

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології виготовлення виливка
Кришка НШ50А методом лиття під високим
тиском»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ(ОЛ)-21-3СК
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Світлана ТИХОНЕНКО

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Кропивницький – 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет
 Факультет Механіко-технологічний .
 Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва .
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) .
 Галузь знань 13 Механічна інженерія .
 Спеціальність 131 Прикладна механіка .
 Освітньо-професійна програма «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2024 р.

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

_____ Тихоненко Світлана Владиславівна _____.

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Кришка НШ50А методом лиття під високим тиском» .
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент .
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2024 р. .
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття під високим тиском виливка Кришка НШ50А. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів. Розробити технологію виготовлення виливка Кришка НШ50А методом лиття під високим тиском.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) креслення ливарної форми в зборі .

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Дата видачі завдання

«___»_____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

«___»_____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ Тихоненко С.В.

Анотація

ТИХОНЕНКО Світлана Владиславівна. Розробка технології виготовлення виливка Кришка НШ50А методом лиття під високим тиском. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 36 с.

Вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву. Для плавки сплаву вибрано плавильні печі ІАТ 2,5/1,6 ємністю 2500 кг. Описано процес підготовки печі до плавки. Описано процес плавки та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків обрано ливарний комплекс лиття під високим тиском моделі TST630. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики комплексу. Описано процес підготовки ливарної форми до роботи та технологічний процес лиття. Для обрубки ливників та підживлювачів використовується обрубний прес. Зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему, описано процес проектування ливарного оснащення, описано технологічний процес виготовлення виливка, вибрано параметри контролю якості відливків. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

Ключові слова: алюміній, виливок, промивник, прес-залишок, лиття під високим тиском, матриця, пуансон, ливникова система.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	8
1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	8
1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву	9
1.3. Ливарний комплекс для лиття під високим тиском	13
1.4. Обладнання для фінішної очистки виливків	16
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА	17
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на відливок	17
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка	18
2.2.1. Вибір площини роз'єму	19
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку	19
2.2.3. Вибір радіусів округлень та ливарних ухилів	20
2.2.4. Припуски на усадку	20
2.2.5. Розробка креслень модельно-ливарних вказівок	20
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	21
2.3.1. Основні положення при конструюванні ЛЖС	21
2.3.2. Тип ливникової системи	22
2.3.3. Розрахунок ливникової системи	24
2.4. Технологічний процес виготовлення відливка	30
2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки	31
ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	34
ДОДАТКИ	36

ВСТУП

Актуальність роботи. На сьогоднішній день важко уявити галузь промисловості, яка не використовує литі заготовки. Серед великого різноманіття способів литва, лиття під високим тиском є одним із найточніших способів отримання литих виробів. У деяких випадках литтям під тиском можна досягти точності розмірів на рівні механічної обробки. Проте, завдяки утворенню на поверхні виливка дрібнозернистої структури – ливарної кірки – міцність такої деталі буде на порядок вищою, ніж деталі, отриманої механічною обробкою.

Технологія лиття під високим тиском характеризується високою продуктивністю, високим ступенем автоматизації та роботизації, застосовується для точного лиття, як тонкостінного (від 1 мм), так і фасонного. Практично будь-яку деталь з алюмінію можна відлити на машинах лиття під тиском. Литтям під тиском отримують виливки для машинобудування, автомобілебудування, аерокосмічної, хімічної промисловості та багатьох інших галузей.

До недоліків литва під високим тиском можна віднести відносно високу вартість обладнання та оснащення, обмежену товщину виливка. Номенклатура ливарних алюмінієвих сплавів, які підходять для цього способу литва також обмежена.

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

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття під високим тиском виливка «Кришка НШ50А».

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір матеріалів та обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного обладнання;
- опис послідовності розробки технології лиття;
- розрахунок і конструювання ливникової системи;
- опис технологічного процесу виготовлення відливка;

- опис процесу проектування ливарного оснащення;
- вибір параметрів контролю якості відливків;

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття під високим тиском алюмінієвих сплавів.

Предмет дослідження – розробка модельно ливарного оснащення для виготовлення виливка «Кришка НШ50А» методом лиття під високим тиском.

Практичне значення – розраховано та спроектовано модельно ливарне оснащення для виготовлення виливка «Кришка НШ50А» методом лиття під високим тиском.

Особистий внесок – Вибрано матеріали, обладнання для виготовлення виливка «Кришка НШ50А» методом лиття під високим тиском та описано його роботу, розраховано ливниково-живильну систему виливка, описано процес проектування ливарного оснащення та спроектовано креслення модельно ливарних вказівок та форми в зборі.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

Матеріали та устаткування, які використовуються у ливарному виробництві, грають важливу роль у якості та вартості відливків. Тому їх вибір та застосування повинні бути оптимальними у кожному конкретному технологічному процесі, враховуючи технічні вимоги до відливки, вид виробництва, метод лиття і т. д. При виборі матеріалів важливо керуватися їх якістю, доступністю, вартістю, екологічністю та зручністю у використанні.

Для плавки алюмінієвих сплавів зазвичай використовують чушковий алюміній відповідного хімічного складу, відходи власного виробництва, алюмінієвий лом тощо. Для коригування хімічного складу використовують чушковий первинний алюміній та різноманітні лігатури з необхідними елементами, такими як мідь, кремній, магній, марганець, титан, олово тощо.

Для рафінування алюмінієвих сплавів застосовують флюси, які під час хімічних реакцій і виділення газів інтенсивно перемішують розплав, видаляючи неметалеві домішки та виводячи їх на поверхню. Після рафінування розплав залишається стояти, шлак виходить на поверхню і видаляється з поверхні металу шлакозчищалкою у спеціально підготовлену виливницю. Подрібнення зерен у структурі металу досягається використанням модифікаторів.

1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення відливків Кришка НШ 50А-3-02 використовується сплав АК5М2Ц4 ТУ СОУ 29.1–05786100–005:2011. Використання цього сплаву забезпечує необхідні механічні властивості (міцність, твердість, відносне видовження) відливків. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1. Механічні властивості сплаву наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічний склад алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4

Елемент	Cu	Zn	Mg	Si	Mn	Fe	Ti	Al
Вміст %	1,5 – 3,5	3,50 – 8,0	0,2 – 0,8	4 - 6	0,2 – 0,8	< 1,3	0,07 – 0,2	Основа

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву АК5М2Ц4

Сплав	Границя міцності при розтягу, кгс/мм ² (МПа)	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі
АК5М2Ц4	22 (216)	1,3	95–125	1,25	410

Алюмінієві сплави є частиною кольорових сплавів і широко використовуються у машинобудуванні завдяки своїм перевагам. Ці сплави складаються з алюмінієвої основи та додаткових легуючих елементів, які поліпшують як механічні (твердість, міцність, відносне видовження), так і спеціальні (оброблюваність різанням, рідинотекучість, пластичність тощо) властивості.

1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Плавку сплаву виконують індукційній тигельній електропечі ІАТ 2,5/1,6 (рис. 1.1). Дані печі можуть бути укомплектовані одним або двома плавильними агрегатами, працюють на промисловій частоті струму і можуть використовуватись для плавки більшості кольорових сплавів. Вони добре підходять для попереднього розплавлення, а також для прямого розливання у великі форми. Індукційна тигельна піч складається з індуктора, на який подається змінний струм, і тигля, в якому плавиться метал за рахунок виникнення в ньому індукційних струмів. До переваг індукційної плавки можна віднести високу продуктивність плавки, одногідність хімічного складу і

температури за рахунок інтенсивного перемішування металу внаслідок виникнення магніто динамічних сил і високою якістю металів (сплавів), що переплавляються.



Рис. 1.1. Плавильна індукційна тигельна електропечі ІАТ 2,5/1,6

Ємність печі 2500 кг. Швидкість плавки 120 – 180 хв.

Технічні характеристики печі наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика індукційної тигельної печі ІАТ 2,5/1,6

Технічний параметр	Показник
Ємність печі, т	2,5
Потужність, кВт	1000
Температура металу, °С	750
Питома втрата електроенергії на розплавлення і перегрів, кВт·год/т	850
Продуктивність плавки, т/год	0,84
Час розплавлення та перегріву, год	1,30

Робота плавильного відділення проходить в такій послідовності:

1. Зі складів шихтові матеріали подаються автотранспортом на естакади цеху. Відходи власного виробництва, лігатури та інші сплави знаходяться в коробах, а чушковий алюміній в штабелях.

2. На естакади шихтові матеріали завантажуються за допомогою підвісних електронних вагів, а потім за допомогою кран-балки вантажопід'ємністю $Q = 5$ т подаються до плавильних печей.

3. Завантаження печей проводиться автоматично із короба в такій послідовності: подрібнені брак і відходи власного виробництва, а потім чушковий алюміній. Пусту тару подають кран-балкою на естакаду.

4. Плавка. 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 [7].

Весь процес приготування рідкого сплаву з доведенням його до розливки у форми можна розділити на такі основні етапи:

- пуск печей;
- приготування шихти та її розвантаження;
- плавлення (приготування сплавів);
- рафінування в деяких випадках і модифікування.

Пуск печі. Перед пуском необхідно добре просушити, а потім нагріти до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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.

5. Готовий розплав переливають в барабанний ківш і за допомогою кран-балки подають до печей. Для очищення сплаву від газових та неметалевих включень, проводять рафінування з використанням пробат флюса АЛ224, навіску якого перед зливанням поміщають на дно барабанного ковша. В процесі переливки металу з плавильної печі в барабанний ківш метал буде перемішуватись, внаслідок чого пробат флюс АЛ224 замішається в розплав. Часу транспортування металу від плавильної печі до ливарного комплексу достатньо, щоб процес рафінування завершився, а метал вистоявся для впливання шлаку і газів (10...15 хв). Далі необхідно поверхню сплаву ретельно очистити від шлаку зчищалкою. Шлак зібрати в підготовлену виливницю підготовленим плавильним інструментом: шлакозчищалка повинна бути пофарбована вогнетривкою фарбою на основі окису цинку та ретельно просушена, виливниці для збору шлаку повинні бути очищені та просушені. Готовий розплав перелити з барабанного ковша в плавильно-роздаточну газову піч «Fergal» ємністю 1500 кг. По закінченню роботи вибити шлак з виливниці в спеціально виділену тару.

Транспортування рідкого металу від плавильної печі до ливарних комплексів лиття під високим тиском здійснюється за допомогою барабанних ковшів ємністю 600 кг. Перед заливкою металу футеровка ковша повинна бути прожареною газовим пальником до температури 800 °С.

Під час плавки частина металу втрачається в результаті утворення шлаку, оксидних плівок, угару та в процесі розливки у вигляді зливів і сплесків. Втрати при плавлі алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 в плавильній печі опору ІАТ 2,5/1,6 приведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Втрати при плавлі алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
АК5М2Ц4	4,500		1,610	6,110

1.3. Машина для лиття під високим тиском алюмінієвих сплавів

Для виготовлення виливка Кришка НШ 50А використовуємо ливарний комплекс для лиття під високим тиском TST-630 (рис. 1.2) до складу якого входять: машина для лиття під високим тиском 1, заливщик 2, роздавальна піч 3, автоматичний мастильник 4, робот-зйомник марки Motoman 5, гідравлічний прес T25 NG+ для обрубки ливників 6. Технічна характеристика ливарного комплексу TST-630 представлена в табл. 1.5:

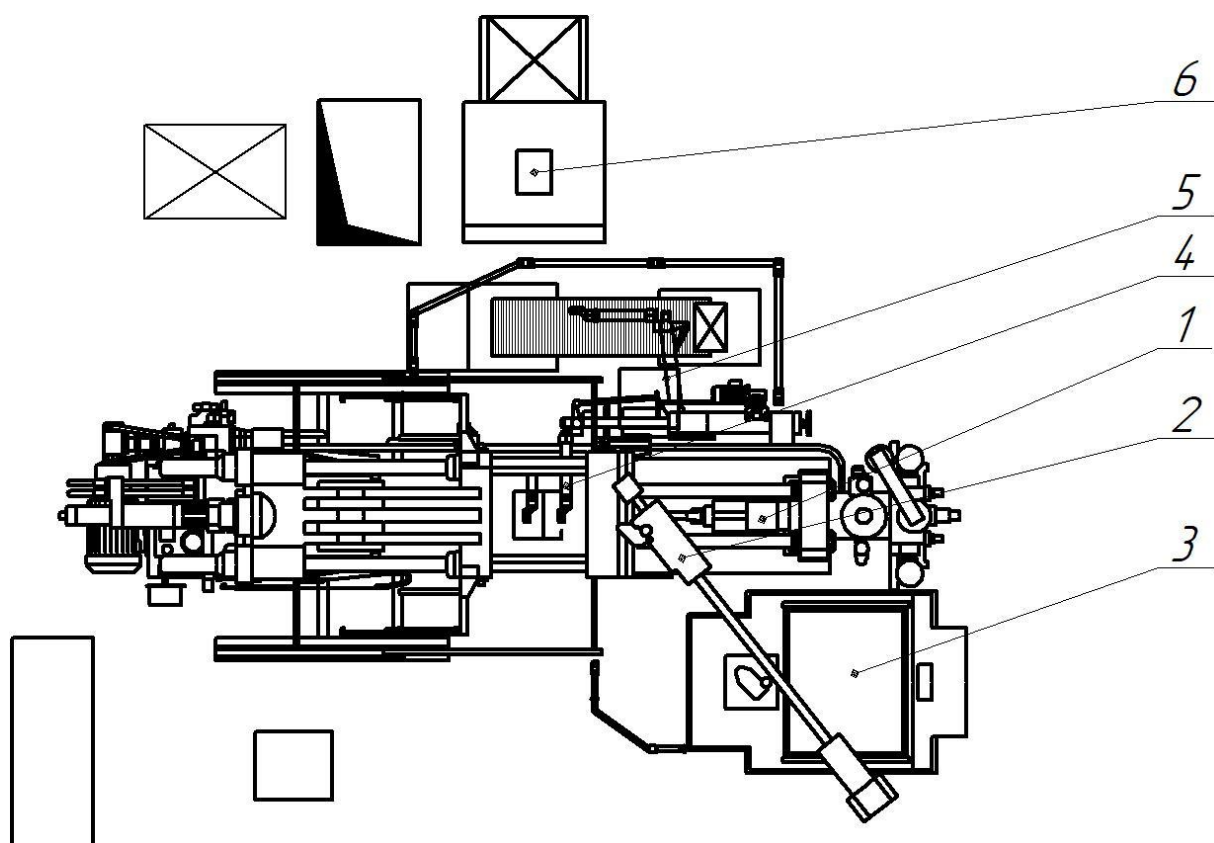


Рис. 1.2. Ливарний комплекс для лиття під високим тиском TST-630 (план)

Ливарний комплекс TST-630 – автоматизований з вертикальною площиною роз'єму форми з холодною горизонтальною камерою пресування, призначений для виготовлення відливків із кольорових сплавів. Комплекс виконує такі операції: заливка металу в камеру пресування за допомогою маніпулятора для заливки металу, запирання форми, чотирьохфазне пресування, розкриття форми, виштовхування відливка, зняття відливка, очистка і змазка прес-форми, обрубка відливка на пресі.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика ливарного комплексу мод. TST-630

Найменування параметрів	Величина	Значення
Зусилля запирання	кН	6300
Зусилля підтримки замикання	кН	6950
Максимальне зусилля пресування	кН	670
Висота прес-форми:		
найбільша	мм	900
найменша	мм	380
Розміри плити пресування	мм	1260 x 1420
Розміри плити замикання	мм	1260 x 1280
Відстань між колонами	мм	780 x 780
Діаметр колон	мм	160
Хід рухомої плити	мм	760
Хід плунжера пресування, регульований, макс	мм	600
Швидкість 2-ої фази пресування, регульована, макс	м/с	5
Хід центрального виштовхувача, регулюючимий, макс.	мм	170
Положення пресування	мм	0; 150; 300
Максимальна площа виливки при питомному тиску на метал 40000 кПа	см ²	1067
Максимальна маса відливки з люмінієвого сплаву	кг	11,2
Потужність двигуна насоса головного приводу	кВт	44
Довжина машини	мм	7550
Висота машини	мм	2750
Ширина машини	мм	3150

Продовження таблиці 1.5

Маса машини	кг	29600
Витрата води для охолодження, без охолодження пресформи (орієнтовно)	м ³ /час	5
Витрата стисненого повітря (макс.)	м ³ /час	1
Тиск стисненого повітря	кПа	400...600
Ємність основного гидробака	л	1300
Ємність бачка централізованого мастила	л	11
Ємність бачка мастила плунжера пресування	л	11
Лінійний тиск гідросистеми	кПа (бар)	15000 (150)

Для обробки ливникової системи використовується гідравлічний прес T25 NG+ технічна характеристика пресу наведена в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Технічна характеристика гідравлічного пресу моделі T25 NG+

Найменування параметра	Величина	Значення
Робоча напруга	вольт	400
Допоміжна напруга	вольт	230
Напруга керування	вольт	24
Потужність	кВт	7,5
Робочий тиск	бар	200
Ємність підстанції	л	100
Робочий тиск стислого повітря	бар	5
Робоче зусилля	кН	250
Розміри:		
висота	мм	3800
ширина	мм	1670
Маса	кг	3800

В процесі лиття під тиском, поверхні прес-форми, які безпосередньо стикаються з рідким металом, покривають замазкою перед кожною заливкою за допомогою автоматичного змащувальника форм.

В якості змазки використовують роздільне протипригарне покриття DIE LUBRICK, яке запобігає приварюванню металу до робочої поверхні прес-форми.

1.4. Обладнання для фінішної очистки виливків

Оскільки обрубний прес практично повністю відділяє ливникову систему та облой по контуру виливка, немає необхідності у відрізнному обладнанні. Залишки заливів в отворах і по контуру виливка зачищаються ручним шабером за необхідності.

Для фінішної зачистки на виливках залишків ливниково-живильної системи використовуємо обдирно-шліфувальний верстат (за необхідності).

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на відливок

Деталь – це виріб, виконаний із однорідного матеріалу без використання збірних або монтажних операцій. Відливком називається деталь, отримана безпосередньо литтям металу в спеціальну форму, в якій проходить кристалізація.

Деталь – кришка шестеренчатого насосу НШ50А-3-06В (рис. 2.1) виготовляється литтям під високим тиском з алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 ТУ СОУ 29.1–05786100–005:2011, хімічний склад та механічні властивості якого приведені в табл. 1.1? 1.2. Відливок II групи, точність відливка 7-0-0-7т ГОСТ 26645-85. Незазначені ливарні ухили 1° в сторону зменшення розмірів, незазначені ливарні радіуси від 0,2 мм. до 0,5 мм., зміщення по площині роз'єму $\pm 0,2$ мм., не більше. Загальна пористість повинна бути не вище еталона №2 шкали пористості по ДСТУ 2839-94.

Кришка має нескладну конфігурацію. В шестеренчастому насосі, кришкою закривається корпус, в якому знаходяться шестерні. Кришка має круглу форму та кріпиться до корпусу гвинтами. На зовнішній поверхні проліті ребра жорсткості, які збільшують міцність конструкції кришки.

Габарити деталі $\varnothing 152 \times 15$ мм. Маса деталі – 0,6 кг., Твердість – 75...110 НВ.

На поверхнях, які є базовими не повинно бути раковин, заливів, неметалічних включень, вони повинні бути чистими. На деяких не оброблюваних поверхнях відливка допускаються одиничні раковини, сліди від штовхачів глибиною або висотою не більше 0,2 мм.

Допуск зміщення відливка по площині роз'єму – 0,2 мм. На поверхнях, які обробляються, допускаються різні дефекти, які не перевищують глибини в 0,5 припуску на механічну обробку.

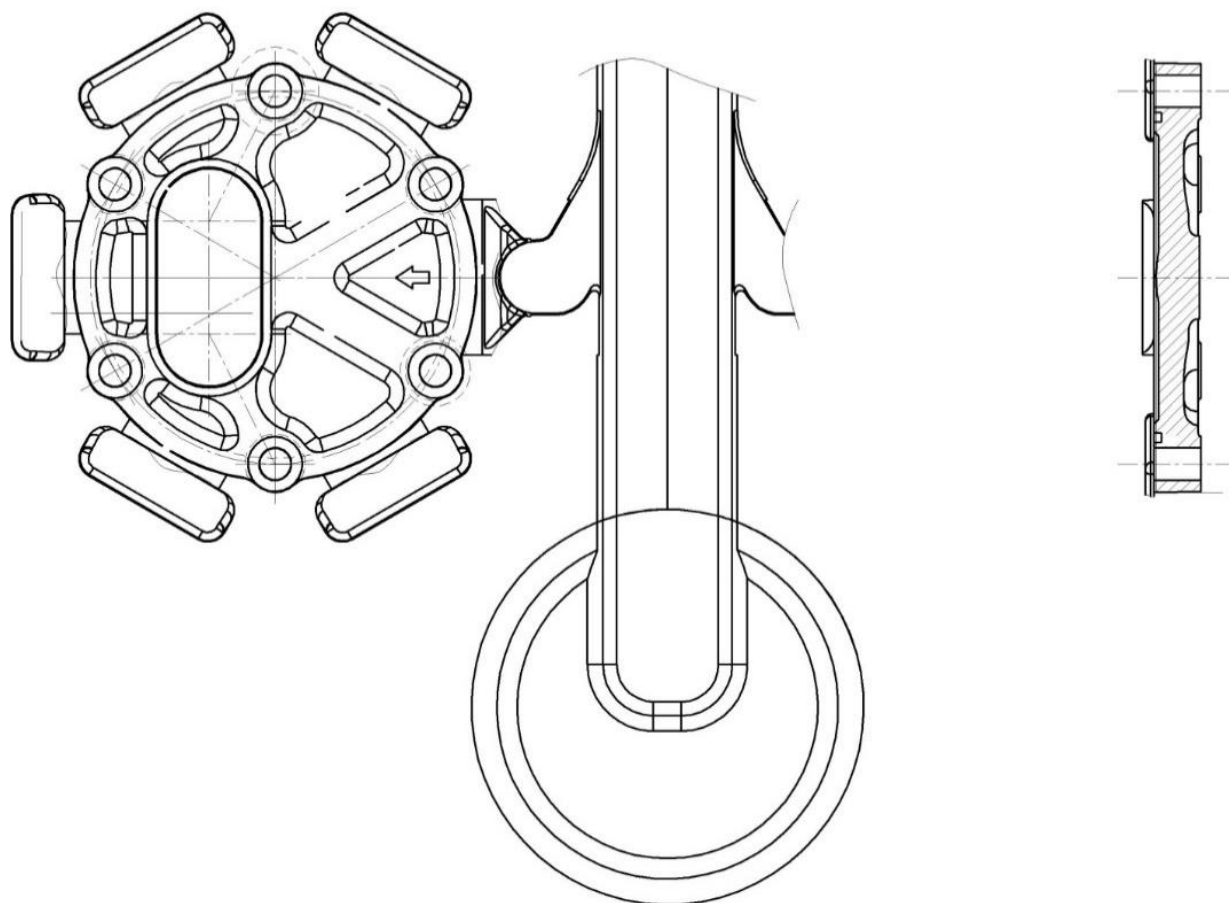


Рисунок 2.1 - Відливок кришки НШ50А-3-06

На поверхнях, які є базовими не повинно бути раковин, заливів, неметалічних включень, вони повинні бути чистими. На деяких не оброблюваних поверхнях відливка допускаються одиничні раковини, сліди від штовхачів глибиною або висотою не більше 0,2 мм.

Допуск зміщення відливка по площині роз'єму – 0,2 мм. На поверхнях, які обробляються, допускаються різні дефекти, які не перевищують глибини в 0,5 припуску на механічну обробку.

2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

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

методику заливки в прес-форму, роз'єм форми, встановити величину припусків на механічну обробку і усадку, радіуси скруглень і ливарні уклони.

2.2.1. Вибір площини роз'єму. Для отримання якісного відливка, необхідно вибрати раціональний роз'єм форми. Поверхня роз'єму визначається конструкцією відливка, технологічними вимогами та місцевими конструктивними особливостями відливка. Але слід користуватись загальними положеннями з технології ливарної форми та теорії ливарного виробництва:

- поверхня роз'єму повинна займати вертикальне положення;
- число поверхонь роз'єму повинно бути мінімальним;
- вибираючи роз'єм форми треба забезпечити зручність контролю розмірів форми;
- поверхня роз'єму повинна по можливості бути плоскою;
- 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;
- видалення виливка з прес-форми не повинно викликати труднощів і щоб він залишався в рухомій напівформі і видалявся виштовхуючим механізмом.

Проаналізувавши всі вимоги, вибираємо лінію роз'єму: вона має вертикальне розташування. Поверхню роз'єму форми показано на кресленні відливка та на рис. 2.2

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку. Розміри відливків відраховують від розмірів готової форми на величину припуску на механічну обробку. Величина припуску вибирається від найбільшого розміру відливка, способу отримання відливка, класу точності відливка.

Відливок кришки має один припуск на механічну обробку.

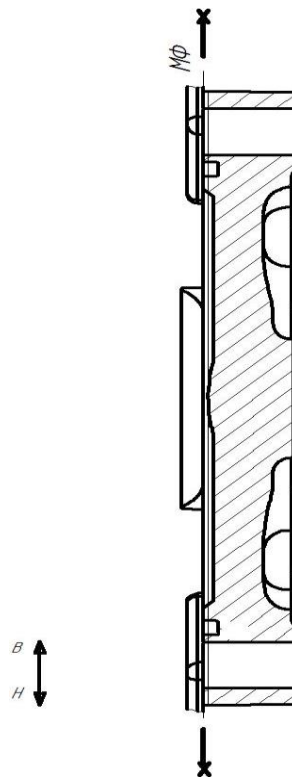


Рисунок 2.2 - Площина роз'єму

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

- не вказані ливарні уклони – 1° ;
- ливарні радіуси – від 0,2 мм до 0,5 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 відливка. Приймаємо лінійну усадку для алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 згідно ТУ СОУ 29.1–05786100–005:2011 при литті під тиском 1,25%, а об'ємну – 1,95%.

2.2.5. Розробка креслень модельно-ливарних вказівок. Креслення модельно-ливарних вказівок розроблено на основі креслення кришки. Технологічне креслення – це креслення з технологічними зазначеннями у відповідності з ГОСТ 3.1125. На кресленні деталі слід вказати:

- розташування відливка у формі в період заливки та затвердіння;
- величину припуску на механічну обробку;

- розташування поверхонь моделі на формі;
- границі стержнів та зазори;
- місце установки, розміри елементів ливниково-живильної системи.

Розташування проєкції креслення відливки повинно відповідати положенню її при заливці форми металом. На кресленні відливка вказують величину припуску на механічну обробку. Отвори, які не виконують литтям, закреслюють суцільною лінією. На кресленні деталі відливка, відповідно ГОСТу, наносять елементи ливарної форми. Роз'єм відливка та форми показаний прямим відрізком, над яким проставляють літери РФ. Всі елементи наносяться відповідно до ГОСТ 2.423 [13].

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 відливка здійснюють згідно з ГОСТ 2.309. Якщо шорсткість всіх поверхонь однакова, то вона повинна позначатись в правому верхньому куті креслення.

Зображення ливникової системи підживлювача та нанесення розмірів виконують за ГОСТ 2.423 [13]. 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 і конструювання ливникової системи

2.3.1. Основні положення при конструюванні ливникової системи.

Ливникова система являє собою сукупність каналів, по яких рідкий метал надходить з камери пресування в оформлюючу порожнину прес-форми. Ливникова система прес-форм для машин з горизонтальною холодною камерою пресування складається з: прес-залишка; підвідного каналу, по якому метал

підводиться до оформлюючої порожнини, а в багатогніздних прес-формах до всіх оформлюючих порожнин; живильника. Прес-залишок в ливниковій системі прес-форм с горизонтальною камерою пресування переходить відразу в підвідний канал. Скорочення шляху руху металу в ливниковій системі - важлива перевага машин з горизонтальною камерою пресування.

Прес-залишок одночасно є елементом ливникової системи прес-форми і камери пресування. Його діаметр визначається діаметром камери пресування. Водночас маса прес-залишку сильно впливає на умови заповнення та затвердіння виливки. Висота прес-залишку повинна бути оптимальною в цілях економії металу, але вона повинна бути не менше розміру вхідного отвору в підвідний канал.

Вентиляційна система прес-форми являє собою сукупність каналів та резервуарів, через котрі повітря та газу, які утворилися внаслідок згорання мастильних матеріалів, витісняються з оформлюючої порожнини металом, що надходить. Вентиляційна система складається з промивників та вентиляційних каналів. Промивники використовуються для прийому порції металу, який забруднений повітряними та газовими включеннями.

2.3.2. Тип ливникової системи. Розрізняють три типи систем ливників: прямі, внутрішні, зовнішні. У прямій ливниковій системі відсутній підвідний канал; метал з ливникового ходу надходить у порожнину форми. Внутрішню ливникову систему застосовують для виливків, що мають центральний або який-небудь інший отвір, розміри якого дозволяють розмістити всередині порожнини прес-форми підвідні канали і живильники. Зовнішня ливникова система - єдина система для підведення металу у багатогніздні форми.. Живильник підводимо до бічної стінки виливки. Габаритні розміри форми залежать від конструкції виливки, кількості виливків у формі, діаметра камери пресування, товщини прес-форми.

Для прийому першої порції розплаву, збагаченого повітряними включеннями, поблизу порожнини прес-форми розташовують спеціальні резервуари - промивники, обсяг яких може досягати 20 - 40% від обсягу виливки.

Промивники з'єднують з порожниною ливарної форми каналами, товщина яких дорівнює товщині живильників. Видалення повітря і газу з порожнини прес-форм здійснюють через спеціальні вентиляційні канали. Вентиляційні канали виконують у площині роз'єму на нерухомій частини прес-форми, також уздовж виштовхувачів. Глибина вентиляційних каналів дорівнює 0,05-0,15 мм, а ширина 10-30 мм.

Вибираємо зовнішню ливникову систему (рис. 2.3), яка дозволяє отримувати кілька виливків у прес-формі.

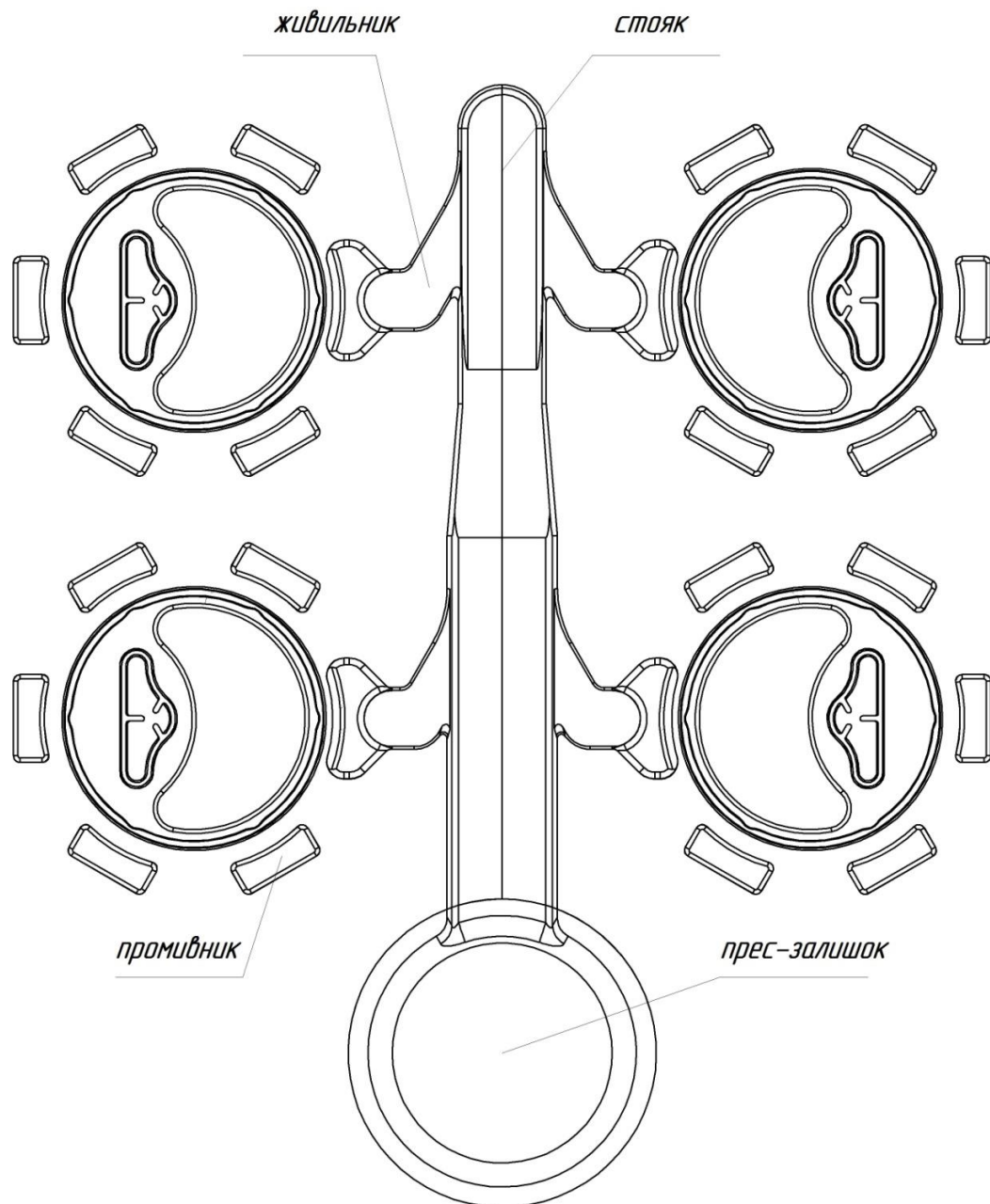


Рисунок 2.3 - Конструкція ливникової системи

2.3.3. Розрахунок ливникової системи. Ливникова система прес-форм для машин з холодною камерою пресування не має ливниковий хід; прес-залишок одразу переходить в вертикальний канал канал.

Прес-залишок одночасно є елементом ливникової системи прес-форми та камери пресування. Його діаметр визначається діаметром камери пресування. В той же час маса прес-залишка сильно впливає на умови заповнення та затвердіння виливка. Висота прес-залишка має бути оптимальною в цілях економії металу, але вона повинна бути не менше розміру вхідного отвору в підводний канал для прес-форми.

При обрані ливникової системи того чи інакшого типу необхідно прагнути до забезпечення направленого заповнення, яке залежить від не тільки від місця підводу живильника, але і від співвідношення товщини ($\delta_{\text{жив}}$) живильника до товщини ($\delta_{\text{вил}}$) стінки виливка в місці підводу металу.

Якщо співвідношення $\delta_{\text{жив}} / \delta_{\text{вил}} > 1/2$, то після удару струменя об перешкоду починається заповнення порожнини форми суцільним або дисперсним потоком, котрий двигається в напрямку, який є протилежним напрямком руху металу в живильнику, погіршуючи якість виливка.

При співвідношенні $\delta_{\text{жив}} / \delta_{\text{вил}} < 1/2$ можливість створення направленого потоку заповнення збільшується.

В даному випадку $\delta_{\text{жив}} = 4$ мм; $\delta_{\text{вил}} = 15,8$ мм.

$$\frac{\delta_{\text{жив}}}{\delta_{\text{вил}}} = \frac{4}{15,8} = 0,25 < 0,5$$

Один з найголовніших принципів конструювання ливникових систем – принцип звуження каналів від камери пресування к порожнині прес-форми. На машинах с горизонтальною камерою пресування завжди можна звужити ливникові канали, що буде сприяти створенню усталеного руху в живильнику.

Зазвичай переріз живильника має прямокутну конфігурацію, а переріз підвідного каналу – трапецієподібну.

Площа перерізу живильника при литті під тиском – завжди найбільш вузьке місце ливникової системи, розраховують її за формулою:

$$F_{\text{ж.}} = \frac{M_{\text{вил}} \cdot 1000}{\rho_1 \cdot v_{\text{роз}} \cdot t_1}, \quad (2.1)$$

де $M_{\text{вил}}$ – маса вилівка з ливниковою системою, $M_{\text{вил}} = 4,3$ кг;

ρ_1 – густина розплаву, кг/м³;

$v_{\text{роз}}$ – швидкість випуску розплаву, м/с;

t_1 – тривалість заповнення форми, с.

Визначаємо швидкість випуску розплаву:

$$v_{\text{роз}} = 15 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.2)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує тип вилівка, $K_1 = 1$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує тиск на сплав $K_2 = 2$.

$$v_{\text{роз}} = 15 \cdot 1 \cdot 2 = 30 \text{ м/с}$$

Визначаємо тривалість заповнення форми:

$$t_1 = K_3 \cdot K_4 \cdot 0,06, \quad (2.3)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує тип сплаву, $K_3 = 0,9$;

K_4 – коефіцієнт, що враховує середню товщину стінки вилівка $K_4 = 1,5$

Тоді:

$$t_1 = 0,9 \cdot 1,5 \cdot 0,06 = 0,081 \text{ сек,}$$

$$F_{\text{ж}} = \frac{4,3 \cdot 1000}{2710 \cdot 30 \cdot 0,081} = 0,65 \text{ см}^2$$

Проводимо розрахунки розмірів живильника:

Товщина живильника:

$$h_{\text{жив}} = (0,8 \dots 1,0) \cdot a_{\text{вил}} , \quad (2.4)$$

де $a_{\text{вил}}$ — товщина виливка в місці підведення металу, мм.

$$h_{\text{жив}} = 0,8 \cdot 16,8 = 13,4 \text{ мм}$$

Ширина живильника:

$$b_{\text{жив}} = \frac{F_{\text{ст}}}{h_{\text{жив}}} , \quad (2.5)$$

$$b_{\text{жив}} = \frac{650}{13,4} = 48,5 \text{ мм}$$

Довжина живильника:

$$l_{\text{жив}} = (4 \dots 6) \cdot h_{\text{жив}} , \quad (2.6)$$

$$l_{\text{жив}} = 4,7 \cdot 13,4 = 63 \text{ мм}$$

Потрібно вибрати оптимальні розміри ливникової системи для 4-гніздової прес-форми на комплексі TST-630. Маса одного виливка з алюмінієвого сплаву $M = 0,6 \text{ кг}$, а всіх 4 виливків $M_{\text{вил}} = 0,6 \cdot 4 = 2,4 \text{ кг}$.

Вибираємо експериментальні коефіцієнти для визначення діаметра отвору в прес-формі $d_{\text{ф}}$ і площі перетину живильника $F_{\text{жив}}$. Виливок разом з ливниковою системою прийнята як проста.

$$k_1 = 1,45 \text{ кгс/см}^2 \text{ та } k_2 = 1,0 \text{ кгс/см}^2$$

Визначаємо мінімальний діаметр отвору за паспортом машини діаметр d_ϕ = 100 мм.

Площа ливникового отвору при $d_\phi = 100$ мм буде:

$$F_\phi = \frac{\pi d_\phi^2}{4}, \quad (2.7)$$

$$F_\phi = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу кільця $F_{\text{кіль}}$ навколо розсікача зі співвідношення за формулою:

$$F_{\text{кіль}} = 1,2 \cdot F_\phi, \quad (2.8)$$

$$F_{\text{кіль}} = 1,2 \cdot 78,5 = 94,2 \text{ см}^2$$

Визначаємо діаметр ливникової втулки $d_{\text{л.в}}$ біля виходу стояка до каналу. Діаметр розсікача вибираємо $d_p = 100$ мм:

$$\frac{\pi \cdot d_{\text{л.в}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} = 78,5 \text{ см}^2 \quad (2.9)$$

З формули (2.9) випливає:

$$d_{\text{л.в}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 78,5}{\pi} + d_p^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 78,5}{3,14} + 10^2} \approx 14 \text{ см} = 140 \text{ мм.}$$

Визначаємо перетин ливникового каналу, має число гнізд $n_1 = 4$, зі співвідношення за формулою (2.9):

$$F_{л.к} = 1,3 \cdot \frac{F_{\phi}}{n_1}, \quad (2.10)$$

$$F_{л.к} = 1,3 \cdot \frac{78,5}{4} = 25,5 \text{ см}^2 = 255 \text{ мм}^2$$

Ширина і глибина каналу береться з умови мінімуму периметра за формулами:

$$b_{л.к} = 1,61 \cdot \sqrt{F_{л.к} + 1} \quad (2.11)$$

$$b_{л.к} = 1,61 \cdot \sqrt{255 + 1} = 25,76 \text{ мм}$$

$$h_{min} = 0,93 \cdot \sqrt{F_{л.к} + 1} \quad (2.12)$$

$$h_{min} = 0,93 \cdot \sqrt{255 + 1} = 14,88 \text{ мм.}$$

Площина поперечного перерізу ливникового каналу:

$$F_{л.к.} = (1,2 + 1,5) \cdot F_{ж.}, \text{ см}^2$$

де

$F_{ж.}$ – площа поперечного перерізу живильника, см^2 .

$$F_{ст.} : F_{ж.} = 1 : 4, \quad (2.13)$$

де $F_{ст.}$, $F_{ж.}$ – площі поперечного перерізу стояка, та живильника відповідно.

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

$$u_p = (3,0 \dots 4,2) l_{відл}, \quad (2.14)$$

де u_p – початкова швидкість підйому розплаву у формі, см/с

$l_{відл}$ – характерна товщина стінки відливка, см .

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

$$F_{\text{ст}} = \frac{(3,0 \dots 4,2)G}{\rho H_{\text{відл}} l_{\text{відл}} u_p}, \quad (2.15)$$

де G – вага відливка, г, $G = 5900$ г;

ρ – густина розплаву, г/см³, $\rho = 2,75$ г/см³;

$H_{\text{відл}}$ – висота відливка, см, $H_{\text{відл}} = 18$ см;

$l_{\text{відл}}$ – характерна товщина стінки відливка, см, $l_{\text{відл}} = 2,0$ см;

u_p – швидкість руху розплаву, см/с.

Швидкість руху розплаву визначається за формулою:

$$u_p = \mu \sqrt{2gH_p}, \quad (2.16)$$

де μ – коефіцієнт витрати, $\mu = 0,65 \dots 0,75$;

H_p – статичний напір. Для обраного підводу металу у форму $H_p = H$ (рис. 2.3),

$$u_p = 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 17,2} = 130 \text{ см/с}$$

$$F_{\text{ст}} = \frac{(3,0 \dots 4,2) \cdot 5900}{2,75 \cdot 18 \cdot 2,0 \cdot 130} = 1,38 \dots 1,92 \text{ см}^2.$$

Приймаємо $F_{\text{ст}} = 2,30 \text{ см}^2$, тоді $\Sigma F_{\text{ж}} = 9,20 \text{ см}^2$ (в нашому випадку ливникова система складається зі стояка та живильника).

Стояк приймаємо круглого перерізу, діаметром 18 мм.

Живильники приймаємо прямокутний товщина – 4 мм, ширина – 15 мм.

2.4. Технологічний процес виготовлення відливка

Технологічний процес виготовлення відливка в прес-формі включає в себе такі операції: збирання прес-форми, підготовка прес-форми до роботи, запресовка прес-форми, охолодження відливка, видалення відливка, очистка і контроль якості відливка.

1. Відливоч "Кришка шестеренчатого насосу НШ50А-3-06В" виготовляється литтям під високим тиском в прес-форму, яка монтується на комплекс, технічна характеристика якого приведена в розділі 1, прес-форма монтується на штоки гідроциліндрів та на направляючі. Також вмонтовані стержні. Після збирання прес-форми проводиться її розігрів до температури 150...200 °С за допомогою 5 - 10 запресовок.

3. На розігріту прес-форму пульверизатором наноситься змазка Діалабрікант. Це протипригарна теплоізолююча змазка у вигляді концентрату. Для нанесення змазки на прес-форму необхідно розвести її водою в пропорції 1:100. Змазку наносити перед кожною запресовкою. Рекомендований шар змазки – 0,2 мм. В процесі роботи в разі потреби проводити повторне змащування.

4. Після змащування прес-форми, за допомогою гідроприводу машини, вона закривається. Можна проводити запресовку металу,

5. Метал – алюмінієвий сплав АК5М2Ц4. Температура заливки сплаву 720...740 °С. Сплав заливається в форму ковшем ємністю 10 кг.

6. Після охолодження, повного затвердіння відливка і досягнення температури витягування, за допомогою робота проходить його видалення.

7. Робот поміщає відливоч у бак з водою, для проведення закалювання відливка та забезпечення його необхідними механічними властивостями. Після заповнення тари вона транспортується цеховим транспортом на очисну дільницю.

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

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

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

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

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки

Прес-форма має одну або кілька порожнин, які повторюють форму відливка. Порожнина прес-форми повинні відрізнятися від розмірів відливка на величину усадки сплаву, який заливається. Прес-форми для масового виробництва характеризуються надійною конструкцією. Прес-форми для невеликих деталей масового виробництва найчастіше виконують з декількома гніздами, в таких прес-формах не одна оформляюча порожнина, а декілька, які з'єднані з одним живильним ливником. Застосовуючи багатогніздових прес-форми, збільшують продуктивність праці, так як за одну запресовку в цьому випадку можна отримати кілька відливоків.

В машинах для лиття під високим тиском в якості форми застосовується постійна металева прес-форма. Формотворчі деталі виготовляють із сплавів 3Х3МЗФ, 4Х5МФС. Для інших деталей прес-форм використовують конструкційні сталі 35, 40, 40Х, 45.

Стержні мають округлу форму виготовляються шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050.

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

Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050.

Всі стержні піддаються термообробці – азотування, товщиною $h=0,05$ мм (HRC 30...35).

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання розробки технології виготовлення виливка «Кришка НШ50А» методом лиття під високим тиском.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

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

Вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву. Для плавки сплаву вибрано плавильні печі ІАТ 2,5/1,6 ємністю 2500 кг. Описано процес підготовки печі до плавки. Описано процес плавки та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків обрано ливарний комплекс лиття під високим тиском моделі TST630. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики комплексу. Описано процес підготовки ливарної форми до роботи та технологічний процес лиття. Для обрубки ливників та підживлювачів використовується обрубний прес. Зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему, описано процес проектування ливарного оснащення, описано технологічний процес виготовлення виливка, вибрано параметри контролю якості відливків. Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Машины для литья под давлением /В.А.Антонов, В.Э.Берин, М.Д.Белостоцкий; под ред.. Б.Е.Розенберга. М.: Машиностроение, 1973. – 288с.
2. Степанов Ю.А. и др. Технология литейного производства: специальные виды литья. Учебник для ВУЗов. – М.: Машиностроение, 1983. – 287 с.
3. Беккер М.Б., Заславский М.Л. Литьё под давлением – М.: Машиностроение, 1980. – 201 с.
4. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2-е изд. Перераб. М.: Машиностроение, 1978. 432 с.
5. Белопухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. – М.: Машиностроение, 1985. – 272с.
6. Литейные машины. Машины для специальных способов литья. Каталог – справочник. – М.: НИИЛитмаш, 1975. - 52с.
7. Сазонов В.Я. Справочник по литейному оборудованию. М.: Машиностроение, 1985. – 320с.
8. Пляцкий В.М. литье под давлением. – М.: Оборонгиз, 1957. – 462с.
9. Технические требования и сведения о машинах для литья под давлением. – Тирасполь: ПО «Точлитмаш», 1986. – 192с.
10. Морозов И.В. Литье под давлением /под. ред..А.М.Линицкого. – Л.: Машиностроение, 1980. – 75с.
11. ДСТУ 3015-95 Відливки з алюмінієвих сплавів. Технічні умови.
12. ДСТУ 2839-94 Сплави алюмінієві ливарні
13. ГОСТ 2.423-73. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей элементов литейной формы и отливки.
14. Теоретичні основи ливарного виробництва : навч. посіб. / Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І, Дробязко В.М., [та ін.]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.

15. Ливарна гідравліка: Навчальний посібник / [В. М. Дробязко, А. М. Фесенко, Р. В. Лютий, М. А. Фесенко]; Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.
16. Литье под давлением. Под ред. Л.И. Винберга. – М.: Машгиз 1962. – 198 с.
17. Цветное литье мелких сплавов. Под ред. И.Ф.Колобнева. – М.: Машиностроение, 1966. – 221 с.
18. Дубинин Н.П., Комиссаров В.А. Кокильное литье: Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1967. – 460 с.
19. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. 125 с.
20. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1993. 368 с.
21. Рубцов Н. Н. Специальные виды литья. М.: Машгиз, 1955. 331 с.
22. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1967. 239 с.
23. Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 195 с.

ДОДАТКИ