

УДК 681.5:621.74

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БАГАТОРІВНЕВОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ ОДЕРЖАННЯ ЛИТИХ КОНСТРУКЦІЙ

О. Й. Шинський, І. А. Шалевська, В. О. Шинський, П. Б. Калюжний, Т. В. Шевчук, Т. В. Лисенко В. А. Слюсарев, Є. В. Погребач, С.В. Коломійцев

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПОЛУЧЕНИЯ ЛИТЫХ КОНСТРУКЦИЙ

О. И. Шинский, И. А. Шалевская, В. О. Шинский, П. Б. Калюжный, Т. В. Шевчук, Т. В. Лысенко В. А. Слюсарев, Е. В. Погребач, С.В. Коломийцев

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION AND IDENTIFICATION OF A MULTILEVEL SYSTEM OF CONTROL OF PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL CYCLE FOR OBTAINING FLEX STRUCTURES

O. I. Shinsky, I. A. Shalevska, V. O. Shinsky, P. B. Kaliuzhnyi, T. V. Shevchuk, T. V. Lysenko, V. A. Slyusarev, E. V. Pogrebatch, S. V. Kolomytsev

Досліджено детермінований зв'язок між технологічними об'єктами (матеріали, технології, обладнання, екологія) при виробництві виливків з високоміцного чавуну та розроблено блок-схему вибору й оптимізації основних технологічних параметрів для одержання виливків за моделями, що газифікуються. Використано діаграму Ішікави для ідентифікації та встановлення детермінованого впливу чинників першого, другого, третього порядку на технологічні процеси та ливарні об'єкти, а також екологію навколишнього середовища.

Ключові слова:

Виливок, високоміцний чавун, діаграма Ішікави, детермінований зв'язок, блок-схема, класифікація.

Исследована детерминированная связь между технологическими объектами (материалы, технологии, оборудование, экология) при производстве отливок из высокопрочного чугуна, разработана блок-схема выбора и оптимизации основных технологических параметров для получения отливок по газифицируемым моделями. Использована диаграмма Исикавы для идентификации и установления детерминированного влияния факторов

первого, второго, третього порядку на технологические процессы и литейные объекты, а также экологию окружающей среды.

Ключевые слова

Отливка, высокопрочный чугун, диаграмма Ісікавы, детерминированная связь, блок-схема, классификация.

1. Вступ

Сучасні технології отримання литих конструкцій багатокomпонентні 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 багатокomпонентну 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 умови безперервного контролю за безліччю параметрів технологічних процесів, устаткування, стану їх екологічної безпеки. Тож при розробці автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) для ливарного виробництва та ідентифікації контрольованих показників і визначення факторів впливу технологічних параметрів є сенс використати так звану причинно-наслідкову діаграму або діаграму Ішікави, яку також називають "риб'ячою кісткою" або "риб'ячим скелетом" [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

При виборі технологічних схем виготовлення виливків одиничного, серійного і масового виробництва з залізобуглецевих сплавів в даній роботі використовувались розроблені в Фізико-технологічному інституті металів і сплавів НАН України методи комп'ютерного розрахунку й оптимізації параметрів отримання виливків з залізобуглецевих сплавів за моделями, що газифікуються, які передбачають класифікацію їх якості та визначення параметрів управління технологічними процесами з використанням математичних рівнянь, створених при дослідженні та розробці нових сплавів і методів лиття за моделями, що газифікуються [2-5].

Діаграма Ішікави спочатку була запропонована автором як метод керування якістю процесів [6] та далі використовувалась в системі менеджменту, як доповнення до існуючих методик логічного аналізу та покращення якості процесів в промисловості [7-9].

Існують приклади [10, 11] успішного використання діаграми Ішікави для виявлення причинно-наслідкового взаємозв'язку якості литва з технологічними параметрами. Тож в роботі використали нароби авторів

щодо якості литва та додатково визначили вплив технологічного процесу на стан навколишнього середовища.

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, що приймають участь у виготовленні виливків за моделями, що газифікуються, з залізовуглецевих сплавів для подальшого використання в комп'ютерних інтегрованих інформаційних технологіях (ІТ) та АСКТП для ливарного виробництва [12-15].

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести дослідження детермінованого зв'язку між технологічними об'єктами (матеріали, технології, обладнання, екологія), які беруть участь в ливарних процесах контролю і управління технологічними процесами плавки, позапічної і теплової обробки залізовуглецевих сплавів і виливків, а так само моніторингу екологічної безпеки цих ливарних об'єктів, визначити параметри контролю і управління кожного з них;
- 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;
- адаптувати діаграму Ішікави для визначення параметрів якості литва та впливу технологічних параметрів на утворення шкідливих викидів при виготовленні виливків з високоміцного чавуну за технологією 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 литих конструкцій з заданими експлуатаційними характеристиками та кількості джерел безперервного знімання інформації для їх контролю, використано створені математичні моделі [2-5], що описують закономірності технологічних процесів плавки, позапічної, теплової обробки залізовуглецевих сплавів та виливків з них, різновидів сучасних методів формоутворення з використанням фізичних методів зміцнення ливарних форм та моделей, що газифікуються, а також комплексної взаємодії 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, що 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

В даній роботі розглянуто повний цикл виготовлення виливків з високоміцного чавуну з використанням технології лиття за моделями, що газифікуються.

Спочатку доцільно встановити детермінований взаємозв'язок між параметрами різних технологічних переділів, що 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. Спочатку класифікуються ознаки якості і параметрів управління технологічними процесами для отримання литих конструкцій із залізовуглецевих сплавів.

З метою досягнення максимальної якості виливків, у тому числі підвищення їх механічних характеристик, для ливарних форм застосовуються у якості дисперсних неметалічних наповнювачів (кварцовий, цирконовий, магнезитовий пісок), для інтенсифікації теплообміну в контактній зоні "метал-форма" 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 теплоакumuлюючою здатністю (блок 4.1, рис. 1), та продувкою останньої газоподібними холодоагентами (блок 4.2, рис. 1).

Ефективне підвищення розмірної точності литих конструкцій може бути досягнуте шляхом армування пінополістиролових моделей металевими та неметалічними тілами, які одночасно є й армуючою фазою (блок 2.3, рис. 1), а зниження шорсткості литих конструкцій – 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 їхня наявність 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, перевищення щільності моделі ρ_5 допустимого значення, низької газопроникності покриття $K_{\text{гп}}$ 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 ($W_{5-\text{const}}$), $K_{\text{пп}}$, $K_{\text{ф}}$. Збільшення об'єму парогазових і рідких продуктів термодеструкції, що утворювалися, як фактора стимулюючого нагромадження їх безпосередньо на межі "метал-покриття" при затвердінні виливка, 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 . Утворення специфічного пригару (блок.1.9, рис. 1) на виливках відбувається при недостатньому віброущільненні наповнювача в контейнері, що характеризується низьким показником його об'ємної щільності ρ_4 , високим тиском на рідкий метал P_1 , що характерно при литті під високим тиском, необґрунтовано високою температурою заливання сплаву T_3 . До того ж величина пригару визначається високою газопроникністю покриття $K_{\text{пп}}$ 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.

1 Лита конструкція

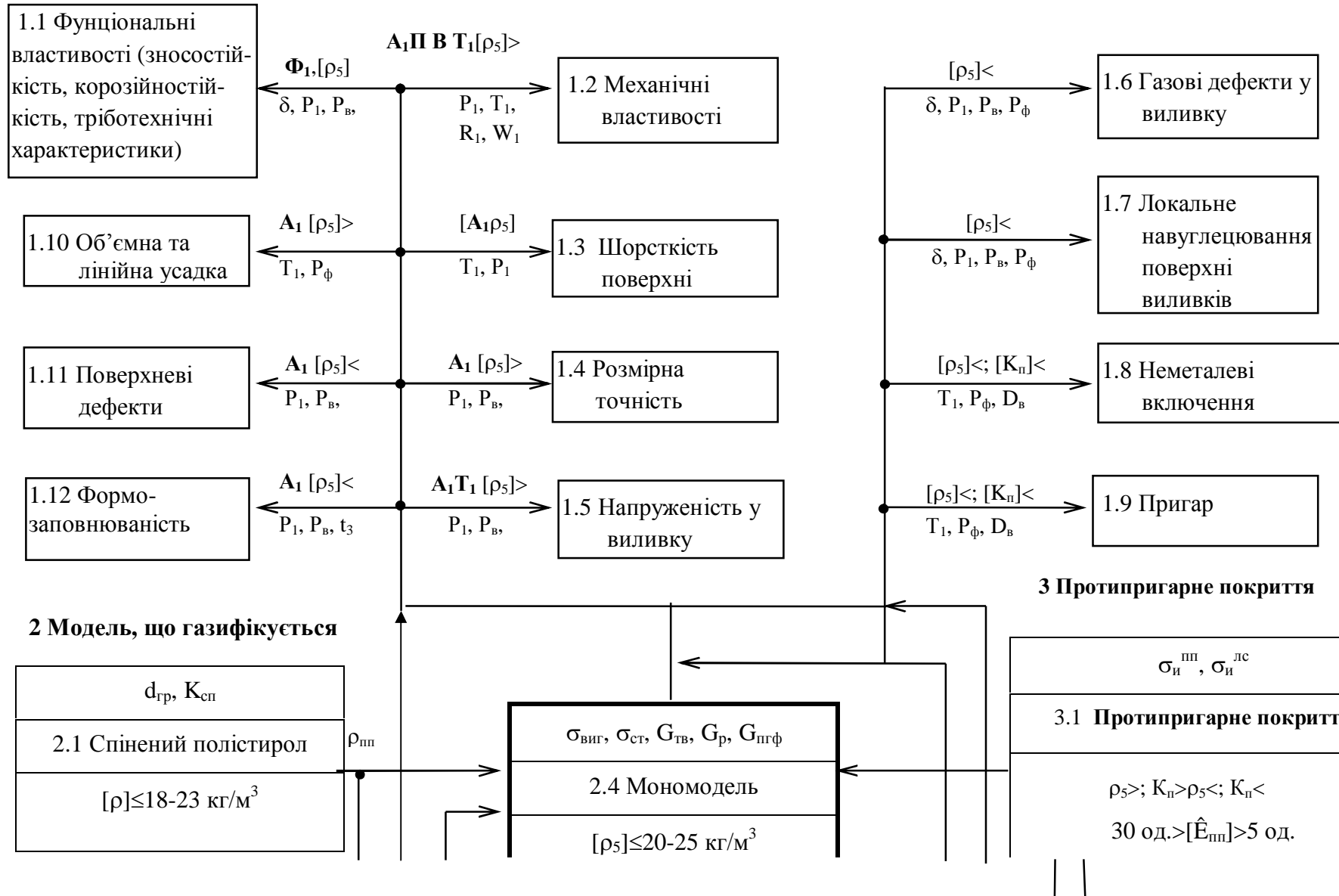


Рис. 1, аркуш 1. Основні характеристики якості литих конструкцій та параметри управління якістю виливків при литті за моделями, що газифікуються

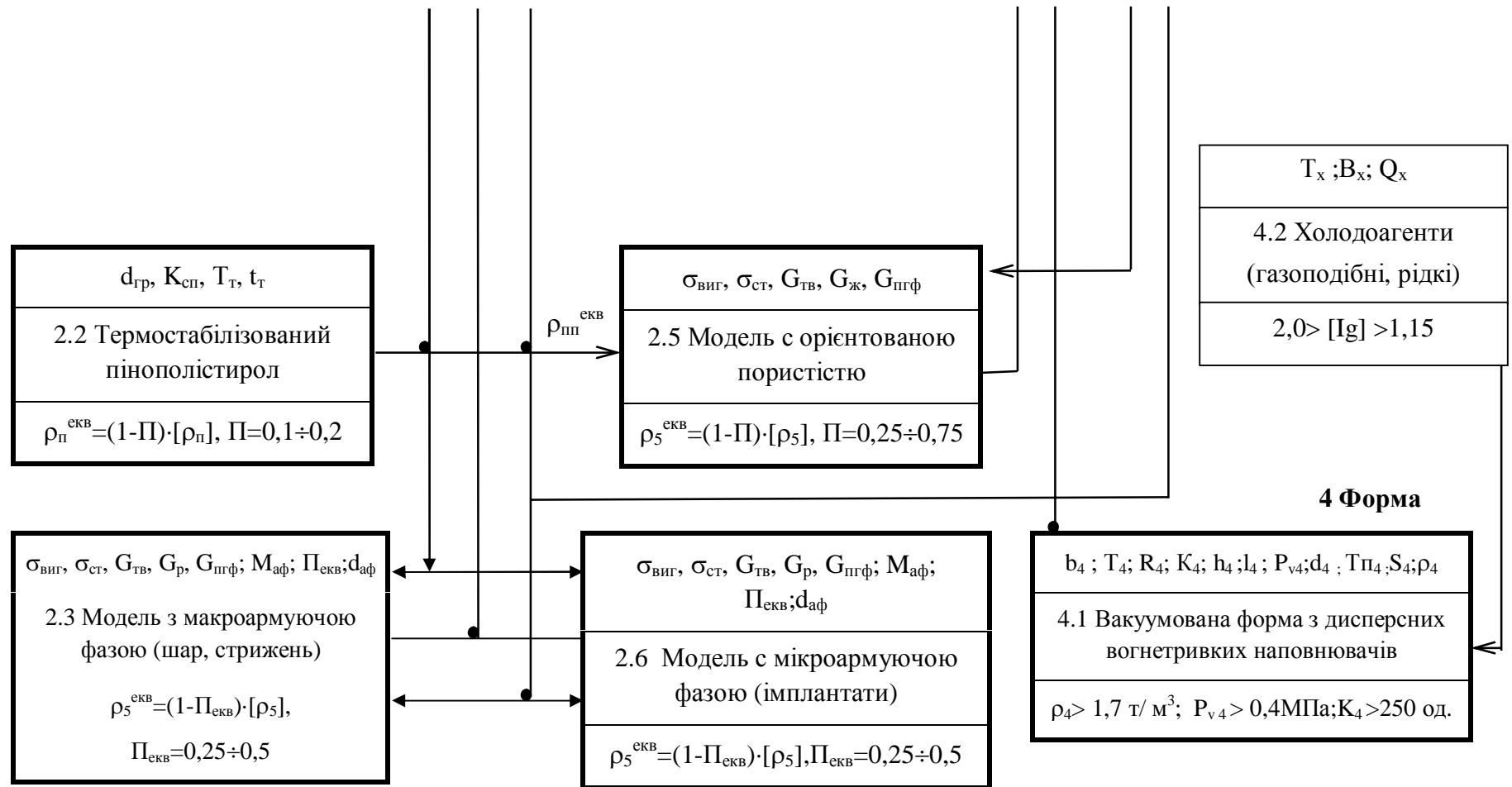


Рис. 1, аркуш 2

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_r , 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 й пов'язані з надлишковою тривалістю вакуумування наповнювача в контейнері (P_1, t_b) у період затвердіння й охолодження виливка, що усуває піддатливість форми, а, отже, 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.

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, графітізуючої та сфероїдизуючої 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, $K_{пп}$;
- 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 їх фізико-механічні та експлуатаційні властивості для подальшої їх ідентифікації в повному циклі виробництва виливків і створення багаторівневої комп'ютерної системи збору, обробки інформації комплексу параметрів технологій, стану устаткування і моніторингу екологічного стану ливарного об'єкта та навколишнього середовища.

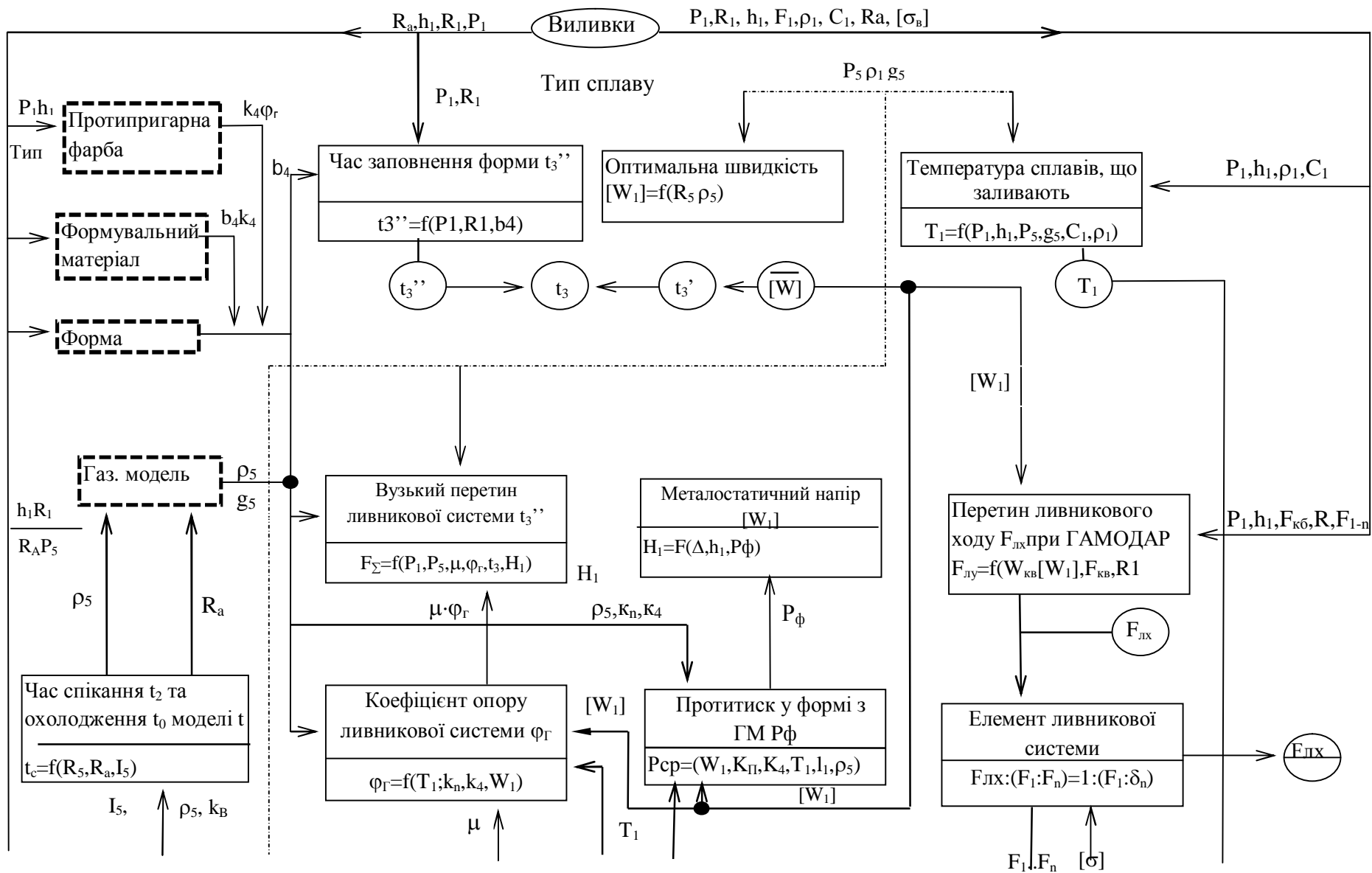


Рис. 2, аркуш 1. Блок-схема вибору та оптимізації основних технологічних параметрів, геометрії ливникових систем для одержання виливків за моделями, що газифікуються із гравітаційним заливанням металу у форму

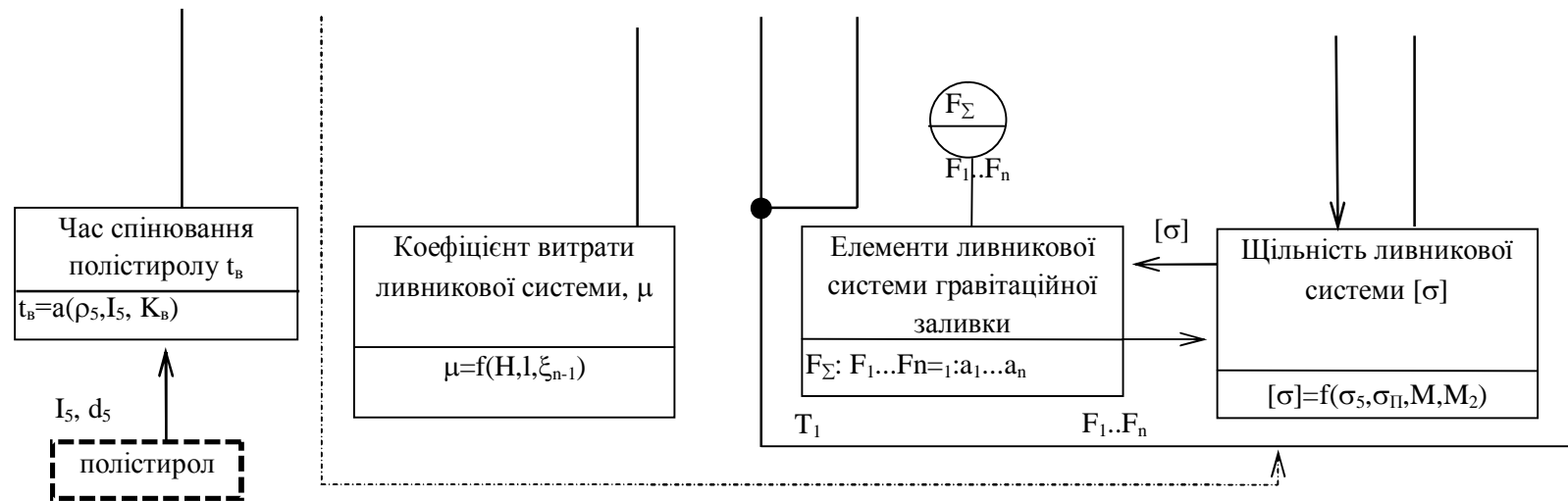


Рис. 2, аркуш 2

Згідно з розробленим класифікатором (рис.1) визначальними ознаками якості і параметрами управління технологічними процесами із залізовуглецевих сплавів являються механічні властивості матеріалу виливків відповідно до нормативно-технічної документації (ГОСТ, ДСТУ, ТУ, КД, РТМ), в тому числі тимчасовий опір σ_b і відносна плинність $\sigma_{0,2}$ при розриві, відносне видовження δ , ударна в'язкість КСУ, твердість HB (HRC) при нормальній, високій і низькій температурі по всьому перерізу вилівка, а також функціональні, як жароміцність, жаростійкість, корозійна стійкість 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. Визначення основних чинників та параметрів, що зумовлюють властивості високоміцного чавуну в литих конструкціях за допомогою діаграми Ішікави

Для об'єктивної оцінки впливу технологічних параметрів, що беруть участь в отриманні високоміцних чавунів із заданими експлуатаційними характеристиками, а також для визначення масиву інформації в його кількісному (точок знімання) і якісному складі (чинники впливу) доцільно скористатися діаграмою Ішікави для оцінки ливарних об'єктів і технологічних процесів (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 та результатом та виділення найбільш значимих факторів, що впливають на вивчаєму проблему, було удосконалено та побудовано діаграму Ішікави стосовно ливарних об'єктів на прикладі 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.

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 C, 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: C, 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 графітизуюче" ідентифіковані: модифікатори для графітизації, які ідентифікуються за типом модифікатора (на основі FeSi, FeSiBa); термо-часові параметри, які ідентифікуються за типом модифікування (ковшове, всередині форми), температурою початкового 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 графітизації і модифікування за формою і розмірами графіту і вмістом цементита.

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

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, обробці й управлінню 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.

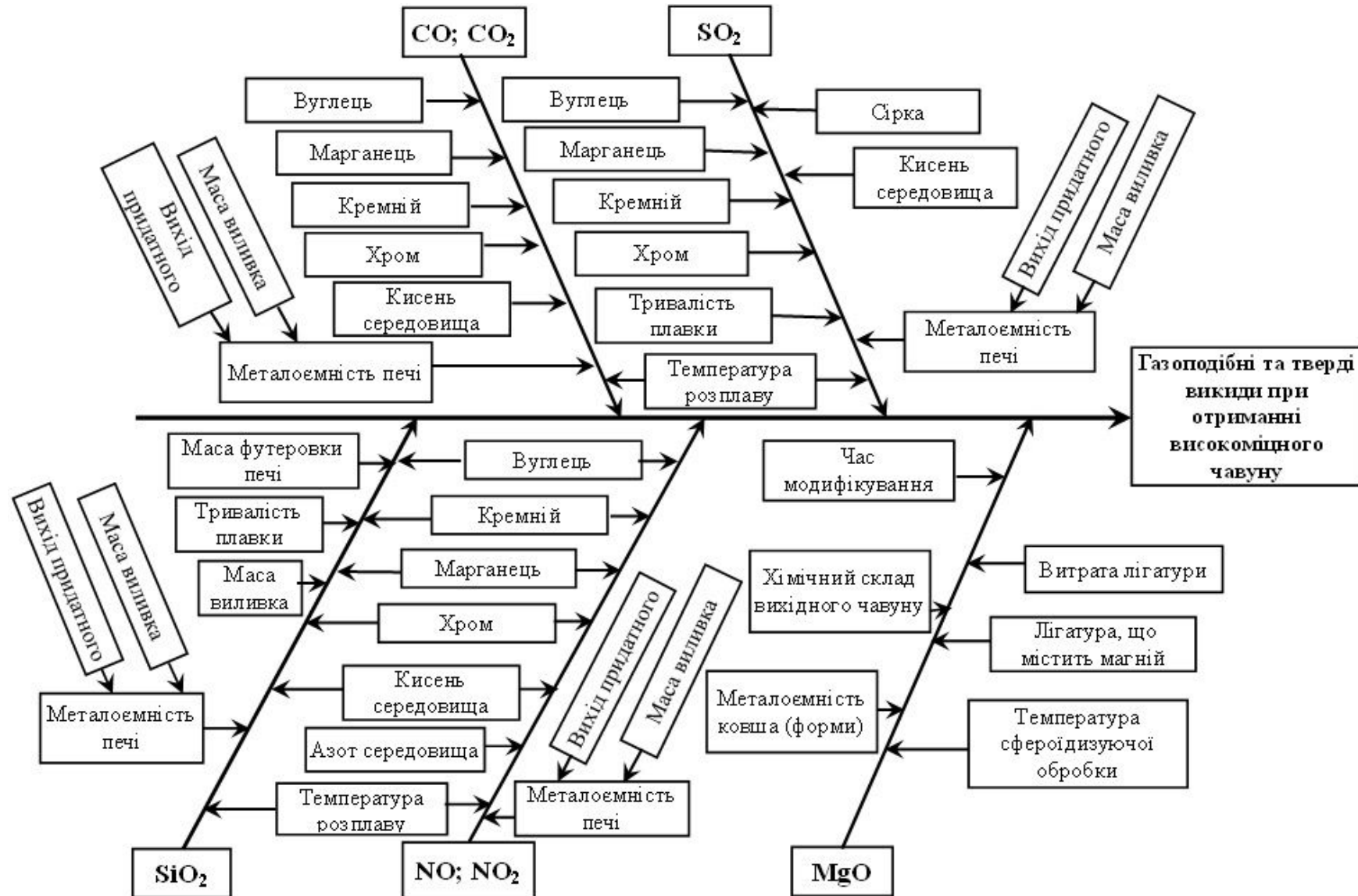


Рис. 4. Діаграма Ішікави впливу технологічних параметрів і хімічного складу вихідного чавуну на екологічний стан навколишнього середовища при виробництві високоякісного чавуну

Параметрами другого рівня, варіювання якими в встановлених граничних межах зумовлюються задані фактори першого порядку, є основні хімічні елементи C, Si, Mn, S, Cr, які входять до складу вихідного чавуну і впливають на якісний склад викидів, кисень середовища, технологічні параметри плавки, такі як: металоємність печі, температура розплаву, тривалість плавки. Також встановлено, що факторами третього порядку для реалізації чотирьох основних гілок діаграми Ішікави 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 їх 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 Ішікави, яка дозволяє ідентифікувати і встановити детермінований вплив факторів першого, другого, третього порядку на стан навколишнього середовища і використати одержану інформацію при розробці багаторівневої комп'ютерної системи для збору, обробки інформації і моніторингу екологічного стану ливарних об'єктів і процесів.

Отримані основні дані про ідентифікацію ливарних об'єктів і процесів, як повного циклу виробництва високоміцного чавуну і вилівоків з нього за моделями, що газифікуються, що дозволить використати їх для побудови багаторівневої системи контролю параметрів повного технологічного циклу, а також моніторингу екологічного стану ливарних об'єктів ділянки, цеху і ливарного заводу, а також їх вплив на навколишнє середовище. Важливо відмітити, що такий масив даних про стан технологічних процесів і ливарних об'єктів в режимі онлайн неможливо здійснити традиційними методами 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.

7. Висновки

1. Розроблено багаторівневу класифікацію якості вилівоків, систему ідентифікації матеріалів, параметрів управління технологічними процесами отримання вилівоків із залізовуглецевих сплавів за моделями, що газифікуються, з урахуванням детермінованих зв'язків між об'єктами, що беруть участь в повному циклі виробництва литих виробів.

2. Визначені базові параметри для різновидів повного технологічного циклу отримання високоміцного чавуну у поєднанні з процесами лиття за моделями, що газифікуються, і на цій основі створені методи класифікації і оптимізації для управління якістю литих конструкцій із залізовуглецевих сплавів, в першу чергу на основі високоміцного чавуну.

3. Класифіковані шкідливі газові та тверді продукти, які утворюються при повному циклі плавильних процесів і позапічній обробці чавуну, включаючи

вихідний, для отримання високоміцного чавуну, які зумовлюють екологічний стан ливарних об'єктів та навколишнього середовища.

4. Встановлені й ідентифіковані види та характеристики матеріалів, межі варіювання параметрами технологічних процесів отримання вихідного чавуну, його позапічної графітизуючої і сфероїдизуючої обробки, охолодження виливків в ливарних формах.

5. Розроблені 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 і визначити їх ефективність при отриманні високоякісних литих виробів із залізовуглецевих сплавів, включаючи високоміцний чавун.

Література

1. Wikipedia. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>
2. Отчет НИОКР (шифр темы: III-24-12-633-31), «Разработка 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» (научн. руководитель, д.т.н., проф. О.И. Шинский), ФТИМС НАН Украины. – Киев, 2014. – 559 с.
3. Отчет по НИОКР (шифр темы: 1.6.5.536) «Разработка теоретических и технологических основ получения отливок с управляемой структурой и свойствами в литейных формах с дифференцированными теплофизическими характеристиками» (научн. руководитель, д.т.н., проф. О.И. Шинский)г. Киев, ФТИМС НАН Украины, 2008 г., 495с.
4. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дис. ... доктора техн. наук: 05.16.04 «Литейное производство» / О.И. Шинский. – К., 1997. – 473 с.
5. Shinsky I. Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings. / Igor Shinsky, Inna Shalevska, Jamal Musbah // ТЕКА. Edition of Lublin University of technology. – 2015. - Vol. XD (in English).
6. Ishikawa K. Guide to Quality Control / K. Ishikawa. – Tokyo: Asian Productivity Organization, 1976. – 226 p.
7. Jeston J. Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementations / John Jeston, Johan Nelis. - Butterworth-Heinemann, 2008. – 469.
8. Cokins C. Performance Management: Finding the Missing Pieces (to Close the Intelligence Gap) / Gary Cokins. – Wiley, 2004. – 304 p.
9. Громов А.И. Управление бизнес-процессами: современные методы. монография / А.И. Громов, А. Фляйшман, В. Шмидт. – Люберцы: Юрайт, 2016. – 367 с

10. Jafari H. Evaluation of significant manufacturing parameters in lost foam casting of thin-wall Al–Si–Cu alloy using full factorial design of experiment / H. Jafari, M. H. Idris, A. Shayganpour // Transaction of Nonferrous Metals Society of China. – 2013. – 23. – 2843-2851.
11. Tegegne A. Experimental analysis and Ishikawa diagram for burn on effect on manganese silicon alloy medium carbon steel / A. Tegegne, A.P. Singh // International Journal for Quality Research. – 2013. – 7 (4). - 545-558.
12. Новиков В.П. Автоматизация литейного производства. Ч.1 Управление литейными процессами / В.П. Новиков. - М.: МГИУ, 2008. – 292 с.
13. Тельнов Ю.Ф. Инжиниринг предприятия и управление бизнес-процессами. Методология и технология: Учебн. пособие / Ю.Ф. Тельнов, И.Г. Фёдоров. - М.: ЮНИТИ, 2015. – 176 с
14. Смоленцев В.П. Управление системами и процессами: Учебник / В.П. Смоленцев, В.П. Мельников, А.Г. Схиртладзе. – М.: ИЦ Академия, 2010. – 336 с.
15. Гончарова Н.Е. Управление производственными процессами / Н.Е. Гончарова. – М.: Приор-издат, 2007. – 174 с.

References

1. Wikipedia. Available at: <https://uk.wikipedia.org>
2. Otchet NIOKR (shifr temyi: III-24-12-633-31), «Razrobotka teoreticheskikh i tehnologicheskikh osnov kompleksnogo kontrolya, upravleniya fiziko-himicheskimi i tehnologicheskimi protsessami formoobrazovaniya s primeneniem distantsionnogo kompyuternogo monitoringa karakteristik otlivok, sostoyaniya oborudovaniya i ekologicheskoy bezopasnosti okruzhayushey sredy» (nauchn. rukovoditel, d.t.n., prof. O.I. Shinskiy). (2014). Kiev, FTIMS NAN Ukrainyi, 559.
3. Otchet po NIOKR (shifr temyi: 1.6.5.536) «Razrobotka teoreticheskikh i tehnologicheskikh osnov polucheniya otlivok s upravlyaemoy strukturoy i svoystvami v liteynyih formah s differentsirovannyimi teplofizicheskimi karakteristikami» (nauchn. rukovoditel, d.t.n., prof. O.I. Shinskiy). (2008). Kiev, FTIMS NAN Ukrainyi, 495.
4. Shinskiy, O. I. (1997). Gazogidrodinamika i tehnologii litya zhelezouglerodistyih i tsvetnyih splavov po gazifitsiruemyim modelyam: dis. ... doktora tehn. nauk: 05.16.04 «Liteynoe proizvodstvo». Kiev, 473.
5. Shinsky, I., Shalevska, I., Musbah, J. (2015). Efficiency of influence of a metal macroreinforcing phase on process of solidification of large-sized castings. TEKA: Edition of Lublin University of technology, 7, 2, 51-58.
6. Ishikawa, K. (1976). Guide to Quality Control. Tokyo: Asian Productivity Organization, 226.
7. Jeston, J., Nelis J. (2008). Business Process Management: Practical Guidelines to Successful Implementations. Butterworth-Heinemann, 469.
8. Cokins, G. (2004). Performance Management: Finding the Missing Pieces (to Close the Intelligence Gap). Wiley, 304.
9. Gromov, A.I., Flyayshman, A., Shmidt, V. (2016). Upravlenie biznes-protsessami: sovremennyye metody. Monografiya. Lyubertsyi: Yurayt, 367.

10. Jafari, H., Idris, M. H., Shayganpour, A. (2013). Evaluation of significant manufacturing parameters in lost foam casting of thin-wall Al–Si–Cu alloy using full factorial design of experiment. *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 23, 2843-2851.

11. Tegegne, A., Singh, A.P. (2013). Experimental analysis and Ishikawa diagram for burn on effect on manganese silicon alloy medium carbon steel. *International Journal for Quality Research*, 7, 4, 545-558.

12. Novikov, V.P. (2008). *Avtomatizatsiya liteynogo proizvodstva. Ch.1 Upravlenie liteynyimi protsessami*. M.: MGIU, 292.

13. Telnov, Yu.F., Fedorov, I.G. (2015). *Inzhiniring predpriyatiya i upravlenie biznes-protsessami. Metodologiya i tehnologiya: Uchebn. posobie*. M.: YuNITI, 176.

14. Smolentsev, V.P., Melnikov, V.P., Shirladze, A.G. (2010). *Upravlenie sistemami i protsessami: Uchebnik*. M.: ITs Akademiya, 336.

15. Goncharova, N.E. (2007). *Upravlenie proizvodstvennyimi protsessami*. M.: Prior-izdat, 174.