

УДК 681.5:621.74

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.141303

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ ОДЕРЖАННЯ ВИЛИВКІВ

О. Й. Шинський

Доктор технічних наук, професор, завідувач відділом*

І. А. Шалевська

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: into66@ukr.net

П. Б. Калюжний

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*

В. О. Шинський

Науковий співробітник*

Т. В. Лисенко

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри

Кафедра технології та управління ливарними процесами

Одеський національний політехнічний університет

пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

Т. В. Шевчук

Директор

ТОВ «ПІ.ПІ.ЕМ. ЮКРЕЙН»

вул. Звіринецька, 63, м. Київ, Україна, 01014

В. А. Слюсарев

Комерційний директор**

Є. В. Погребач

Інженер**

С. В. Коломійцев

Інженер**

*Відділ фізико-хімії ливарних процесів

Фізико-технологічний інститут металів

та сплавів НАН України

бул. Вернадського, 34/1, м. Київ, Україна, 03142

**ТОВ «МК БудІнвестСервіс»

пров. Куренівський, 15, м. Київ, Україна, 04073

Для створення багаторівневої системи комплексного контролю та оперативно-го управління фізико-хімічними та технологічними ливарними процесами визначено детермінований зв'язок між технологічними об'єктами, Ці об'єкти беруть участь в процесах плавки, позапічної і теплової обробки при виробництві виливків з високоміцного чавуну. Це дало можливість розробити блок-схему вибору і оптимізації основних технологічних параметрів, геометрії ливникових систем для одержання виливків за моделями, що газифікуються.

Для забезпечення безперервного контролю за безліччю параметрів технологічних процесів, устаткування та стану екологічної безпеки було визначено основні фактори впливу технологічних параметрів. З цією метою застосовано діаграму Ішікави для оцінки ефективності впливу параметрів і ливарних об'єктів при литті за моделями, що газифікуються, на якість виливків і екологію навколишнього середовища. Встановлено доцільність використання діаграми Ішікави для теорії і практики ливарного виробництва. Розроблено методики з використанням діаграми Ішікави, які дозволяють ідентифікувати і встановити детермінований вплив чинників першого, другого, третього порядку на технологічні процеси і ливарні об'єкти, а також екологію навколишнього середовища. Також дають можливість визначити ефективність використання діаграми Ішікави при отриманні високоякісних литих виробів із залізобуглецевих сплавів, включаючи високоміцний чавун.

Отримані основні дані про ідентифікацію ливарних об'єктів і процесів, як повного циклу виробництва високоміцного чавуну і виливків з нього за моделями, що газифікуються. Це дозволить побудувати багаторівневу систему контролю параметрів повного технологічного циклу з використанням сучасних комп'ютерних інформаційних технологій, а також моніторингу екологічного стану ливарних об'єктів та визначити їх вплив на навколишнє середовище

Ключові слова: якість виливка, високоміцний чавун детермінований зв'язок, чинники впливу, діаграма Ішікави

1. Вступ

Сучасні технології отримання литих конструкцій багатоконтурні і в першу чергу можуть бути представлені технологічними переділами, які включають плавильні процеси та позапічну обробку сплавів, різновиди сучасних методів формоутворення і способів термічної

обробки. Сукупність цих технологічних переділів і відповідного типу устаткування, за допомогою якого можлива реалізація цих взаємозв'язаних процесів і технологій, визначають якість і конкурентоспроможність ливарної продукції в Україні та Західній Європі.

Важливо підкреслити, що комплекс взаємопов'язаних технологічних переділів має багаторівневу детерміновану

багатокомпонентну систему з відповідними технологічними процесами, матеріалами й устаткуванням. Така комплексна інтегрована система може бути стабільною та визначати можливість отримання виливків з високим рівнем заданих властивостей лише за певних умов. Тобто це можливо при забезпеченні безперервного контролю за безліччю параметрів технологічних процесів, устаткування та стану екологічної безпеки.

Тому на сьогодні для ливарного виробництва актуальною є розробка автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) та ідентифікації контрольованих показників і визначення факторів впливу технологічних параметрів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В сучасній науковій періодиці, яка присвячена управлінню ливарними процесами, дослідження, як правило, стосуються автоматизації, оптимізації та керуванню певними технологічними операціями. Зокрема, в роботі [1] автори дослідили вплив усадкової пористості на формування залишкової напруги на прикладі проектування технології для конкретного вилівка та розглянули вплив окремих технологічних факторів. Формування загальної схеми комп'ютерно-інтегрованої схеми управління процесу плавки в електродуговій печі описано в роботі [2]. Також, розглянуті процеси автоматизації керування кокільною машиною з складанням алгоритму для послідовного виконання операцій, важливі з точки зору автоматизації виробництва [3]. Не зважаючи на практичну значимість таких результатів раціональніше для керування якістю вилівка розглядати повний цикл його виготовлення від розрахунку шихти (чи проектування технології) до виконання фінішних операцій (чи термічного оброблення). При цьому є сенс ідентифікувати технологічні параметри ливарних процесів для керування якістю виливків та автоматизації технологічних операцій. Є досвід використання принципу типізації для формування аналітичного опису керованих технологічних процесів ливарного виробництва [4]. Однак в наведених роботах недостатньо використано системний підхід визначення основних факторів на властивості та якість продукції.

Системний підхід у виявленні основних факторів впливу на якість продукції можливий при використанні діаграми Ішікави [5], яка є аналітичним інструментом для перегляду впливу можливих факторів і виділення найбільш важливих причин, дія яких породжує конкретні наслідки й піддається керуванню. В основному діаграма Ішікави використовувалась в системі менеджменту, як доповнення до існуючих методик логічного аналізу та покращення якості процесів в промисловості [6, 7]. Автори робіт [8, 9] використовують діаграму Ішікави для керування бізнес-процесами та визначення основних факторів на якість процесу та економічні показники, при цьому не розглядаються технологічні процеси.

Існують приклади [10, 11] успішного використання діаграми Ішікави для виявлення причинно-наслідкового взаємозв'язку якості лиття з технологічними параметрами виготовлення вилівка. Однак, як уже зазначалося, в даних роботах розглядаються лише певні етапи процесу одержання вилівка та не враховуються показники ливарної форми та вплив на навколишнє середовище.

Автоматизація та керування ливарними процесами розглядаються в роботі [12] з точки зору автоматизації операцій, а не впливу на кінцевий продукт. Отримані в роботі [13] основи газогідродинамічних процесів при литті за моделями, що газифікується, дозволяють розглядати залежності між зовнішнім впливом на форму і метал та технологічними параметрами процесу, наведені параметри викидів шкідливих речовин. Однак не визначено детермінований зв'язок між параметрами технологічного процесу. Авторами роботи [14] досліджено процес інтенсифікації твердіння виливків введенням в пінополістиролову модель металічної фази для армування та визначені умови і закономірності тепломасообміну та гідродинаміки. При цьому слід зазначити, що всі отримані дані та математичні моделі для подальшого використання в АСКТП для ливарного виробництва потребують систематизації та визначення основних параметрів впливу на якість литва та стан навколишнього середовища.

Для побудови та ідентифікації системи контролю процесу вибрано лиття за моделями, що газифікуються, як найбільш перспективний метод лиття та «гнучкий» в плані керування структурою та властивостями вилівка. В даному методі лиття ливарна форма може використовуватися як активно-функціональна система та інструмент для керування структурою та властивостями вилівка [15]. Однак досліджені в даній роботі нові методи направлено впливу на вилівок під час його формування та параметри впливу на якість вилівка не враховують показники при виготовленні сплаву та впливу технології на навколишнє середовище.

Проведений огляд дає можливість стверджувати, що процес лиття за моделями, що газифікується, має безліч факторів, які впливають на кінцевий результат – якість вилівка. Тому виникає необхідність систематизації та класифікації технологічних параметрів виготовлення лиття за моделями, що газифікуються, та визначення детермінованого зв'язку між технологічними об'єктами. Для подальшого використання в створенні комп'ютерних інтегрованих інформаційних технологіях (ІТ) і АСКТП для ливарного виробництва необхідна розробка багаторівневої системи комплексного контролю та оперативного управління.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є створення теоретичних, технологічних засад багаторівневої системи комплексного контролю та оперативного управління фізико-хімічними та технологічними процесами, моніторингу стану ливарних об'єктів. Ці ливарні процеси та об'єкти приймають участь у виготовленні виливків за моделями, що газифікуються, з залізовуглецевих сплавів. Створена багаторівнева система в подальшому може бути використана в комп'ютерних інтегрованих інформаційних технологіях (ІТ) та АСКТП для ливарного виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести дослідження детермінованого зв'язку між технологічними об'єктами (матеріали, технології, обладнання, екологія), що беруть участь в ливарних процесах виготовлення виливків з високоміцного чавуну, моніторингу екологічної безпеки;

– розробити блок-схему вибору та оптимізації основних технологічних параметрів, геометрії ливникових систем для одержання виливків за моделями, що газифікуються, із гравітаційним заливанням металу у форму;

– визначити основні фактори впливу технологічних параметрів на ливарний об'єкт при виготовленні виливків з високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що газифікуються;

– розробити діаграму Ішікави для визначення параметрів якості литва та впливу технологічних параметрів на утворення шкідливих викидів при виготовленні виливків з високоміцного чавуну методом лиття за моделями, що газифікуються.

4. Методи визначення взаємозв'язку ливарних параметрів та їх впливу на якість виливка

Для визначення параметрів щодо ідентифікації матеріалів та ливарних процесів, що приймають участь у створенні виливків з заданими експлуатаційними характеристиками та кількості джерел безперервного знімання інформації для контролю, використано створені математичні моделі. Ці моделі описують закономірності технологічних процесів плавки, позапічної, теплової обробки залізобетонних сплавів та виливків з них. А також описують різновиди сучасних методів формоутворення з використанням фізичних методів зміцнення ливарних форм та моделей, що газифікуються, та комплексну взаємодію технологічного устаткування і екологічного стану ливарних об'єктів.

З метою визначення основних чинників впливу на ливарний об'єкт, технологічний процес та кінцевий продукт – литу конструкцію було використано діаграму Ішікави. Це дало можливість встановити взаємозв'язок між основними чинниками, а також детермінований вплив другого рівня на основні параметри, а третього рівня – на параметри другого рівня.

5. Класифікація та ідентифікація якості виливків і масиву параметрів управління технологічними процесами

Дослідження присвячені повному циклу виготовлення виливків з високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що газифікуються. При цьому використовувалися математичні залежності, які детально описані в роботах [13, 15, 16].

5. 1. Дослідження детермінованого зв'язку між технологічними об'єктами

На першому етапі було встановлено детермінований взаємозв'язок між параметрами різних технологічних переділів. Ці переділи визначають повний цикл виготовлення виливків, включаючи плавильний, позапічну обробку, формоутворення і виробництво газифікованих моделей, а також теплової обробки литих виробів, який представлений на рис. 1.

Блок-схема (рис. 1) побудована з урахуванням первинних зв'язків технологічних переділів і використання ядра цього технологічного ланцюжка, а саме формоутворення і виробництва пінополістиролових моделей. Спо-

чатку класифікуються ознаки якості і параметрів управління технологічними процесами для отримання литих конструкцій із залізобетонних сплавів.

З метою досягнення максимальної якості виливків, у тому числі підвищення механічних характеристик, для ливарних форм використовуються такі дисперсні неметалічні наповнювачі: кварцовий, цирконовий та магнетитовий пісок.

Для забезпечення інтенсифікації теплообміну в контактній зоні «метал – форма» застосовували газоподібні та рідкі холодоагенти, а також накладення високого механічного тиску на рідкий і тверднучий метал. Ці нові розробки є основою інтенсифікації теплообмінних процесів у вакуумованій формі із заданою теплоакмулюючою здатністю (блок 4.1, рис. 1), та продувкою останньої газоподібними холодоагентами (блок 4.2, рис. 1).

Ефективне підвищення розмірної точності литих конструкцій може бути досягнуто шляхом армування пінополістиролових моделей металевими та неметалічними тілами, які одночасно є й армуючою фазою (блок 2.3, рис. 1).

Зниження шорсткості литих конструкцій забезпечується збільшенням щільності пінополістиролу за умови застосування «легких» моделей, що газифікуються, з орієнтованою пористістю (блок 2.5, рис. 1).

Крім перерахованих характеристик якості литої конструкції, у класифікатор увійшли й небажані характеристики, набуті в процесі технологічних переділів одержання виливків за моделями, що газифікуються, тому що наявність дефектів у виливках веде до зниження якості литих конструкцій. Поверхневі дефекти на виливку (раковини) (блок 1.12, рис. 1) виникають за умови порушення термочасових параметрів заливання металу у форму з моделлю, що газифікується. Також раковини можуть утворюватись через перевищення щільності моделі ρ_5 допустимого значення, низької газопроникності покриття $K_{\text{пл}}$ та форми $K_{\text{ф}}$, а також створюваного в ній неприпустимо низького розрідження $P_{\text{в}}$. Це знижує швидкість або виключає фільтрацію рідких і парогазових продуктів термодеструкції моделі через зазор «метал-модель» δ , площа якого та опір міграції цих продуктів з форми залежить від швидкості W_1 ($W_{5-\text{const}}$), $K_{\text{пл}}$, $K_{\text{ф}}$. Збільшення об'єму парогазових і рідких продуктів термодеструкції, що утворюються, залежить від швидкості W_1 ($W_{5-\text{const}}$), часу заливання t_3 , температури заливання сплаву T_3 , тиску на метал P_1 , щільності моделі ρ_5 , що газифікується, зазору δ та товщини стінки виливка R_1 . Ці фактори стимулюють нагромадження продуктів термодеструкції безпосередньо на межі «метал-покриття» при затвердінні виливка. Утворення специфічного пригару (блок 1.9, рис. 1) на виливках відбувається при недостатньому віброущільненні наповнювача в контейнері. Таке відхилення характеризується низьким показником його об'ємної щільності ρ_4 , високим тиском на рідкий метал P_1 , що характерно при литті під високим тиском, необгрунтовано високою температурою заливання сплаву T_3 . До того ж величина пригару визначається високою газопроникністю покриття $K_{\text{пл}}$ та форми K_4 і розрідженням у ній $P_{\text{в}}$. При цьому утворення пригару при литті за моделями, що газифікуються, відбувається при проникненні рідкого металу через пори в протипригарному покритті під дією градієнта тиску ($P_1 - P_{\text{в}}$). Тобто ймовірність утворення пригару та його товщина пропорційні збільшенню значення цих показників.

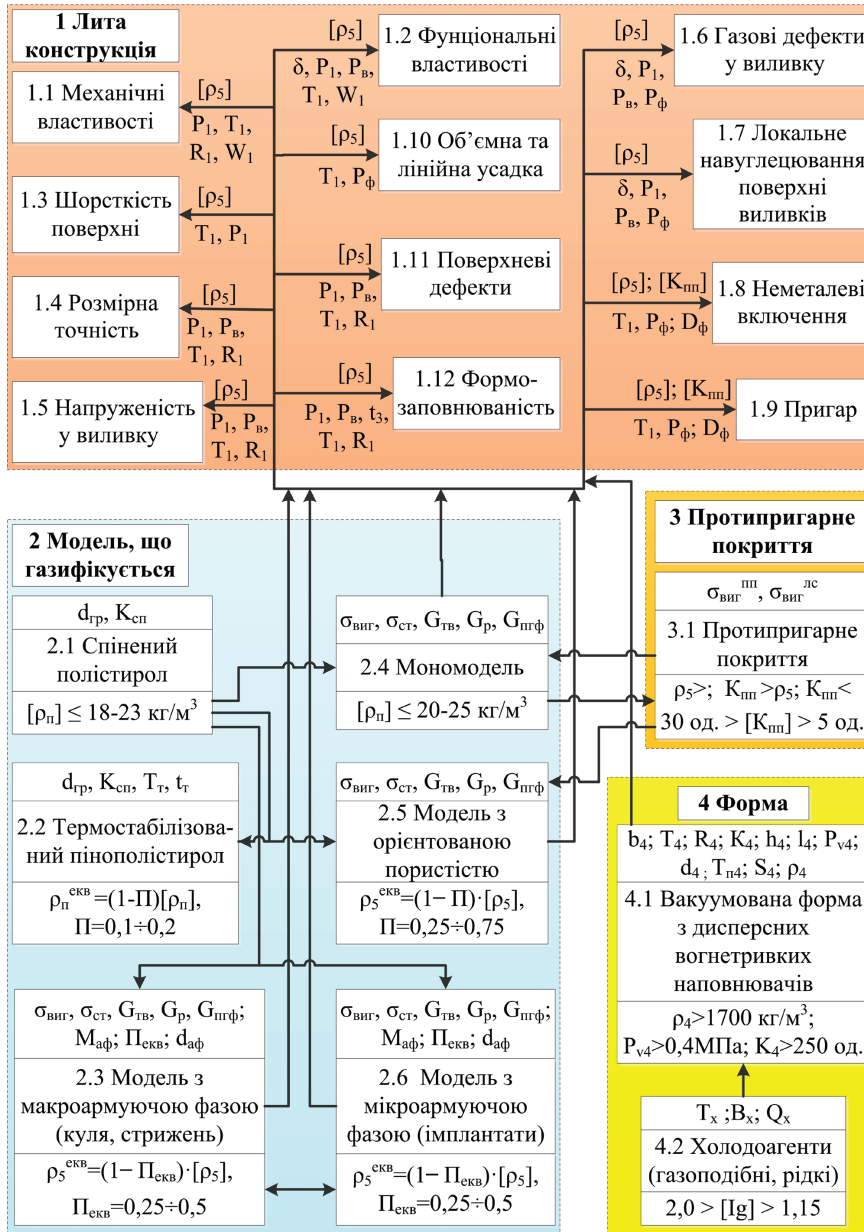


Рис. 1. Основні характеристики якості литих конструкцій та параметри управління якістю виливків при литті за моделями, що газифікуються

Формозаповнюваність (блок 1.12, рис. 1) при литті з використанням пінополістиролових моделей у багатьох випадках залежить від щільності моделі ρ_5 , швидкості заповнення форми W_1 , часу заливання t_3 , температури сплаву, що заливається, T_3 , тиску на метал P_1 і товщини стінки виливка R_1 . Збільшення щільності ρ_5 при одночасному збільшенні швидкості W_1 , часу газифікації моделі в цей період t_3 , веде до нагромадження на фронті потоку металу великої кількості рідких продуктів термодеструкції пінополістиролової моделі. Подальша газифікація цих продуктів відбувається з поглинанням теплоти рідкого металу, що веде до його переохолодження й формування твердої фази в основній частині потоку, а останнє приводить до передчасної зупинки потоку металу і неповного заповнення ним форми.

Напруги у виливку (блок 1.5, рис. 1) при литті за моделями, що газифікуються, виникають переважно у вакуумованій формі. Вони пов'язані з надлишковою

тривалістю вакуумування наповнювача в контейнері (P_1, t_b) у період затвердіння й охолодження виливка, що усуває піддатливість форми. Тож створює умови для збільшення напруг у виливках аж до їхнього короблення та утворення тріщин. Для зниження рівня або зняття напруг у виливках необхідно оптимізувати тривалість вакуумування форми.

Ливарна усадка (блок 1.10, рис. 1) при литті за моделями, що газифікуються, збільшується при високій піддатливості наповнювача форми в період затвердіння виливка після зняття вакууму з контейнера. Для стабілізації рівня ливарної усадки виливків необхідно оптимізувати величину P_1 та тривалість t_b вакуумування форми.

5. 2. Вибір та оптимізація основних технологічних параметрів для керування якістю виливків

З метою вибору й оптимізації параметрів керування якістю виливків з високоміцних чавунів, обумовлених класифікатором (рис. 1), розроблена блок-схема, де всі ці параметри перебувають у детермінованій залежності між собою (рис. 2), а саме:

- хімічний склад чавуну, модифікатори, лігатури, C_1 ;
- методи та термочасові параметри плавки, графітуючої та сфероїдируючої обробки вихідного рідкого чавуну;
- термочасові параметри теплової обробки виливків, T_1 ;
- швидкість підйому металу у формі, W_1 ;
- час заповнення форми, t_3 ;
- температура металу, що заливається у форму, T_3 ;
- тиск на рідкий метал, P_1 .

Спочатку встановлюються оптимальні характеристики матеріалів моделі та форми, а саме:

- оптимальна щільність полістиролової моделі, ρ_5 ;
- газопроникність протипригарного покриття, K_{np} ;
- міцність протипригарного покриття при вигині, $\sigma_{виг}$;
- характеристики форми.

На цьому кваліфікаційному рівні найбільш важливо визначити вплив основних параметрів технологічних процесів отримання високоміцних чавунів на фізико-механічні та експлуатаційні властивості для подальшої ідентифікації в повному циклі виробництва виливків. Що дає можливість створити багаторівневу комп'ютерну систему збору, обробки інформації комплексу параметрів технологій, стану устаткування і моніторингу екологічного стану ливарного об'єкта та навколишнього середовища.

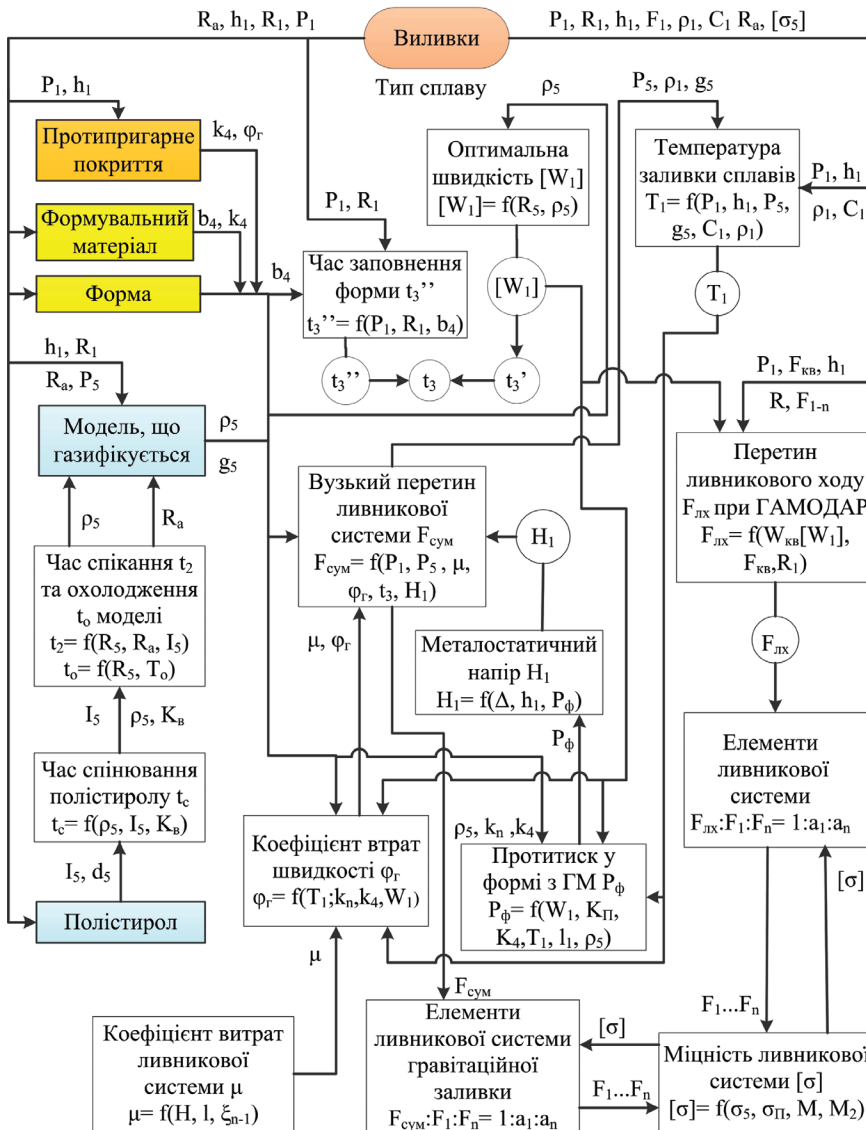


Рис. 2. Блок-схема вибору та оптимізації основних технологічних параметрів, геометрії ливникових систем для одержання виливків за моделями, що газифікуються, із гравітаційним заливанням металу у форму

5.3. Основні фактори впливу технологічних параметрів на ливарний об’єкт при виготовленні виливків з високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що газифікуються

Згідно з розробленим класифікатором визначальними ознаками якості і параметрами управління технологічними процесами із залізвуглецевих сплавів являються механічні властивості матеріалу виливків відповідно до нормативно-технічної документації (ГОСТ, ДСТУ, ТУ, КД, РТМ). До них відносяться тимчасовий опір σ_b і відносна плинність $\sigma_{0,2}$ при розриві, відносна видовження δ , ударна в’язкість КСУ, твердість HB (HRC) при нормальній, високій і низькій температурі по всьому перерізу виливка, функціональні та триботехнічні властивості.

Наприклад, критерієм при виборі марки високоміцного чавуну (ВЧ) для деталей машинобудування є вимоги до його фізико-механічних і експлуатаційних властивостей. Підвищення якості литих конструкцій з ВЧ з оптимальними показниками структури, механічними та іншими службовими властивостям сприяє зниженню

маси, збільшенню експлуатаційної надійності і терміну служби литих деталей і машин.

Прогнозування цих оптимальних властивостей залежить від контролю й управління параметрами технологічного процесу отримання ВЧ на усіх етапах ливарного переділу (рис. 2). Отримання структури, що регламентується, і необхідних властивостей чавуну у виливках забезпечується якістю початкових шихтових матеріалів, режимом плавки і обробки розплаву, ефективним модифікуванням, оптимальною масовою долею основних і легуючих елементів, термічною обробкою та рядом інших чинників.

6. Розробка діаграми Ішікави впливу технологічних параметрів на якість виливків з високоміцного чавуну

Для об’єктивної оцінки впливу технологічних параметрів на якість виливків з високоміцного чавуну із заданими експлуатаційними характеристиками, а також для визначення масиву інформації в його кількісному (точок знімання) і якісному складі (чинники впливу) використано діаграму Ішікави (рис. 3).

Такий вид діаграми Ішікави дозволяє встановити основні чинники впливу на ливарний об’єкт, технологічний процес або кінцевий продукт – литу конструкцію. Окрім того така номограма дозволяє встановити взаємозв’язок між основними чинниками, а також детермінований вплив другого рівня на основні параметри, а третього рівня – на параметри другого рівня.

Для аналізу логічного зв’язку між різними факторами і результатом та виділення найбільш значимих факторів, що впливають на вивчаєму проблему, було удосконалено та побудовано діаграму Ішікави стосовно ливарних об’єктів. Було проаналізовано технологію одержання виливків з високоміцного чавуну (рис. 3) та впливу технологічних параметрів на утворення шкідливих викидів при виготовленні виливків з високоміцного чавуну (рис. 4).

Аналіз даних цієї діаграми (рис. 3) дозволяє визначити фактори та параметри, що визначають властивості високоміцного чавуну в литих конструкціях.

Основними гілками (кістками), які визначають структуру, механічні і експлуатаційні характеристики литих конструкцій з високоміцного чавуну (рис. 3) є технологічні процеси: плавка, модифікування і охолодження виливків у формі. Для кожного технологічного процесу встановлені визначальні чинники другого порядку, варіювання якими у встановлених граничних межах зумовлюють задані чинники першого порядку.



Рис. 3. Діаграма Ішікави для повного циклу виробництва високоміцного чавуну

Розглянемо їх якісні і кількісні характеристики для кожного з визначальних технологічних процесів, чинників другого і третього порядку.

Встановлено, що чинниками другого порядку для реалізації основної гілки діаграми Ішікави (рис. 3) «Хімічний склад чавуну» є основні хімічні елементи С, Si, Mn, P, S, Cr, які входять до складу вихідного чавуну і зумовлюють його якість, чинниками третього порядку «Хімічний склад чавуну» є:

- шихтові матеріали, які ідентифікуються по п'яти хімічних елементах: С, Si, Mn, P, S, Cr;

- розрахунок шихти, як чинник регламентує зміст основних компонентів;

- феросплави та легуючі компоненти, як чинник регламентує зміст легуючих компонентів (Si, Mn, Cr, Mg, Ni, Cu, Mo, Al, Sn, Ca та ін.), що дозволяє управляти структуроутворенням і формуванням кулястої форми графіту, а також матриці цього чавуну (феритна, перлітна, бейнітна, ферито-перлітна, перліто-феритна);

- дозування компонентів, як чинник, регламентує масу кожного з компонентів шихти і легуючих елементів.

Чинниками третього порядку для реалізації основної гілки діаграми Ішікави (рис. 3) «Модифікування графітізуюче» ідентифіковані:

- модифікатори для графітізації, які ідентифікуються за типом модифікатора (на основі FeSi, FeSiBa);

- термо-часові параметри, які ідентифікуються за типом модифікування (ковшове, всередині форми), температурою початко-

вого чавуну на випуску в ківш і часу його позапічної обробки;

- витрата, ідентифікується питомою масою модифікатора в ковші (проміжному реакторі);

- фракційний склад, ідентифікується середнім розміром гранул 0,5–10 мм;

- структура чавуну, ідентифікується після графітізації і модифікування за формою та розмірами графіту і вмістом цементита.

Чинники третього порядку для реалізації основної гілки діаграми Ішікави (рис. 3) «Модифікування сфероїдизуюче» ідентифікуються аналогічно з модифікуванням графітізуючим.

Отже, сукупність отриманих даних про чинники першого, другого і третього порядку, що визначають цикл технології отримання високоміцного чавуну із заданими характеристиками, дозволить визначити увесь масив інформації для збору, обробки й управління цими параметрами.

Аналогічно було побудовано діаграму Ішікави стосовно впливу технологічного процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну на стан навколишнього середовища (рис. 4).

Основними гілками (кістками) діаграми є викиди шкідливих речовин: CO, CO₂, SO₂, SiO₂, NO, NO₂, MgO.

Для технологічного процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються, встановлено визначальні фактори другого порядку, варіювання якими в встановлених граничних межах зумовлюються задані фактори першого порядку.

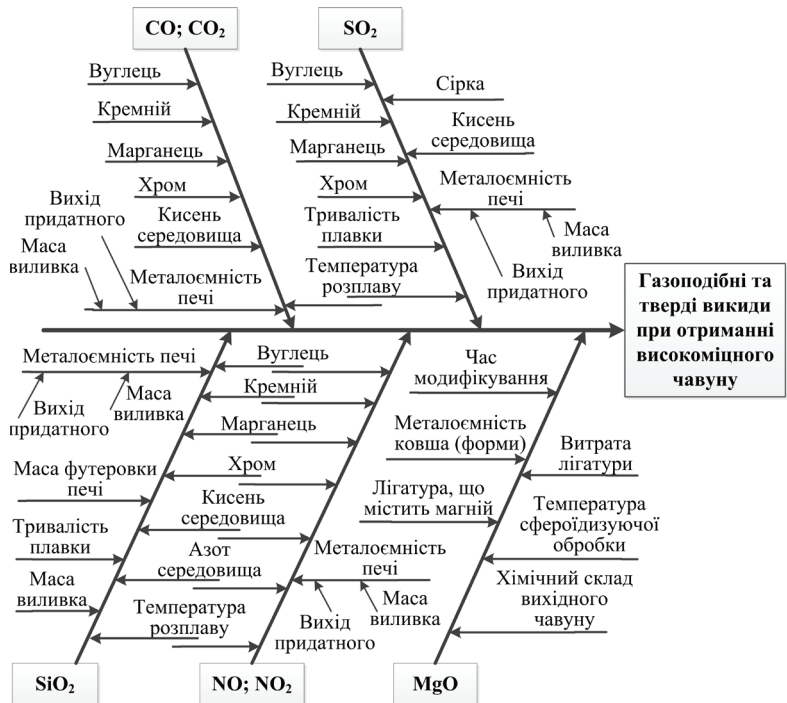


Рис. 4. Діаграма Ішікави впливу технологічних параметрів і хімічного складу вихідного чавуну на екологічний стан навколишнього середовища при виробництві високоміцного чавуну

Параметрами другого рівня, варіювання якими в встановлених граничних межах зумовлюються задані фактори першого порядку, є основні хімічні елементи C, Si, Mn, S, Cr. Ці елементи входять до складу вихідного чавуну і впливають на якісний склад викидів, кисень середовища, технологічні параметри плавки, такі як: металемність печі, температура розплаву, тривалість плавки. Також встановлено, що факторами третього порядку для реалізації чотирьох основних гілок діаграми Ішкіави ідентифіковані: вихід придатного та маса вилівка, які побічно впливають на утворення викидів та залежать від типу технологічного процесу.

Встановлено, що на екологічний стан ливарних об'єктів, а також вплив на навколишнє середовище, що беруть участь в отриманні високоміцного чавуну, визначальними є фактори другого порядку, які зумовлюють кількісні та якісні характеристики твердих і газоподібних продуктів. Таким чином розроблена методика з використанням діаграми Ішкіави, яка дозволяє ідентифікувати і встановити детермінований вплив факторів першого, другого, третього порядку на стан навколишнього середовища. Одержану інформацію можна використати при розробці багаторівневої комп'ютерної системи для збору, обробки інформації і моніторингу екологічного стану ливарних об'єктів і процесів.

7. Обговорення результатів дослідження основних факторів впливу технологічних параметрів на ливарний об'єкт

Процеси отримання якісних сплавів та виливків багатофакторні та багатокомпонентні, залежать від контролю якості кожного ливарного переділу, тож було необхідним систематизувати вплив різних факторів на кінцевий продукт (вилівок).

Отримані основні дані про ідентифікацію ливарних об'єктів і процесів, як повного циклу виробництва високоміцного чавуну і виливків з нього за моделями, що газифікуються. При цьому, в порівнянні з іншими дослідженнями, важливо підкреслити, що встановлено детерміновані зв'язки ливарних об'єктів та процесів в системі «метал – модель – форма – покриття». Також виявлено вплив технологічних факторів не тільки на якість, а й на одержання конкретних функціональних властивостей та стан навколишнього середовища. Аналогічно можлива систематизація впливу ливарних об'єктів для різних видів сплавів та технологічних параметрів різних видів формоутворення.

Для об'єктивної оцінки впливу технологічних параметрів отримання високоміцних чавунів із заданими експлуатаційними характеристиками, а також для визначення масиву інформації в його кількісному (точок знімання) і якісному складі (чинники впливу) було використано діаграму Ішкіави. Це дозволяє зменшити кількість точок знімання інформації при будіванні багаторівневої системи контролю параметрів повного технологічного циклу, а також моніторингу екологічного стану ливарних об'єктів та визначити вплив технологічних параметрів на навколишнє середовище. Важливо відмітити, що такий масив даних про стан технологічних процесів і ливарних об'єктів в режимі он-лайн неможливо здійснити традиційними методами. Тобто шляхом локального збору інформації від кожного ливарного об'єкту і обробки її

безпосередньо суб'єктами процесу. У зв'язку з цим стає доцільним використати сучасні комп'ютерні інформаційні технології, які дозволяють забезпечити швидкісне об'єктивне відображення інформації щодо стану ливарних об'єктів під час одержання литих конструкцій з заданими характеристиками.

Слід зазначити, що застосувати дану концепцію щодо використання ливарних об'єктів та параметрів, як активної системи керування якістю та інструменту для отримання заданих властивостей, можливо тільки для конкретного технологічного процесу. Також це можливо за умови, що максимально досліджено та враховано всі фактори процесу.

Результати даного дослідження можливо використати в створенні систем комп'ютерного моніторингу ливарного технологічного процесу виготовлення виливків литтям за моделями, що газифікуються, з високоміцного чавуну та стану навколишнього середовища.

8. Висновки

1. Розроблено багаторівневу класифікацію та систему реалізації якості виливків шляхом ідентифікації матеріалів, параметрів управління технологічними процесами отримання виливків із залізовуглецевих сплавів за моделями, що газифікуються, з урахуванням детермінованих зв'язків між ливарними об'єктами. Для цього визначено вплив газогідродинамічних, тепломасообмінних процесів в системі «метал – модель – форма – покриття» на якість литої конструкції та функціональні властивості. Визначено характерні ознаки параметрів, до яких відносяться: газопроникність покриття ($K_{\text{гп}}$) та форми ($K_{\text{ф}}$), розрідження ($P_{\text{в}}$), швидкість (W_1 ($W_{5-\text{const}}$)), час заливання (t_3), температура заливання сплаву (T_3), тиск на метал (P_1), щільність моделі (ρ_5), приведена товщина вилівка (R_1).

2. Розроблено методики вибору та оптимізації основних технологічних параметрів, геометрії ливникових систем для одержання виливків за моделями, що газифікуються, із гравітаційним заливанням металу у вигляді функціональних залежностей. Побудовано блок-схему вибору та оптимізації основних технологічних параметрів, що перебувають у детермінованій залежності між собою, а саме:

- хімічний склад чавуну, модифікатори, лігатури, C_1 ;
- методи та термочасові параметри плавки, графітуючої та сфероїдуючої обробки вихідного рідкого чавуну;
- термочасові параметри теплової обробки виливків, T_1 ;
- швидкість підйому металу у формі, W_1 ;
- час заповнення форми, t_3 ;
- температура металу, що заливається у форму, T_3 ;
- тиск на рідкий метал, P_1 .

Це дає можливість на стадії розробки технологічного процесу прогнозувати необхідні властивості литих конструкцій.

3. Встановлені й ідентифіковані види та характеристики матеріалів технологічних процесів отримання вихідного чавуну, його позапідної графітуючої і сфероїдуючої обробки, охолодження виливків в ливарних формах. Розроблено трирівневу систему та визначено основні технологічні параметри виготовлення виливків з високоміцного чавуну з використанням технології

лиття за моделями, що газифікуються. Визначальними факторами процесу є плавка чавуну, модифікування, охолодження і вибивка виливків та термічна обробка. На якість виливка впливають вихідні параметри (матеріал, маса і товщина стінки виливка), матеріали (сфероїдизуюче, графітізуюче, модифікатор), технологічні параметри (температура розплаву, режим плавки, температура випуску, режими термообробки та інші).

4. Розроблено діаграму Ішікави для технологічного процесу виготовлення виливків з високоміцного чавуну за моделями, що газифікуються. Удосконалено метод причинно-наслідкових зв'язків та розроблено діаграму

Ішікави по впливу ливарної технології на навколишнє середовище. Встановлено, що утворення викидів шкідливих речовин (CO, CO₂, SO₂, SiO₂, NO; NO₂, MgO) залежить від вмісту основних хімічних елементів (C, Si, Mn, S, Cr), які входять до складу вихідного чавуну, матеріалів, футеровки і середовища, та технологічних параметрів плавки. Побічно впливають на утворення викидів вихід придатного та маса виливка.

Тож визначення основних факторів впливу дає можливість отримувати литі конструкції з заданими властивостями та підтримувати рівень викидів шкідливих речовин не вище гранично-допустимих концентрацій.

Література

1. Анализ технологических факторов, существенно влияющих на формирование напряжений в литых деталях машин / Акимов О. В., Алёхин В. И., Пензев П. С., Дяченко А. В., Овчаренко А. М. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. Т. 6, № 7 (78). С. 43–47. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56199>
2. Дёмин Д. А. Компьютерно-интегрированная система управления процессом электродуговой плавки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 2, № 9 (68). С. 18–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.23512>
3. Автоматизация управления кокильной машиной с помощью программирования контроллера / Наумова А. С., Акимов А. В., Пензев П. С., Марченко А. П. // Литейное производство. 2015. № 2. С. 28–30.
4. Дёмин Д. А. Типизация математического описания в задачах синтеза оптимального регулятора технологических параметров литейного производства // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. Т. 1, № 4 (67). С. 43–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.21203>
5. Ishikawa K. Guide to Quality Control. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1976. 226 p.
6. Jeston J., Nelis J. Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementations. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008. 469 p.
7. Cokins G. Performance Management: Finding the Missing Pieces (to Close the Intelligence Gap). Wiley, 2004. 304 p.
8. Громов А. И., Фляйшман А., Шмидт В. Управление бизнес-процессами: современные методы: монография. Люберцы: Юрайт, 2016. 367 с.
9. Тельнов Ю. Ф., Фёдоров И. Г. Инжиниринг предприятия и управление бизнес-процессами. Методология и технология: учеб. пос. Москва: ЮНИТИ, 2015. 176 с.
10. Jafari H., Idris M. H., Shayganpour A. Evaluation of significant manufacturing parameters in lost foam casting of thin-wall Al–Si–Cu alloy using full factorial design of experiment // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2013. Vol. 23, Issue 10. P. 2843–2851. doi: [https://doi.org/10.1016/s1003-6326\(13\)62805-8](https://doi.org/10.1016/s1003-6326(13)62805-8)
11. Tegegne A., Singh A. P. Experimental analysis and Ishikawa diagram for burn on effect on manganese silicon alloy medium carbon steel // International Journal for Quality Research. 2013. Vol. 7, Issue 4. P. 545–558.
12. Новиков В. П. Автоматизация литейного производства. Ч. 1. Управление литейными процессами. Москва: МГИУ, 2008. 292 с.
13. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дисс. ... д-ра техн. наук. Киев, 1997. 473 с.
14. Shinsky I., Shalevska I., Musbah J. Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings // ТЕКА. Edition of Lublin University of technology. 2015. Vol. 15, Issue 2. P. 51–59.
15. Розробка теоретических и технологических основ комплексного контроля, управления физико-химическими и технологическими процессами формообразования с применением дистанционного компьютерного мониторинга характеристик отливок, состояния оборудования и экологической безопасности окружающей среды: отчет о НИОКР (оконч.) / УкрИНТЭИ. Киев, 2014. 559 с.
16. Розробка теоретических и технологических основ получения отливок с управляемой структурой и свойствами в литейных формах с дифференцированными теплофизическими характеристиками: отчет о НИОКР (оконч.) / УкрИНТЭИ. Киев, 2008. 495 с.