень, але вони занесені в технічні вимоги на виливок, як і ливарні уклони:

- не вказані ливарні нахили – 3°;
- ливарні радіуси – 3 мм.

2.2.4. Припуски на усадку. Під припуском на усадку розуміють збільшення усіх ливарних розмірів моделі на величину ливарної усадки. Усадка виражається у % від розмірів вилівка. Приймаємо лінійну усадку для алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 при литті в кокіль 1,00%, а об'ємну – 3,00%.

2.2.5. Розробка креслень модельно-ливарних вказівок. Креслення модельно-ливарних вказівок розроблено на основі креслення деталі корпусу НШ100-3-01. Технологічне креслення – це креслення з технологічними зазначеннями у відповідності з ГОСТ 2.423-73. На кресленні деталі слід вказати: розташування вилівка у формі в період заливки та затвердівання; величину припуску на механічну обробку; розташування поверхонь моделі на формі;

границі стержнів та зазори; місце установки, розміри елементів ливниково-живильної системи.

Розташування проєкції креслення виливки повинно відповідати положенню її при заливці форми металом. На кресленні виливка вказують величину припуску на механічну обробку. Отвори, які не виконують литтям, закреслюють суцільною лінією. На кресленні деталі виливка, відповідно ГОСТ, наносять елементи ливарної форми. Роз'єм виливка та форми показаний прямим відрізком, над яким проставляють літери РФ. Всі елементи наносяться відповідно до ГОСТ 2423-73.

Припуски на механічну обробку зображуємо суцільною тонкою лінією, величину припуску вказують цифрою перед знаком шорсткості поверхні, або величиною уклону та ливарними розмірами.

Позначення шорсткості поверхні та правила нанесення їх на креслення виливка здійснюють згідно з ГОСТ 2309-73. Якщо шорсткість всіх поверхонь однакова, то вона повинна позначатись в правому верхньому куті креслення.

Зображення ливникової системи. підживлювача та нанесення розмірів виконують за ГОСТ 2423-73. Ливникову систему зображують на кресленні модельно-ливарних вказівок в масштабі креслення суцільною тонкою лінією. Площу перерізу елементів не штрихують, в кожному перерізі елементів допускається вказувати площу перерізу (см²), кількість елементів, сумарну площу.

2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

2.3.1. Основні положення при конструюванні ливниково-живильної системи. Ливниково-живильна система складається з послідовно з'єднаних каналів між собою, за допомогою яких рідкий метал підводять у порожнину ливарної форми. Зазвичай ливникова система складається з: ливникової чаші або воронки, стояка, шлаковловлювача та живильника. Живильник безпосередньо

примикає до ливникової порожнини та повинен бути виконаний так, щоб живильник можна було б відокремлювати від виливка не пошкоджуючи його.

2.3.2. Вибір місця підводу металу. Місце підводу металу вибираємо в нижній частині виливка. При підводі розплаву знизу метал заповнює ливарну порожнину більш спокійно, окисні плівки спливають вгору та поверхня виливка стає більш чистою та гладкою. Прийнята система називається сифонною і широко використовується для виливків із алюмінієвих сплавів.

2.3.3. Тип ливникової системи. Конструкцію ливникової системи вибираємо типову: розширюючуся, нижня-бокова, сифонна, горизонтальну з похилим стояком (рис. 2.3).

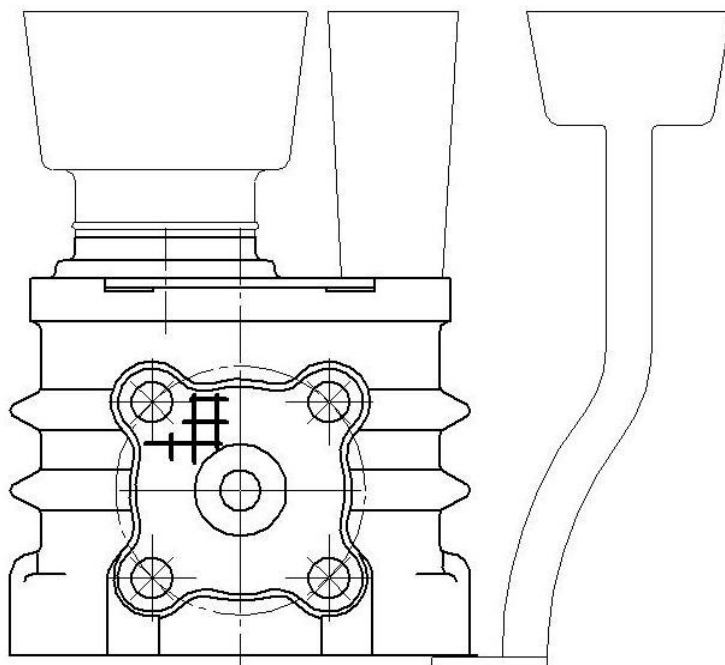


Рис. 2.3. Конструкція ливникової системи

2.3.4. Розрахунок конструкції підживлювача. Основне призначення підживлювача - попередження утворенню раковин та рихлот у виливку та перехід усадочних раковин з робочої частини в підживлювач. Підживлювач встановлюють в тих частинах, які під час технологічного процесу затвердівають останні. В проектуємому виливку підживлювач раціонально встановлювати в верхній частині.

Розрахунок розмірів підживлювача ведемо за такою методикою.

Висота підживлювача розраховується за формулою:

$$H = \sqrt[3]{\frac{x_{\varepsilon}}{\varepsilon_{\varepsilon}} V_n}, \quad (2.1)$$

де x_{ε} - коефіцієнт усадочної раковини, $x_{\varepsilon} = 9 \dots 12$;

$\varepsilon_{\varepsilon}$ - відношення об'єму усадочної раковини $\varepsilon_{\varepsilon} = 9 \dots 12$;

V_n - необхідний об'єм підживлювача.

$$V_n = \frac{\beta}{k} V_{\text{вд}}, \quad (2.2)$$

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

$k = 0,25$;

$V_{\text{вд}}$ - об'єм вилівка $V_{\text{вд}} = 2850 \text{ см}^3$.

$$V_n = \frac{0,035}{0,25} \cdot 2850 = 400 \text{ см}^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{10}{9,5} \cdot 400} = 73 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача розраховується за формулою:

$$D = H \cdot (1,7 \dots 1,9) = 124 \dots 138 \text{ мм}$$

Для більш ефективного живлення термічних вузлів вилівка та виходу газів із ливарної форми конструктивно приймаємо підживлювач та випор розміри яких вказані на рис. 2.4.

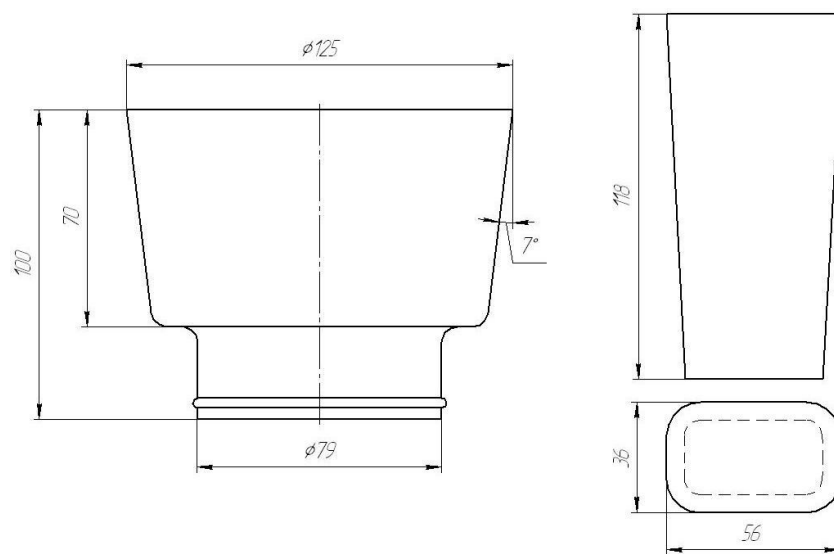


Рис. 2.4. Схема з розмірами підживлювача та випора

2.3.5. Розрахунок ливникової системи. Розміри елементів ливникової системи для виливів із алюмінієвих сплавів визначають виходячи із положень:

- значення критерію Рейнольдса Re для різних елементів ливникової системи не повинно перевищувати мінімальне попадання окислів та неметалічних включень в форму внаслідок порушення щільності;
- швидкість руху розплаву у формі повинна забезпечувати її заповнення без утворення у виливку недоливів та спаїв.

Для отримання якісних виливків швидкість руху розплаву повинна знижуватись від перерізу стояка до живильника. Тому для виливків із алюмінієвих сплавів застосовують ливникові системи які розширюються зі співвідношенням:

$$F_{ст} : F_{кол} : F_{жс} = 1 : 2 : 3, \quad (2.3)$$

де $F_{ст}, F_{кол}, F_{жс}$ - площі поперечного перерізу стояка, колектора, живильника відповідно.

Для визначення середнього значення мінімальної швидкості підйому металу у формі u_0 використовують різні теоретичні та експериментальні залежності. Досить точною є залежність:

$$u_0 = (3,0 \dots 4,2) l_0, \quad (2.4)$$

де u_0 - початкова швидкість підйому розплаву у формі, см/с

l_0 - характерна товщина стінки виливка, см.

При литті мілких та середніх виливків у кокіль площа поперечного перерізу стояка визначається за формулою:

$$F_{ст} = \frac{(3,0 \dots 4,2)G}{\rho H_0 l_0 u_{роз}}, \quad (2.5)$$

де G - вага виливка, г, $G = 9700$ г;

ρ - густина розплаву, г/см³, $\rho = 2,7$ г/см³;

H_0 - висота виливка, см, $H_0 = 23,5$ см;

l_0 - характерна товщина стінки виливка, см, $l_0 = 2,3$ см;

$u_{роз}$ - швидкість руху розплаву, см/с.

Швидкість руху розплаву визначається за формулою:

$$u_{роз} = \mu \sqrt{2gH_p}, \quad (2.6)$$

де μ - коефіцієнт витрати, $\mu = 0,65 \dots 0,75$ (для нижнього підводу металу);

$$H_p - \text{статичний напір, } H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}.$$

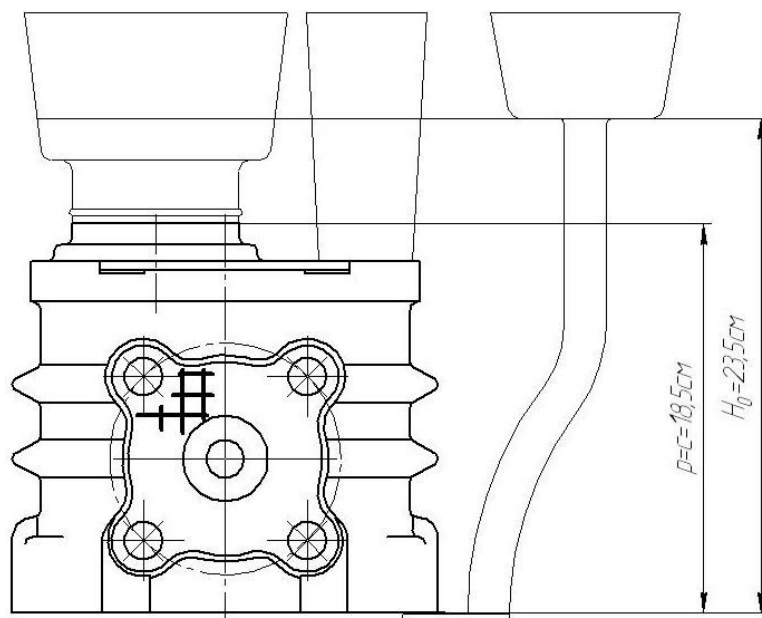


Рис. 2.5. Схема до розрахунку статичного напору

$$H_p = 23,5 - \frac{18,5^2}{2 \cdot 18,5} = 14,25 \text{ см}$$

$$u_{роз} = 0,70 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 14,25} = 117 \text{ см/с}$$

$$F_{cm} = \frac{(3,0 \dots 4,2) \cdot 9800}{2,7 \cdot 23,5 \cdot 2,3 \cdot 117} = 1,72 \dots 2,41 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{cm} = 1,80 \text{ см}^2$, тоді $F_{жс} = 1,90 \text{ см}^2$ (в нашому випадку ливникова система складається зі стояка та живильника).

Стояк приймаємо прямокутного перерізу з закругленими краям. Товщина стояка – 10 мм, тоді його ширину приймемо – 20 мм, з радіусом округлення 5 мм.

Живильників приймаємо два, для підводу металу в ліву та праву напівформи одночасно. Переріз живильника – прямокутний з закругленими нижніми краями, висота – 5 мм, ширина – 20 мм, з радіусом округлень 5 мм.

Перерізи елементів ливникової системи показано на рис. 2.6.

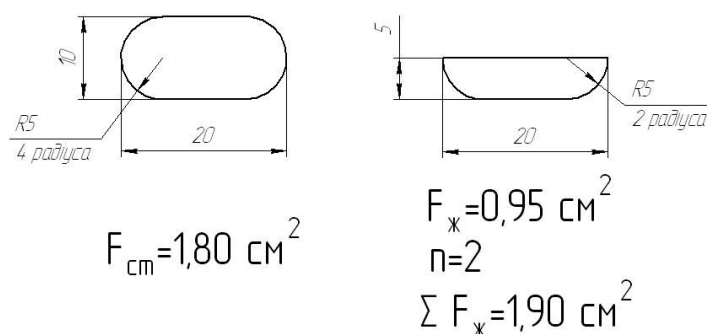


Рис. 2.6. Перерізи елементів ливникової системи

2.4. Технологічний процес виготовлення виливка

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

1. Виливок корпус НШ100-3-01 виготовляється в кокіль, який монтується на однопозиційну кокільну машину моделі 82А403, технічна характеристика якої приведена в розділі 1, кокіль монтується на штоки бокових гідроциліндрів та на направляючі. Також вмонтовані стержні. Напівформа та кокіль в зборі показані на рис. 2.7, 2.8 відповідно.

2. Після збирання кокілю проводиться його розігрів до температури 150...200 °С за допомогою пальника.

3. На розігрітий кокіль пульверизатором наноситься фарба Gillolin AL223G. Це протипригарна теплоізолююча 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, температура заливки сплаву 720...740 °С. Сплав заливається в форму ковшем ємністю 10 кг.

6. Після охолодження і повного затвердіння вилівка (10...15 хв), за допомогою гідроприводу видаляються стержні і кокінь розкривається.

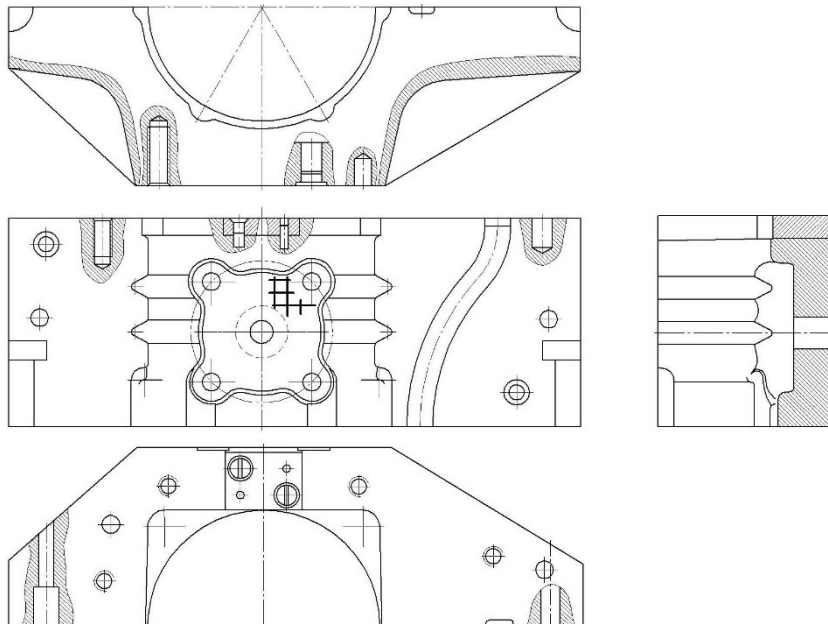


Рис. 2.7. Напівформа кокілю

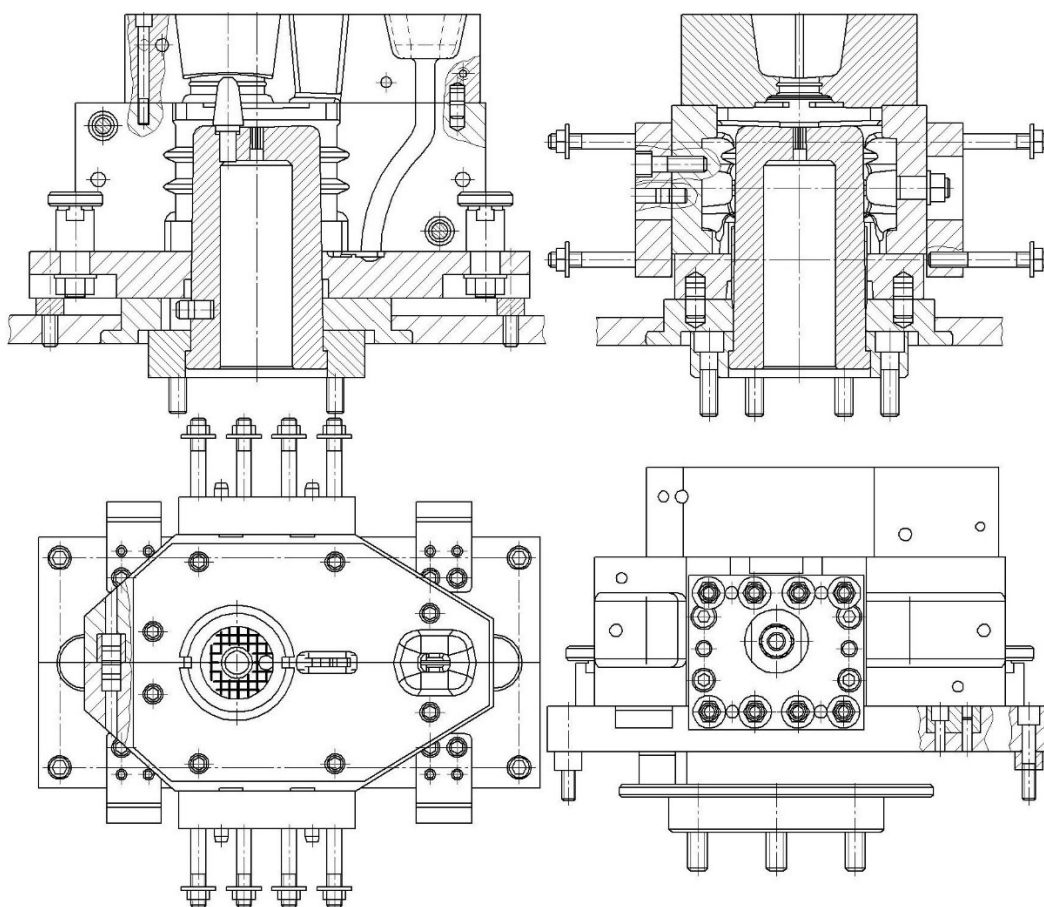


Рис. 2.8. Кокіль в зборі

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

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

9. Після очистки виливки подаються цеховим транспортом на естакаду очисної ділянки для пред'явлення ВТК. Контроль виливків вибірковий. Контролюються такі параметри:

- твердість (80...115 НВ) заміряється в частині підживлювача по центру виливка на приладі ТШ-2 при діаметрі шарика 10 мм навантажені 1000 кгс та витримці 30 с;
- візуальний огляд виливків для виявлення видимих дефектів (допускаються різні дефекти на поверхнях, що обробляються, але не більше 2/3 припуску на механічну обробку);
- заміряються базові розміри;

10. Виливок перевіряється на герметичність на спеціальних випробувальних гідравлічних стендах.

2.5. Опис процесу проектування ливарного оснащення

Кокіль для виготовлення виливків корпус НШ100-3-01 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 виливка проводиться механічна обробка формують 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 мають округлу форму 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.

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 (HRC 30...35).

2.6. Аналіз ливникової системи

При виготовленні виливка НШ100-3-01 основними видами браку можуть бути: 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 (з 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 виливка (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:

$$u_{роз} > u_{min}, \quad (2.7)$$

де $u_{роз}$ - середня швидкість підйому розплаву у формі, м/с;

u_{min} - мінімально допустима швидкість підйому розплаву у формі, м/с.

Тобто:

$$1,17 \text{ м/с} > 0,54 \text{ м/с}$$

Ламінарність потоку забезпечується розмірами ливникової системи і її конструкцією.

2.7. Висновки по розділу

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

3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ КОКІЛЯ

3.1. Обґрунтування способу охолодження кокіля на основі аналізу конструкцій і способів охолодження кокілів

Алюміній і його сплави посідають перше місце за обсягом виробництва серед кольорових металів [21]. Однією з основних областей застосування алюмінієвих сплавів, поряд з авіаційною, космічною технікою, електротехнікою, харчовою промисловістю, будівельними конструкціями, є їхнє використання в машинобудуванні [28]. У якості основних переваг застосування в машинобудуванні алюмінієвих сплавів у порівнянні зі сплавами на основі заліза (сталями та чавунами) є більш низька густина ($2,7 \text{ г/см}^3$ (Al) проти $7,8 \text{ г/см}^3$ (Fe)), висока питома міцність (σ/gr), корозійна стійкість, тепло- і електропровідність (в 3–4 рази вище у порівнянні із залізо-вуглецевими сплавами), холодостійкість, технологічність у виготовленні (технологічна пластичність, і в ряді випадків зварюваність). Однією з найбільш значних переваг алюмінієвого лиття є те, що він створює більш легкі деталі з великою кількістю варіантів обробки поверхні, ніж інші литі сплави. Алюміній також може витримувати високі робочі температури серед всіх ливарних сплавів. Крім того, литий алюміній універсальний, стійкий до корозії; він зберігає високу стабільність розмірів з тонкими стінками і може використовуватися практично в будь-якій галузі.

Типовий технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів складається з таких операцій: підготовка шихтових матеріалів (подрібнення, зважування), підготовка інструменту, обладнання, оснащення, плавка, рафінування, литво, обрубка, відрізання підживлювачів, зачистка, транспортування [28].

Для визначення шляхів удосконалення технології лиття необхідно проаналізувати можливість зміни параметрів, які впливають на зменшення собівартості виробництва (зменшення енерговитрат, матеріалоемності, підвищення продуктивності) та підвищення якості литва [28].

Екстремальні умови роботи елементів сучасних конструкцій, складність їх форми та конструкції а також складність технології їх виготовлення роблять дорогим і тривалим здійснення виробничого або натурального експерименту, особливо, якщо мова йде про дослідження процесів кристалізації і охолодження. Створення конструкцій такого типу неможливо без використання систем комп'ютерного моделювання процесів, удосконалення й автоматизації процесу проектування, застосування нових матеріалів і технологій.

Необхідність впровадження у виробництво найскладнішої техніки в короткий термін приводить до створення систем комп'ютерного автоматизованого проектування. Важливу роль у цих системах відіграють засоби моделювання досліджень.

Ще на етапі проектування оснащення комп'ютерне моделювання процесів заливки і кристалізації металу в формі дозволяє спроектувати найменш металоємну ливниково-живильну систему, яка забезпечує отримання виливків без дефектів усадкового характеру [28], та ливарну форму з системою охолодження, яка забезпечує отримання якісних виливків при максимальній продуктивності обладнання.

Термічний режим металевої форми визначає продуктивність процесу, тривалість затвердіння виливка і його якість, а також довговічність кокілю. Тривалість затвердіння виливка й термічний режим кокілю визначаються наступними основними факторами:

- температурою заливання сплаву;
- початковою температурою форми перед заливанням;
- теплопровідністю кокільної фарби;
- відносною товщиною стінки форми;
- коефіцієнтом тепловіддачі із зовнішньої поверхні форми [29].

З теплової точки зору ливарний цикл при кокільному литті можна розбити на два етапи. Перший етап починається з моменту заливання форми сплавом при температурі заливання й закінчується в момент розкриття кокілю.

При виготовленні першого виливка температура форми перед заливанням мінімальна, а в момент розкриття кокілю його температура зростає.

На другому етапі, тривалість якого визначається темпом роботи ливарної машини, відбувається охолодження металевої форми, тому що вона в цей період уже не контактує з виливком. Наприкінці цього етапу, тобто на початку наступного ливарного циклу, середня температура форми буде вище, чим після першого етапу. Залежно від темпу роботи ливарної машини величина температури форми може бути як більше запропонованого технологією значення, так і менше. При високому темпі роботи машини температура форми при послідовному виготовленні виливків безупинно росте, а при низькому темпі зменшується. Як показав аналіз виробничих даних, коливання значень середньої температури кокілю в процесі виготовлення виливків можуть досягати 50 % і більше. Це приводить до істотного розкиду значень тривалості затвердіння одержуваних виливків, параметрів їх структури й механічних властивостей. При високому темпі роботи машини середня температура кокілю безупинно збільшується, а механічні властивості виливків знижуються. У цьому випадку, як добре відомо із практики, форма й особливо стрижні настільки розігріваються, що процес доводиться зупиняти [30].

Якщо проаналізувати роботу кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 (рис. 3.1), можна побачити, що при заповненні форми найбільш розігріті нові порції металу зустрічають на своєму шляху центральний стержень. Тобто, при заливці форми центральний стержень нагрівається найбільше, особливо в нижній частині. Дана обставина перешкоджає процесу направленого затвердіння і може призвести до виникнення дефектів усадкового характеру. Крім того, чим вищою буде температура форми тим повільніше буде кристалізуватись виливок і гіршими будуть його структура і механічні властивості.

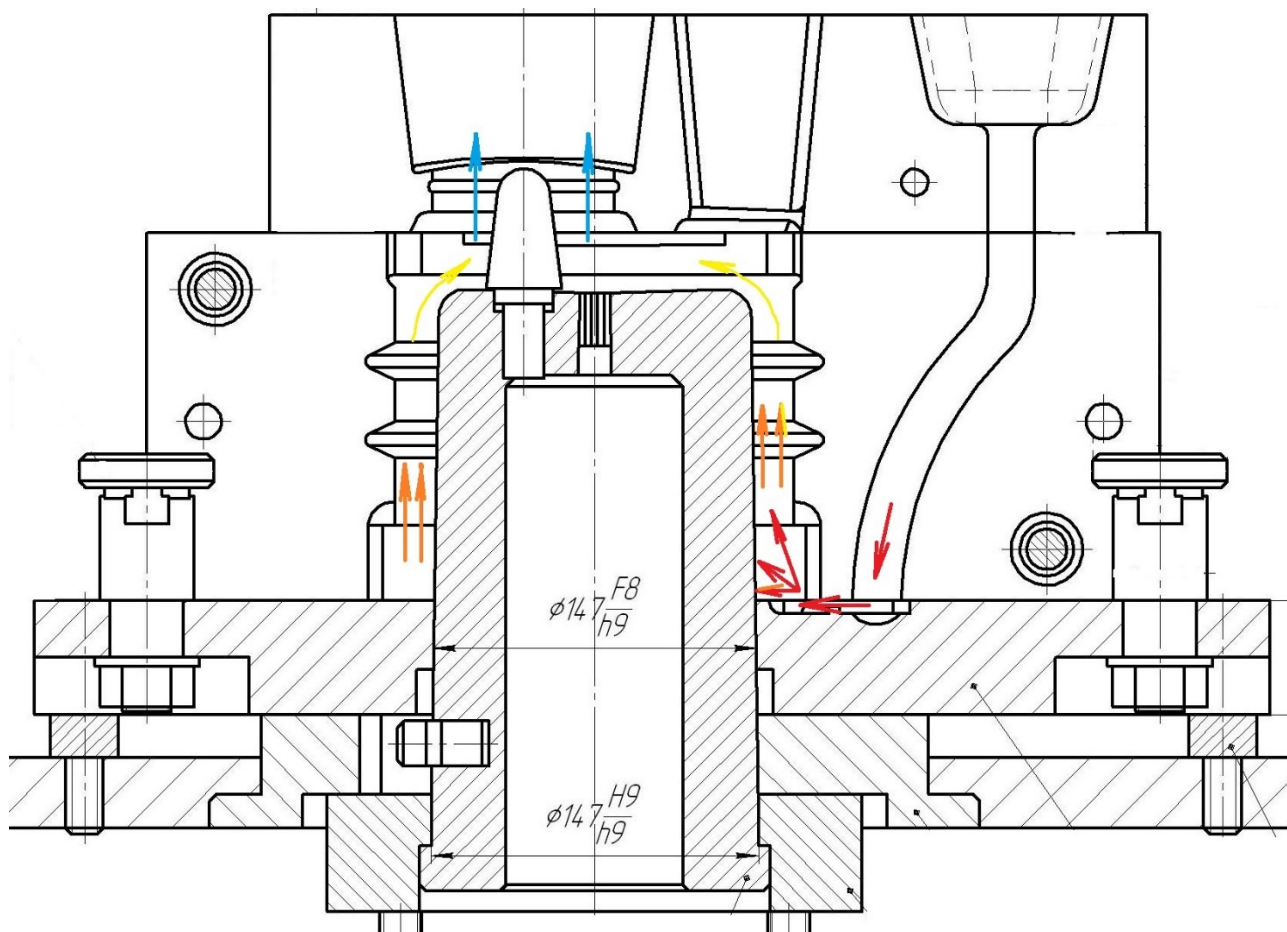


Рисунок 3.1 – Схема теплового режиму кокіля

Для виключення цих явищ передбачають систему штучного охолодження кокілів. Застосовують повітряне водяне охолодження зовнішньої поверхні кокілів, повітряне і водяне охолодження стінок кокілів шляхом пропускання охолоджуючого агента через канали, передбачені в стінках форми. Однак ці заходи, ускладнюють конструкцію оснащення, не вирішують проблеми стабілізації теплового режиму металевої форми. Кардинальним є використання систем термостабілізації роботи кокілів. При цьому через стінку форми пропускається спеціальна рідина, що має високу температуру кипіння, і завдяки засобам автоматики забезпечується стабілізація теплового режиму кокілю [31].

Для вибору способу охолодження кокіля проаналізуємо їх різновиди.

Повітряне охолодження може бути вільним (природнім) і вимушеним. Схеми реалізації вільного і вимушеного охолодження представлено на рис. 3.2. [33, 34].

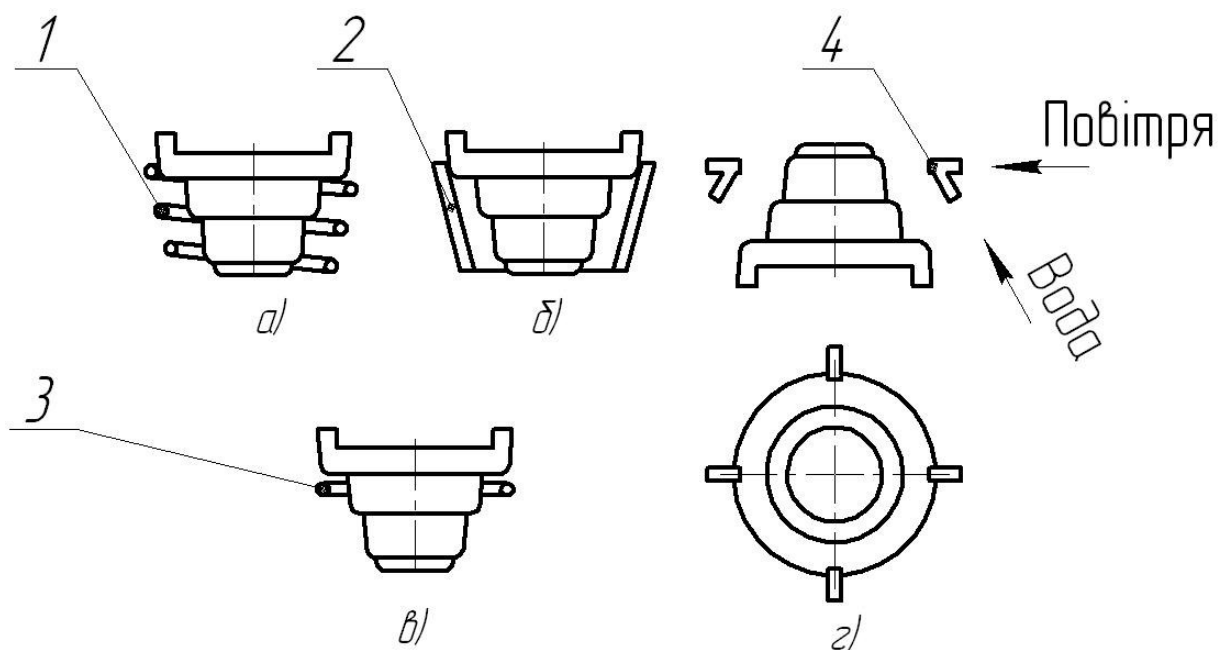


Рисунок 3.2 – Схеми вимушеного охолодження коків:

- а) – охолодження трубчастим змійовиком 1; б) – охолодження кільцевим колектором 2;
- в) – охолодження кока розбризкуванням води через трубчастий сектор 3 з отворами;
- г) – охолодження повітряно-водяною сумішшю через форсунки 4

Приклади конструкцій коків з природнім і штучним охолодженням представлено на рис 3.3 – 3.9.

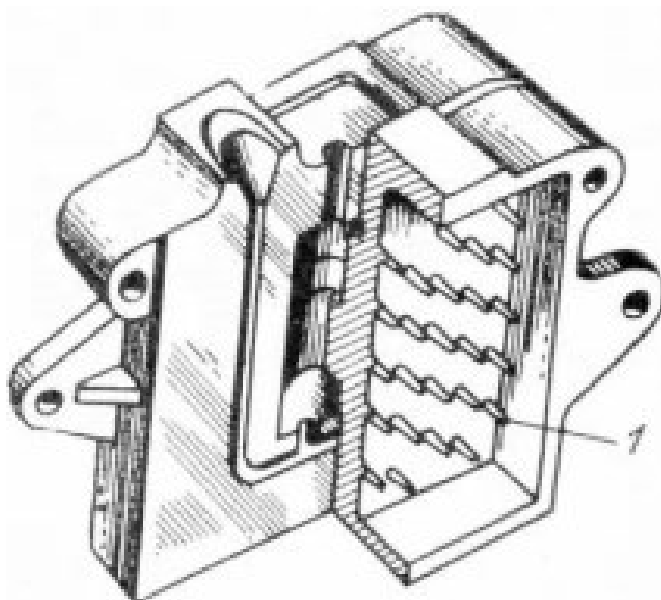


Рисунок 3.3 – Кокіль з шипами 1 для інтенсифікації теплообміну

Шипи розташовують у шаховому порядку на відстані 20...30 мм один від одного.

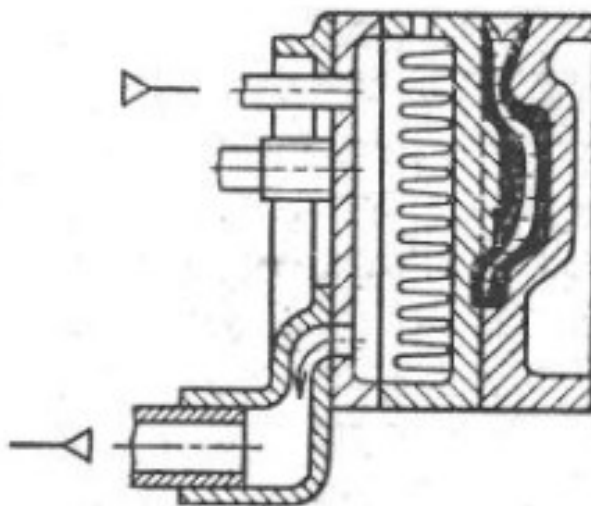


Рисунок 3.4 – Кокіль з примусовим повітряним охолодженням з ребрами для інтенсифікації теплообміну

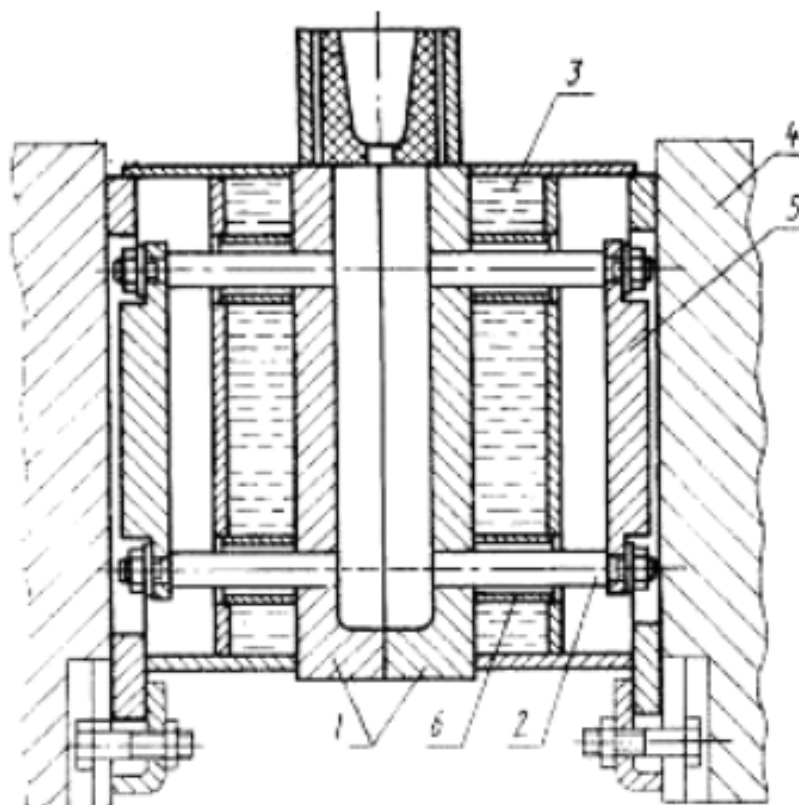


Рисунок 3.5 – Схема кокля з водяним охолодженням:

1 – кокіль; 2 – виштовхувач; 3 – камера охолодження; 4 – плита кокільної машини; 5 – плита виштовхувачів; 6 – втулки виштовхувачів

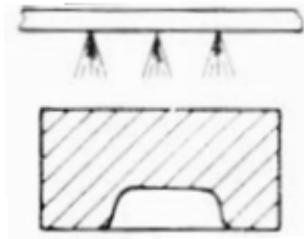


Рисунок 3.6 – Схема рідинного охолодження кокіля з розприскувачем

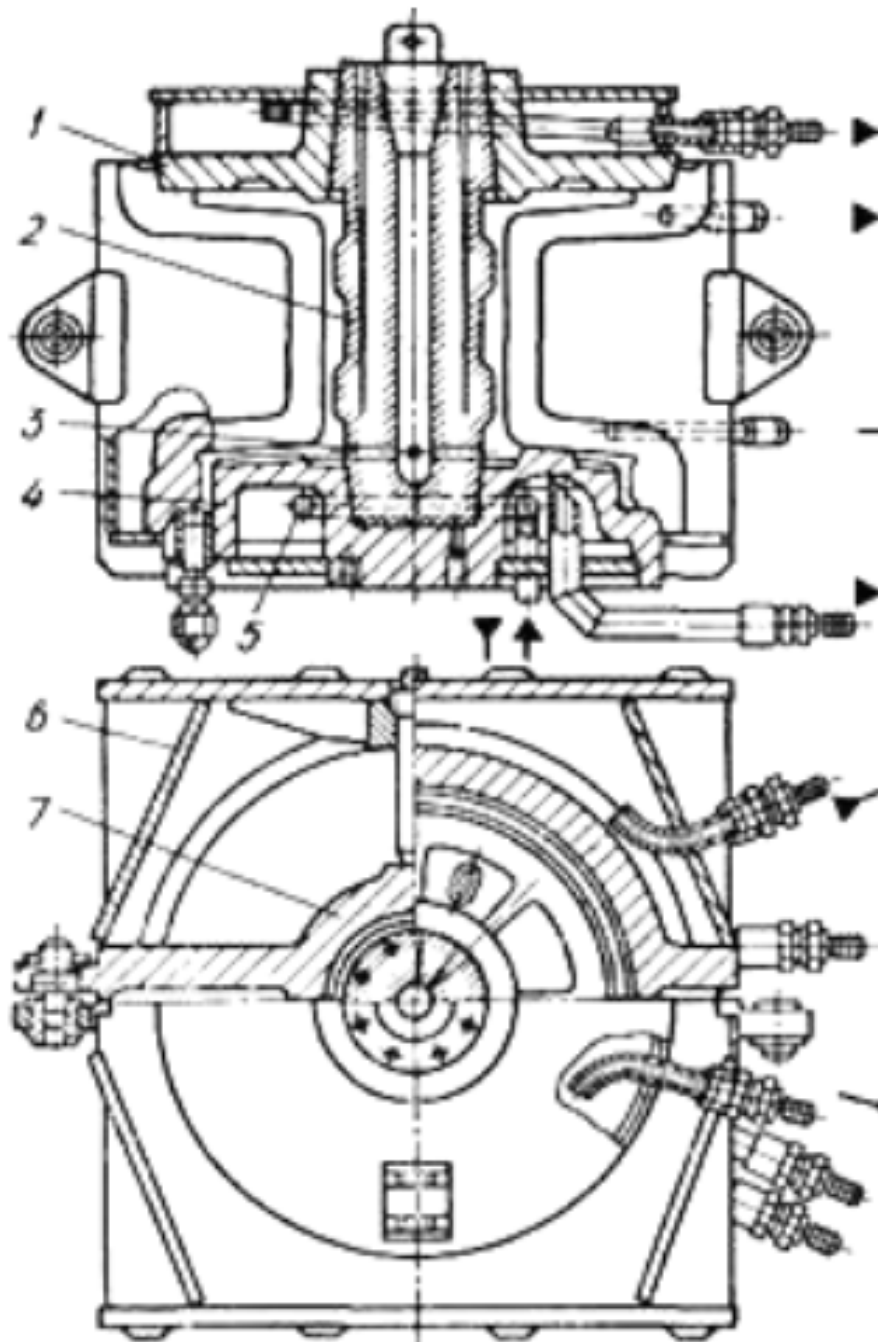


Рисунок 3.7 – Комбінований водо охолоджуваний кокіль:

1 – верхня кришка; 2 – стержень; 3 – живильник; 4 – основа; 5 – система охолодження;
6 – кожух зовнішній; 7 – вузол кріплення системи охолодження

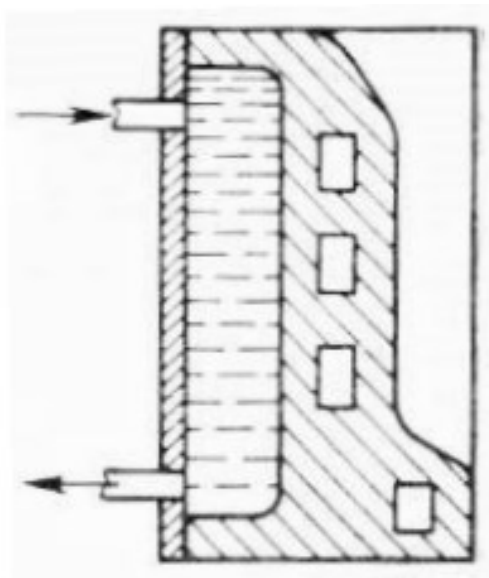


Рисунок 3.8 – Схема комбінованого водяного і повітряного охолодження (вода в рубашку і повітря в канали подаються одночасно)

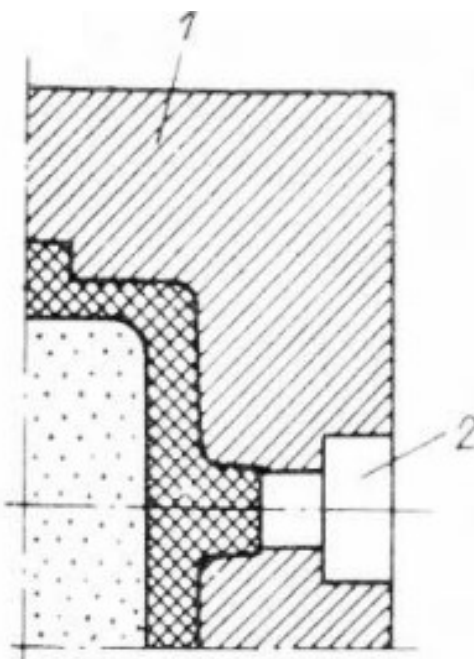


Рисунок 3.9 – Кокіль з локальним охолодженням

Для прискорення відведення теплоти від окремих теплових вузлів вилівка в частинах форми 1 використовують вставки 2 з теплопровідного матеріалу, наприклад, із міді.

Таким чином, метою даного наукового дослідження є розробка конструкції системи охолодження центрального стержня кокиля з метою підвищення продуктивності процесу лиття, підвищення якості литва за рахунок покращення

структури та механічних властивостей виливка, а також підвищення ресурсу кокіля.

3.2. Розробка нової конструкції охолоджуваного кокіля

На основі аналізу умов роботи кокіля для виготовлення виливка Корпус НШ100 та конструкцій і способів охолодження кокілів, вибираємо вимушене повітряне охолодження центрального стержня. При цьому необхідно передбачити регулювання інтенсивності подачі повітря для охолодження. Для забезпечення принципу направленого затвердівання необхідно охолоджуючі канали виконати таким чином, щоб охолоджуюче повітря подавалось в нижню частину стержня з максимальною температурою і відводилось зверху.

Для забезпечення рівномірного охолодження стержня знизу вгору необхідно передбачити вертикально розташовані охолоджуючі канали. При цьому, відстань між каналами та краями стержня повинна бути якомога меншою. Найпростіше такі канали можна отримати свердлінням. Проте, подачу повітря доцільно проводити з однієї камери одночасно, адже під'єднання окремо кожного каналу до пневматичної системи технічно дуже складне і недоцільне. Відведення охолоджуючого повітря від стержня також доцільно виконати через один канал по центру стержня вниз в атмосферу цеху. Таким чином, центральний стержень буде складатись з трьох частин. В нижній частині передбачаємо патрубков для під'єднання стержня до пневматичної системи через регулюючий вентиль. Також в нижній частині стержня передбачаємо порожнину – камеру для вирівнювання тиску і швидкості повітря та рівномірного його розподілу між охолоджуючими каналами. В центральній частині просвердлюємо вертикальні канали однакового діаметру з однаковим кроком та на однаковій відстані від стінок стержня. У верхній частині стержня передбачаємо виходи з вертикальних каналів таким чином, щоб повітря потрапляло в камеру розташовану в центральній частині стержня і з камери відводилося в атмосферу цеху знизу кокіля.

З'єднання усіх частин стержня здійснюємо за допомогою різьбових з'єднань або зварюванням з шліфуванням прилеглих формоутворюючих поверхонь. Нова конструкція стержня представлена на рис.3.10.

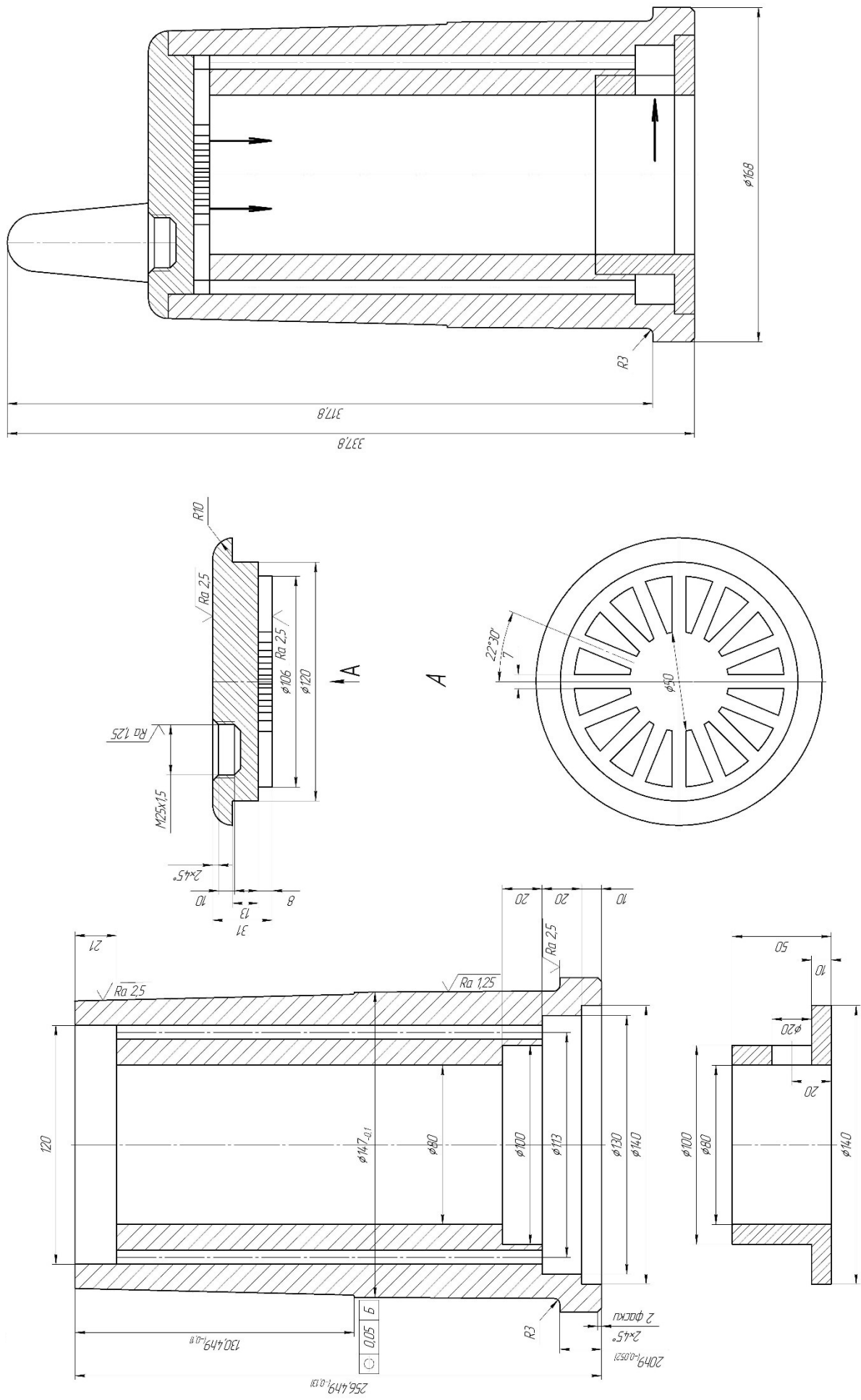


Рисунок 3.10 – Новая конструкция стержня центрального с системой воздушного охлаждения

3.3. Побудова 3D-моделі стержня

У якості площини для початкового ескізу обрана верхня стандартна площина. Стержень розташовуємо по центру координат. Для побудови ескізів елементів були використані наступні інструменти вкладки «Ескіз»: «Прямокутник із центру», «Багатокутник із центру», «Окружність», «Лінія», «Осьова лінія», «Дуга», «Прорізь», «Сплайн», «Округлення», «Фаска», «Дзеркально відбити об'єкти», «Відігнути об'єкти», «Перетворення об'єктів», «Зміщення об'єктів», «Лінійний і круговий масиви» (рис. 3.11). На ескізи нанесені розміри й взаємозв'язки, що визначають положення елементів ескізів відносно один одного, згідно з розмірами розробленого креслення деталей стержня. Ескізи будуються на стандартних площинах, спеціально створених площинах чи на площинах, які належать попередньо створеним поверхням виливка.

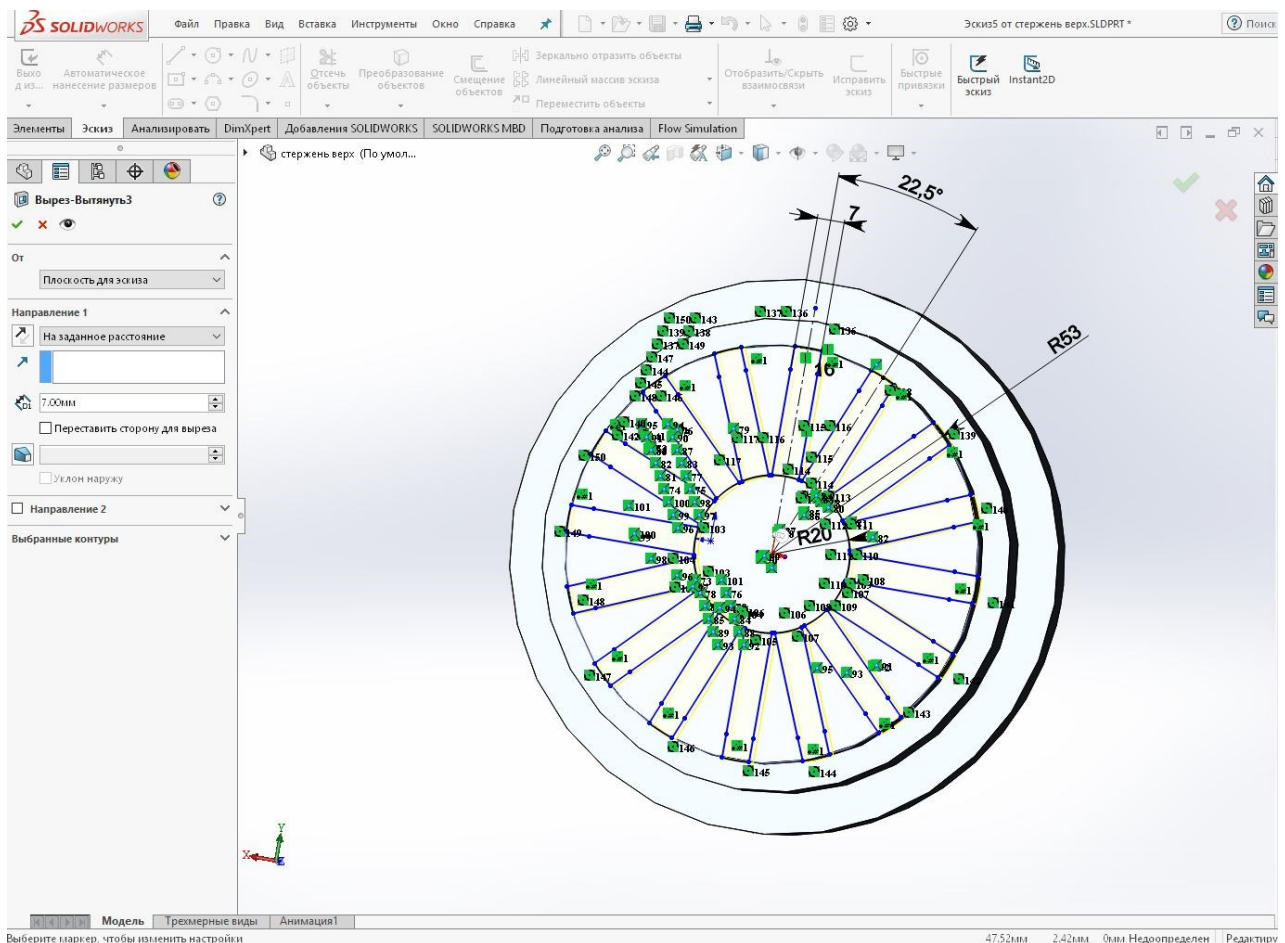


Рисунок 3.11 – Побудова ескізу каналів у верхній частині стержня

Для побудови елементів за попередньо створеними ескізами були використані наступні інструменти вкладки «Елементи»: «Витягнута бобишка/основа», «Повернута бобишка/основа», «Бобишка/основа по траєкторії», «Бобишка/основа по перерізах», «Бобишка/основа на границі», «Витягнутий виріз», «Отвір під кріплення», «Повернутий виріз», «Виріз по траєкторії», «Виріз по перерізах», «Виріз по границі», «Скруглення», «Фаска», «Ребро», «Лінійний і круговий масиви», «Дзеркальний масив», «Масиви, які керуються кривими, ескізами, таблицями, зразками заповнення та розмірами», «Уклон», «Оболонка», «Перенос», «Перетин», «Інструменти ливарної форми» тощо. Побудова відповідного елемента відбувається за розмірами, геометрією і взаємозв'язками, які визначають положення і геометрію елементів відносно один одного, згідно з розмірами та вимогами розробленого креслення стержня. На рис. 3.12 показано приклад побудови в твердотільній 3D-моделі центральної частини стержня каналів для охолоджуючого повітря за попередньо побудованим на площині ескізом. Побудова здійснюється за допомогою інструмента вкладки «Елементи» «Витягнутий виріз» на відстань наскрізь від площини ескізу через усю деталь.

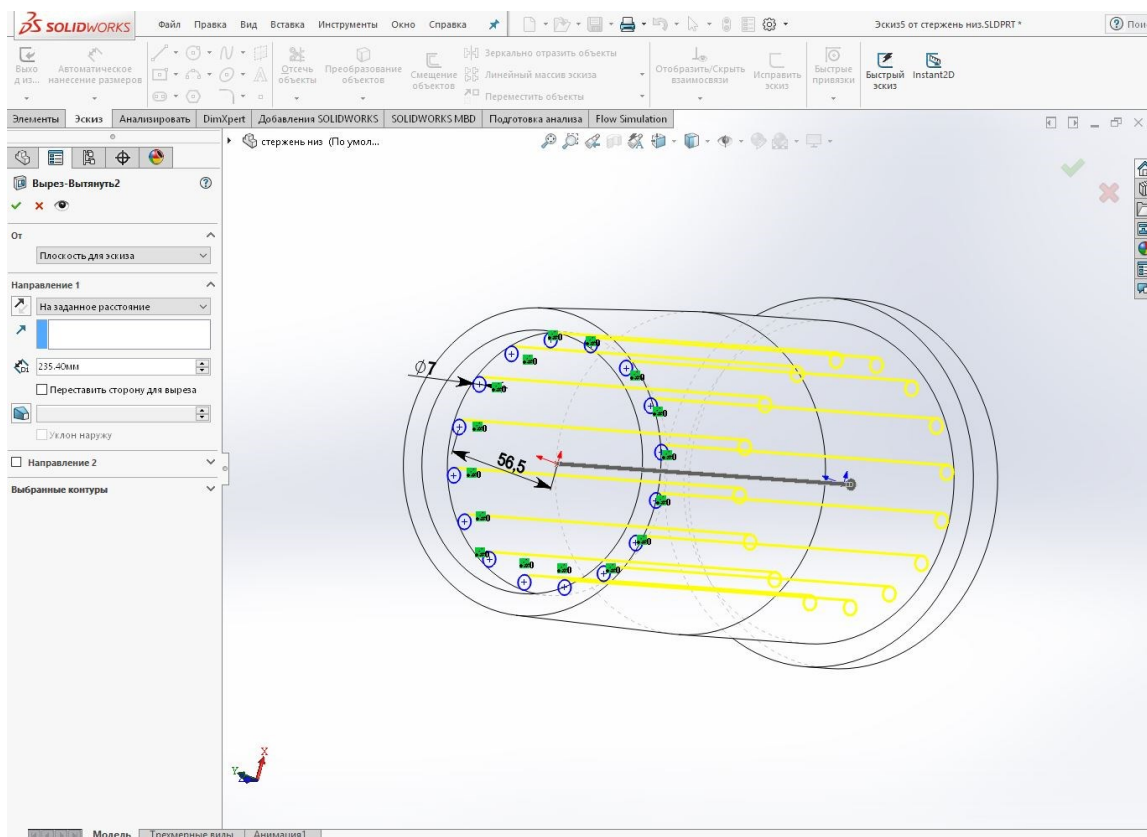


Рисунок 3.12 – Приклад побудови 3D-моделі каналів для охолодження стержня

Після побудови всіх необхідних елементів отримуємо 3D-моделі всіх частин стержня, які за допомогою спряжень komponуємо у зборці (рис. 3.13)

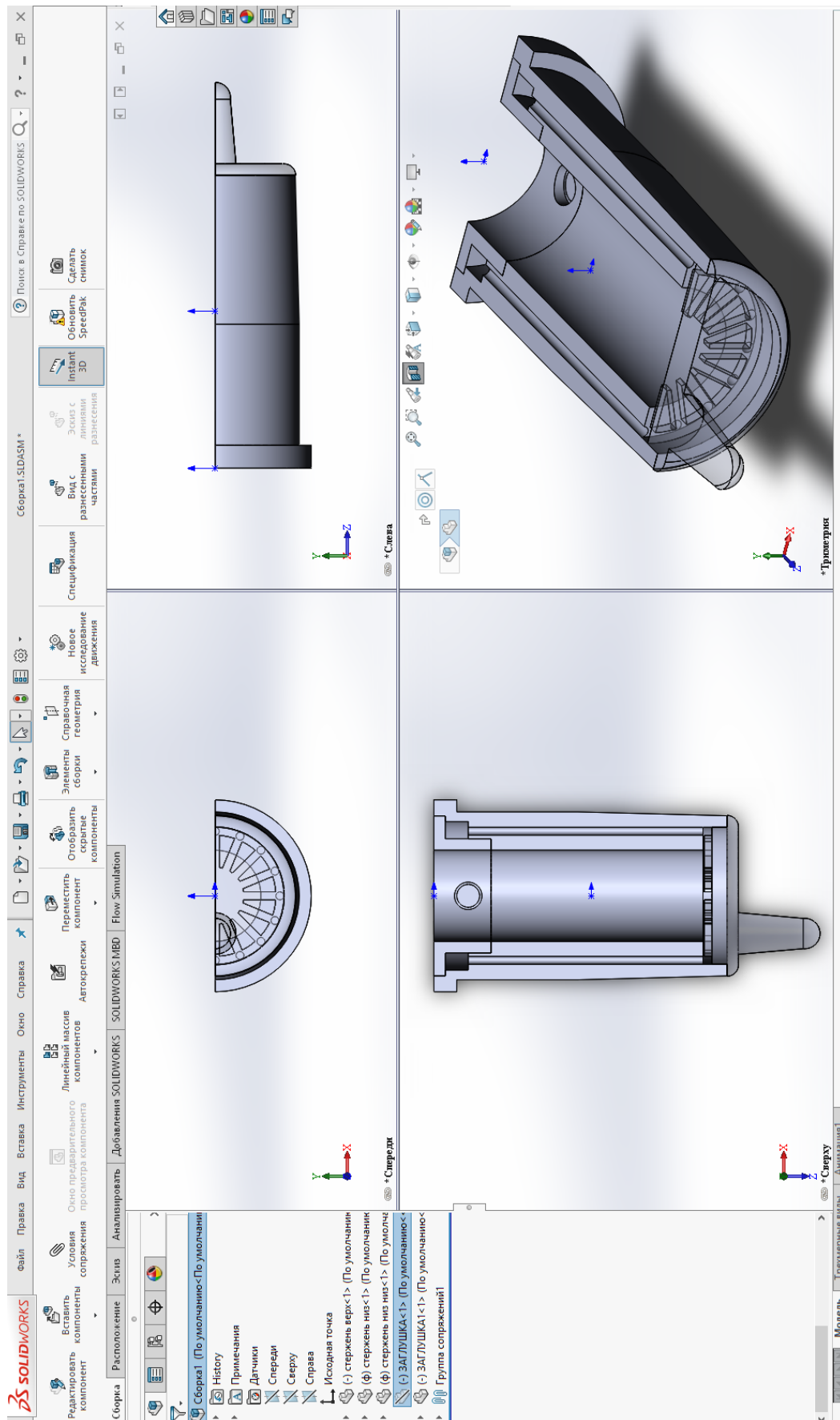


Рисунок 3.13 - 3D-модель стержня центрального с системой охлаждения

3.4. Комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation

Порівняльний аналіз ефективності охолодження стержня будемо здійснювати в середовищі параметричного моделювання SOLIDWORKS Flow Simulation [36].

Flow Simulation є програмним забезпеченням, повністю інтегрованим в SOLIDWORKS. Flow Simulation дозволяє розраховувати рух текучих середовищ (газу або рідини) всередині моделей SOLIDWORKS, досліджувати обтікання моделей SOLIDWORKS потоком текучого середовища, вирішувати задачі теплообміну за рахунок конвекції і випромінювання, а також проводити розрахунок теплопровідності в твердих тілах. Розрахунки здійснюються методами обчислювальної гідродинаміки (CFD), що забезпечує високу ступінь достовірності отриманих результатів. Характерною особливістю Flow Simulation є інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс, який включає в себе:

- препроцесор для завдання даних, необхідних для розрахунку (в тому числі, Інженерну базу даних з властивостями різних речовин);
- монітор для спостереження і контролю за розрахунком;
- постпроцесор для перегляду отриманих результатів.

Таким чином, у нас є можливість моделювання руху потоку повітря всередині каналів центрального стержня.

Спочатку необхідно задати розрахункову область, яка являє собою простір, в якому проводяться розрахунки течії. При створенні проекту за допомогою Майстра проекту Flow Simulation автоматично генерує розрахункову область, що обмежена стінками моделі. Розрахункова область будується як для тривимірних, так і для двовимірних задач. У Внутрішніх задачах границі розрахункової області охоплюють всю модель, тобто області текучого середовища і стінки моделі.

Далі необхідно задати загальні параметри, параметри охолоджуючого повітря, початкові і граничні умови, умови на стінках.

В якості граничних умов на вході в стержень у вхідному отворі діаметром 20 мм (рис. 3.10) задаємо масову витрату металу. Ця величина визначається вирішенням задачі витікання. Необхідно визначити витрату і швидкість повітря із магістралі пневмосистеми через отвір діаметром $d = 0,02$ м, якщо повітря в магістралі знаходиться під тиском $p_0 = 500000$ Па при температурі $T_0 = 293$ К, а витікання відбувається в атмосферу з тиском $p = 100000$ Па і тією ж температурою.

Визначаємо відношення тисків:

$$\beta = \frac{p}{p_0} = \frac{100000}{500000} = 0,2. \quad (3.1)$$

Оскільки отримане відношення тисків менше критичного (для повітря $\beta_{кр} = 0,53$), то швидкість витікання буде відповідати критичній швидкості, а масова витрата буде максимальною.

Густина повітря в магістралі:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R_{нов} T_0} = \frac{500000}{287,14 \cdot 293} = 5,943 \text{ кг/м}^3, \quad (3.2)$$

де $R_{нов}$ – газова стала повітря, Дж/моль·К.

Визначаємо швидкість витікання повітря:

$$v = \sqrt{\frac{2k}{k+1} \cdot \frac{p_0}{\rho_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,4}{1,4+1} \cdot \frac{500000}{5,943}} = 313,295 \text{ м/с}, \quad (3.3)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати для повітря.

Масова витрата повітря при коефіцієнті витрати $\mu = 1$ і $\omega_0 = 0,685$ визначаємо за формулою:

$$M_{p_{\max}} = \mu \omega_0 \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{p_0 \rho_0} = 1 \cdot 0,685 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} \cdot \sqrt{500000 \cdot 5,943} = 0,371 \text{ кг/с.} \quad (3.4)$$

Для $\beta = 0,2$ знаходимо дійсний коефіцієнт витрати при $\mu_{kp} = 0,806$:

$$\mu_{\partial} = \frac{\mu}{\mu_{kp}} = \frac{1}{0,806} = 1,12. \quad (3.4)$$

Тоді дійсна витрата повітря в каналах стержня:

$$M_{\partial} = \mu_{\partial} M_{p_{\max}} = 1,12 \cdot 0,371 = 0,415 \text{ кг/с.} \quad (3.5)$$

В якості граничних умов на виході з стержня у верхній частині центрального отвору діаметром 80 мм (рис. 3.10) задаємо параметри навколишнього середовища : тиск $p = 101325$ Па; температура $T = 293$ К. Також, для моделювання процесу нагрівання повітря під час його руху через канали стержня задаємо температуру стержня $T_{cm} = 573$ К. Задані початкові і граничні умови показано на рис. 3.14

Далі натискаємо кнопку «Запустити» і програма Flow Simulation автоматично створює розрахункову сітку і здійснює розрахунок. За необхідності можна відкоригувати та настроїти розрахункову сітку, задати точність.

З'являється вікно Солвера (розв'язувача), де проводиться моніторинг ходу обчислень при вирішенні задачі (рис.3.15).

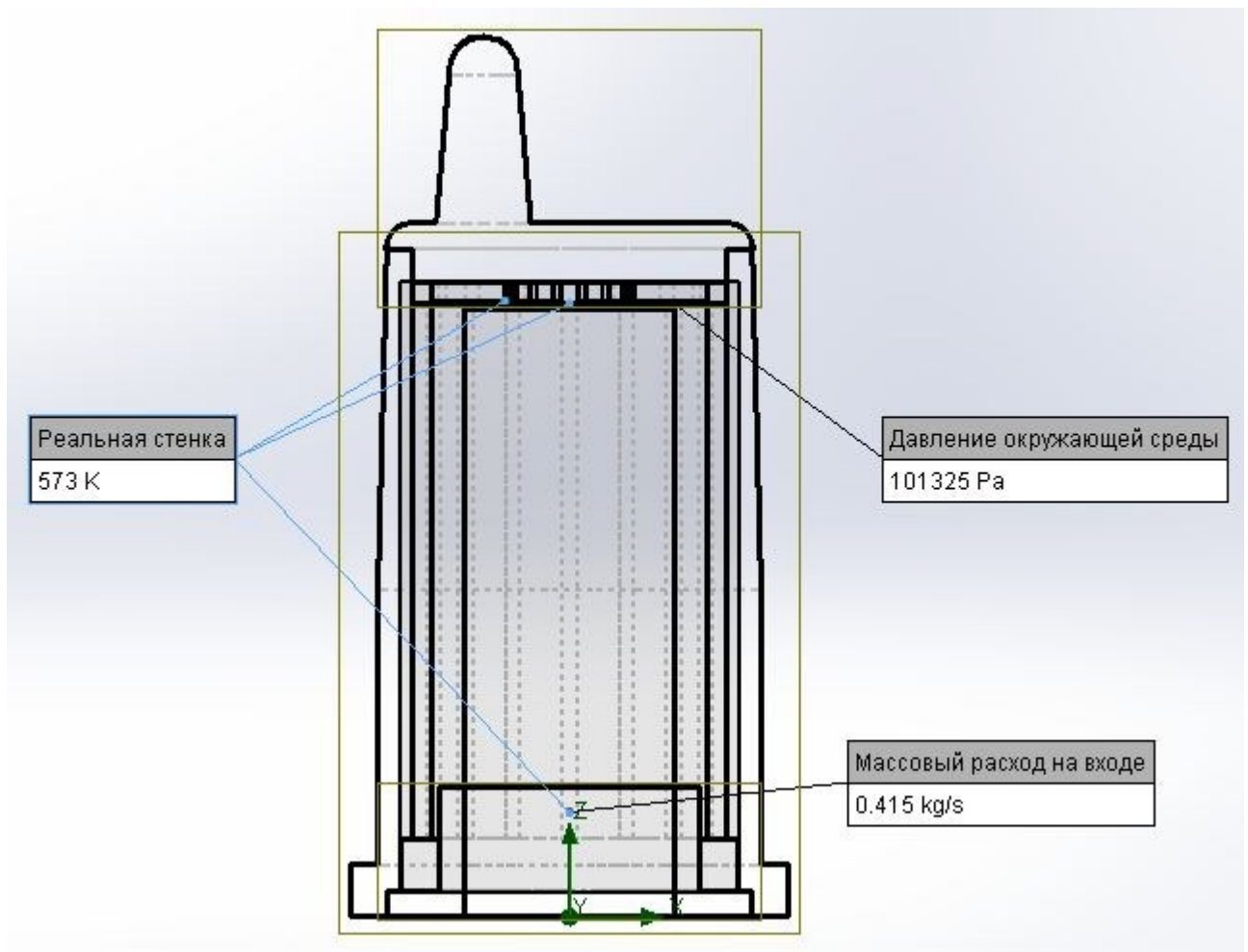


Рис.3.14 – Граничні умови на вході і виході розрахункової області

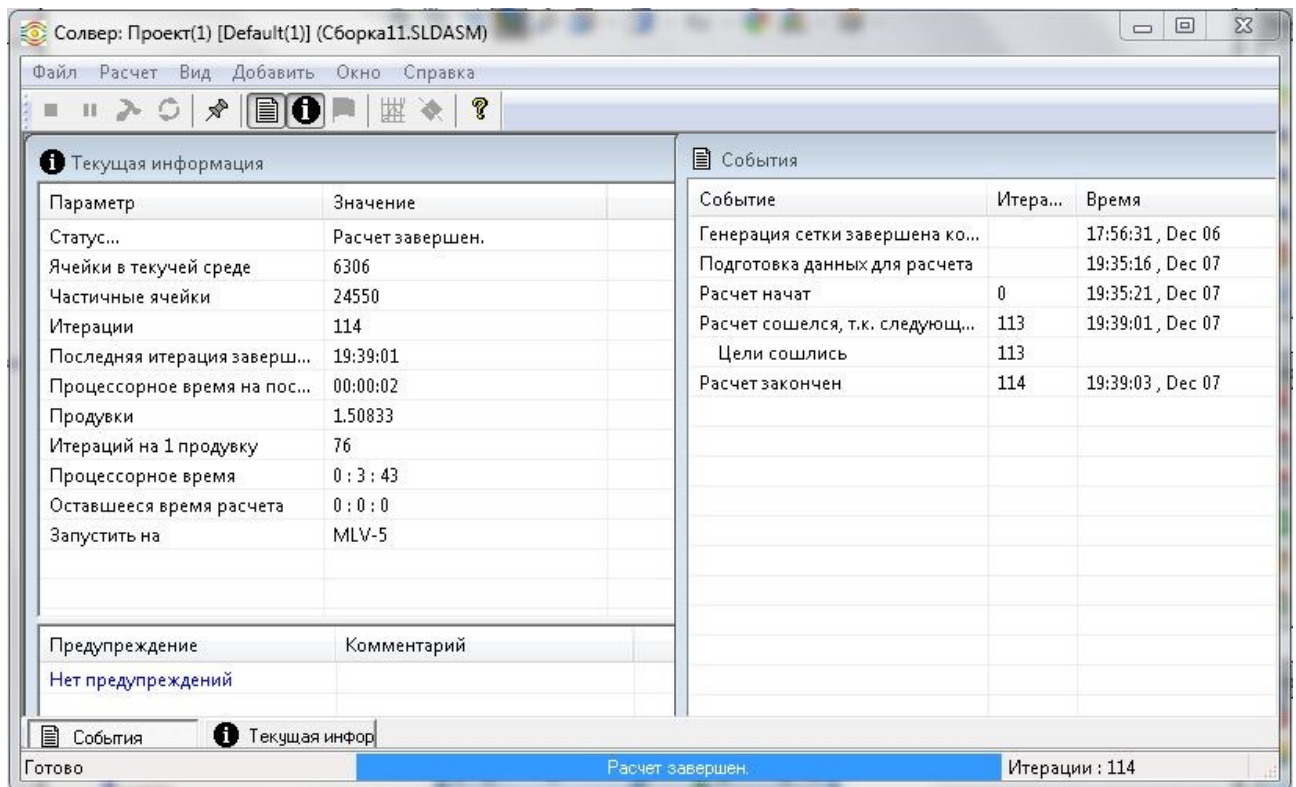


Рис. 3.15 – Інтерфейс моніторингу розрахункового блоку

Після завершення розрахунків з'являється можливість вивести результати розрахунку зміни параметрів на розрахунковій сітці, в окремих вибраних точках розрахункової області, поверхневі параметри, об'ємні параметри, ізоповерхні параметрів, траєкторії руху як усього потоку повітря, так і окремих його часток, густину, температуру, ентальпію повітря та багато інших параметрів.

Нас цікавлять траєкторії потоку повітря в каналах стержня, а також зміна середньої швидкості потоку (рис 3.16), та зміна середньої температури повітря (рис 3.17).

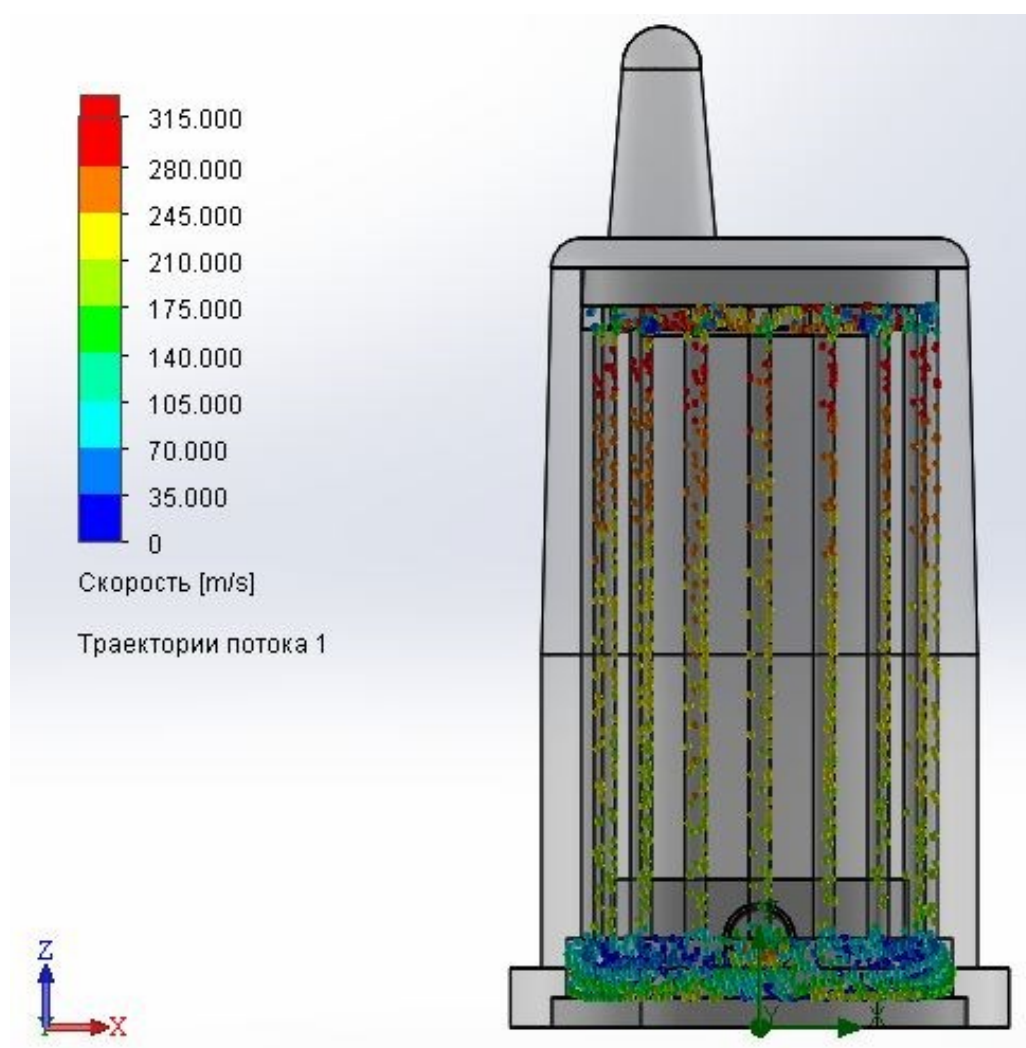


Рисунок 3.16 – Траєкторії та розподіл швидкості потоків повітря у вертикальних каналах центрального стержня

Результати розрахунку можна вивести у вигляді анімації чи табульованого звіту. Крім того можна задати датчики у вигляді окремих точок чи відрізків у

розрахунковій області та отримати графіки зміни вибраного параметра залежно від місця вимірювання. Також є опція експорту побудованих графіків в Excel.

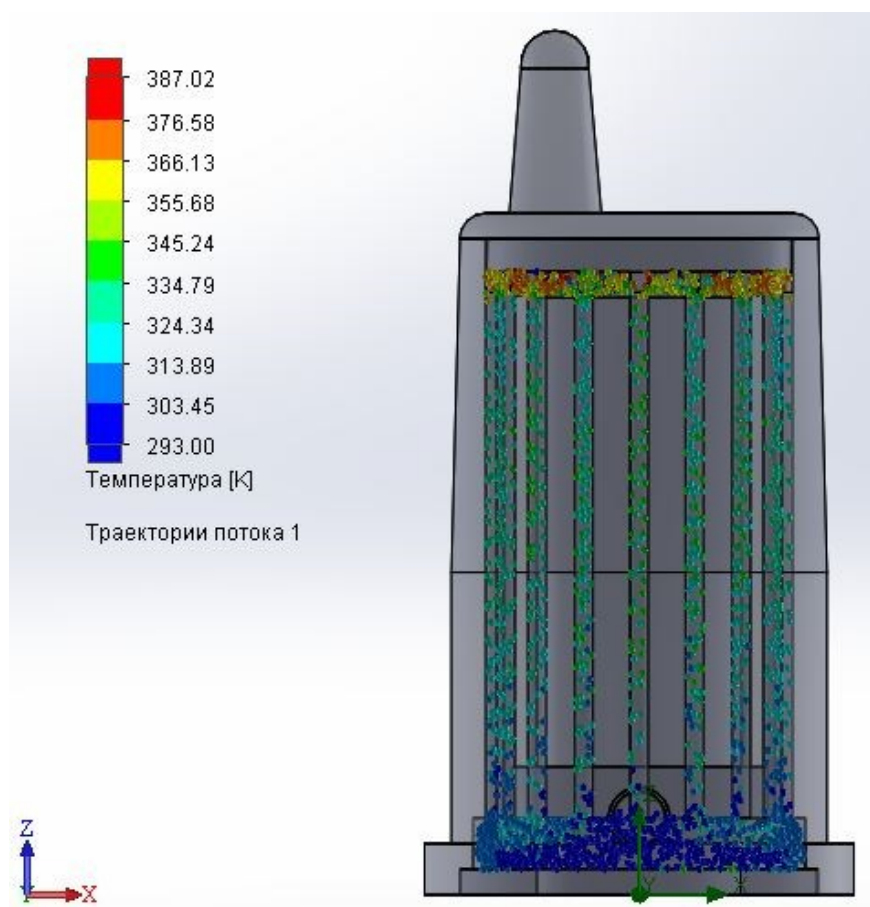


Рисунок 3.17 – Розподіл середньої температури повітря у вертикальних каналах центрального стержня

Як бачимо з отриманих результатів (рис. 3.16 – 3.17), максимальна температура повітря на виході з центрального стержня становить $T_{нов} = 387$ К (114 °С). Середня температура повітря становить $T_{нов\ сер} = (387 + 293)/2 = 340$ К (67 °С). Середній тепловміст повітря внаслідок охолодження стержня становить: $L_{нов} = C_{нов}t_{нов} = 1009 \cdot 67 = 67603$ Дж/кг ($C_{нов}$ – теплоємність повітря, Дж/(кг·град), $t_{нов}$ – температура повітря, °С). Таким чином, кількість теплоти, яка буде забиратися повітрям від стержня в процесі його охолодження при витраті повітря $M_{\delta} = 0,415$ кг/с:

$$Q_{нов} = L_{нов}M_{\delta} = 67603 \cdot 0,415 = 28055 \text{ Дж/с.} \quad (3.6)$$

3.5. Аналіз ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля

Для перевірки ефективності охолодження центрального стержня необхідно визначити кількість теплоти, яку необхідно відвести від кокіля в процесі його охолодження від моменту заливки форми до моменту вибивки. Для цього запишемо деякі теплофізичні властивості алюмінієвого сплаву, з якого виготовляємо виливок і теплофізичні властивості сталі, з якої виготовлено кокіль (табл. 3.1) [35].

Таблиця 3.1 – Теплофізичні властивості деяких ливарних сплавів [35]

Матеріал	Теплоємність		Теплопровідність		Густина		Теплота кристал.	Температура крист.
	c_t	c_p	λ_t	λ_p	ρ_t	ρ_p	l_k	t_k
	Дж/кг·К		Вт/м·К		кг/м ³		кДж/кг	°С
Сталь конструкційна	691	837	29...52	23	7500	7000	268	1480
Алюміній	1089	1290	423	-	2700	2380	389	660

Процес теплової взаємодії металу і форми можна умовно розбити на три періоди: 1) зняття теплоти перегріву металу $Q_{пер}$; 2) кристалізація металу $Q_{кр}$; 3) охолодження відливка до моменту його вибивання $Q_{ох}$:

Теплота перегріву металу:

$$Q_{пер} = c_p \cdot (t_z - t_k) \cdot m = 1290 \cdot (730 - 660) \cdot 10,82 = 977046 \text{ Дж}, \quad (3.8)$$

де t_z – температура заливки форми, °С, $m = 10,82$ кг – маса металу, що заливається у форму (див. табл. 1.1)

Теплота кристалізації металу:

$$Q_{кр} = l_k \cdot m = 389000 \cdot 10,82 = 420898 \text{ Дж}. \quad (3.9)$$

Теплота охолодження відливка до моменту його вибивання:

$$Q_{ox} = c_T \cdot T_K \cdot m = 1089 \cdot 933 \cdot 10,82 = 10993520 \text{ Дж.} \quad (3.10)$$

Тоді:

$$Q_M = Q_{пер} + Q_{кр} + Q_{ox} = 977046 + 4208980 + 10993520 = 16179546, \text{ Дж.} \quad (3.7)$$

Особливістю технологічного процесу лиття в кокіль є те, що заливка форми відбувається у попередньо підігрітій кокіль. Оскільки в моделюванні потоку охолоджуючого повітря було прийнято середню температуру форми $t_\phi = 300^\circ\text{C}$, то, відповідно, тепловміст попередньо підігрітої форми також необхідно врахувати. При цьому, тепловміст напівформ враховувати не будемо, оскільки охолоджуються лише центральний стержень. Для визначення маси стержня визначимо його масові характеристики в модулі параметричного проектування SolidWorks (рис. 3.18).

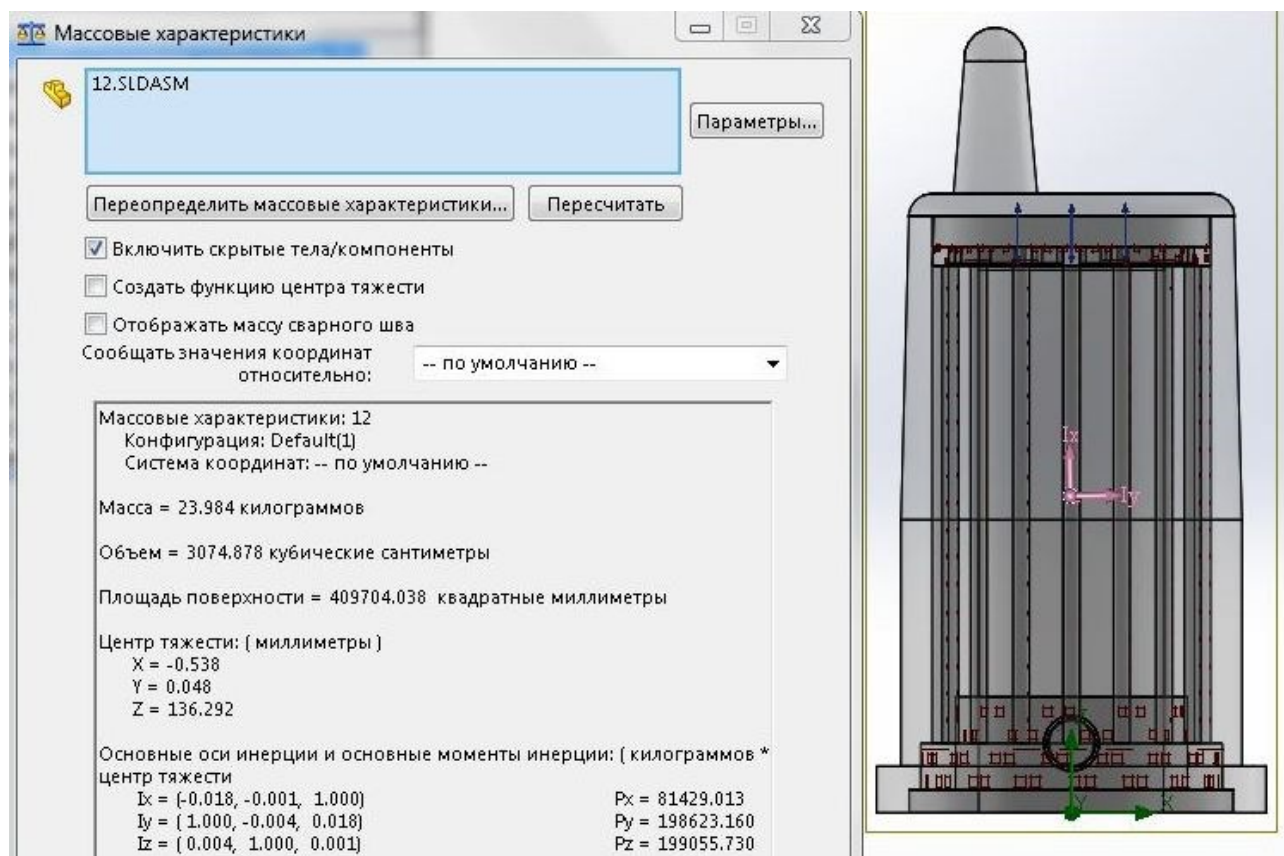


Рисунок 3.18 – Масові характеристики центрального стержня

Визначаємо тепловміст центрального стержня:

$$Q_{\text{ст}} = c_{\text{т}} \cdot t_{\text{ст}} \cdot m_{\text{ст}} = 691 \cdot 573 \cdot 23,984 = 9496297 \text{ Дж.} \quad (3.11)$$

Таким чином, кількість теплоти, яку необхідно відвести з форми в процесі охолодження (без врахування тепловмісту зовнішніх половин кокіля):

$$Q = Q_{\text{м}} + Q_{\text{ст}} = 16179546 + 9496297 = 25675843 \text{ Дж.} \quad (3.12)$$

Згідно з виробничими даними, час охолодження виливка при литті в неохолоджуваній кокіль від моменту заливки до вибивки становить $\tau = 7 \text{ хв.} = 420 \text{ с.}$ При тепловмісті охолоджуючого повітря $Q_{\text{нов}} = 28055 \text{ Дж/с}$ (формула 3.6), кількість теплоти, що відводиться повітрям від центрального стержня:

$$Q'_{\text{нов}} = Q_{\text{нов}} \cdot \tau = 28055 \cdot 420 = 11783100 \text{ Дж.} \quad (3.13)$$

Тобто, при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться $11783100 \cdot 100 / 25675843 = 45,8 \%$ теплоти.

3.6. Висновки по розділу

1) На основі аналізу конструкцій і способів охолодження кокілів обґрунтовано спосіб охолодження центрального стержня повітрям.

2) Розроблено нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля шляхом під'єднання центрального стержня через вентиль до пневматичної системи цеху.

3) Розроблено 3D-моделі деталей та складального креслення центрального стержня нової конструкції.

4) Виконано комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня в середовищі SolidWorks Flow Simulation. Результати параметричного моделювання течії повітря в каналах центрального стержня показали максимальну витрату повітря при охолодженні 0,415 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 28055 Дж/с.

5) Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокіля показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться $11783100 \cdot 100 / 25675843 = 45,8$ % теплоти. Таким чином, розроблена конструкція охолоджуваного центрального стержня дозволяє підвищити продуктивність процесу лиття, підвищити якість литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищити ресурс кокіля.

6) Отримані результати досліджень мають рекомендаційний характер і потребують практичної перевірки у виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за другим (магістерським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе науково-технічне завдання розробки технології лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ100» з забезпеченням регулювання теплового режиму кокіля.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибране обладнання та описано роботу ливарного цеху;
- розроблено технологію лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ100»;
- досліджено можливість регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного моделювання потоку повітря в каналах центрального стержня;
- розроблено конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокіля.

В оглядовій частині магістерської роботи обґрунтовано розташування та режим роботи ливарного цеху. Описано роботу плавильного відділення, відділення лиття в кокіль, відділення відрізки та обрубки ливників, відділення фінішних операцій, допоміжні відділення – дільниця ремонту і футеровки ковшів, склад модельного оснащення, складів шихтових матеріалів, модельного оснащення та готової продукції, відділу технічного контролю та лабораторії, побутових та адміністративних приміщень. Для плавки металу було обрано індукційні тигельні печі ІАТ-2,5/1,15 фірми ОТТО JUNKER ємністю 850 кг. Описано будову печі, наведено її технічні характеристики. Для розливання сплаву у форми вибрано роздавальні печі НО-136 ємністю 220 кг. Описано процес рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення вибрано два кокільних вертати. Для дрібних і середніх виливків масою до 7 кг обрано шестипозиційну кокільну машину моделі 59К613. Для крупних виливків масою понад 7 кг обрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403.

Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики кокільних машин. Описано процес підготовки кокilів до роботи та технологічний процес лиття. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат JET HVBS-812RKT. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах мод. 3М634.

В технологічній частині магістерської роботи 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, розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок, правої і лівої напівформ, стержня центрального та форми в зборі.

В науковій частині магістерської роботи на основі аналізу конструкцій і способів охолодження кокilів обґрунтовано спосіб охолодження центрального стержня повітрям. Розроблено нову конструкцію центрального стержня, яка забезпечує регульоване повітряне охолодження кокilя за допомогою пневматичної системи цеху. Комп'ютерне дослідження потоку повітря в каналах стержня показало максимальну витрату повітря при охолодженні 0,415 кг/с, тепловміст повітря при охолодженні 28055 Дж/с. Оцінка ефективності охолодження розробленої конструкції кокilя показала, що при використанні повітряного охолодження центрального стержня охолоджуючим повітрям при максимальній його витраті відводиться $11783100 \cdot 100 / 25675843 = 45,8$ % теплоти. Таким чином, розроблена конструкція охолоджуваного центрального стержня дозволяє підвищити продуктивність процесу лиття, підвищити якість литва за рахунок покращення структури та механічних властивостей виливка, а також підвищити ресурс кокilя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектирование машиностроительных заводов и цехов / Под ред. В. М. Шестопада. М.: Машиностроение, 1974. 294 с.
2. Логинов И. З. Проектирование литейных цехов. Минск: Высшая шк., 1975. 230 с.
3. Рыбальченко Н. А. Проектирование литейных цехов. Изд-во Харьк. ун-та, 1965. 306 с.
4. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник / Б. Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. 188 с.
5. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1997. 510с.
6. Основы проектирования литейных цехов и заводов / Л. И. Фанталов, Б. В. Кнорре, С. И. Четвертухин: Под. ред. Б. В. Кнорре. М.: Машиностроение, 1979. 375 с.
7. Сафронов В. Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. 319 с.
8. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2-е изд. Перераб. М.: Машиностроение, 1978. 432 с.
9. Степанов Ю. А., Баландин Г. Ф., Рыбкин В. А. Технология литейного производства. М.: Машиностроение, 1983. 287 с.
10. Средства и системы автоматизации литейного производства / К. С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю. П. Каширин. М.: Машиностроение, 1981. 287 с.
11. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. К.: ІСДО, 1993. 552 с.
12. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. 125 с.
13. Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине “Технология литейной формы” для студентов специальности 0502 / Сост. В.С. Миронов, В.И. Кудя. Кировоград: КИСХМ, 1985. 88 с.

14. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1993. 368 с.
15. Гуляев. А. П. Металловедение. М.: Машиностроение, 1984. 545 с.
16. Рубцов Н. Н. Специальные виды литья. М.: Машгиз, 1955. 331 с.
17. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1967. 239 с.
18. Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 195 с.
19. Литье в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. М.: Машиностроение, 1980. 415 с.
20. Долотов Г.П., Кондаков Е.А. Оборудование термических цехов и лабораторий испытания металлов. М.: Машиностроение 1988. 336 с.
21. Применение алюминиевых сплавов. Справочное руководство / М. Б. Альтман [и др.]. Москва : Металлургия, 1973. 408 с.
22. Дубинин Н.П. Беликов О.А и др. Кокильное литье. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1967. 456с.
23. Баландин Г. Ф. Теория формирования отливки. М. Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998 год. 359 с.
24. Белов А.Ф., Добаткин В.И., Квасов Ф.И. и др. Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1971. С. 352.
25. 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.
26. Фридляндер И.Н. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1983.С.560.
27. Колобнев, И.Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1966. 394с.

28. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокіль алюмінієвих сплавів. Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя : АА ТанDEM, 2018. С. 119-120.

29. Підвищення продуктивності процесу лиття алюмінієвих сплавів на основі дослідження теплового режиму кокіля / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. Литво – 2021: XVII Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя : АА ТанDEM, 2021. С. 107-111.

30. Конончук С.В. Підвищення продуктивності процесу лиття шляхом регулювання теплового режиму кокіля на основі комп'ютерного дослідження потоку повітря в каналах стержня / С.В. Конончук, О.В. Скрипник, В.В. Свяцький, В.В. Пукалов // Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки, вип. 5(36). 2022 р. С. 39-50.

31. Специальные способы литья : справочник / В.А. Ефимов, Г.А. Анисович, В.Н. Бабич и др. ; под общ. ред. В.А. Ефимова. М.: «Машиностроение», 1991. 436 с.

32. Жидецький В.Ц. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. Львів, Афiша, 2000. 352 с.

33. Святкин Б.К., Егорова М.Б. Производство отливок в кокили : учеб. для ПТУ. М.: Высш. шк., 1989. 223 с.

34. Дослідження впливу конструкції шлаковловлювача на ефективність затримки шлаку в середовищі параметричного моделювання SolidWorks Flow Simulation / Конончук С.В., Скрипник О.В., Свяцький В.В., Пукалов В.В. Центральноукраїнський науковий вісник: Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С. 108-117.

35. Сабірзянов Т.Г., Кропівний В.М. Теплотехніка ливарних процесів : навч. посібник для студентів-ливарників. Кіровоград: КНТУ, 2005. 402с.

36. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с/