

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Пояснювальна записка
до випускної атестаційної роботи магістра

зі спеціальності 136 – Металургія
ОП «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів і сплавів»

на тему:

**Аналіз умов утворення та заходів запобігання дефектів
виливків із залізовуглецевих сплавів, отриманих
литтям у піщаноглинясті форми**

Виконав: студент групи ЛВ-24-1м
Керівник випускної роботи
Нормоконтролер
Завідувач кафедри

Опара І.С.
Саїтгарєєв Л.Н.
Саїтгарєєв Л.Н.
Савельєв С.Г.

Кривий Ріг
2025 р.

ВІДОМОСТІ ОБСЯГУ МАТЕРІАЛІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A4		1	КНУ.РМ.136.25.500с-11 ПЗ	Пояснювальна записка		
				<u>Графічні матеріали</u>		
A4		2	КНУ.РМ.136.25.500с-11 ПР	Презентація		
A4		3				
A4		4				
A4		5				

					КНУ.РМ.136.25.500с-11 ВМ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ		
Розроб.		Белоусов Д.В.					
Перевір.		Сайтгареев Л.Н.					
Н. Контр.		Сайтгареев Л.Н.					
Затверд.		Савельєв С.Г.			ЛВ-24-1М		
					Лім.	Арк.	Акрушіє
						2	1

Криворізький національний університет

Факультет гірничо-металургійний

Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність 136 Металургія

ОПП Ливарне виробництво чорних і кольорових металів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

«__» _____ 2025 рік

ЗАВДАННЯ

на магістерську роботу студенту

Опара Іван Сергійович

1. Тема роботи: Аналіз умов утворення та заходів запобігання дефектів виливків із залізовуглецевих сплавів, отриманих литтям у піщаноглинясті форми.

Керівник роботи Саїтгарєєв Леван Наїльєвич

затверджені наказом КНУ від «_05_» __09__ 2025 року № 500с

2. Строк подання студентом роботи _____ 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити).

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Саїтгареев Л.Н. – ст. викладач		
2	Саїтгареев Л.Н. – ст. викладач		
3	Саїтгареев Л.Н. – ст. викладач		
6	Бондарчук О.М. - доцент		
7	Шаповалов В.А. - доцент		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	Аналіз літературних джерел з теми МР	серпень
2	Постановка мети та завдань дослідження	серпень
3	Аналіз методик і методів проведення дослідження	серпень
4	Проведення дослідження з основних питань роботи	вересень - жовтень
5	Аналіз отриманих результатів	листопад
6	Оцінка економічної ефективності впровадження запропонованих рішень	листопад
7	Оцінка санітарно-екологічної стану пропонованих рішень	листопад
8	Написання пояснювальної записки МР	листопад
9	Підготовка презентації до захисту МР	грудень

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2025р.

Студент _____

Опара І.С.

Керівник роботи _____

Саїтгареев Л.Н.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи містить 5 розділів і викладено на : сторінках. Містить ____, рис., ____табл.____ дітературних джерел_.

Мета роботи – Проаналізувати різновиди дефектів у виливках із залізовуглецевих сплавів. Виявити причини їх вмнмкнення та методи боротьби.

У першому оздіді проаналізовані найбільш поширені дефекти: газові раковини та усадкові раковини.

У доугому розділі проаналізовані методи рохрахунку надливів та обгрунтовано вибір коефіцієнту запасу надливу.

У третьому розділі змодельовано процес лиття проби Шварца за різними технологіями та обгрунтовано параметри надливу, який забезпечую отримання бездефектних проб.

У техніко-економічній частині представлені розрахунки ефективності що до впровадження дієвих заходів по зменшенню ливарних дефектів.

У санітарно-екологічній частині представлені заходи які потрібно провести щоб захистити працівників від шкідливого впливу виробничих умов в ливарних цехах. .

Ключові слова: ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ДЕФЕКТИ, ГАЗОВІ РАКОВИНИ, УСАДКОВІ ПРОЦЕСИ, НАДЛИВМ, МОДЕЛЮВАННЯ

					КНУ.РМ.136.25.500с-11.00.Р			
Вим.	Арку	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Опара І						1	1
Перевірив	Сайтгарєєв Л.							
Н. Контр.	Сайтгарєєв Л					ЛВ-24м		
Затвер	Савельєв С.							

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ НАЙБІЛЬШ РОЗПОВСЮДЖЕНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ В ПГС

1.1. Газові раковини

1.1.1. Раковина гладка, світла, розосереджена, сферичної форми, дрібна (2-6 мм)

1.1.2. Раковина гладка, світла, локальна, більше 6 мм

1.1.3. «Пористість підкоркова» (ситовидна пористість), світла, розміром від 2 до 5 мм

1.1.4. Раковина окиснена, внутрішня або поверхнева, сферичної форми, більше 2-3 мм

1.1.5. Раковина сферичної форми, поверхня з кольорами мінливості

1.1.6. Раковина шлакогазова, сферичної форми, окиснена, можливий жовтуватий наліт

1.1.7. Раковина плескатої форми (пузирі підкоркові), окиснена, сіро-синього кольору, блискуча

1.1.8. Раковина газоусадочна, матова, окиснена, неправильної форми, гладко-шорстка

1.2 Усадочні раковини

1.2.1 Усадкова раковина відкрита

1.2.2. Усадкова раковина закрита

1.2.3 Усадкова пористість

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НАДЛИВІВ

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ УСАДКОВИХ ДЕФЕКТІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВІВ

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ
ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ НАЙБІЛЬШ РОЗПОВСЮДЖЕНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ В ПГС

1.1 Газові раковини

Газові раковини за морфологічним станом і розташуванням можна поділити на 8 різновидів. У нашій роботі розглянуто основні характеристики газових раковин.

1.1.1 Раковина гладка, світла, розосереджена, сферичної форми, дрібна (2-6 мм)

Це невеликі порожнини з гладкими стінками розміром з голівку шпильки або більше. Дефект розташовується закрито, великими групами, які найбільш часто зустрічаються в товстих перетинах і теплових вузлах виливка.

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- насичення воднем металу в результаті зіткнення з сировою футеровкою печей, невисушеним жолобом і ливарним ковшем, вологими стрижнем і формою;
- утворення окису азоту і вуглецю в результаті контакту з найдрібнішими окисленими бризками металу, зі стрижнями на основі карбамідної смоли та інші;
- дифузія водню, азоту та окису вуглецю з зовнішніх частин виливка до внутрішніх.

					КНУ.РМ.136.25.500с-11.01.АУД			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ УТВОРЕННЯ НАЙБІЛЬШ РОЗПОВСЮДЖЕНИХ ДЕФЕКТІВ ВИЛИВКІВ ПРИ ЛИТТІ В ПГС	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Опара І							
Перевірив	Сайтгарєєв Л.Н							
Н. Контр.	Сайтгаєєв Л.Н							
Затвер	Савельєв С.Г.					ЛВ-24м		

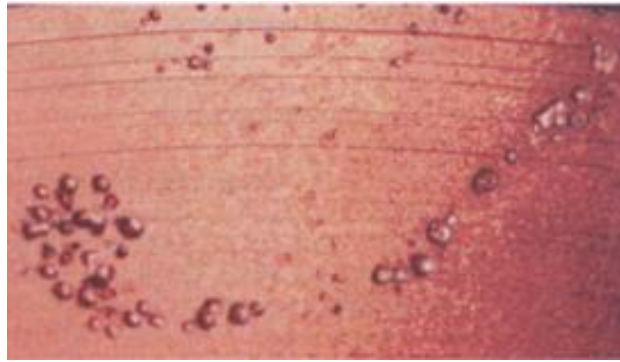


Рис. 1.1 – Дефект – раковина гладка, світла, розосереджена, сферичної форми, дрібна (2-6 мм)

Надлишок вологи у формі або стрижні неминуче призведе до появи раковин гладких, світлих, блискучих, розосереджених по поверхні контакту стрижня або форми з металом. Раковини можуть мати сферичну або близьку до неї форму.

Причини виникнення і способи ліквідації дефекту

Вміст вологи у стрижнях

Чим нижча вологість, вище температура, більше швидкість руху газів і менше тиск, тим інтенсивніше відбувається процес випаровування.

Дифузія вологи з глибинних шарів стрижня залежить від зернового складу суміші і вмісту вологи у вихідному матеріалі. Процес сушіння можна прискорити тільки покращенням умов для випаровування вологи з поверхні матеріалу, оскільки волога з глибинних шарів через незначну швидкість дифузії не встигає надходити до поверхні випаровування і може залишитися в стрижні.

Необхідно контролювати якість сушіння стрижня шляхом взяття проби на вологість з середньої частини стрижня при нормальних умовах. Оптимальний вміст вологи – 0,2–0,4%.

Вміст вологи у формах

Для кожного складу суміші існує оптимальна величина вологості. Її прийнято вибирати по максимуму міцності суміші у вологому стані. Діапазон зміни вологості може змінюватися від 2 до 8% [4-6]. Підвищена вологість є причиною утворення різних дефектів, в тому числі і об'ємних газових раковин. При контакті з металом, що заливається у форму зайва волога сприяє інтенсивному пароутворенню. При пароутворенні води її об'єм збільшується приблизно в 1250 разів. Тому при збільшенні вмісту води у формі можливо поява газових раковин.

Для зниження можливості утворення газових раковин рекомендується:

- 1) Вміст води в формувальній суміші не повинен перевищувати 4,5%.
- 2) Збільшити вентиляцію форми за рахунок створення вентиляційної системи, яка не заливається металом.
- 3) Зменшити швидкість заливання форми металом.
- 4) Збільшити кількість випарів у формі.
- 5) Збільшити зернистість піску для поліпшення газопроникності форми.
- 6) Виконувати наколи на верхній півформі душником 5-7 мм в кількості не менш 4 шт. на 1 дм².
- 7) Використовувати підсушені або сухі ливарні форми.

Вміст водню і азоту в сталі

Водень потрапляє в сталь внаслідок використання при плавці іржавого брухту, насичених газом феросплавів, використання вологих компонентів шихти і т. д.

При розчиненні водню в рідкій сталі газ не виділяється, що пояснюється спроможністю його давати пересичені розчини. При різкому охолодженні сталі в процесі заливання у форму відбувається різке зниження розчинності водню і його виділення з пересиченого розчину у вигляді газових бульбашок, що утворюють згодом газові раковини. При перезволоженій

ливарній формі підкіркові раковини переходять в суцільні газові раковини, які пронизують майже всю товщу виливка [5, 24].

Нормальна газонасиченість електросталі становить по розплавленні твердої шихти 13–60, в кінці періоду окислення - 23–65 і перед випуском - 5–14 см³ /100 г металу. Звичайний вміст водню в електросталі 0,004–0,005%. Зниження вмісту водню з 7–9 до 4–5 см³/100 г рідкої сталі значно підвищує пластичність литої сталі і усуває утворення раковин та інших дефектів.

Необхідно, щоб шихтові матеріали не містили іржу; слід вживати тільки суху руду, прожарювати феросплави перед присадкою в піч, в особливості феросиліцій, сушити ковші дном вгору.

Газові раковини, викликані наявністю азоту, можна виключити введенням у сталь феротитану перед випуском, щоб зв'язати азот в міцні нітриди титану.

Підвищена швидкість охолодження в інтервалі кристалізації затримує виділення газів з розплаву до його переходу в твердий стан і запобігає утворенню ситовидної пористості в сталевих виливках.

Вміст водню і азоту в чавуні

Збільшений вміст в металі водню і азоту призводить до появи в виливках розглянутих газових раковин. Для зниження можливості появи газових раковин необхідно постійно стежити за виконанням низки заходів:

- 1) Не застосовувати іржавий брухт. Одна тонна шихти з 1% іржі містить 2,5 кг водню. При плавці водень виділяється в атомарному стані і активно розчиняється в металі.
- 2) Не рекомендується використовувати ливарний чавун, який має пористий злам. Джерелом утворення газу можуть бути і феросплави (див. таблицю 1.1). Феросплави необхідно висушувати перед введенням їх у піч.

Таблиця 1.1 – Феросплави

Феросплави	Вміст газу, %
------------	---------------

	H	O	N
75%-вий феросиліцій	0,00143	0,024	0,001-0,0105
90%-вий феромарганець	0,0012	0,002	0,0014
силікокальцій	0,0072	0,007	0,031
63%-вий ферохром	0,001	0,078	0,0427
37%-вий феротитан	0,0041	0,155	0,0077

- 3) Застосовувати вакуумну плавку, що дозволить видалити до 70% розчиненого водню, або продути чавун протягом декількох хвилин сухим інертним газом, наприклад, азотом або аргоном.
- 4) У розплаві знизити вміст алюмінію, титану, магнію та марганцю, які сприяють підвищенню концентрації водню в рідкому чавуні. У таблиці 1.2 представлено вміст водню в рідкому чавуні від наявності марганцю у розплаві. В чавуні повинно бути менше 0,01–0,02% алюмінію і титану. Алюміній прискорює розкладання води, тобто збільшує вміст розчиненого в металі водню. Дія магнію аналогічна алюмінію, якщо його залишкова кількість у чавуні перевищує 0,09%. Марганець сприяє розчиненню водню у сплаві. Особливо шкідливо одночасна присутність алюмінію і магнію.
- 5) Замінити феросиліцій з 1,75–2,25% алюмінію на феросиліцій з 0,5–0,8% алюмінію.
- 6) Використовувати для виготовлення виливків сухі або підсушені форми.
- 7) Вводити в сирі піщано-глинисті формувальні суміші не менше 4% кам'яновугільного пилу або деревного пеку, бітуму, 3–5% подрібнених окислів заліза.

Таблиця 1. 2 – Концентрації водню в рідкому чавуні

Вміст складових, %			Вміст водню, %
Марганець	Магній	Алюміній	
0,3	-	-	0,2
0,5	-	-	0,35
0,75	-	-	0,5
1,0	-	-	0,65

1,25	-	-	0,8
1,5	-	-	1,1
1,75	-	-	1,5
-	0,02	-	0,3
-	0,05	-	1,2
-	0,075	-	1,7
-	0,1	-	2,2
-	0,125	-	2,35
-	0,15	-	2,3
-	-	0,02	0,9
-	-	0,05	1,6
-	-	0,075	1,75
-	-	0,125	1,7
-	-	0,15	1,6

Для зменшення вмісту азоту в чавуні рекомендується:

- 1) Виключити використання в шихті сталі, виплавленої в електродугових печах, оскільки вона містить у 5-10 разів більше азоту, ніж мартенівська.
- 2) При виготовленні відповідальних виливків з сірого чавуну слід перевірити вміст азоту в сталевих відходах, особливо якщо сталь була виплавлена в електродуговій печі. Високий вміст азоту в сталевих відходах призводить до появи газової пористості.
- 3) Газові раковини, викликані наявністю азоту, можна виключити введенням в метал титану, який утворює стійкі нітриди. Якщо вимоги до структури металу високі, то вміст титану не повинен перевищувати 0,05%.

Газопроникність формувальної суміші і стрижня

Для поліпшення видалення газів із стрижнів їх газопроникність повинна бути на досить високому рівні. Стрижні, що полімеризуються в оснащенні, повинні мати газопроникність не менше 130 од., а ті, що затвердівають в теплових сушилах – не менше 100 од.

Для підвищення газопроникності стрижня рекомендується [4]:

- 1) Вводити в суміш тирсу або деревну муку.

- 2) Стрижні масою понад 30 кг, що виготовлені по «гарячому» або «холодному» оснащенні, необхідно підсушувати в сушиллі.
- 3) Створювати порожнини в стрижнях (оболонкові, спустошені) [40, 41].
- 4) Використовувати більш крупні піски.
- 5) При виправленні стрижнів частини, що відломилися слід приклеювати не по всій поверхні зламу, так як склеювальна речовина має погану газопроникність, а по краях зламу. Центральна частина повинна забезпечувати вільний відвід газів.
- 6) Збільшити кількість газовідвідних каналів в стрижні, прочистити канали від фарби, зв'язати канали з атмосферою. Великі канали закрити пористою пробкою.

Вентиляційні наколи

Вентиляційні наколи у формі значно скорочують довжину шляху фільтрації газу і дають можливість знизити тиск. В початковий момент заповнення форми металом виникає різке виділення газу від стрижнів і форми. Якщо тиск газу перевищить 780 Н/м^2 (8 г/см^2), то виникає можливість утворення газових раковин у литті [35]. В цей момент повинні працювати вентиляційні канали стрижнів та форми і знижувати виникаючий тиск газу. Значну роль у цьому відіграють вентиляційні канали верхньої напівформи, яка заповнюється металом в останню чергу.

Для зниження тиску газу у верхній і нижній напівформі менше критичного виконують наколи на глибину, яка не досягає 1 см моделі.

Азотисті сполуки

Азотисті сполуки в складі формувальних і стрижневих сумішей схильні до розкладання при контакті з металом і насичення його газами. Для ліквідації цього явища рекомендується:

- 1) Зменшити частку карбамідної смоли в суміші. У разі використання композиції фенолоспирту і карбамідної смоли зниження останньої призведе до зниження швидкості затвердіння суміші на 10–30%.
- 2) Зменшити або ліквідувати азотовмісні добавки в стрижневій суміші або протипригарній фарбі.
- 3) Ліквідувати добавки, що виділяють велику кількість аміаку або іншого газу, або вводити ці добавки в суворій відповідності з технологічними вимогами.
- 4) Використовувати для приготування стрижнів смоли з вмістом азоту не більш 8%.
- 5) Стрижні покривати протипригарною фарбою.
- 6) Вводити до складу суміші 2–5% окису заліза, окису хрому або інших речовин, що сприяють інтенсивному відведенню тепла і швидкому утворенню кірки металу [12].
- 7) Для кращого затвердіння стрижнів до складу суміші іноді вводять амонієві сполуки. Однак, якщо фракція амонійного з'єднання буде більше 0,1 мм, то при контакті з рідким металом може виникнути утворення газу з появою раковин.

Насичення сталі газом при плавці і заливці

До звичайних пічних газів, оточуючих метал в процесі його розплавлення, рафінування або розливання, відноситься азот, кисень, водяні пари, продукти горіння – окис вуглецю, вуглекислий газ, сірчистий газ і ін [25].

Розчинність елементарних газів і газоподібних хімічних сполук залежить від температури і тиску. Чим вище температура металу, тим більше розчинність газів. При затвердінні розчинність газонасиченого сплаву знижується і атоми розчиненого газу, з'єднуючись в молекули, йдуть з металу або залишаються в ньому у вигляді бульбашок, роблячи його ніздрюватим.

Сталь, призначену для виливків, потрібно добре розкислювати. Алюміній – в звичайних плавках найсильніший розкислювач – може довести вміст вільного закису заліза в сталі до 0,002%. При недостатньому розкисленні сталі в момент її охолодження починає виділятися газ, утворюючи у виливках раковини.

Для боротьби з газовими раковинами і усадковою пористістю виконуються наступні заходи:

- повне розкислення сталі;
- підвищення вмісту кремнію в вуглецевої і низьколегованої сталі до максимально допустимого;
- присадка алюмінію при заливці сухих форм до 0,8–1,0 кг/т, щоб отримати залишковий вміст алюмінію в межах 0,035–0,04%;
- прожарювання розливних ковшів після ремонту;
- підтримання енергійного кипіння рідкого металу в печах з метою видалення газу і домішок;
- не завантажувати в піч під час кипіння ванни вологу руду та інші відвологі присадки і добавки.

Насичення чавуну газом при плавці і заливці

- 1) Джерелом утворення газових раковин і усадкової пористості може бути водень, що утворюється з сирої футеровки печей, не висушеного жолобу і ливарного ковша, з непрокалених і вологих феросплавів, які вводяться в метал, і ін. Футеровку ковшів слід підігрівати до червоного кольору, феросплави слід зберігати в сухому приміщенні і перед використанням прожарювати.
- 2) Чим триваліше контакт розплавленого металу з газовою атмосферою, тим більше водню розчиняється в металі. Отже, процес плавки треба вести швидше. Покривні флюси знижують розчинення газу в металі.
- 3) При недбалому сортуванні чавунних відходів від двигунів внутрішнього згоряння можливе попадання алюмінію в шихту.

- 4) При використанні дерев'яних моделей для розпалювання вагранки слід суворо контролювати вихід всіх алюмінієвих частин.
- 5) Ефективним способом є скорочення шляху руху рідкого металу у формі за рахунок зменшення довжини елементів ливникової системи.
- 6) Витікаючий з ковша струмінь металу повинен бути компактным. Перерви в заливці неприпустимі.
- 7) Висота носку ковша над рівнем чаші повинна бути мінімальною. Приймальні чашу слід розташовувати біля краю опоки.

Газотвірні розділові покриття

Розділові покриття можуть складатися з одного чи декількох нижче перелічених матеріалів: гас, вода, крохмаль, спирт, каніфоль, каучук, кремній, органічна емульсія, ПВС та ін. Деякі з цих речовин мають підвищену газотвірну здатність.

При нанесенні розділового покриття на модель або стрижневий ящик в поглибленнях оснастки можуть залишатися надлишки покриття. При заповненні суміші надлишки покриття можуть вбиратися формувальною або стрижневою сумішшю і викликати газовиділення при контакті з металом, що заливається.

Для попередження утворення газових раковин з цієї причини розподільчий склад слід наносити тонким шаром, але частіше. При наявності заповнення поглиблень розділовим покриттям необхідно провести його видалення за допомогою дрантя, стисненого повітря або іншим способом.

Волога не просушеного шару фарби

Протипригарні покриття поділяються на водні, сухі або на основі розчинника. Тривалість висихання шару фарби залежить від концентрації парів розчинника в повітрі над пофарбованою поверхнею. На відкритих поверхнях форми завдяки вільній конвекції повітря фарба висихає швидше, ніж в поглибленнях форми, де пари розчинника видаляються переважно

шляхом дифузії. Тому тривалість висихання фарби треба контролювати за часом, необхідним для повного затвердіння шарів в умовах, що імітують складні поверхні форм і стрижнів з різними поглибленнями.

Покриття на основі водних фарб сушать тепловим способом у камерах або прохідних сушилах, під сильними відбивними лампами і т. д.

Для запобігання виникнення газових раковин необхідно:

- Виключити заливи фарби товщиною більше 0,5 мм в поглиблених горизонтальних місцях напівформи.
- Здійснювати вхідний контроль складових протипригарної фарби, в особливості, газотвірних.
- Збільшити технологічний час підсушування форми, або підвищити інтенсивність підсушування, створивши, таким чином, гарантію якості.
- Використовувати підв'ялювання покриття гарячим повітрям, світловипромінюванням від ламп розжарювання, газовими панелями.

Підготовка розливних ковшів

Для розливання сталі за формами зазвичай застосовують стопорні ковші, що дозволяють повністю виключити потрапляння шлаку в форми. При розливанні марганцевої сталі, а також при розливанні невеликих порцій металу застосовують чайникові ковші, які мають перегородку для затримання шлаку [48]. На рис. 1.2 представлені різні варіанти шлакоуловлюючих перегородок і пристроїв.

Для заливки форм з невеликою металомісткістю застосовують комбінований спосіб. Він полягає в тому, що метал з печі випускається у великий ківш (стопорний або чайниковий), а звідти видається в невеликі ковші, що застосовуються для розливання металу.

Стопори і стакани для розливання сталі виготовляються з високовогнетривкого матеріалу – шамоту або графіту. Всі ковші перед

заповнення їх металом сушать. Для одержання доброякісних виливків дуже важливо добре просушити ковші після футерування .

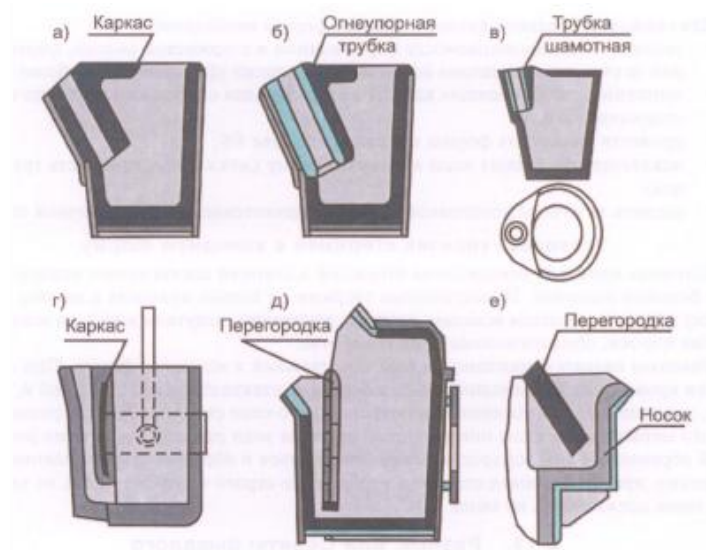


Рисунок 1.2 – Шлакоуловлюючі перегородки чайникових ковшів:

- а - монолітна з козирком, набитим на металевий каркас;
- б - теж, але з каналом з вогнетривкої трубки; в - монолітна з каналом з шамотної трубки; г - перегородка в монорейковому ковші з монолітного складу, нанесеного на металевий каркас; д - виконана з цегли; е - в носку ковша

Недостатня просушування ковшів, коли в футеровці ще залишається волога, викликає:

- Швидке остигання металу зважаючи на витрати частини тепла на досушку футеровки.
- Кипіння металу в ковші, що призводить до розбризкування, а іноді і вихлюпування металу. У цей момент відбувається насичення металу воднем.

Для сушіння ковшів малої ємності використовують камерні або невеликі шахтні печі; ковші більшої ємності сушать газовими або мазутними пальниками. Для повного видалення вільної та зв'язаної води футеровку прогрівають до червоного (750-800°C) кольору і витримують при цій температурі 1,5-2 години.

Встановлення холодних стрижнів у гарячу форму

При установці стрижнів у гарячу форму виникає конденсація вологи на холодній поверхні стрижня. При зіткненні рідкого чавуну з вологою поверхнею стрижня вода розкладається і виділяється атомарний водень, який адсорбується на поверхні металу. При подальшому охолодженні металу водень переходить в молекулярну форму, групуючись в поверхневому шарі виливки. З-за великої в'язкості металу водень не може виділитися і утворює газові раковини. Отже, необхідно категорично заборонити використання гарячої і теплої формувальної суміші при приготуванні форм [4, 25].

Для зниження шкідливого впливу гарячої форми необхідно:

- збільшити газопроникність формувальної та стрижневої сумішей, форм і стрижнів за рахунок використання більш крупного піску (фракції 0315 і більше);
- виконати газовідвідні канали в стрижнях для вільного видалення газу через стрижневі знаки;
- привести вологість форми до рівня не більше 4%;
- виключити попадання води в готову форму (дощ, несправність трубопроводів);
- стежити за точним дозуванням води при приготуванні формувальної суміші.

Встановлення гарячих стрижнів в холодну форму

Контроль процесу затвердіння стрижнів і досягнутого ступеня випаровування вологи має велике значення. Недосушені стрижні не тільки призводять до явного ливарного браку (обвалів, місцевим вскипає, неспаям, раковинам, подутинам та ін.), але можуть викликати приховані вади, які виявляються при обробці.

Небезпечним є простановка гарячих стрижнів в холодну форму. При такому поєднанні відбувається конденсація вологи у місцях контакту стрижнів з формою і, згодом, зволоження всій поверхні пофарбованого шару стрижня. При зіткненні рідкого металу з вологою поверхнею стрижня вода розкладається і через ряд перетворень утворений водень не може виділитися і утворює газові раковини. Отже, при простановці стрижнів необхідно суворо контролювати їх температуру, яка повинна бути не вище 35°C.

1.1.2 Раковина гладка, світла, локальна, більше 6 мм

На рисунку 1.3 представлений дефект виливки з газовою раковиною, порожнини якої мають гладкі стінки, в основному сфероїдальні, які іноді сполучаються з поверхнею.



Рис. 1.3 – Раковина гладка, світла, локальна, більше 6 мм, відома також як «вскип»

Внутрішні стінки раковини блискучі. Колір поверхні газових раковин свідчить про природу їх виникнення. Газові раковини світлі, без слідів окиснення свідчать про їх утворення у зв'язку з виділенням водню, азоту або вуглеводню. Дефект розташований у внутрішніх частинах виливки, але може бути і на поверхні [28].

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- механічне проникнення газу в рідкий розплав, якщо гази виділяються з вологого стрижня або перезволоженої форми.
- ефект кипіння розплаву або викид його з форми (вскип).
- зіткнення рідкого металу з вологою поверхнею заливального ковша (наприклад, свіжовідремонтований заливний носок), форми, стрижня.

Причини виникнення і способи ліквідації дефекту

Вологість стрижня або формувальної суміші

Підвищена вологість стрижня або формувальної суміші чинить прямий вплив на утворення світлих, локальних газових раковин (рис. 1.1.1).

Для зниження можливості утворення об'ємних газових раковин рекомендується:

- Знизити вміст води до рівня 4%.
- Використовувати підсушування форм після фарбування.
- Збільшити вентиляцію форми і стрижня.
- Зменшити швидкість заливання форми.
- Збільшити кількість випарів у формі.
- Збільшити зернистість піску для підвищення газопроникності форми.
- Виключити попадання води в готову форму (дощ, несправність трубопроводів та ін).

Газопроникність формувальної суміші і стрижня

Для поліпшення видалення утворюються газів із стрижнів їх газопроникність повинна бути на досить високому рівні. Стрижні, що полімеризуються в оснащенні, повинні мати газопроникність не менше 130 од., а полімеризуються в теплових сушилах не менше 100 од.

Вентиляційні наколи

Вентиляційні наколи у формі значно скорочують довжину шляху фільтрації газу і дають можливість зниження його тиску. В початковий момент

заповнення форми металом виникає рясне виділення газу від стрижнів і форми.

Тривалість витримки зібраних форм

При витримці зібраних форм зі стрижнями на конвеєрі більше 30 хвилин відбувається зволоження стрижнів, починаючи від знаків і на всю пофарбовану поверхню. Процесу перенесення вологи на стрижень супроводжує підвищена гігроскопічність фарби.

При зіткненні в процесі заливки розплаву металу з вологою поверхнею стрижня відбувається розкладання води з виділенням атомарного водню, який адсорбується на поверхні металу. При подальшому охолодженні металу водень переходить в молекулярну форму, групуючись в поверхневому шарі виливки. Через велику в'язкість металу водень не може виділитися і утворює газові раковини. У разі підвищеного вмісту вологи і рясного газоутворення водень не встигає проникнути в метал і утворює на поверхні виливка раковини середніх і великих розмірів.

Температура сталі при заливці

Температура металу при заливці впливає на можливість утворення гарячих тріщин, газових раковин, пригару, неспая, недоливу та інших дефектів виливків [16]. Визначення температури заливки зводиться до вибору необхідного перегріву сталі, прийнятого понад температури початку затвердіння. При виготовленні виливків з вуглецевої і низьколегованої сталі різних марок найчастіше досить мати перегрів сталі на 30–60°C, щоб забезпечити задовільну заповнюваність ливарних форм (Таблиця 1.3).

При виготовленні тонкостінних виливків і виливків з підвищеними вимогами до нерівності поверхні допускається найбільший перегрів сталі на 50–100°C. Це відноситься також до виливків, коли можливе виникнення недоливів, неспаїв, газових пазирів підкіркових» тощо.

Таблиця 1.3 – Інтервали температури заливки вуглецевої сталі

Вміст вуглецю, %	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Інтервали температури заливки, °С	1560-1590	1550-1580	1540-1570	1530-1560	1525-1555	1520-1550	1510-1540

У таблиці 1.3 [7] наведено рекомендовані температури заливки вуглецевої сталі, які сприяють зниженню можливості виникнення газових раковин.

Температура чавуну при заливці

Одним з найважливіших факторів виникнення газової раковини є недостатня температура і висока швидкість металу при заливці. Температура чавуну залежить від його складу, середньої товщини стінки виливка і найбільшого шляху проходження металу по горизонталі від живильників до протилежного краю виливки. Для ліквідації газових раковин за вказаними вище причинами рекомендується:

- Для забезпечення необхідної температури заливки в ківш, набирають метал, який має температуру на 50–70°C більшу, ніж треба для заливки.
- Температура розплаву в будь-якому місці форми в процесі заливки повинна бути вище температури нульової рідкоплинності, при якій потік металу може зупинитися. Рекомендована температура заливки тонкостінних (до 10 мм) конструкційних виливків повинна бути на рівні 1380 градусів. Швидкість заливки в ряді випадків слід приймати на 2–3 кг/с нижче нормальної.
- По можливості слід скоротити шлях руху металу від живильників підведенням розплаву з двох протилежних сторін виливки.

Металостатичний тиск

Під металостатичним тиском (Н) розплаву розуміють тиск стовпа металу, що дорівнює висоті від рівня його в чаші до місця підведення живильників у виливок. Напір залежить від способу заливки, типу ливникової

системи, положення виливка у формі та інших чинників. Для визначення напору при заливці через ливникову чашу необхідно враховувати рівень металу в чаші, а при заливці через лійку – рівень металу в ковші [33].

Для випадку підведення металу по роз'єму, дуже поширеного в ливарному виробництві, H можна розрахувати за формулою 1.1:

$$H = H_0 - P^2/2C, \quad (1.1)$$

де: H_0 – початковий максимальний напір, см;

P – відстань від верхньої точки виливка до рівня підвода, см;

C – висота виливка (за положенням при заливці), см.

При заливці металу з поворотного ковша частина форми, що розташована нижче рівня підведення металу, заповнюється при постійному напорі H_0 , а частина форми, розташована вище рівня підведення металу, при змінному напорі, що змінюється від H_0 до $H_0 - P$.

Тому у формулу вводять середній напір. При підвищенні металостатичного напору створюються сприятливі умови зниження утворення газових раковин у виливках, покращеного заповнення порожнини форми, особливо у віддалених від місця підведення металу частинах виливки. Однак при цьому виникає небезпека підвищення пригара, розмиву ливарної форми, утворення корольків.

Тому при визначенні металостатичного напору необхідно в першу чергу звертати увагу на схильність виливка до виникнення того чи іншого дефекту.

Для попередження механічного проникнення газів у виливок необхідно підвищувати напір металу, збільшуючи висоту верхніх опок, ливникових чаш, випарів і живильників.

Вентиляція форми і стрижня

При заливанні металом починається інтенсивна газифікація горючих складових форми і стрижня. У формі і стержні створюється надлишковий тиск газу, який повинен виходити через випар, наколи на верхній напівформі і газовідводи із стрижнів і форми. Завдання газовідвідних каналів полягає в

тому, щоб вони забезпечили зниження тиску газу в формі. При таких умовах тиск металостатичного напору буде більше сумарного тиску газів від стрижня і форми, і газ не піде в метал [34].

Вентиляційні канали для видалення газів зі стрижнів і форм, що виділяються в процесі заливки, повинні виконуватися в стрижнях з таким розрахунком, щоб газ виводився не через робочу порожнину ливарної форми, а через торці знаків.

Вентиляція стрижнів здійснюється наступними способами:

- встановленням душників (або залізних прутів) з подальшим їх видаленням зі стрижнів, виконанням вентиляційних каналів при виготовленні стрижнів з половинок;
- наколюванням стрижнів душником, свердлінням отворів у знаках по осі стрижня;
- встановленням трубних каркасів з отворами;
- виготовленням стрижнів з внутрішньою порожниною, заповненою опорним матеріалом (грубозернистим) або нічим не заповненою;

виготовленням оболонкових стрижнів [20].

Для поліпшення вентиляції стрижня необхідно:

- збільшити кількість газовідвідних каналів, звертаючи увагу на зниження довжини шляху фільтрації газу;
- прочистити вентиляційні канали від фарби;
- вентиляційні канали великого діаметру закрити пористою пробкою;
- перевірити, чи пов'язані вентиляційні канали з атмосферою;
- вентиляційні канали слід виводити через менш нагріті місця стрижня і форми;
- підтвердженням доброї вентиляції є горіння факелів на виході вентиляційних каналів. Тиск газу на межі метал – стрижень (форма) при цьому повинен бути не більше 780 Н/м^2 (критичний тиск газу дорівнює $1000...1200 \text{ Н/м}^2$).

Установка холодних стрижнів у гарячу форму

При установці стрижнів у гарячу форму виникає конденсація вологи на холодній поверхні стрижня. При зіткненні рідкого чавуну з незначною вологою поверхнею стрижня вода розкладається і виділяється атомарний водень, який адсорбується на поверхні металу. При подальшому охолодженні металу водень переходить в молекулярну форму, групуючись в поверхневому шарі виливка. За великої в'язкості металу водень не може виділитися і утворює газові раковини незначних розмірів. При збільшенні вмісту конденсату виникають великі раковини. (див. 1.1.1)

1.1.3 Раковина «Пористість підкоркова» (ситовидна пористість), світла, розміром від 2 до 5 мм

Це поверхневі сотові раковини типу «булавочних наколів» округлої, але не сферичної, скоріш каплеподібної форми з яскраво вираженим гирлом, спрямованих до поверхні виливка [28]. Діаметр їх близько 2 мм, а довжина досягає 5 мм. Іноді, поруч з булавочними, можуть бути раковини і іншої форми.

Раковини (рис. 1.4) розташовуються безпосередньо під тонкою поверхнею кірки, однак надзвичайно тонке гирло раковини дозволяє їх виявити або при заточуванні, або при відпалі виливків після відшарування окалини.

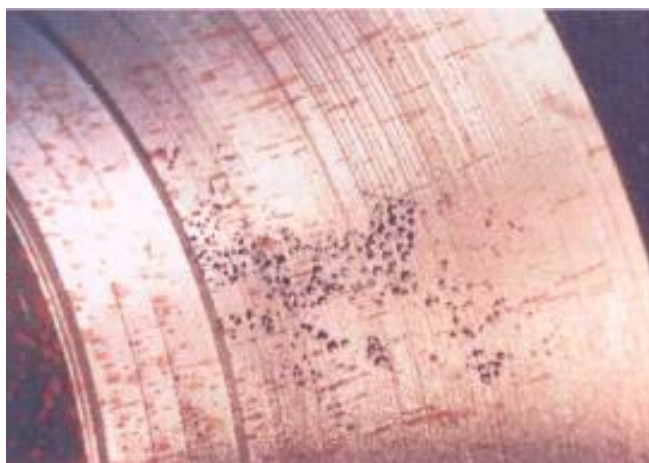


Рис. 1.4 – Фрагмент вилівка «Колесо робоче» з дефектом «Пористість підкоркова»

Формування раковин

Механізм утворення розглянутих раковин остаточно не встановлено, однак на підставі опублікованих джерел можна викласти деякі причини утворення цього дефекту.

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- наявність зародкових бульбашок CO , утворених в результаті присутності в чавуні оксидів, що відносно легко відновлюються, головним чином плівкоподібних. Вони виникають при реакції магнію з киснем в чавуні з шаровидним графітом, при виборчому окисненні поверхневих шарів, а також при окисненні поверхні розплаву графітом;
- при контакті сирих форм з чавуном, що містить 0,01–0,1 алюмінію або 0,01–0,05 титану, з парів води виділяється водень, який проникає в поверхневі шари виливків і в порожнині газових зародкових раковин, де його концентрація може бути поступово збільшена;
- при проникненні азоту з азотовмісних сполучних добавок розміри раковин можуть бути збільшені до 3 мм;
- в результаті стискання газів затверділим чавуном виникає прорив поверхневого шару металу, утворюється типовий «булавочний укол».

Пористість вражає не окремі ділянки, а цілі поверхні виливків, не обов'язково верхніх при заливці. Найчастіше такого типу раковини мають не

окиснену блискучу поверхню, завдяки чому вони дуже чітко виділяються на зламах дефектних виливків.

Вміст водню і азоту в металі

Підвищений вміст водню і азоту в металі сприяє появі газових раковин – ситовидної пористості.

Вологість стрижня або формувальної суміші

Як вже зазначалося, надлишок вологи у формі або стержні неминуче призведе до появи раковин гладких, світлих і блискучих, розосереджених по поверхні контакту стрижня або форми з поверхнею металу. Раковини можуть мати сферичну або близьку до неї форму

Насичення металу газом при плавці і заливці

Гази можуть розчинятися в рідкому сплаві або давати з них хімічні сполуки. При охолодженні менш газонасиченого сплаву межа розчинності настає тоді, коли кристалізація підходить до кінця. Газові бульбашки в цьому випадку стають дрібними, ледь видимими неозброєним оком, і утворюють майже губчасту масу. Цей дефект металу називають газовою пористістю, або рихлістю металу газового походження. Газова пористість різко знижує механічні властивості виливків, є причиною частих раптових поломок деталей машин, сприяє утворенню течі і ін.

Температура металу при заливці

Однією з важливих причин виникнення дефекту є заливання у форми охолодженого металу. Холодний метал і його низька плинність можуть вказувати на наявність окису заліза або захоплення окисів з вогнетривів. Нагрів металу до високої температури сприяє дифузії розчинених газів у потік бульбашок, що піднімаються до поверхні. В першу чергу водень дифундує, потім інші гази за порядком своєї дифузійної здатності. Невелика витримка

нагрітого металу в ковші сприяє завершенню дифузійних процесів.

Для зниження можливості утворення газових раковин рекомендована температура заливання чавуну 1360–1390°C. Перед заливкою метал необхідно витримати в ковші для спливання бульбашок газу.

Для зниження можливості утворення газових раковин для сталевих лиття рекомендується підвищення температури на 20–25 градусів від рекомендованої [35].

При підвищенні температури зменшується небезпека утворення об'ємних газових раковин і збільшується небезпека утворення поверхневих раковин. Найбільшій небезпеці піддаються місця з хорошими тепловими потоками, як, наприклад, у внутрішніх вузлах виливків.

Найменш схильні до утворення поверхневих раковин тонкостінні місця виливки. Для видалення газових бульбашок з рідкого металу найбільш ефективно підвищення температури металу, що заливається. По-перше, зменшується його в'язкість, а час до утворення кірки збільшується. По-друге, збільшення температури металу в інтервалі незначно збільшує швидкість газоутворення і підвищення тиску газу в формі. Таким чином, при підвищеній температурі заливання чавуну збільшується час, протягом якого можливе видалення бульбашок газу з виливки. З іншого боку, при підвищенні температури заливки можливе збільшення кількості усадкових або інших дефектів [19]. Тому для виливків кожного типу температури заливання слід встановлювати з урахуванням всіх факторів, що впливають на якість лиття.

Часто дефект виникає з металургійних причин, зокрема, забрудненим скрапом, використовуваним в шихті більше 0,035% алюмінію. Утворенню пористості сприяє знижена температура заливки, що в більшості випадків є основною причиною.

1.1.4 Раковина окиснена, внутрішня або поверхнева, сферичної форми, більше 2-3 мм

Внутрішні порожнини - раковин переважно сферичної форми з гладкими стінками (рис. 1.5). Розміри їх зазвичай бувають більш 2 або 3 мм. Колір поверхні раковин ідентичний, завдяки наявності товстої . Утворення раковин обумовлено порушенням спрямованості газового потоку з форми або стрижня в атмосферу, минаючи виливок. Дефект розташовується в різних частинах виливки і може мати неоднакову форму.

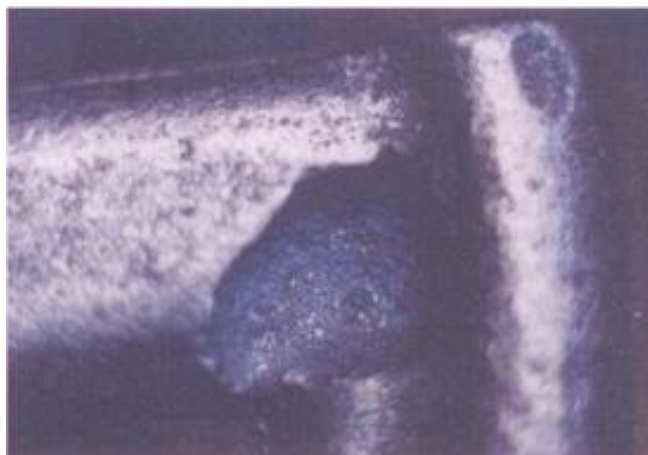


Рис. 1.5 – «Раковина окиснена», внутрішня або поверхнева, сферичної форми, більш 2-3 мм

Формування раковин

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- місцевого переущільнення суміші, тим більш небезпечного, чим ближче воно розташоване до поверхні розділу форма – виливок;
- місцевого опору у вигляді стороннього газонепроникного включення;
- місцевого джерела газу;
- недостатнім газовідводом через знаки стрижня або поверхні форми.

При заливанні форми металом починає інтенсивно прогріватися поверхня форми і стрижня, створюючи при цьому потужний газовий потік, що виходить по роз'єму форми випару, наколи у формі, газовідводи.

Після заповнення форми металом у формі і стрижні створюється тиск газів, що виділяються від вигорання газотвірних складових сумішей. Якщо тиск у формі або стрижні буде більше, ніж сумарний тиск металостатичного напору

і опір проходу газів з форми або стрижня в метал, то газ з форми або стрижня піде в метал, де утворюється газова раковина.

Причини утворення і способи ліквідації дефекту

Газові раковини можуть з'явитися у разі неправильного підведення металу до виливка, в результаті чого виникає протитечія необхідного руху газу. При підведенні металу в виливок, приблизно на рівні середини консольного стрижня з одним виходом газу в одну сторону інтенсивно розігрівается середина консольного стрижня і газ прагне в протилежні боки від місця розігріву, тобто створюється протитечія. Небезпечною зоною є кінець консолі, де утворюються газові бульбашки, які спливають у верхню частину конуса. При підводі металу в кінець консольного стрижня створюється спрямований потік газу, який виходить через вентиляційний канал у верхній частині форми [15].

Довжина шляху фільтрації газу

Важливим фактором для зниження можливості утворення газових раковин є зменшення тиску газу в формі в процесі заповнення її металом [34]. Одним з напрямків зниження тиску газу можна вважати зменшення довжини шляху фільтрації газу L [35].

При зменшенні L газовий тиск у формі і стрижні може зменшитися в десятки і навіть сотні разів. По значущості, вплив L на зниження тиску газу превалює над газопроникністю, газотвірністю і низкою інших технологічних параметрів [14]. При заливці металу і заповненні верхньої частині форми створюється підвищений тиск газу в центральній частині виливки. В результаті газ повинен йти в нижню частину форми, що перешкоджає вільній фільтрації газу і це сприяє утворенню газових раковин.

Для ліквідації дефекту можна скористатися наступними схемами заливки:

1) залити кришку дефектним місцем вниз. Рух газу буде за напрямом підйому металу (вгору), і він вільно вийде через вентиляційні отвори;

2) при неможливості зміни положення виливка у формі слід зробити вентиляцію в центральній частині форми з відводом вентиляційних каналів в нижню напівформу. При цьому центральні канали не повинні заливатися металом і повинні вільно сполучатися з атмосферою. Максимальна довжина шляху фільтрації газу повинна бути не більше 5–8 см.

Захоплення повітря

Для виключення захоплення повітря струменем металу, що заливається рекомендується:

- 1) знизити висоту падіння струменя металу при заливанні форм;
- 2) струмінь металу повинен бути правильної форми – круг. Неправильної форми струмінь захоплює велику кількість повітря;
- 3) ливникова чаша, по можливості, повинна бути більшого розміру для спливання захоплених бульбашок повітря;
- 4) виключити можливість утворення вихрового закручування металу в ливниковій чаші або воронці, що з'являється при низькому рівні металу під час заливки;
- 5) виключити гострі кути стояків і живильників, що створюють умови звуження струменя металу і підсосу повітря з форми, особливо при збільшеному діаметрі стояка;
- 6) виконати шлаковик збільшеної довжини і достатньої висоти;
- 7) зменшити швидкість заливки металу;
- 8) підвищити газопроникність верхньої напівформи: збільшити фракцію піску до 0.4, знизити щільність набивки, збільшити кількість наколів в місцях утворення газових раковин, зменшити товщину нанесення протипригарного покриття.

Час заливки сталі

Час заливки залежить від розмірів і особливостей конструкції виливка, ливарних властивостей певної сталі, теплоакумуючих властивостей матеріалу форми та ін. Для отримання тонкостінних виливків, що мають розвинену поверхню стінок, потрібно зменшення часу заливки, щоб не допустити утворення недоливів і спаїв. При виготовленні ж виливків, схильних до утворення підкіркових газових бульбашок, вимагається збільшення часу заливки для вільного видалення газу з порожнини форми.

Тривалість заливки визначається формулі 1.2 [7]:

$$\tau = S^3 \sqrt{\delta_0} G, \text{ в секундах,} \quad (1.2)$$

де: S – коефіцієнт часу, який залежить від технологічної складності виливки, її маси, розрахункової товщини стінок виливки і типу сталі;

δ_0 – розрахункова товщина стінок виливки, залежить від її конструкції, довжина плоских поверхонь, висоти виливка та ін.;

G – маса рідкої сталі, кг, яка витрачається на заливання форм

$$G = G_0 + G_\eta + \Delta G_\eta, \quad (1.3)$$

де: G_0 – маса виливка, кг;

G – маса рідкої сталі, що витрачається на ливникову систему, кг;

ΔG_η – маса рідкої сталі, що витрачається на заповнення живильників до рівня ΔH_η , кг.

Для виливків, схильних до утворення внутрішніх напружень, тріщин і усадочних раковин, коефіцієнт s бажано збільшити на 0,1–0,2. Виливки, виготовлені в металічних або піщаних формах з великим числом холодильників, слід заливати швидше і значення s для них зменшити на 0,1–0,2.

Знайдений час рекомендується перевіряти співвідношенням (1.4):

$$\vartheta = \frac{H}{\tau} \quad (1.4)$$

де: ϑ – швидкість підйому розплаву у формі, см/с;

H – висота виливка по положенню при заливці, см.

При товщині стінок 7–10 мм швидкість підйому ϑ повинна бути не менше 20 мм/с; при 10–40 мм $\vartheta > 10$ мм/с; при товщині більше 40 мм – > 8 мм/с.

Якщо ϑ виявиться недостатнім, то потрібно зменшити час заливки або ж змінити положення виливка у формі.

1.1.5 Раковина сферичної форми, поверхня з кольорами мінливості

Внутрішні порожнини переважно сферичної форми з гладкими блискучими стінками, або окремі розташовані невеликими групами (рис. 1.6).

Розміри їх бувають зазвичай більше 2 або 3 мм і в різних виливках неоднакові. Колір поверхні раковин різко відрізняється від світлих і від окиснених наявністю веселкової, дуже тонкої плівки окислів, найчастіше розовато-фіолетового. Дефект представлений внутрішніми порожнинами, окремими або невеликими групами [28].

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- взаємодія частинок шлаку з металом у формі, в результаті чого виділяються гази;
- реакції окиснення у ванні плавильної печі рідкого металу викликає появу рідких або твердих оксидів, а затим, у результаті їх відновлення вуглецем, газових міхурів;
- реакції рідкого металу і його окислів з вогнетривкими матеріалами плавильних печей, ковшів або матеріалами форми;
- недостатньо ефективне утримання шлаків в ливниковій системі;

- підвищений вміст елементів, що мають високу спорідненість до кисню: таких, як титан, алюміній, кальцій, що містяться в модифікаторі.



Рис. 1.6 – Вилиок «Фланець» з раковиною сферичної форми, поверхня раковини має кольори мінливості

Підвищена газотвірність форми призводить до виникнення газових раковин. Для зниження цієї небезпеки рекомендується:

- встановити оптимальний склад стрижневої суміші з газотвірністю не більше 10 куб. см на грам суміші.
- формувальна суміш повинна містити мінімальну кількість газотвірних матеріалів – води, органічних сполучників, протипригарних добавок, глини та ін.
- найбільш газотвірна вода, тому вміст її в суміші повинно бути обмежено.

1.1.6 Раковина шлакогазова, сферичної форми, окиснена, можливий жовтуватий наліт

Найчастіше такий дефект являє поєднання газової раковини з шлаковим включенням, де шлакове включення за обсягом менше навколишньої його раковини (рис.1.7). Такого роду дефекти поодинокі або розташовані нерівномірними групами. Стінки раковин ніколи не бувають

світлими, неокисненими. Найчастіше на поверхні шлакогазової раковини мається жовтуватий наліт шлакової плівки. Раковина може не мати сферичної форми. Дефект зазвичай спостерігається у верхній частині виливки.



Рис. 1.7 – Раковина шлакогазова, сферичної форми, окиснена, можливий жовтуватий наліт

Формування раковин

Описаний дефект може виникнути в результаті наступних причин:

- взаємодія частинок шлаку з металом у формі, в результаті чого виділяються гази;
- реакції окиснення у ванні плавильної печі рідкого металу викликає появу рідких або твердих оксидів, а затим, у результаті їх відновлення вуглецем, газових міхурів;
- реакції рідкого металу і його окислів з вогнетривкими матеріалами плавильних печей, ковшів або матеріалами форми;
- недостатньо ефективне утримання шлаків в ливниковій системі;
- підвищений вміст елементів, що мають високу спорідненість до кисню: таких, як титан, алюміній, кальцій, що містяться в модифікаторах.

Ліквідація дефекту аналогічна до процедур, описаних в пункт 1.1.1 – 1.1.5)

Витримка металу для спливання шлаку

Шлак потрапляє в розплав при механічному перемішуванні його в процесі плавки і при переливі з плавильного агрегату в ківш. Разом зі шлаком в метал потрапляють окисли, бульбашки розчиненого газу, частинки кладки вагранки, печі та ін. В процесі вистою металу в ковші відбувається спливання частинок шлаку на поверхню металу внаслідок їх меншої питомої ваги. При цьому чим вище температура металу і менше в'язкість шлаку, тим інтенсивніше відбуватиметься процес спливання шлаку. Одночасно з спливанням шлаку будуть видалятися бульбашки розчиненого в металі газу, по дорозі захоплюючи більш дрібні бульбашки газу і частинки сторонніх включень, в тому числі і окислів. Шлак, який накопичився на дзеркалі металу зчищають скребком до повного видалення його з поверхні.

Шлакоуловлюча ливникова система

Для виготовлення дрібних і середніх виливків метал заливають зазвичай через носок ковша, тому велика небезпека потрапляння шлаку в виливок. На практиці застосовують системи, які забезпечують краще розуміння шлаку. З цією метою встановлюють ливникові чаші з перегородками, різного роду фільтруючі і шлакоуловлюючі пристрої.

Для того щоб частинки шлаку не потрапили в виливок, вони повинні мати можливість спливати на поверхню і залишитися в шлакоуловлювачі. При виготовленні середніх по масі і крупних виливків ливникові чаші часто виконують в окремих надставках. При закритій пробці наповнюють чашу металом, шлак спливає на поверхню металу і після підняття пробки чистий метал заповнює форму.

1.1.7 Раковина плескатої форми (пузирі підкоркові), окиснена, сіро-синього кольору, блискуча

Внутрішні порожнини округлої, трохи плескатої форми з гладкими стінками (рис. 1.8). Зазвичай діаметр перевищує 5-10 мм, розташовані в різних частинах одного й того ж виливка, можуть значно відрізнятися за розмірами [36].



Рис. 1.8 – Виливка «Корпус передачі» з дефектом: раковина плескатої форми (пузирі підкоркові), окиснена, сіро-синього кольору, блискуча

Дефект розташовується тільки в верхній по заливці частини, вражаючи в основному горизонтально розташовані ділянки, і ніколи не виникає на вертикальних або на похилих площинах. Порожнина раковини зазвичай відокремлюється від поверхні тонкою (менше 1 мм) кіркою металу, стінки раковини блискучі, колір аналогічний кольором недоливої виливки, тобто сіро-синій. Часто дефект виходить на поверхню виливки, на внутрішній поверхні таких підкоркових пухирів є точкові шорсткі місця.

Механізм утворення газових раковин можна представити наступним чином. При заливанні форм металом починає інтенсивно прогріватися поверхня форми і стрижня створюючи при цьому потужний газовий потік, що виходить в випори, газовивідні канали, наколи в формі, по роз'єму форми.

Якщо заливання форми металом буде проходити повільно, то значна частина газів, що утворюються буде йти в атмосферу і ймовірність утворення газових раковин різко зменшиться. Після заповнення порожнини форми металом у формі і стрижні створюється тиск газів, що виділяються від вигорання газотвірних складових сумішей. У цьому випадку, якщо

газовивідні канали не залиті металом і сполучаються з атмосферою, то через них буде виходити газ, що виділяється, не проникаючи в рідкий метал. Якщо тиск у формі або в стрижні буде більше, ніж сумарний тиск металостатичного напору і опір проходу газів з форми або стрижня в метал, то газ з стрижня або форми піде в метал. Якщо метал ще рідкий і місце виходу газу знаходиться недалеко від поверхні виливки, то газ накопичується на поверхні металу під його затверділою коркою, утворюючи плоскі газові пухирі підкіркові. Частіше ці раковини утворюються у виливках з поганими газовідводами з форм і стрижнів, при великій швидкості заливання навіть простих форм, що не мають газовідводу з протилежного боку від заливки і т. д.

Важливим фактором для зниження можливості утворення газових раковин являється зменшення тиску газу в формі в процесі заповнення її металом [17]. Одним з напрямків зниження тиску газу можна вважати зменшення довжини шляху його фільтрації газу.

Газові раковини можуть з'явитися у разі неправильного підведення металу до виливка, в результаті чого виникає протитечія необхідного руху газу.

1.1.8 Раковина газоусадочна, матова, окиснена, неправильної форми, гладкошорстка

Дефект являє собою закриті приповерхневі порожнини неправильної форми, можливо стрічкові і з вузьким гирлом (рис. 1.9).

Розташовуються в нагрітих великими живильниками частинах виливки, або в її термічних вузлах, де гирло раковини відкривається до перегрітої поверхні форми, а велика вісь раковини спрямована до термічного вузла. Дефект, утворений місцевим перегрівом частини форми або стрижня, в поперечному перерізі має форму раковини (ближче до газової, ніж до усадкової).



Рис. 1.9 – Раковина газоусадочна, матова, окиснена, неправильної форми, гладко-шорстка

Поверхня раковини гладко-шорстка, місцями гладка, як у газовій раковині. Строчечна раковина у поперечному перерізі може мати вигляд невеликої розкритої гарячої тріщини, але обов'язково з гладкою частиною раковини.

Формування раковин

Велика газоусадочна раковина утворюється в місцях інтенсивного розігрівання форми або стрижня металом. В момент інтенсивного розігрівання з форми і стрижня виділяється газ, який впроваджується в рідкий метал розігрітого обсягу виливки. При припиненні подачі у форму металу відбувається його охолодження з усадкою. В цей час газ з форми або стрижня заповнює об'єм усадки, округляючи при цьому порожнину раковини.

Строчечна раковина утворюється на ранніх стадіях затвердіння, в основному, в термічних вузлах виливків, пов'язаних з газотвірними стрижнями, сирою формою або формою і відсирівшими стрижнями, які піддаються сильному місцевому перегріву. При наявності в центральній частині термічного вузла рідкої фази і надходження до нього нових порцій усадка металу на окремих ділянках шару, що кристалізується буде компенсуватися цим надходом. При припиненні надходження металу подальша усадка буде створювати умови розрідження в термічному вузлі. Якщо в цей час із стрижня, форми або металу буде виділятися рясна кількість

газу, то він буде прагнути заповнити розріджені частини виливки, метал в яких знаходиться у рідкому тістообразному стані. В результаті усадочні порожнечі будуть приймати більш округлу форму, поверхня раковини може бути більш або менш гладкою або шорсткою залежно від ступеня розрядження термічного вузла і тиску газу, що утворюється.

В залежності від складу газів, що виділяються в результаті місцевого перегріву формувальної або стрижневої суміші, а також від ступеня розвитку кристалізації на момент прориву газів через тонку кірку в метал стінки раковини можуть мати різний колір і більш або менш виражений дендритний рельєф.

1.2 Усадочні раковини

1.2.1 Усадкова раковина відкрита

Раковина зазвичай розташовується у верхній масивній частині виливки і має форму воронки, продовженням якої можуть бути ізольовані порожнини (рис. 1.10). Стінки цих порожнин шорсткі, найчастіше дендритні. Дефект може відбуватись у вхідних кутах виливки, у живильниках і мати колір поверхні недоливої виливки, тобто сірувато-синій. Усадочні раковини зазвичай утворюються в потовщених місцях виливки, які тверднуть в останню чергу.



Рис. 1.10 – Виливка «Шестерня ланцюгова»
з дефектом «Раковина усадочна відкрита»

Явище усадки викликано скороченням обсягу і лінійних розмірів виливки в формі в період застигання залитого металу. Після заливання у форму рідкий метал охолоджується і у поверхні контакту з формою утворюється кірка затверділого металу. При значному зменшенні швидкості твердіння металу у верхній частині виливка, викликаному потовщенням конструкції, розігрівом заливаємым металом чи іншими способами, кірка металу у верхній частині не утворюється і рідкий метал використовується на підживлення нижніх шарів металу, які в цей час зменшуються в об'ємі. У результаті метал з верхньої частини виливки опускається вниз і у верхній частині утворюється відкрита воронка з явно вираженими дендритними стінками, звана відкритої усадочною раковиною.

1.2.2. Усадкова раковина закрита

Закриті порожнини, з шорсткими стінками, поодинокі або розсіяні. Колір поверхні дефекту темно-синій (рис. 1.11). Дефект знаходиться в зонах, які затвердівають в останню чергу, або розташовується поблизу живильників.



Рис. 1.11 – Дефект виливки «Раковина усадочна закрита»

Щільний виливок, без усадочних раковин, можна отримати лише у тому випадку, якщо усадка кожного шару, який кристалізується буде компенсуватися притоком до нього нових порцій рідкого металу, тобто якщо цей шар буде отримувати «живлення». При наявності в центральній частині термічного вузла виливки рідкого металу, харчування виливки буде протікати нормально. Усадка на окремих ділянках шару, що кристалізується компенсується переміщенням маточного розчину в самому цьому шарі, а загальний спад обсягу металу у всьому шарі заповнюється надходженням перегрітої рідини із сусідньої зони, де кристалізація ще не починалася. Витрата рідкого металу на живлення послідовно кристалізуючихся шарів призводить до утворення центральної усадкової раковини.

При подальшому охолодженні металу до температури трохи нижче лінії ліквідусу, зона, цілком занята рідким металом, зникає. В шарі, де до цього моменту ще існують тверда і рідка фази, кристалізація триває, але вже без участі підживлення з центру виливка. В результаті утворюється усадочна раковина.

1.2.3 Усадкова пористість

Пористість, дрібні усадочні раковини сірого кольору зустрічаються у частинах виливки (рис. 1.12). Вони часто супроводжують усадочні раковини і є їх продовженням. Метал з цим дефектом зустрічається в сплавах з великим інтервалом кристалізації, має губчастий вигляд, часто дендритну структуру і скупчення дрібних раковин. Дефект можна виявити одним з наступних способів:

- випробуванням на герметичність;
- оглядом неозброєним оком;
- оглядом через оптичний прилад розкритих ділянок з дефектами.



Рис. 1.12 – Фрагмент виливка «Гільза» з усадочною раковиною

У сплавах, які тверднуть в інтервалі температур, що ростуть від поверхні виливка кристали глибоко вдаються в рідкий метал. В них утворюється проміжна двохфазна зона, що складається з твердого та рідкого металу. Поки кристали, які ростуть від поверхні не зустрінуться, верхні шари рідкого металу або бічні живильники компенсують усадку металу. Однак після зрощення кристалів, що ростуть обсяги рідкого сплаву між ними ізолюються один від одного і додаткове підведення рідкого металу припиняється. При затвердінні рідкого сплаву в таких умовах в ізольованому просторі утворюються дрібні усадочні раковини-пори. Скупчення дрібних усадочних раковин і називають усадкової пористістю.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ НАДЛИВІВ

У процесі проектування технологічного процесу виготовлення виливка інженер-технолог стикається з безліччю питань: вибір місця підведення металу, призначення технологічних напусків, забезпечення спрямованого затвердіння і живлення виливків, забезпечення заповнюваності порожнини форми та ін. Одним з найбільш важливих етапів у цій послідовності, безумовно, є питання забезпечення живлення теплових вузлів виливка. На даному етапі інженер-технолог повинен вибрати місце установки надливу, конфігурацію надливу і розрахувати його розміри з метою виключення виникнення усадочних дефектів у виливку.

В даний час розроблені різні інженерні методи розрахунку надливів. Частина з них пов'язує приведений розмір виливка (вузла) і надливу, частина - об'єм надливу і живильного ним вузла виливка. Більшість з даних співвідношень знайдено або емпіричним, або напівемпіричним способом.

Розглянемо деякі з найбільш поширених методів розрахунку надливків.

Метод Пржибла пов'язує об'єм надливу з об'ємом виливка або вузла виливка $x \cdot \beta$ співвідношенням

$$V_{np} = \frac{x \cdot \beta}{1 - x \cdot \beta} \cdot V_0, \quad (1)$$

де x - коефіцієнт неекономічності надливу, ($3 < x < 12$), β - коефіцієнт усадки металу, V_0 - об'єм виливки або вузла виливка.

Коефіцієнт неекономічності надливу x для відкритого атмосферного надливу автор рекомендує від 9 до 12, для закритого атмосферного - від 7,5 до 9, для екзотермічних надливків $x = 3-4$.

Метод Бішопа – Джонсона Розроблений для виливків типу плит і стрижнів.

Обчислюється фактор форми плити $(L+W)/\delta$ і далі за номограмі. (рис. 2) обчислюється рекомендоване співвідношення об'єму надливу і об'єму виливка

або вузла виливки.

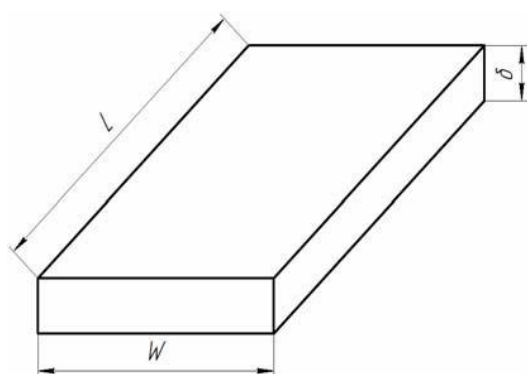


Рис. 2.1. Виливок «Плита».

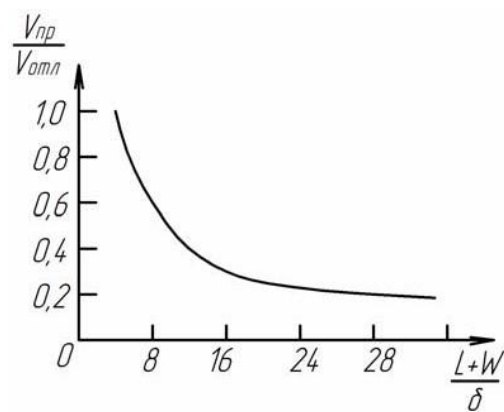


Рис. 2.2. Номограма Бішопа-Джонсона.

Рекомендована форма надливу – циліндрична з відношенням висоти H до діаметра D в межах від 0,5 до 1

Метод Чеботарьова – Чикунова. заснований на системотехнічному описі конфігурації фасонного виливка. Детально розібраний в роботі [1]. Фасонний виливок представляється як система з надливів і прямокутних паралелепіпедів, що складають конфігурацію виливка. Надлив виливки розраховується за коефіцієнтом надливу

$$K = V_{\Pi} / V_0 ,$$

де V_n - об'єм шуканого надливу, V_0 - об'єм виливки (вузла виливки).

Коефіцієнт K знаходиться емпірично для кожної конфігурації надливу – куб, паралелепіпед, циліндр.

Метод статистичного аналізу Кремера пов'язує приведений розмір надливу з приведеним розміром виливка стосовно лиття в піщані форми. Результати статистичного дослідження великої кількості виливків автор звів у номограму (рис. 2.3) для різних способів заливки форми:

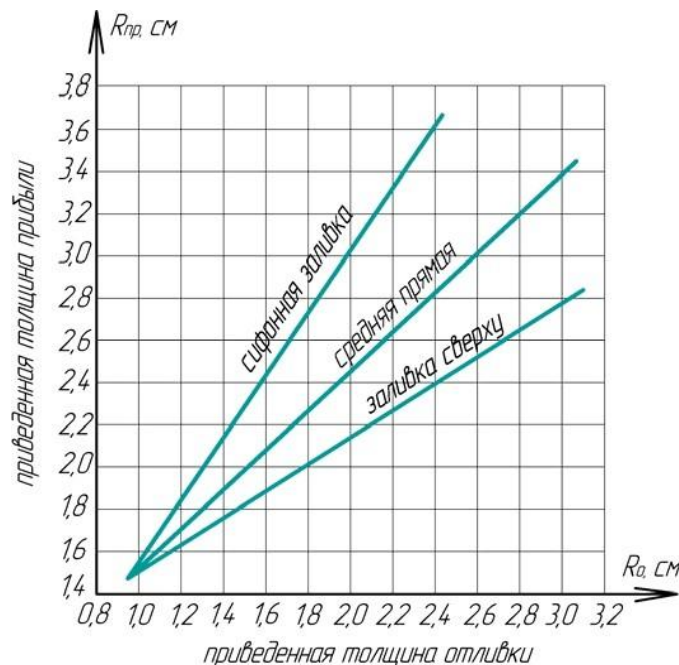


Рис. 2.3. Номограма Кремера.

З діаграми видно:

- для сифонної заливки $R_{np} = 1,5 \cdot R_0$
- для заливки зверху $R_{np} \approx 0,9 \cdot R_0$
- для комбінованого підведення металу $R_{np} \approx 1,14 \cdot R_0$

Рекомендації Ю.А.Нехендзі. автор наводить такі співвідношення для приведених розмірів виливка і надливу:

$R_{np} = (1.1 \div 1.25) \cdot R_0$ - для звичайних надливів,

$R_{np} = 1.1 \cdot R_0$ - для легковідокремлюваних надливів,

де R_0 - приведений розмір виливка або живильного вузла,

Також у цій же роботі автор наводить таку номограму (рис. 2.4), отриману на Уралмашзаводі:

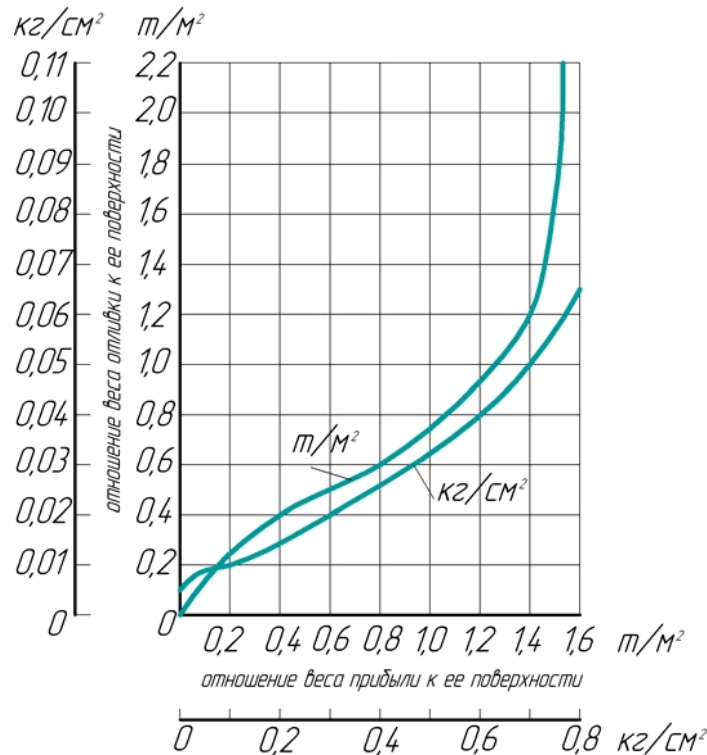


Рис. 2.4. Номограма Уралмашзаводу.

Метод Н.М.Галдіна. пов'язує приведений розмір вузла виливки типу «Плита» з приведеним розміром надливу. У роботі [3] автор наводить наступний метод розрахунку:

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

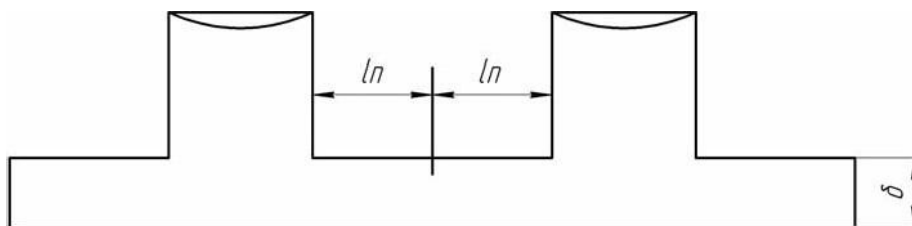


Рис 5. Розрахункова схема

Відношення $\frac{R_{np}}{R_0}$ є функцією довжини живлення надливу l_{np} і товщини виливка δ

$$\frac{R_{np}}{R_0} = \psi\left(\frac{l_n}{\delta}\right)$$

Наприклад, для вуглецевої сталі $l_n = (2 \div 3) \cdot \delta$

У роботі [4] також розглядається задача розрахунку надливів для виливків типу плит і стрижнів. Автори використовують фактор форми плити $(L+W)/\delta$ для обчислення відношення об'єму надливку до об'єму виливка (вузла виливка). Так, для сталі AISI 1025 (20Л) для лиття у фуранові форми при перегріванні 60 °С знайдено таке співвідношення:

$$\frac{V_n}{V_0} = 2.51 \cdot \left(\frac{L+W}{\delta}\right)^{-0.74} \quad (3)$$

Крім того, автори наводять емпіричні коефіцієнти для аналізу довжини живлення надливу для інших умов лиття.

Отже, як видно з приведеного вище огляду, всі існуючі методики розрахунку надливів пов'язують або приведений розмір живленого вузла і надливу (перший клас), або їх об'єми (другий клас).

Методики, в яких використовуються приведені розміри, дають приведений розмір надливу як $R_{np} = k \cdot R_0$, де R_0 - приведений розмір вузла виливка, k - коефіцієнт запасу. Коефіцієнт запасу у розглянутих методиках лежить в межах $k = 1.0 \div 1.5$.

Другий клас методик у явному вигляді пов'язує тільки об'єми елементів

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(через коефіцієнт надливу). Однак у неявній формі існує і зв'язок приведених розмірів.

Для вилівка у вигляді плити (рис. 1) з розмірами $L = 800$ мм, $W = 400$ мм, $\delta = 40$ мм. Для стандартних умов роботи об'єм надливу складе

$$V_n = 2.51 \cdot \left(\frac{L+W}{\delta} \right)^{-0.74} \cdot V_0 = 0.203 \cdot V_0.$$

$$R_0 = \frac{\delta}{2} = 20 \text{ мм}$$

При цьому приведений розмір вилівка можна прийняти

При циліндричній формі надливу з співвідношенням $H/D=1$ отримуємо оприведений розмір надливу

$$R_{np} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot D \cdot H + \pi \cdot D^2} = 30 \text{ мм.}$$

Тобто

$$\frac{R_{np}}{R_0} = \frac{30}{20} = 1.5$$

Зв'язок об'єму надливу і об'єму вилівка неявно передбачає виконання умови $R_{np} = k \cdot R_0$, де $k = 1,5$.

Таким чином, при розрахунку надливу завдання фактично зводиться до завдання коефіцієнта запасу k , за допомогою якого можна розрахувати приведений розмір надливу R_{np} . При цьому для звичайного надливу завжди $k \geq 1.0$.

Це легко пояснити з позиції виконання основної функції надливу – живлення вилівки за рахунок більш пізнього затвердіння в порівнянні з живленим об'ємом. Як відомо, час затвердіння елемента пропорційний квадрату приведенного розміру.

При уявній легкості розрахунку надливків за розглянутими методиками існувала головна складність у їх використанні – визначення коефіцієнта запасу k . Дана складність вирішувалася у всіх перерахованих методах на основі виробничих і експериментальних даних, тобто k підбирався емпірично. При цьому для кожного виду сплавів доводилося ставити нові експерименти і

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходити k .

Такий підхід здається досить трудомістким, тому нашою метою було теоретично знайти коефіцієнт запасу

Теоретичне визначення коефіцієнта запасу

У загальному вигляді час затвердіння довільного елемента t_3 складається з двох величин: часу зняття перегріву t і часу затвердіння. На основі моделі малої інтенсивності охолодження для умов лиття в ПФ для сплавів типу твердий розчин час зняття перегріву дорівнює:

$$t_1 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R \cdot (T_{зал} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (4)$$

де c_1 - питома теплоємність розплаву, ρ_1 - щільність розплаву, R -приведений розмір елемента, b_ϕ - коефіцієнт теплової акумуляції форми; $T_{зал}$, T_L , $T_{\phi n}$ - температура заливки, ліквідус розплаву і початкова температура форми відповідно.

Час до досягнення певної температури двофазної області дорівнює:

$$t_2 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R \cdot (T_{зал} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{эф} \cdot \rho_2 \cdot R \cdot (T_L - T_2)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (5)$$

де $c_{эф}$ - ефективна питома теплоємність, ρ_2 - густина розплаву в інтервалі затвердіння, T_S - температура солідус розплаву.

Для сплавів типу твердий розчин при лінійній моделі вмісту твердої фази в інтервалі кристалізації можна записати:

$$f_s = \frac{(T_L - T_2)}{(T_L - T_S)} \quad (6)$$

$$T_L - T_2 = f_s \cdot (T_L - T_S) \quad (7)$$

Тут слід зазначити, що модель малої інтенсивності охолодження не враховує перепад температури по перетину виливка, тобто $T_2 = \psi(t)$ - температура двофазної зони залежить тільки від часу

					Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

З виразу (6) при такому підході отримуємо, що $f_s = \text{const}$ по всьому перетину виливка (його елемента)

Підставляючи (7) в (5), отримуємо

$$t_2 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (R \cdot f_s) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (8)$$

Таким чином, для елемента виливка з приведеним розміром R_0 в будь-який момент часу затвердіння справедливо:

$$t_2 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R_0 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (R_0 \cdot f_{s0}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (9)$$

де f_{s0} - частка твердої фази в елементі виливка в даний момент часу.

Аналогічно для надливу

$$t_2 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R_{np} \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (R_{np} \cdot f_{snp}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (10)$$

де f_{snp} - частка твердої фази в надливку в даний момент часу

З врахуванням приведених міркувань для певного моменту часу справедливо

$$\left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R_0 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{s0} \cdot R_0) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 = \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot R_{np} \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{snp} \cdot R_{np}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (11)$$

Перетворюючи (11), отримаємо далі вирази (12) та (13):

$$\begin{aligned} \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{s0}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right] \cdot R_0 &= \left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{snp}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right] \cdot R_{np} \\ R_{np} &= \frac{\left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right] \cdot f_{s0}}{\left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{\text{зал}} - T_L)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right] \cdot f_{snp}} \end{aligned} \quad (13)$$

Вираз (13) пов'язує приведений розмір надливу і виливка через теплофізичні параметри сплаву і форми, а також параметри технології виготовлення виливка ($T_{\text{зал}}$, $T_{\phi n}$).

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо зазначити, що відношення приведених розмірів надливу і виливка повністю залежить від величин: fs_0 - частка твердої фази в елементі виливки, $fs_{пр}$ - частка твердої фази в надливу (в деякий момент часу).

У процесі живлення розплав з надливу надходить у виливок спочатку безперешкодно, а потім у міру охолодження фільтрується крізь сітку зростаючих кристалів, що утворили нерухомий скелет.

Фільтраційні явища ускладнюють живлення і в повній мірі визначають якість живлення. Згідно з сучасними уявленнями існують деякі порогові значення твердої фази, при яких починається і закінчується фільтрація розплаву. Так, для більшості вуглецевих сталей частка твердої фази початку фільтрації $fs_1 = 0.3$, а кінця фільтрації - $fs_2 = 0.7$ при литті в ПФ.

На момент закінчення фільтрації в елементі виливка частка твердої фази $fs_0 = fs_2$, а в надливі - деяка $fs_{пр}$.

З (13) на момент закінчення фільтрації в вузлі отримаємо:

$$\frac{R_{пр}}{R_0} = \frac{\left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{зал} - T_L)}{1.13 \cdot b_{\phi} \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{эф} \cdot \rho_2 \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_{\phi} \cdot (T_S - T_{\phi n})} \cdot f_{s2} \right]}{\left[\frac{c_1 \cdot \rho_1 \cdot (T_{зал} - T_L)}{1.13 \cdot b_{\phi} \cdot (T_L - T_{\phi n})} + \frac{c_{эф} \cdot \rho_2 \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_{\phi} \cdot (T_S - T_{\phi n})} \cdot f_{s_{пр}} \right]} \quad (14)$$

З (14) випливає, що для того, щоб $\frac{R_{пр}}{R_0} \geq 1$ необхідною умовою є $f_{s_{пр}} \leq f_{s2}$.

Знаючи теплофізичні параметри сплаву і форми, а також технології, знаючи $f_{s_{пр}}$ і fs_2 , за формулою (14) можна обчислити приведений розмір надливу.

Більш наочною і простою стає методика розрахунку при наступних міркуваннях. Час зняття перегріву набагато менше часу затвердіння (вважаємо, що весь розплав повністю втрачає перегрів на стадії заповнення форми), тому у виразі (5) доданком зняття перегріву можна знехтувати.

Тоді з (11) отримаємо просте співвідношення:

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left[\frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{s0} \cdot R_0) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 = \left[\frac{c_{\text{эф}} \cdot \rho_2 \cdot (f_{\text{сnp}} \cdot R_{\text{np}}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_\phi \cdot (T_S - T_{\phi n})} \right]^2 \quad (15)$$

$$[f_{s0} \cdot R_0]^2 = [f_{\text{сnp}} \cdot R_{\text{np}}]^2 \quad (16)$$

$$f_{s0} \cdot R_0 = f_{\text{сnp}} \cdot R_{\text{np}}, \quad (17)$$

де f_{s0} - частка твердої фази в об'ємі елемента виливка в деякий момент часу,
 $f_{\text{сnp}}$ - частка твердої фази в обсязі надливу в цей же момент часу

На момент закінчення фільтрації у виливку отримаємо:

$$\frac{R_{\text{np}}}{R_0} = \frac{f_{s2}}{f_{\text{сnp}}} \quad (18)$$

Співвідношення (18) на відміну від (14) має простіший вигляд і пов'язує
 приведений розмір надливу з приведеним розміром живленого вузла тільки
 через параметри фільтрації розплаву - $f_{\text{сnp}}$ і f_{s2} .

Отриманий вираз (18) повністю аналогічний розглянутим раніше $R_{\text{сп}} = k \cdot R_0$,
 якщо прийняти коефіцієнт запасу

$$k = \frac{f_{s2}}{f_{\text{сnp}}}.$$

Проте воно має інше смислове навантаження. У розглянутих методиках
 коефіцієнт k підбирається емпірично, а в приведених міркуваннях –
 обчислюється на основі властивостей сплаву і технології виготовлення виливка

Оцінимо порядок величин $\frac{R_{\text{np}}}{R_{\text{мол}}}$ и $f_{\text{сnp}}$ на прикладі проектування надливу для
 виливків типу «Плита» з різними розмірами (табл. 2.1) за різними методиками.

Надлив циліндричної форми з відношенням діаметра до висоти $\frac{D_{\text{np}}}{H} = 1.0$.

Таблица 2.1.

Результати розрахунку надливків.

№	L, мм	W, мм	δ, мм	V _{np} V _{вуд}			R _{np} R _{мл}	f _{сnp}
				1	2	3	*	**

									Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

1	300	300	50	0,4	0,4	0,43	1,327	0,53
2	300	300	100	0,6	0,67	0,80	1,254	0,56
3	1000	300	300	0,9	0,85	0,76	1,258	0,56
4	1000	500	300	0,9	0,76	0,82	1,229	0,57
5	1000	500	100	0,3	0,34	0,35	1,330	0,5

1 – розраховано за методом Бішопа-Джонсона

2 – розраховано з використанням формули (3)

3 – розраховано за методом Чеботарьова-Чикунова

* - розраховано для надливуз відношенням $\varepsilon = \frac{V_{np}}{V_{отл}}$ топом-Джонсоном0

** - розраховано за формулою (18) при $f_{s2} = 0,7$

Як видно з таблиці 2.1 співвідношення $\frac{R_{np}}{R_{отл}}$ у всіх випадках більше 1 і приблизно однаково для різних виливків:

$$\frac{R_{np}}{R_{отл}} = 1.229 \div 1.330.$$

Розроблений алгоритм розрахунку легко застосовується і до питання до питання розрахунку екзотермічних надливів

Матеріал екзотермічної суміші має набагато менший коефіцієнт теплової акумуляції $be.c$, ніж звичайна формувальна суміш. З (15) у цьому випадку отримаємо:

$$\left[\frac{c_{эф} \cdot \rho_2 \cdot (f_{x0} \cdot R_0) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_{\phi} \cdot (T_S - T_{\phi u})} \right]^2 = \left[\frac{c_{эф} \cdot \rho_2 \cdot (f_{np} \cdot R_{np}) \cdot (T_L - T_S)}{1.13 \cdot b_{\varepsilon c} \cdot (T_S - T_{\phi u})} \right]^2 \quad (19)$$

$$\left[\frac{(f_{x0} \cdot R_0)}{b_{\phi}} \right] = \left[\frac{(f_{np} \cdot R_{np})}{b_{\varepsilon c}} \right] \quad (20)$$

З (20) отримаємо просте співвідношення приведених розмірів екзотермічного надливу і живильного ним вузла на момент закінчення фільтрації в ньому:

$$\frac{R_{np}}{R_0} = \left(\frac{f_{s2}}{f_{np}} \right) \cdot \left(\frac{b_{\varepsilon c}}{b_{\phi}} \right) \quad (21)$$

В відмінність від формули (18) для екзотермічних надливків з'являється

					Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

додатковий помножувач (be.c / bф) ,який по'язе теплофізичні параметри екзотермічного стакану надливку і форми.

Оцінимо відношення $\frac{R_{np}}{R_0}$ для екзотермічного надливку

На основі теплофізичних властивостей екзотермічної та фуранової суміші, отриманих з банку матеріалів САПР LVMFlow, отримаємо:

$$b_{э.с} = 692 \frac{BT \cdot c^{\frac{1}{2}}}{M^2 \cdot K}, \quad b_{\phi} = 1400 \frac{BT \cdot c^{\frac{1}{2}}}{M^2 \cdot K}.$$

З розглянутих раніше прикладів для надливів виливків типу «Плита» (табл.

$$\frac{f_{с2}}{f_{впр}} = 1.229 \div 1.330 .$$

1) отримано, що достатнім є запас $f_{впр}$

Таким чином, за формулою (21) знаходимо

$$\frac{R_{np}}{R_0} = (\frac{f_{с2}}{f_{впр}}) \cdot (\frac{b_{э.с}}{b_{\phi}}) = (1.229 \div 1.330) \cdot (\frac{692}{1400}) \approx (0.61 \div 0.66)$$

Як видно з отриманого результату, відношення $\frac{R_{np}}{R_0}$ для екзотермічних надливків удвічі менше, ніж для звичайних надливків, що повністю підтверджує факт економічності екзотермічних надливків у порівнянні з атмосферними.

Для порівняння в таблиці 2.2 приведені результати розрахунку екзотермічних надливків для виливків типу «Плита» з аналогічними таблиці 1 розмірами. Розрахунок виконаний в САПР «Оптимальне живлення виливків», що базується на методиці розрахунку надливків Чикунова-Чеботарьова.

Таблица 2.2.

Результати розрахунку екзотермічних надливків

№	L, мм	W, мм	δ, мм	$\frac{V_{np}}{V_{отл}}$	$\frac{R_{np}}{R_{отл}}$	$f_{впр}$
1	300	300	50	0,144	0,624	0,554
2	300	300	100	0,189	0,580	0,596
3	1000	500	300	0,260	0,532	0,650
4	1000	500	100	0,150	0,700	0,49

Висновки

1. представлено нову методику визначення коефіцієнта запасу надливів,
2. проведено порівняння представленої методики з існуючими, і показано адекватність отриманих за новою методикою результатів.

Література

1. Баландін Г.Ф. Основи теорії формування виливки. У 2-х ч. – Ч.2 – М.: Машинобудування, 1976 – 335 с, з іл.
2. Нехендзі Ю.А. Сталеве лиття. – М.: Державне науково-технічне видавництво літератури з чорної та кольорової металургії, 1948 – 767 с.
3. Галдін Н.М., Чистяков В.В., Шатульський А.А. Ливарні системи та надливки для фасонних виливків. – М.: Машинобудування, 1992 – 256 с., з іл.
4. Крістоф Бекерман. Підвищення виходу та зменшення дефектів у литті сталі. Кінцевий технічний звіт. Університет Айови. 2004

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ УСАДКОВИХ ДЕФЕКТІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВІВ

При виготовленні виливків незалежно від технології отримання ливарної форми одними з найбільш поширених дефектів браку, які істотно знижують якість виливків, є дефекти усадочного походження. Величина браку за такими дефектами може складати 20%. Основними причинами їх утворення можуть бути помилки при проектуванні технології, а також недотримання технологічних режимів виробництва.

Прихований характер процесу затвердіння розплаву в ливарній формі істотно ускладнює можливість ліквідації усадочних дефектів виливків, що виникають при цьому. Як відомо, утворення усадочних пустот, раковин і пористості пов'язане з сукупністю явищ, що призводять до скорочення обсягу і лінійних розмірів сплаву, залитого у форму, при його затвердінні і охолодженні.

При цьому причинами утворення усадочних дефектів у виливках є, по-перше, те, що зміна обсягу залитого у форму металу відбувається в умовах перепаду температур по перетину виливка, коли його зовнішні шари вже затверділи, а внутрішні можуть перебувати ще в рідкому стані, тоді в цьому випадку затверділа кірка обмежує обсяг рідкого металу, укладеного всередині; по-друге, багато сплавів характеризуються великим коефіцієнтом термічного стиснення в рідкому стані і в період кристалізації в порівнянні з коефіцієнтом термічного стиснення їх в твердому стані, тому зміна обсягу затверділої скоринки при охолодженні до температури навколишнього середовища буде менше, ніж зміна «внутрішнього» об'єму металу [2].

Також механізм утворення усадочних явищ у виливку залежить від положення сплаву на діаграмі стану та інтенсивності теплообміну в системі виливок- ливарна форма [3]. Теплофізичні умови кристалізації виливка, в свою чергу, обумовлені геометрією і технологією виготовлення ливарної

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

форми (наприклад, кокиль або піщана форма) і також в деякій мірі визначають величину і місце утворення усадочного дефекту .

Відомо, що для усунення усадочних дефектів найбільш ефективним технологічним прийомом є застосування живильних бобишек та надливів, проте їх використання може істотно знижувати ефективну металоємність ливарної форми .

Тому нами виконано аналіз шляхів підвищення ефективності живильних надливів на основі результатів комп'ютерного моделювання процесів утворення усадочних дефектів у пробі Шварца (рис. 3.1) [2].

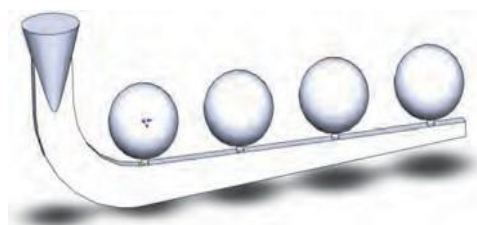


Рис .3.1 . 3D-модель проб Шварца

У ході виконання роботи були вирішені наступні завдання:

- промодельовано процеси утворення усадочних дефектів з використанням проб Шварца, методом лиття в металеву форму (кокиль), у форму з піщано-глинистої суміші (ПГС) і форму з холоднотвердіючої суміші (ХТС);
- на підставі отриманих результатів комп'ютерного моделювання підібрано ефективну геометрію надливу, що дозволяє усунути усадочні дефекти;
- виконано аналіз шляхів підвищення ефективності живильних надливів.

Комп'ютерне моделювання ливарних процесів проводили за допомогою пакета СКМ «Полігон», який дозволяє моделювати гідродинамічні процеси заповнення ливарної форми, теплові процеси при затвердінні виливків, а також утворення в них усадочних раковин, мікро- і макропористості. Для створення 3D-моделі проб Шварца і генерації кінцево-елементної сітки

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовували пакет SolidWorks . Теплофізичні параметри ливарних форм, використані при моделюванні, наведені в табл. 3.1 .

Таблиця 3.1

Теплофізичні параметри ливарних форм

Параметри	Найменування технології		
	ЛИТТЯ В КОКИЛЬ	ЛИТТЯ В ПГС	ЛИТТЯ В ХТС
Теплоємність, кДж/(м ³ ·К)	4000	1410	1600
Теплопровідність, Вт/(м·К)	42-44	0,55	0,5
Параметри теплопередачі:			
межа 1 (відливок-форма) Beta1, Вт/(м ² *К)	4000	1400	1000
межа 2 (форма-виливоч) Beta1,Вт/(м ² *К)	100	100	100
межа 3 (форма-середовище) Beta1, Вт/(м ² *К)	10	10	10

В якості сплаву при моделюванні використовували сталь 35Л, теплофізичні та усадочні властивості якої наведені в табл . 3.2 та 3.3 .

Таблиця 3.2

Теплофізичні властивості сталі 35Л

Параметр	Значення
Щільність, кг/(м ³)	7100
Теплоємність, Дж/(кг·К)	775
Теплопровідність, Вт/(м·К)	27,00-52,00
Теплота затвердіння, Дж/кг	273000
Тсол , °С	1450
Тлік, °С	1495

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3

Усадочні властивості сталі 35Л

Параметр	Значення
Зміна об'єму при плавленні, %	6,5
Термічна зміна об'єму рідкого, $1/K$ (10^6)	12
Кінематична в'язкість розплаву, $\cdot m/c$ (10^5)	1
Міцність рідкого, МПа	0,0256
« P_1 » ₁ на початку лінійної усадки	0,5
« P_1 » ₂ при закінченні гравітаційного течії	0,3
« P_1 » ₃ при повному перекритті каналів	0,1
« K_o » для формули $K_f = K_o (P_1 / P_s)^n$, m^2 (10^{13})	1
n для формули $K_f = K_o (P_1 / P_s)^n$	1,9
Спектр зміни P_s	0,00/0,02/0,04/0,0 6/0,08/1,00
Спектр зміни обсягу dV	0,00/0,02/0,04/0,0 6/0,08/1,00

П р і м і т к а . K_f – коефіцієнт фільтрації; P_1 , P_s – відповідно частка рідкої та твердої фази; K_o – експериментально визначений коефіцієнт пропорційності; n – ступінь, що характеризує тип кристалічного каркаса .

Умови заливки сталі 35Л у ливарну форму наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Умови заливки сталі 35Л у ливарну форму

Параметр	Значення
Температура заливки, °C	1545
Температура форми, °C	30

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура навколишнього середовища, °C	30
Початкова швидкість заливки, м/с	0,25

В результаті моделювання було встановлено, що криві, які характеризують зміну температури в контрольних точках проби Шварца (контрольні точки були встановлені в місцях потенційного утворення усадочних дефектів), мають монотонно спадний характер при литті в ПГС форму (рис. 3.2) (різниця в температурах становить 8–10 °C) . Аналогічний характер зміни температури має динаміка зміни рідкої фази в пробі .

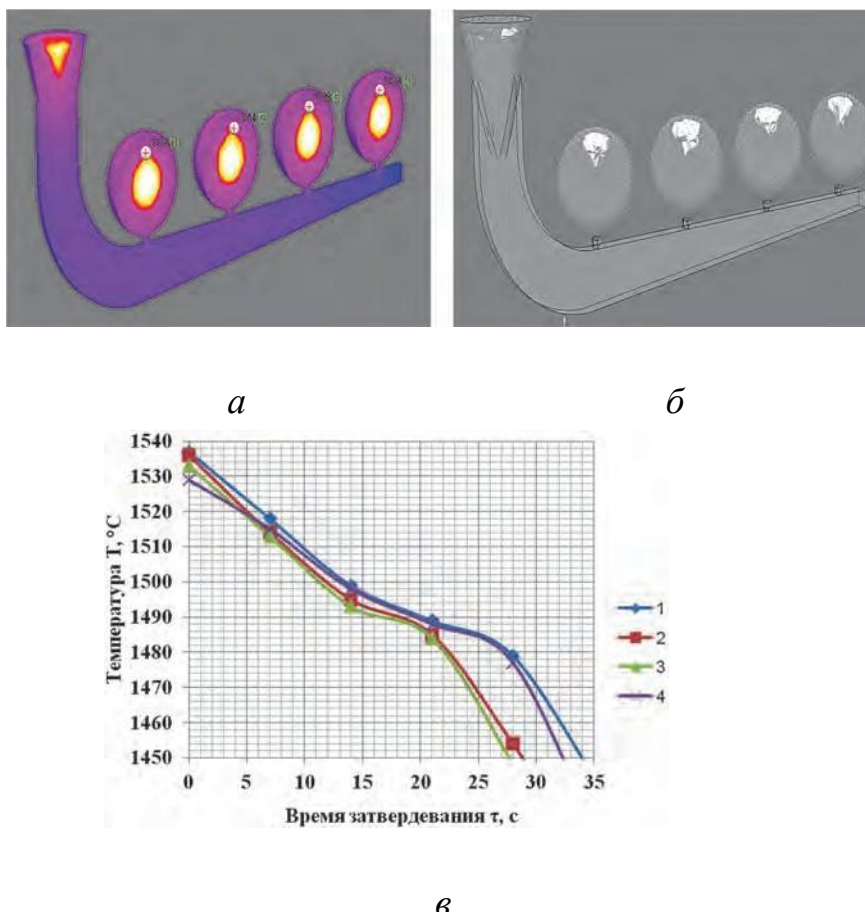


Рис . 3.2 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в ПГС форму: *а* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

З рис. 3.3 видно, що такі ж результати отримані і при литті в ХТС форму.

Аналіз отриманих результатів моделювання, що відображають ймовірність утворення усадочних дефектів при литті в ПГС форму (рис. 3.2,б) і ХТС форму (рис. 3.3,б), показує, що розміри усадочних раковин в сферичних елементах проби Шварца мають аналогічні параметри. Середня швидкість падіння температури в ПГС і ХТС формі становить 2,64 і 2,43 °C/с відповідно. Це свідчить про те, що усадочні дефекти в сферичних елементах проби Шварца утворюються за відносно однакових умов.

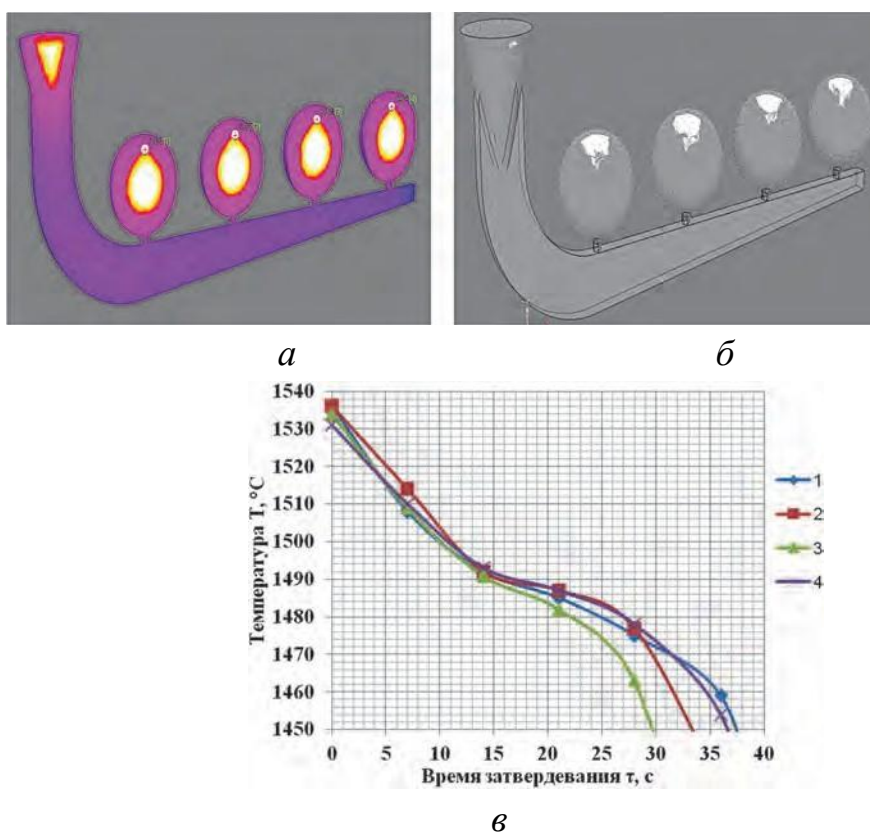


Рис . 3.3 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в ХТС форму: *а* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

Однак при дослідженні процесу утворення усадочних дефектів при литті в кокиль (рис. 3.4) встановлено, що різниця в динаміці зміни температури в контрольних точках становить 20–30 °C, що пов'язано з меншою теплоакумлюючою здатністю металевої форми і, як наслідок, більш високою

швидкістю затвердіння(4,5–8,1°C/с) сферичних елементів і всієї проби Шварца в цілому.

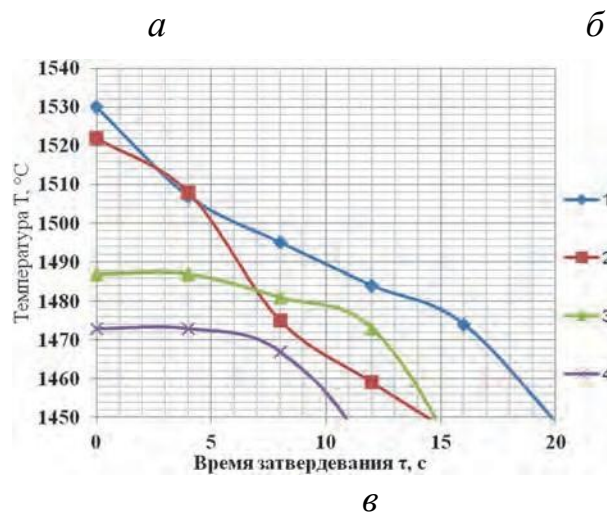
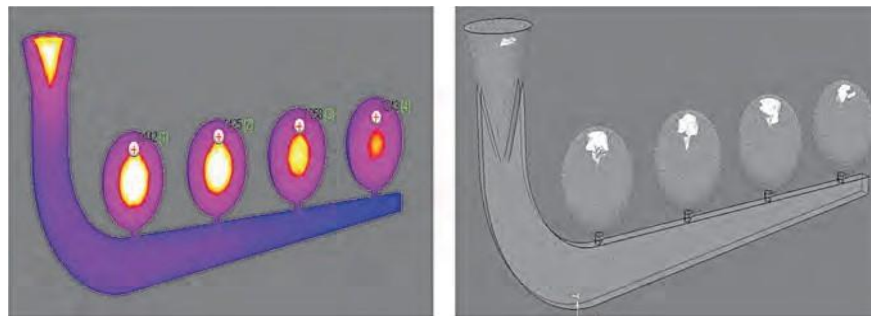


Рис. 3.4 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в кокиль: *а* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

На наступному етапі роботи, методом Й. Пржибля [4] і з урахуванням отриманих результатів моделювання, були розраховані геометричні параметри закритого надливу (рис. 3.5), об'єм ($V_{\text{пр}}$) якого визначали за формулою:

$$V_{\text{пр}} = \frac{\beta \varepsilon'_V}{1 - \beta \varepsilon'_V} v(o) ,$$

					Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

де v_0 – об'єм живленого вузла; $\varepsilon'V$ – частина об'ємної усадки сплаву, що бере участь у формуванні усадочної раковини; β – відношення об'єму надливу ($V_{пр}$) до об'єму усадочної раковини, що виникає в ній.

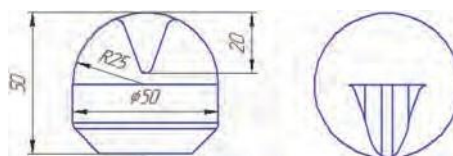


Рис . 3.5 Геометрія надливу, розрахованого методом Й.Пржибла

Конструкція проби Шварца з надливами наведена на рис . 6 . Така геометрія була промодельована з метою аналізу ефективності надливу при литті за трьома різними технологіями.

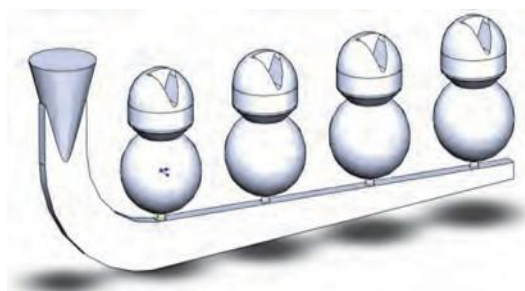


Рис . 3.6 . Проба Шварца з надливами

У зв'язку з тим, що металоємність проби збільшилася, а також з урахуванням встановленої раніше більш високої швидкості охолодження в кокилі, початкову температуру заливання розплаву збільшили на 20 °С ($T_{зал} = 1565$ °С). Решта параметрів залишилися без змін.

В результаті моделювання (рис. 3.7, 3.8) встановлено, що динаміка зміни температури в контрольних точках при литті в ПГС і ХТС має, так само як і на попередньому етапі моделювання, характер монотонно спадаючих кривих і різниться приблизно на 8–10 °С. Аналіз ймовірності утворення усадочних дефектів показує, що більша їх частина зміщується в надливи, проте незначні області все ж збереглися в тілі сферичних елементів проби Шварца. Розміри

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

усадочних раковин в надливах мають аналогічні параметри, що свідчить про відносно однакові умови формування усадочних дефектів .

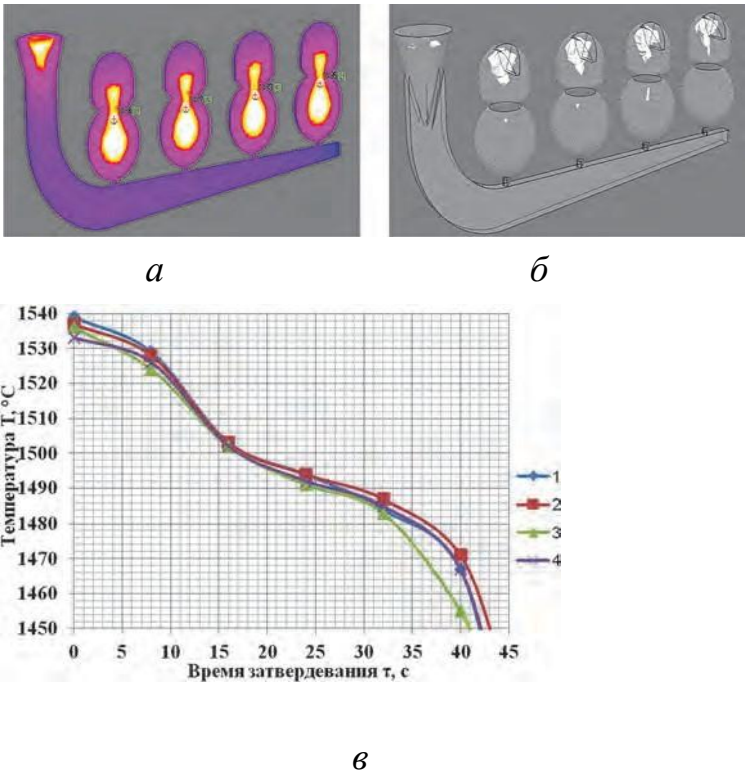
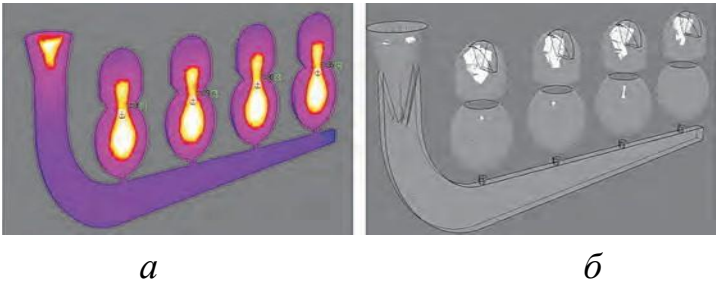
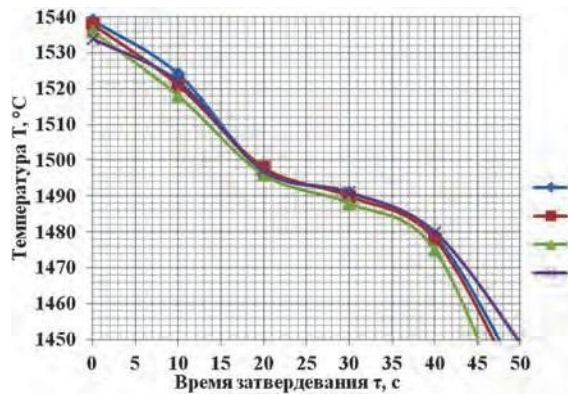


Рис . 3.7 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в ПГС форму: *а* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

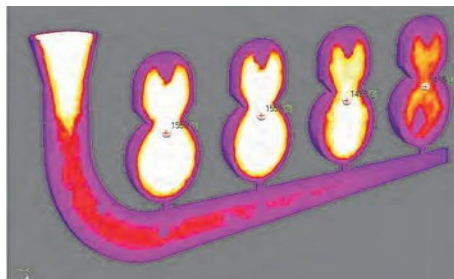




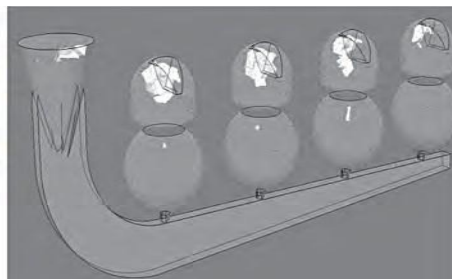
в

Рис . 3.8 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в ХТС форму: *а* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

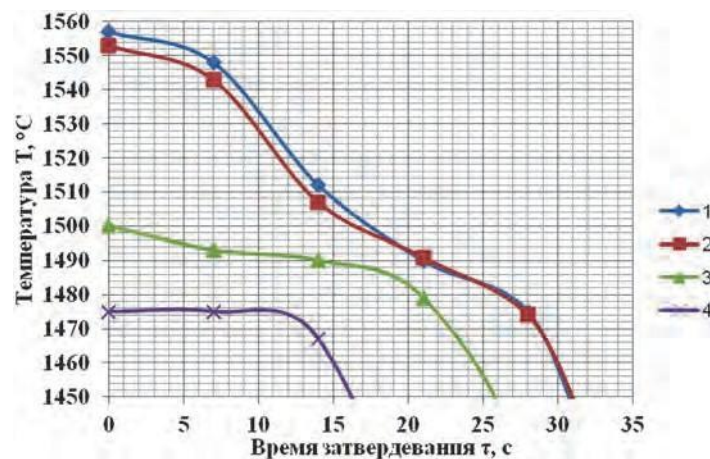
Аналіз результатів моделювання при литті в кокиль (рис. 9) показує, що, як і в попередньому моделюванні аналогічної технології, різниця в динаміці зміни температури в контрольних точках становить 20–30 °С. Також аналогічний характер зміни має і швидкість затвердіння



а



б



в

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис . 9 . Процес затвердіння і утворення усадочних дефектів при литті в кокиль: *a* – кількість твердої і рідкої фази; *б* – місця утворення усадочних дефектів; *в* – динаміка зміни температури в контрольних точках

Аналіз другого етапу моделювання дозволив встановити, що шийка надливу перемерзає незалежно від використовуваної технології виготовлення форми, в результаті чого надлив твердне раніше сферичного елемента проби Шварца і не дозволяє надливу в повній мірі виконати свою потенційну живильну функцію.

Всиновки до розділу

4 . Незважаючи на теплофізичні параметри ливарної форми (ПГС, ХТС, кокиль), величина утворюваних усадочних раковин у пробі Шварца, залитій сталлю 35Л, має аналогічні розміри .

5 . Розміри закритого надливу, які були розраховані методом Пржибила, дозволили усунути основну частину усадочних раковин, що утворюються в сферичних елементах проби Шварца

6 Шийка надливу перемерзає, в результаті чого він твердне раніше сферичного елемента проби незалежно від використовуваної ливарної форми, при цьому живильний потенціал надливу зберігається . Це говорить про те, що при доопрацюванні конструкції надливу можливо зменшити його розмірів і, тим самим, сприяти зниженню витрат при виготовленні реальних виливків .

7 . Для підвищення ефективності живлення виливки при її проектуванні необхідно враховувати результати комп'ютерного моделювання

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

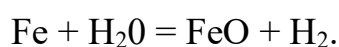
4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Причинами виникнення газових раковин є насичення воднем металу в результаті зіткнення з сирою футеровкою печей, невисушеним жолобом і ливарним ковшем, вологими стрижнем і формою. Разом з цим порушуються вимоги правил безпечного проведення технологічних процесів, що створює передумови для виникнення аварій і аварійних ситуацій. При контакті з металом, що заливається у форму зайва волога сприяє інтенсивному паротворенню. При паротворенні води її об'єм збільшується приблизно в 1250 разів. Тому при підвищеному вмісту вологи у формі можливі викиди бризок металу під час заливання форм. Водень потрапляє в сталь внаслідок використання при плавці іржавого брухту, насичених газом феросплавів, використання вологих компонентів шихти і т. д. При різкому охолодженні сталі в процесі заливання у форму відбувається різке зниження розчинності водню і його виділення з пересиченого розчину у вигляді газових бульбашок.

4.1 Фізико-хімічні властивості води і водяної пари. Молекула води складається з водню - 11,11% і кисню - 88,89% по вазі. У воді кисню міститься більше, ніж у будь-якій відомій речовині.

В порівнянні з багатьма відомими рідинами, вода має більш високу теплоємність: для нагріву 1 кг рідкої сталі на 1°C необхідно витратити тепло 0,12-0,15 ккал, а для нагріву 1 кг води на 1°C знадобиться тепло в 1 ккал, або в 7,4 разів більше, ніж для нагрівання сталі. Особливо багато тепла витрачається на перехід води в пару.

Водяна пара при зустрічах з нагрітим залізом вступає з ним в хімічну взаємодію:



						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ця реакція енергійно протікає вже при температурі заліза 400°C , а з підвищенням температури пар енергійніше взаємодіє із залізом і окислює його.

Якщо залізо і водяну пару помістити в закриту з усіх боків (ізольовану) посудину і разом нагрівати їх до високої температури, то склад газоподібної фази в посудині змінюватиметься: пара почне розкладатися з виділенням водню, причому спочатку вміст його різко підвищиться за рахунок зменшення кількості водяної пари, а потім, з підвищенням температури, вміст водню декілька знизиться, але залишиться високим навіть при 1200°C .

Вода при зустрічі з розжареним залізом внаслідок хімічної взаємодії розкладається з виділенням у вільному виді водню (H_2). За відомих умов водень з повітрям утворює вибухонебезпечну суміш, яка при займанні вибухає.

З вказаних вище фізико-хімічних властивостей води витікає, що вона має наступні особливості:

1. Вода дуже міцна хімічна сполука, що майже не розкладається на газоподібні складові - водень і кисень - при нагріванні її до температури 2000°C ;

2. При атмосферному тиску вода кипить і переходить в пару поступово і порівняно повільно. За таких умов неможливо нагріванням ззовні добитися миттєвого переходу в пару навіть невеликого об'єму води. Якщо ж кипіння води відбувається під значним тиском і з яких-небудь причин тиск раптовий (дуже швидко) знижується до атмосферного, то вода виявляється перегрітою і миттєво, з вибухом, уся переходить в пароподібний стан.

3. Вода має високу теплоємність, а водяна пара низькою теплопровідністю.

4. При нагріванні води до температури $4000-5000^{\circ}\text{C}$ 3 молекули води з вибухом розкладаються на газоподібні складові - водень і кисень.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Вибух може статися при займанні вибухонебезпечної суміші, що складається з водню, що утворюється при реакції: $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} = \text{FeO} + \text{H}_2$ і повітря (чи кисню) навколишньої атмосфери.

6. Вибух може статися, якщо в замкнутій посудині (котлі) підвищувати тиск пари до величини, що перевершує міцність стінок посудини (котла).

4.2 Вибухи у разі розливання рідкого металу або шлаку. Розливання рідкого металу або шлаку на вологі підлогу, ґрунт, матеріали або мокрі конструкції зазвичай супроводжуються вибухами або хлопаннями з викидом рідкого металу або шлаку. Вибухи і хлопання також відбуваються і при випуску металу по не просушених жолобах або при сливі в ківш з погано просушеним футеруванням.

Причини цих вибухів ще погано вивчені, але не підлягає сумніву, що вони пов'язані з утворенням пари внаслідок контакту рідких розжарених мас з водою. Вибухи і хлопання відбуваються тільки у тому випадку, якщо метал (чи шлак) знаходиться в рідкому стані, і їх не буває, якщо метал (чи шлак) знаходиться в твердому виді, хоч би нагрітому до високих температур, близьких до температур плавлення металу (чи шлаку).

Розглянемо процеси, які відбуваються між пролитим розплавленим металом (чи шлаком) і водою, що міститься в змоченому піску.

Як тільки пролитий метал (2) торкнеться вологого піску (1) (рис. 4.1), між ним і поверхнею піску утворюється паровий прошарок, через який надалі і відбуватиметься перехід тепла від металу до вологого піску.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

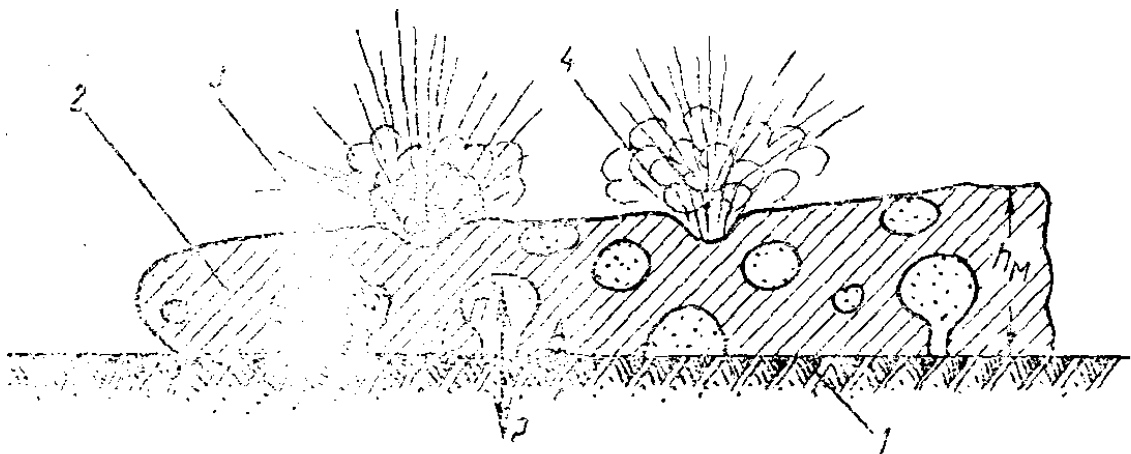


Рис. 4.1. Схема вибуху у разі розливання рідкого металу на вологий пісок

Пара має дуже низьку теплопровідність, його коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,022$ ккал/м год $^{\circ}$ С нижчий коефіцієнта теплопровідності самого кращого ізоляційного матеріалу, який застосовується в техніці - скляної вати ($\lambda = 0,032$ ккал/м год $^{\circ}$ С).

За таких умов втрати тепла металом у вологий пісок будуть відносно невеликими і на поверхні металу, що прилягає до піску, кірка утворюватиметься дуже повільно. Тиск же пари в прошарку, через відсутність вільного для нього виходу, увесь час підвищуватиметься.

Якщо узяти точку А, що лежить в центрі парового прошарку між металом і вологим піском, то пара (3), що утворилася в цій точці, не може піти вниз через вологий пісок (Р) і через контактну поверхню між металом і піском (К). Найменший опір для виходу пари назовні робитиме рідкий метал, що знаходиться над точкою А.

В такому разі тиск пари прошарку досягне такої величини, що він проб'є слабку, ще не зміцнілу металеву кірку і у вигляді окремих бульбашок проникне в середу рідкого металу. У середовищі металу, пара нагрівається, переходить з вологого в сухий і взаємодіє з навколишньою металевою оболонкою.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На нагрів пари у бульбашках і на хімічні взаємодії його з навколишньою оболонкою витрачається багато тепла, що призводить до твердіння навколишньої металевої оболонки і розміри бульбашок стають фіксованими.

Нагрівання пари і водню в ізольованій бульбашці триватиме до тих пір, поки тиск їх не досягне межі міцності затверділої навколишньої металевої оболонки. Але як тільки воно досягне цього значення, оболонка розірветься на частини і газу будуть з великою силою викинуті назовні. Станеться вибух (див. мал.).

Сила звуку вибуху залежить від в'язкості металу і від товщини його шару (h_n): чим більше в'язкість, тобто чим більше метал охолодиться і чим товщина його шару більша, тим звук вибуху сильніший.

Досліди в лабораторії показують, що при тонкому шарі пролитого металу ніяких вибухів не буває: метал як би кипить, коли через його шар проходить пара.

Після розриву металевої оболонки бульбашки пар і водень викидаються в навколишню атмосферу, водень зустрічається з повітрям і може утворитися і вибухова суміш, яка, залежно від умов, згорає фіолетовим полум'ям або вибухає і тоді чується хлопання або лунає звук вибуху.

4.3 Вибухи при сливах рідкого металу у воду. При сливах великого струменя рідкого металу у воду відбуваються вибухи. Суть цього явища погано вивчена, що пояснюється трудністю проведення дослідів. Просте пояснення вибухів ґрунтується на миттєвому випарі води внаслідок контакту розплавленої маси металу з водою; пара має об'єм в 1600 разів більший, ніж об'єм вологи, що випарувалася, що і створює ударну хвилю, що викликає викиди і звук вибуху. Аналогічні вибухи відбуваються і при сливах у воду великого струменя шлаку.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЛИВАРНИХ ДЕФЕКТІВ

Дефекти виливків можуть негативно вплинути на отримання замовлень на литу продукцію і відповідно на величину прибутку підприємством, що їх виготовляє. Ліквідація описаних в даній роботі дефектів призведуть до додаткових витрат на відбракування виливків, їх переплавку та переробку або потреби в додаткових матеріалах для усунення дефекту.

Найгірший сценарій для виробника – це коли дефекти лиття виявляються під час механічної обробки, формування замовлення або під час використання деталі. Останнє передбачає можливість отримання виробником рекламаций від замовника та сплати підприємством постачальником лиття штрафів за невідповідність якості. За результатами досліджень ринку ливарної продукції іноді ці витрати можуть перевищувати навіть вартість поставленої продукції.

Проблеми появи дефектів можуть бути пов'язані не тільки з технологічними особливостями ливарного процесу, а й з рівнем підготовки працівників щодо своєчасного їх виявлення і виправлення. Тобто персонал ливарного виробництва не завжди має час або досвід для проведення ретельного аналізу дефектів лиття та визначення причин, щоб вжити ефективних коригувальних заходів для запобігання повторенню дефектів. Для оптимізації контролю за дефектністю продукції могло б допомогти впровадження комплексної системи якості на всіх етапах підготовки та виробництва виливків із залізовуглецевих сплавів.

Така система управління якістю зазвичай поєднує інструменти організаційного управління в єдиний безперервний ланцюг дій, який дозволяє бізнесу досягати бажаних цілей відповідно до його місії. Головне для підприємства це отримати найвищий рівень вигоди у вигляді прибутку від

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реалізації лиття за найнижчих витрат на виробництво високоякісної продукції, придатної для продажу.

До основних принципи управління для забезпечення конкурентних переваг при виробництві виливків із залізовуглецевих сплавів можна віднести:

- професійну підготовку всіх видів технологічної документації та дотримання режимів процесу виготовлення лиття. Також важливо фіксувати появу дефектів для того, щоб їх можна було своєчасно усунути ще на етапі виробництва;
- чітке дотримання вимог замовника до якості продукції;
- використання таких методів управління, які б забезпечили високий рівень ефективності контролю за якістю на всіх етапах виробництва лиття та під час його доставки до замовника;
- переорієнтація компетентностей персоналу на підвищення рівня якості та формування мотиваційної компоненти за випуск якісної продукції;
- постійна оптимізація виробничих процесів з метою забезпечення якості.

Так як під час виробництва виливків можуть виникати різні види дефектів, залежно від матеріалу, з якого вони виготовлені, та використаної технології лиття, то для використання зазначених принципів системи контролю за якістю важливим є розуміння причин їх виникнення.

Якщо узагальнювати підхід до забезпечення якості, то можна сформулювати основні типи дефектів, що дозволяють визначати черговість реакції на їх появу та розробку заходів подолання їх виявлення при наступному циклі виробництва. Це, по перше суттєві дефекти, які неможливо виправити, що призводять до повної втрати виливка і неможливість його реалізації, а відповідно і неможливість підприємству компенсувати собі витрати на їх виготовлення. Також необхідно враховувати дефекти другого типу – які можна виправити в процесі виготовлення, але вартість цього процесу не компенсує собівартість самого виливка. І незначні дефекти, які

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можна ліквідувати в процесі виготовлення з незначними додатковими витратами.

На основі матеріалу попереднього розділу виявили, що найбільш поширеним видом не відповідності якісним показникам виливок з залізовуглецевих сплавів є дефекти усадочного походження (брак може досягати 20%). Якщо розглядати цей вид дефектів з точки зору їх класифікації, то можна сказати, що вони відносяться до третього типу. Тобто в процесі виготовлення лиття їх можна мінімізувати, в тому числі користуючись результатами комп'ютерного моделювання процесу.

Також ми передбачили, що при оптимізації конструкції надливу, його розмір зменшується. Це позитивно впливає на величину витрат при виготовленні виливків. Тож для визначення економічної ефективності використаємо порівняння витрат на виготовлення виливків із залізовуглецевого сплаву. Витрати до впровадження удосконалення визначали на основі вивчення ринкових рівнів витрачання основних та допоміжних матеріалів, необхідних для виготовлення залізовуглецевих виливків. Також враховували поточні рівні їх вартості та рівні реальних витрат на оплату праці працівників ливарної галузі. Представлена в табл. 5.1 інформація відповідає витратам на виробництво 1 т виливків на базовому рівні сформована укрупненим способом.

Таблиця 5.1 – Витрати на виготовлення 1 т виливків із залізовуглецевого сплаву (базовий рівень)

Витрати	Витратний коефіцієнт	Величина, грн.
Основні матеріали	1,42	7650,5
Відходи і брак	0,42	520,1

Всього		7130,6
Допоміжні матеріали	0,12	1568,2
Енергетична складова		3306,9
Формувальні матеріали	0,85	473,3
Всього матеріали		12479,0
Оплата праці		1448,1
Відрахування (ЄСВ)		318,6
АВ		511,8
На відновлення (ремонт) устаткування		378,0
Інші витрат		492,1
Разом		15627,6

Розрахована в табл. 5.1 величина це виробничі витрати. Зазвичай крім виробничих в повну собівартість включають витрати на підготовку до реалізації та транспортування до місця призначення (замовнику). Ці додаткові витрати встановлюємо на рівні 25%. Тоді повна собівартість становитиме

$$C_{\text{повн}} = 15627,6 \times 1,25 = 19534,5 \text{ грн./т}$$

Так як економічна вигода визначається не просто витратами, а ще й прибутком, то враховуючи середньо ринкову вартість 1 т виливків із залізовуглецевого сплаву на рівні 22500 грн./т, прибуток дорівнюватиме

$$П = 22500 - 19534,5 = 2965,5 \text{ грн./т,}$$

а ефективність виробництва

$$E_{\text{ф.вир}} = \frac{2965,6}{19534,5} = 0,15 \text{ або } 15\%.$$

З урахуванням удосконалення технології виготовлення виливків із залізовуглецевих сплавів литтям у піщані форми за впровадженням заходів із запобігання дефектів собівартість зміниться. За рахунок зменшення браку та

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно підвищення виходу якісних виливків – вартість використаних в процесі виготовлення основних матеріалів зменшиться на 5%

$$\Delta B_{\text{оснМ}} = 7130,6 - 7130,6 \times 0,95 = -356,5 \text{ грн./т}$$

Якщо використовувати комп'ютерне моделювання процесу, то це передбачає додаткове устаткування та витрати на електроенергію. Амортизація та витрати на ремонт збільшаться на 1,2%. А витрати на енергоносії на 1,5%. Тож додаткові витрати дорівнюватимуть

$$\Delta B_{\text{елн}} = 3306,9 \times 1,015 - 3306,9 = +49,6 \text{ грн./т}$$

$$\Delta B_{\text{АВ+рем}} = (511,8 + 378,0) \times 1,012 - 889,8 = +10,7 \text{ грн./т}$$

Загальна величина економії

$$\Sigma \Delta B = 365,5 - 49,6 - 10,7 = 305,2 \text{ грн./т}$$

Повна собівартість після удосконалення

$$C'_{\text{повн}} = 19534,5 - 305,2 = 19229,0 \text{ грн./т}$$

Так як якість виливків покращується, ціна реалізації збільшиться на 2%

$$\Pi' = 22500 \times 1,02 = 22950,0 \text{ грн./т}$$

Тоді нові значення прибутку й ефективності виробництва відповідно становитимуть

$$\Pi' = 22950,0 - 19229,0 = 3721,0 \text{ грн./т,}$$

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а ефективність виробництва

$$Еф'_{\text{вир}} = 3721,0 / 19229,0 = 0,19 \text{ або } 19\%.$$

Показники, що підтверджують економічну доцільність представлені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники порівняння технології виготовлення виливок з урахуванням заходів зі зменшення дефектів

Показник	до	після	Зміна величини	
	зменшення дефектів		Δ	%
Повна собівартість 1 т виливків, грн.	19534,5	19229,0	-305,6	-1,56
Економія, грн. отримана за рахунок оптимізації				
- використання матеріалів			-356,5	
- використання електроенергії			+49,6	
- амортизації та ремонт устаткування			+10,7	
Ціна виливків, грн./т	22500	22950,0	+450	+2,0
Прибуток, грн./т	2965,5	3721,0	+756,0	+25,47
Ефективність виробництва, %	15	19	+4	+26,7

Проаналізувавши інформацію надану в табл. 5.2 можна зробити висновки, що при впровадженні заходів з покращення якості лиття

- за рахунок виходу придатного вартість матеріалів зменшиться на 356,5 грн./т. І навіть при збільшенні витрат на електроенергії (на 49,6 грн./т) та на амортизацію, що використовується для відновлення устаткування, на 10,7 грн./т – повна собівартість випуску залізобетонних виливків зменшиться на 1,56%;

					Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

- за рахунок зменшення кількості дефектів ціна продукції може збільшитися на 450 грн./т, що забезпечить зростання прибутку на 25,47%;
 - ефективність виробництва збільшиться з 15 до 19%,
- що й доводить економічну вигоду удосконалення технології виготовлення виливків та впровадження заходів з контролю за рівнем його дефектів в процесі виробництва.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі здійснено системний аналіз дефектів виливків залізовуглецевих сплавів, зокрема газових та усадкових раковин, визначено їх морфологічні особливості, умови виникнення та вплив технологічних параметрів на формування браку.

Встановлено ключові технологічні фактори появи газових дефектів: підвищена вологість формувальних і стрижневих сумішей, газонепроникність стрижнів, наявність газів у металі, порушення температурних режимів заливки та недостатня вентиляція форми.

Проаналізовано методики розрахунку надливів та обґрунтовано оптимальний вибір коефіцієнтів запасу. Доведено, що коректний підбір параметрів надливної системи суттєво знижує імовірність формування усадкових раковин.

Проведене моделювання процесу лиття проби Шварца дозволило визначити оптимальні параметри технології, за яких забезпечується спрямована кристалізація та мінімізується ризик утворення внутрішніх дефектів у виливках.

Обґрунтовано комплекс заходів для зниження газових та усадкових дефектів, включно з контролем вологості сумішей, оптимізацією вентиляційних каналів, регулюванням температури заливки та рафінуванням металу.

У санітарно-екологічній частині встановлено перелік небезпечних факторів ливарного виробництва та запропоновано заходи захисту працівників — модернізація вентиляційних систем, тепловий захист, мінімізація впливу газів та пилу.

Економічна оцінка підтвердила ефективність запропонованих технологічних рішень, показавши, що впровадження оптимізованих методів підготовки металу, сушіння форм, вентиляції та моделювання процесів лиття

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

знижує кількість браку і забезпечує економію матеріальних та енергетичних ресурсів підприємства.

1.

						Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		