

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з курсу «Інноваційні основи металургії. Екологія та охорона праці в ливарному
виробництві»,
для студентів спеціальностей 136 – Металургія,
за освітньою програмою
«Металургійні процеси та системи»

Харків 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з курсу «Інноваційні основи металургії. Екологія та охорона праці в ливарному
виробництві»,
для студентів спеціальностей 136 – Металургія,
за освітньою програмою
«Металургійні процеси та системи»

Затверджено
редакційно-методичною
радою університету,
протокол № 1 від 13.02.2025

Харків 2025

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсу «Інноваційні основи металургії. Екологія та охорона праці в ливарному виробництві», для студентів спеціальностей 136 – Металургія, за освітньою програмою «Металургійні процеси та системи» / Укл. Дьомін Д. О. – Харків, НТУ «ХПІ», 2025. – 30 с.

Укладачі: Д. О. Дьомін

Рецензент проф. Акімов О.В.

Кафедра ливарного виробництва

Харків 2025

Робота №1

ПОБУДОВА СХЕМАТИЧНОГО ПРОЦЕСУ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем завантаження доменної печі.

Теоретичні відомості

Доменна піч – це піч шахтного типу, що працює за принципом протитечії: згори донизу рухаються холодні шихтові матеріали, а на зустріч ним знизу підіймаються гарячі гази, що є продуктами згоряння коксу, який є паливом. Як шихтові матеріали у доменних печах використовують руду, агломерат, котуни, металодобавки, кокс і флюси. В якості останнього як правило використовується вапняк. У процесі плавки відбувається відновлення різних елементів, насамперед заліза, а кисень оксидів перетворюється на газ як CO і CO_2 . В результаті доменного процесу виходять продукти плавки: чавун, шлак, колошниковий (доменний) газ та колошниковий пил.

Завантаження шихти в піч здійснюється скиповим підйомником чи конвеєром, що піднімає шихту на колошник, потім шихта надходить у приймальну вирву двоконусного засипного апарату. Для розподілу шихти за перерізом колошника передбачений розподільник шихти, що обертається. Змінюючи характер завантаження шихти, керують перебігом доменної печі. Керування такого виду називають регулюванням зверху. Раціональний розподіл газу за перерізом доменної печі є однією з основних умов її економічної роботи та багато в чому визначається системою завантаження матеріалів.

Прийнято певні умовні позначення компонентів, що подаються: К – кокс; А – агломерат (або Р – руда); вертикальна стрілка $\downarrow$ – опускання великого конуса. Число, що стоїть після стрілки, вказує, за якого рівня шихти Н опускається великий конус (рівень засипу відлічують від нижньої кромки великого конуса в опущеному стані до поверхні шихти печі). Наприклад, позначення $\text{P2K2} \downarrow 1,75$ м говорить про те, що на великий конус завантажують спочатку два скіпи руди, потім два скіпи коксу і після досягнення рівнем засипу позначки $\text{H} = 1,75$ м відкривають великий конус (система завантаження типу рудою вперед). Системи подачі РКРК Н, КРКР Н називають змішаними; $\text{K2P2} \downarrow \text{H}$ – коксом вперед; $\text{PK} \downarrow \text{HPK} \downarrow \text{H}$ – розщепленою і т. д. Більш поширені циклічні системи завантаження: $m\text{P}_2\text{K}_2 \downarrow n\text{KP}_2\text{K} \downarrow \text{H}$, де m і n – число подач у циклі (наприклад, $m : n = 6 : 1, 5 : 2; 4 : 3; 2 : 5$ і т. д.).

При подачі типу рудою вперед рудна частина шихти зосереджується на периферії печі, що зумовлює зменшення температури газу, що залишає піч, і збільшення вмісту в ньому CO_2 , тобто використання теплової та хімічної енергії газів покращується. Найбільша навантаженість периферії рудними матеріалами виходить при подачах типу $\text{PK} \downarrow \text{PK} \downarrow$ і $\text{RKPK} \downarrow$, але за таких систем

завантаження добитися задовільного ходу печі не вдається, оскільки опір стовпа шихти збільшується настільки, що порушується рівний сход шихти. Тому зазначені системи можна застосовувати в комбінації з іншими, наприклад, РКРК ↓ і Р2К2 ↓ у співвідношенні 1 : 4, РК ↓ РК ↓ і Р2К2 ↓ у співвідношенні 1 : 10, 3 (К3А3 ↓) + 2 (КА2К ↓), 2 (К3 ↓ А3 ↓) + 3 (КА2К ↓), 3 (А2К2↓) + 2 (КА2К ↓) і т.д.

При зміні системи подачі змінюється форма кривої розподілу діоксиду вуглецю в газі за радіусом колошника. Ця крива має характерні точки: $\{CO_2\}_{\max}$, $\{CO_2\}_p$ – вміст CO_2 максимальний та на периферії відповідно, $\{CO_2\}_c$ – те ж, по осі печі. Тому ця крива є параболою. Як параметр, що характеризує криву розподілу діоксиду вуглецю по радіусу печі, може бути використана величина

$$M = \frac{\{CO_2\}_{\max} - \{CO_2\}_p}{\{CO_2\}_{\max} - \{CO_2\}_c}.$$

Таким чином, критерій М є характеристикою вихідної величини – розподілу газів перерізу печі. Вхідною величиною є різні системи завантаження.

Постановка задачі

Розшифрувати схему завантаження доменної печі та відобразити загальний розподіл двоокису вуглецю по діаметру печі.

Вихідні дані:

Схема завантаження:

Номер системы N Характеристика системы

1	$K_2 \downarrow H \quad P_2 (A_2) \downarrow$ слідом
2	$K_2 \downarrow H \quad P_2 (A_2) \downarrow$ Н или $K_2 P_2 (A_2) \downarrow$
3	$K P_2 (A_2) K \downarrow H$
4	$P_2 (A_2) K_2 \downarrow H$
5	$KP (A) KP (A) ; H$
6	$P (A) KP (A) K \downarrow H$
7	$P (A) K \downarrow HP (A) K \downarrow H,$

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з принципом регулювання на основі завантаження печі.
2. Вивчити можливі позначення та принципи побудови схем завантаження.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті доменного процесу.
2. Опис принципу регулювання процесу різними схемами завантаження.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу доменної плавки.
2. Що використовується в якості шихти та палива.
3. Які гази переважно входять до складу газової фази, що утворюється в процесі плавки.
4. Що є продуктами доменної плавки.
5. Чим здійснюється завантаження шихти в доменну піч.
6. Який пристрій використовується для розподілу шихти за перерізом колошника.
7. Що означає «регулювання зверху».
8. Що є однією з головних умов економічної роботи печі.
9. Які умовні позначення компонентів, що завантажуються в піч.
10. Який фактор сприяє покращенню використання теплової та хімічної енергії газів в печі.
11. Який вигляд має крива розподілу діоксиду вуглецю в газі за радіусом колошника.
12. Що використовується як параметр, який характеризує криву розподілу діоксиду вуглецю по радіусу печі.

Література

1. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

Робота №2

ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ КІЛЬКОСТІ КИСНЮ В КОНВЕРТЕРНОМУ ПРОЦЕСІ ЗАДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО ХІМІЧНОГО СКЛАДУ СТАЛІ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з розрахунку кількості кисню, що треба подавати в конвертер в процесі отримання сталі.

Теоретичні відомості

Шукану кількість можна отримати, наприклад, за рівнянням:

$$V_{O_2} = \frac{100}{K} M_{ci} (9.33[C]_0 + 8[Si]_0 + 2.04[Mn]_0 + 9.03[P]_0 + 2\Delta Fe) - (M_s - M_{ss}) \times \\ \times (9.33[C] + 2.04[Mn] + 9.03[P]) - M_o (2.1[Fe_2O_3] + 1.55[FeO]) + L,$$

де прийняті наступні позначення:

K – чистота кисню, M_{ci} – маса чавуну, M_s – маса готової сталі, M_{ss} – маса лому, M_o – маса руди, $[C]_0$ – вміст в чавуні вуглецю, $[Si]_0$ – вміст в чавуні кремнію, $[Mn]_0$ – вміст в чавуні марганцю, $[P]_0$ – вміст в чавуні фосфору, ΔFe – кількість заліза, що окислився за плавку, віднесене до маси чавуну, $[C]$ – вміст в сталі вуглецю, $[Mn]$ – вміст в сталі марганцю, $[P]$ – вміст в сталі фосфору, $[Fe_2O_3]$ – вміст оксиду заліза (III) в руді, $[FeO]$ – вміст оксиду заліза (II) в руді, L – величина, що враховує витрату кисню на окислення заліза, допалювання CO в CO₂. Вона може бути знайдена за рівнянням регресії, отриманим по даних статичної обробки плавок поточного виробництва.

Постановка задачі

1. На основі наведеного рівняння визначити, значення яких параметрів процесу треба збільшувати в разі, якщо кількість кисню виявилася недостатньою.

2. На основі наведеного рівняння визначити, значення яких параметрів процесу треба збільшувати в разі, якщо кількість кисню виявилася більшою за визначену.

3. На основі наведеного рівняння визначити, значення яких параметрів процесу треба зменшувати в разі, якщо кількість кисню виявилася недостатньою.

4. На основі наведеного рівняння визначити, значення яких параметрів процесу треба зменшувати в разі, якщо кількість кисню виявилася більшою за визначену.

5. Записати в загальному вигляді рівняння шуканої кількості кисню для заданого набору хімічний складів чавуну та сталі (по варіантах)

Вихідні дані:

Хімічний елемент	Вміст хімічного елементу для варіантів				
	1	2	3	4	5
[C] ₀	3.8	3.6	3.5	3.7	3.65
[Si] ₀	1.8	2.3	2.6	2.2	2.4
[Mn] ₀	0.5	0.8	0.7	0.6	0.65
[P] ₀	0.098	0.05	0.08	0.065	0.075
[C]	0.2	0.4	0.5	0.6	0.8
[Mn]	0.4	0.5	0.6	0.5	0.55
[P]	0.069	0.042	0.05	0.04	0.035

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з загальною структурою рівняння для визначення потрібної кількості кисню.
2. Зробити якісний аналіз рівняння на предмет визначення факторів впливу та способу їх варіювання задля забезпечення заданих вимог щодо потрібної кількості кисню.
3. Розрахувати показники хімічного складу та записати рівняння в загальному вигляді на основі цих розрахунків.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті мартенівського процесу.
2. Опис контрольованих параметрів процесу.
3. Вихідна схема з нанесеними контурами керування та розміщенням відповідних засобів автоматизації.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. Які параметри входять в рівняння для визначення потрібної кількості кисню.
2. Як впливає на потрібну кількість кисню маса готової сталі.
3. Як впливає на потрібну кількість кисню маса руди.
4. Як впливає на потрібну кількість кисню лому.
5. Як впливає на потрібну кількість кисню вміст вуглецю в готовій сталі.

Література

1. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

Робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВІДХОДЯЩИХ ГАЗІВ В КОНВЕРТЕРНОМУ ПРОЦЕСІ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення складу газів в конвертерному процесі плавки.

Теоретичні відомості

Сутність киснево-конвертерного процесу полягає в тому, що завдяки продуванню розплаву чавуну через кисневі фурми відбувається вигорання з чавуну вуглецю, кремнію, марганцю, сірки, фосфору. Це відбувається внаслідок інтенсивних екзотермічних реакцій, продуктом яких є газова фаза, що складається переважно з диоксиду та оксиду вуглецю. Кисень для цих реакцій підводиться до розплаву згори через сопла водоохолоджуваної форми. При екзотермічних окислювальних реакціях виділяється більше тепла, ніж треба для нагріву сталі до температури випуску, тому в технологічному процесі конвертерної плавки використовують охолоджувачі, якими можуть бути сталевий лом або залізна руда. Конвертерний процес відноситься до тех металургійних процесів, особливістю яких є значна швидкість перебігу фізико-хімічних процесів. Це є перевага даної технології, бо вона може забезпечити високу продуктивність виплавки сталі, але створює певні труднощі з точки зору управління процесом. Це пов'язано з тим, що швидкість вигорання вуглецю настільки велика, що 1 хвилина продувки відповідає переходу до сталі іншої марки та до моменту припинення продування температура металу має бути в заданих межах. Температура або окисність металу визначаються за допомогою зондів, якими береться проба для експрес-аналізатора. За результатами роботи зонду визначається час припинення продування, уточняється кількість охолоджувальних або екзотермічних добавок і приймаються заходи, що забезпечують отримання сталі заданого складу і температури.

Постановка задачі

За наявними даними промислових досліджень побудувати залежність відношення CO/CO_2 від часу продувки.

Вихідні дані:

Час продувки, τ , хв	Відношення CO/CO_2 для варіантів				
	1	2	3	4	5
1	1.8	1.9	2.1	2.3	2
2	5.5	5.8	6	5.5	5.7
3	9.5	10.2	9.8	10.4	12
4	14.8	15	17	16.5	18
5	21	20.5	22	21.5	20.5

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу конвертерної плавки.
2. Побудувати залежність відношення CO/CO_2 від часу продувки.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті конвертерного процесу.
2. Вихідні дані для побудови залежності та отримана залежність.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу конвертерної плавки.
2. Що є джерелами тепла для плавки.
3. Що є перевагами конвертерного процесу.
4. В чому полягає складність керування конвертерним процесом.
5. Як визначається температура та окисність металу по ходу конвертерного процесу.

Література

1. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

ПОБУДОВА СХЕМАТИЧНОГО ДУПЛЕКС-ПРОЦЕСУ «ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ – ЕЛЕКТРИЧНА ПІЧ»

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення основних технологічних параметрів та принципів функціонування дуплекс-процесу «електродугова піч – електрична (індукційна) піч / електрична (електродугова) піч» на основі функціональних схем автоматизації процесів цього комплексу.

Теоретичні відомості

Схема автоматичного регулювання електричного режиму електродугової печі на прикладі для однієї фази наведена на рис. 1.

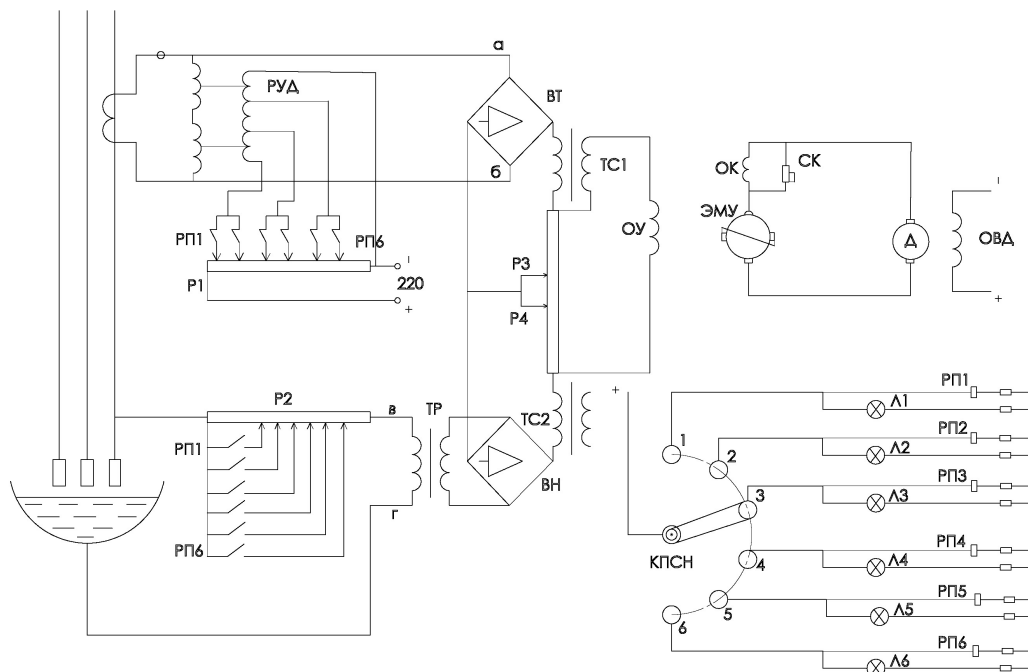


Рис. 1. Схема автоматичного регулювання електричного режиму електродугової печі для однієї фази

Управління здійснюється перемиканням ступеня напруги КПСН з централізованого пункту. При цьому подається напруга на котушки реле проміжних РП1-РП6. Одне з реле при включенні відповідного ступеня напруги замикає контакти на опорі P_2 вимірювального ланцюга напруги регуляторів електродів та на опорі обмотки P_1 управління дроселя насичення. При рівності напруги U_T і U_H відповідно між точками а-б обмотки змінного струму дроселя і точками в-г роздільного трансформатора на обмотку електромагнітного підсилювача ОУ сигнал не надходить і механізм переміщення електродів нерухомий. В іншому випадку, виконавчий механізм включає переміщення

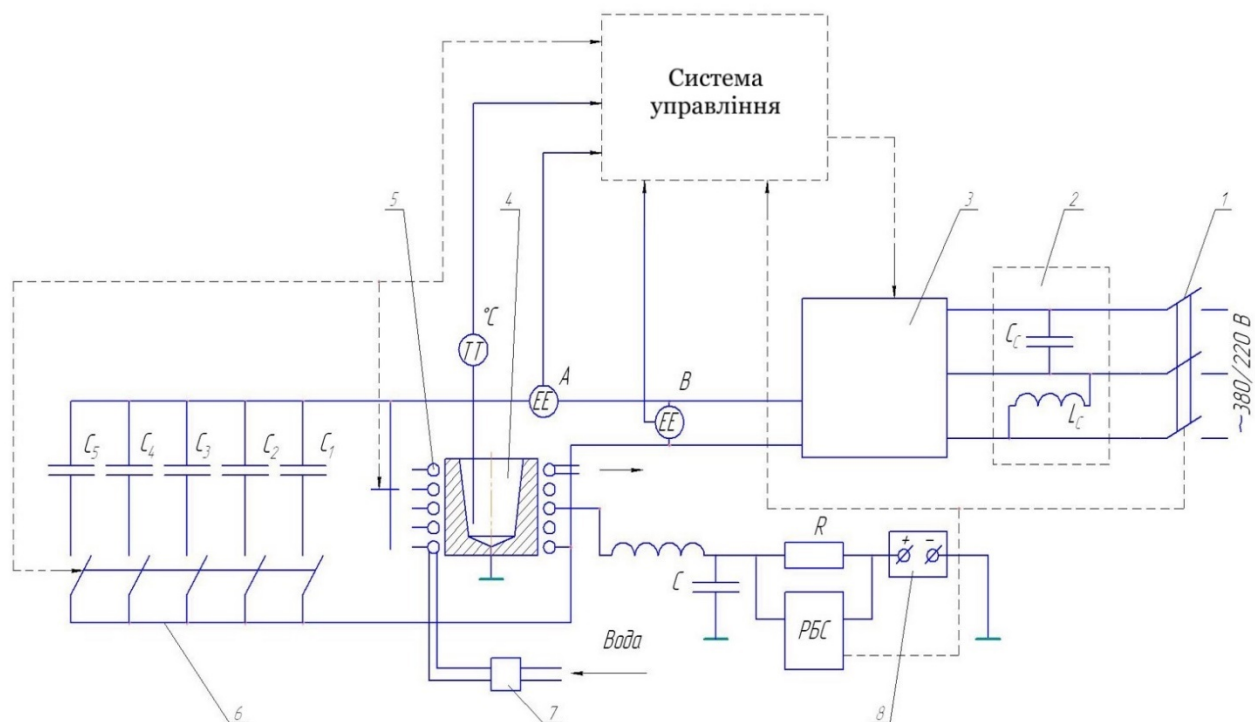


Рис. 3. Схема автоматизації індукційної плавки

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з функціональною схемою автоматизації електродугової плавки.
2. Ознайомитися з функціональною схемою автоматизації індукційної плавки.
3. Визначити суть процесів електродугової плавки та використання електродугової печі як міксеру для термочасової обробки розплаву, та суть процесу індукційної плавки.
4. Описати технологічний дуплекс-процес: які технологічні параметри даного процесу та який принцип функціонування комплексу.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Опис системи регулювання електричного режиму в електродуговій печі.
2. Опис контрольованих параметрів процесів електродугової та індукційної плавки.
3. Опис принцип функціонування комплексу, що реалізує дуплекс-процес.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу електродугової плавки.
2. Чи можна використовувати електродугову піч як міксер.
3. Який ККД електродугової печі більший – на етапах плавки та термочасової обробки.
4. В чому полягає суть процесу індукційної плавки.
5. В чому полягають переваги та недоліки процесів електродугової плавки та індукційної плавки.
6. Які технологічні параметри контролюються в процесах електродугової плавки та індукційної плавки.
7. Чи можна використовувати дуплекс-процес «електродугова піч – електрична (індукційна) піч / електрична (електродугова) піч» для виплавки чавуну.
8. З якою метою можна поєднувати електродугову плавку та індукційну плавку в єдиний дуплекс-процес «електродугова піч – електрична (індукційна) піч / електрична (електродугова) піч».

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.

ПОБУДОВА СХЕМАТИЧНОГО ДУПЛЕКС-ПРОЦЕСУ «ВАГРАНКА – КИСНЕВИЙ КОНВЕРТЕР»

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення основних технологічних параметрів та принципів функціонування дуплекс-процесу «вагранка – кисневий конвертер» на основі функціональних схем автоматизації процесів цього комплексу.

Теоретичні відомості

Вагранка – це піч шахтного типу для виплавки чавуну, що працює за принципом протитечії: згори донизу рухаються холодні шихтові матеріали, а на зустріч ним знизу підіймаються гарячі гази, що є продуктами згоряння палива – коксу, газу, або комбінації кокс+газ. Як перший керуючий вплив процесом плавки обирається керування завантаженням паливної калаші. Як другий керуючий вплив обирається керування положенням заслінки на трубопроводі, що подає повітря в фурменну коробку. Як керуючі фактори використовують також підігрів дуття та насичення дуття киснем.

Існує два основні принципи керування конвертерною плавкою: статичне і динамічне. Статичне полягає у виборі на підставі використання статичних моделей процесу деяких разових початкових або інтегральних керівних дій або реалізацій їх в процесі плавки. Статичне керування використовується в усіх АСУ ТП для розрахунку шихтовки плавки.

Динамічне керування полягає у реалізації деяких керуючих дій на підставі динамічної інформації, що надходить в часі по ходу плавки. Динамічну інформацію отримують, як правило, для непрямих параметрів процесу: кількості, температури і складу конвертерних газів, швидкості вигорання вуглецю, визначуваної по складу конвертерних газів, шуму конвертера, а також випромінювання полум'я над горловиною конвертера у конвертерах з допалюванням. Динамічне керування може будуватися на інформації про фактичний склад і температуру металу, визначувані за допомогою водоохолоджуваних занурених зондів, що опускаються в конвертер два або один раз у кінці продування. За допомогою зондів визначається температура або окисність металу і береться проба для експрес-аналізатора. За результатами роботи зонду визначається час припинення продування, уточняється кількість охолоджувальних або екзотермічних добавок і приймаються заходи, що забезпечують отримання сталі заданого складу і температури.

Постановка задачі

За заданими функціональними схемами автоматизації описати принцип функціонування технологічного комплексу, що реалізує дуплекс-процес «вагранка – кисневий конвертер». Схеми принципів представлені на рис. 2, 3.

Вихідні дані:

Знімаються із схем автоматизації (рис. 2, 3)

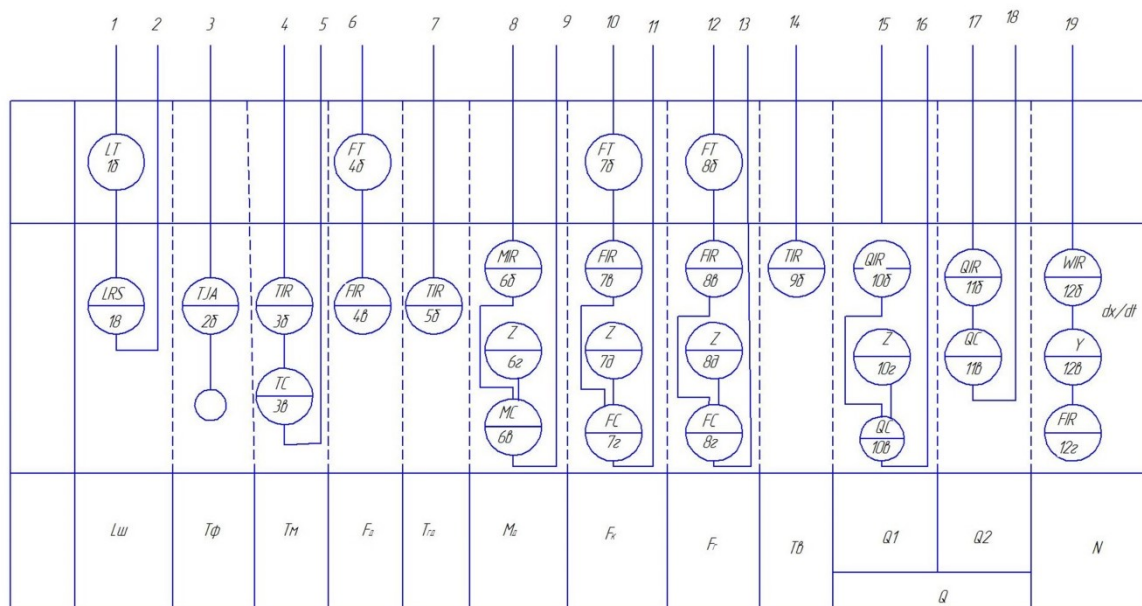
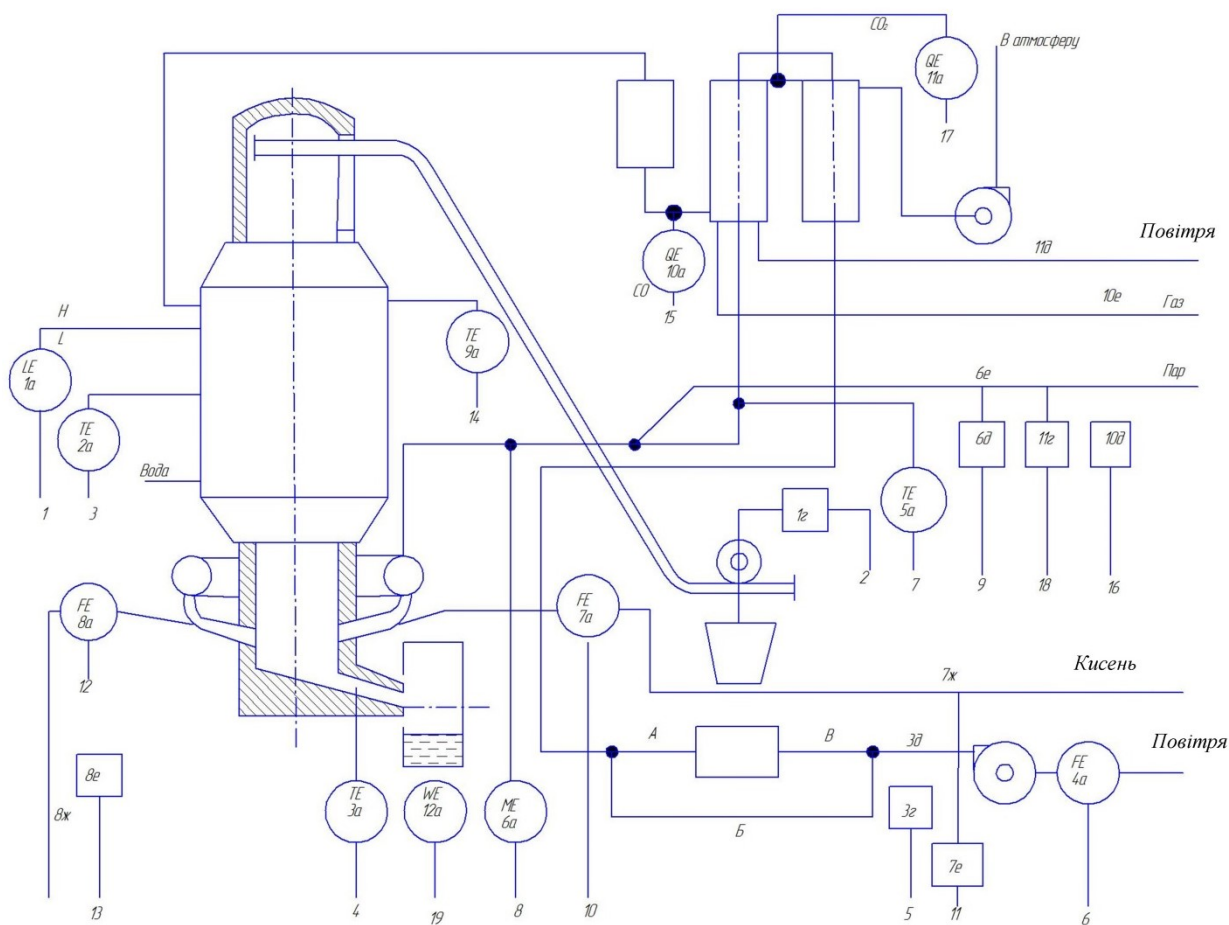


Рис. 2. Схема автоматизації плавки в вагранці

2. Що використовується в якості шихти та палива.
3. Що є джерелом температури у вагранці печі.
4. В чому полягає складність керування процесом плавки.
5. В чому полягає суть процесу конвертерної плавки.
6. Що є джерелами тепла для плавки.
7. В чому полягає складність керування конвертерним процесом.
8. Як визначається температура та окисність металу по ходу конвертерного процесу.
9. В чому полягають переваги та недоліки процесів ваграночної плавки та конвертерної плавки як об'єктів керування.
10. Які технологічні параметри контролюються в процесах ваграночної плавки та конвертерної плавки.
11. Чи можна використовувати дуплекс-процес «вагранка – кисневий конвертер» для виплавки чавуну.
12. З якою метою можна поєднувати ваграночну плавку та конвертерну плавку в єдиний дуплекс-процес «вагранка – кисневий конвертер».

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting // EUREKA: Physics and Engineering. 2023. Issue 2. P. 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>
- 3 Demin D. Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process // Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 3, Issue 1 (47). P. 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>.

Робота №6

РОЗРАХУНОК СКЛАДУ ЧАВУНУ ПРИ ПРОДУВЦІ ЙОГО В ТРЬОХВАННОМУ КОПИЛЬНИКУ ВАГРАНКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення складу чавуну при продувці його в трьохванному копильнику вагранки.

Теоретичні відомості

У процесі плавки чавун з вагранки безперервно надходить у трьохваний копильник, з якого метал видається в роздавальні ковші. Але перед видачею відбувається продувка чавуну киснем. Це робиться для того, щоб забезпечити заданий рівень перегріву чавуну завдяки теплоті екзотермічних реакцій. Цей метод застосовується при виготовленні тонкостінного литва. Але такий технологічний процес може бути використаний і для виробництва сталі. Перша ванна застосовується для дефосфорації, друга – для видалення вуглецю, третя – для видалення сірки.

Постановка задачі

За наявними даними промислових досліджень побудувати залежність елементів хімічного складу чавуну від сумарної витрати кисню по ваннах.

Вихідні дані:

Витрата кисню, м ³ /т чавуну	Угар вуглецю , %, для варіантів				
	1	2	3	4	5
6.5	0.3	0.28	0.29	0,27	0,25
7.5	0.32	0.32	0,34	0,3	0,27
9.5	0.38	0,4	0,42	0,39	0,34
10.5	0.41	0.43	0,45	0,44	0,36
12	0.48	0.5	0,52	0,54	0,39
Угар кремнію , %, для варіантів					
6.5	0.31	0.33	0.33	0.31	0.31
7.5	0.51	0.54	0.48	0.47	0.56
9.5	0.47	0.49	0.49	0.49	0.48
10.5	0.62	0.64	0.61	0.59	0.59
12	0.53	0.56	0.59	0.57	0.51
Угар марганцю , %, для варіантів					
6.5	0.35	0.32	0.30	0.34	0.33
7.5	0.32	0.34	0.32	0.36	0.35
9.5	0.37	0.38	0.39	0.39	0.39
10.5	0.46	0.49	0.46	0.48	0.44
12	0.40	0.44	0.45	0.46	0.42

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу продувки чавуну в трьохванному копильнику вагранки.
2. Побудувати залежність вмісту вуглецю, кремнію, марганцю від сумарної витрати кисню на продувку.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті процесу плавки у вагранці.
2. Вихідні дані для побудови залежностей та отримані залежності.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу продувки розплаву в ваннах копильника.
2. Що є джерелами тепла в процесі продувки.
3. Що є перевагами процесу продувки розплаву в ваннах копильник.
4. Як змінюється вміст вуглецю в розплаву і процесі продувки киснем.
5. Як змінюється вміст кремнію в розплаві в процесі продувки киснем.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting // EUREKA: Physics and Engineering. 2023. Issue 2. P. 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>
- 3 Demin D. Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process // Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 3, Issue 1 (47). P. 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>.
4. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

Робота №7

РОЗРАХУНОК ЗМІНИ СКЛАДУ ТА ТЕМПЕРАТУРИ ЧАВУНУ У ВАГРАНЦІ ПРИ ЗБАГАЧЕННІ ДУТТЯ КИСНЕМ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення складу та температури чавуну при збагаченні дуття киснем задля інтенсифікації процесу ваграночної плавки.

Теоретичні відомості

При продувці киснем чавуну в процесі ваграночної плавки забезпечується інтенсифікація процесу та більш вигідні умови для видалення сірки в разі використання основної футеровки. Цьому сприяє підвищена температура, малий вміст окису заліза в металі та шлаку, висока основність та рідкорухливість шлаку. Копільник, в який додається кисень, стає агрегатом, в якому протікають процеси окислення домішок чавуну. Завдяки екзотермічному ефекту відбувається підігрів розплаву, забезпечуючи вимоги щодо перегріву.

Постановка задачі

За наявними даними промислових досліджень побудувати залежність вмісту вуглецю та температури від концентрації кисню в дутті.

Вихідні дані:

Концентрація кисню в дутті, %	C, %	Температура чавуну, T, °C
21	3.6	1400
24	3.97	1470
24	3.94	1480
27	4.08	1500
30	4.20	1510

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу збагаченні дуття киснем у ваграночній плавці.
2. Побудувати залежність вмісту вуглецю від концентрації кисню в дутті.
3. Побудувати залежність температури від концентрації кисню в дутті.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті процесу плавки у вагранці.
2. Вихідні дані для побудови залежностей та отримані залежності.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу збагаченні дуття киснем.
2. Що є джерелами тепла в технологічному процесі.
3. Що є перевагами процесу збагачення дуття киснем.
4. Як змінюється вміст вуглецю в разі збагачення дуття киснем.
5. Як змінюється температура чавуну в разі збагачення дуття киснем.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting // EUREKA: Physics and Engineering. 2023. Issue 2. P. 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>
- 3 Demin D. Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process // Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 3, Issue 1 (47). P. 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>.

ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВІДХОДЯЩИХ ГАЗІВ ТА ТЕМПЕРАТУРИ У ВАГРАНОЧНОМУ ПРОЦЕСІ

Мета роботи

Теоретичні відомості

В процесі ваграночної плавки відбувається горіння палива, внаслідок якого виділяється тепло, завдяки якому здійснюється процес розплавлення твердої шихти та формується розплав чавуну. Це супроводжується виділення газів, переважно CO та CO₂. Задля забезпечення екологічних показників використовуються процеси знешкодження, наприклад допалювання CO та CO₂, та утилізація відходящих газів (рис. 1). Як перший керуючий вплив (u_1) обирається керування завантаженням паливної калюші. Як другий керуючий вплив (u_2) обирається керування положенням заслінки на трубопроводі, що подає повітря в фурменну коробку (рис. 1).

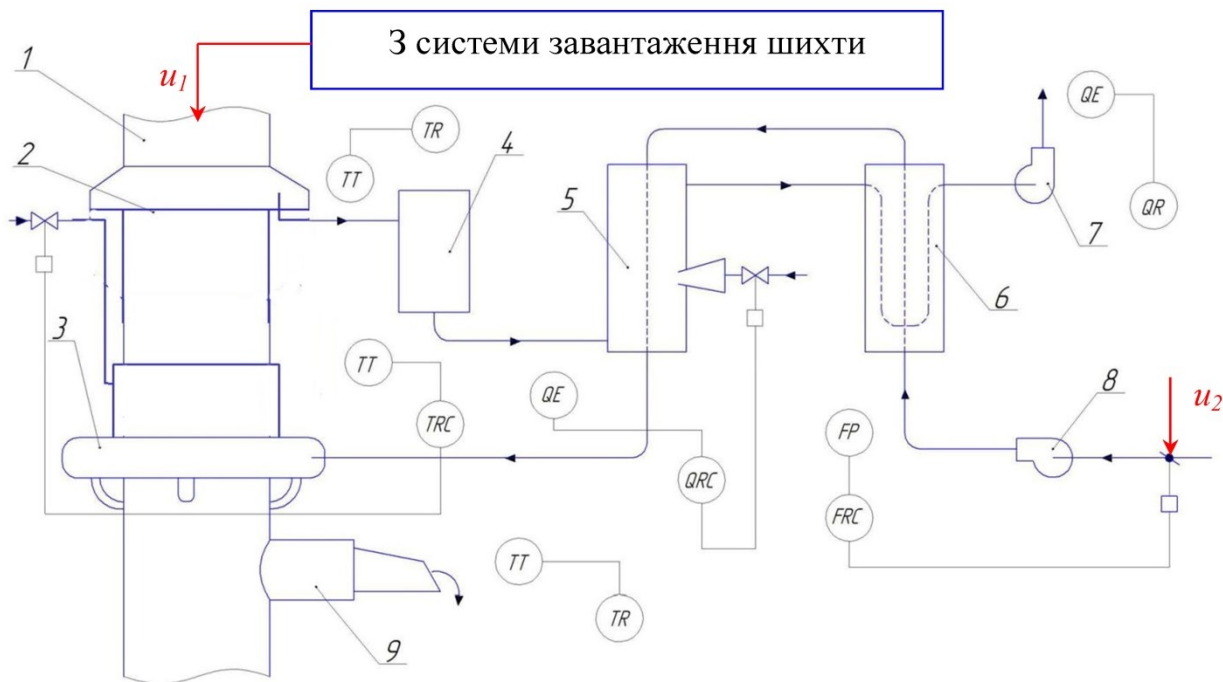


Рис. 1. Спрощена схема управління процесом ваграночної плавки
1 – вагранка; 2 – іскрогасник; 3 – фурменний пояс; 4 – мокрий очисник; 5 – рекуператор радіаційний; 6 – рекуператор конвективний; 7 – димосос; 8 – вентилятор; 9 – копильник

На рис. 2 наведена візуалізація температурного профілю вагранки по зонах завантаження. Прийнято такі позначення:

H – рівень горизонту по висоті вагранки,
 h – поточна координата по висоті вагранки,
 h_{sh} – горизонт по висоті вагранки, що відповідає положенню верхнього рівня холостої колоши,
 h_{shmax} – максимальний горизонт по висоті вагранки, що відповідає максимальному положенню верхнього рівня холостої колоши,
 h_{shmin} – мінімальний горизонт по висоті вагранки, що відповідає мініимальному положенню верхнього рівня холостої колоши,
 Δh^+ – позитивне відхилення верхнього рівня холостої колоши по горизонту,
 Δh^- – негативне відхилення верхнього рівня холостої колоши по горизонту,
 T – температура в вагранці,
 T_{iron} – температура чавуна при випуску з вагранки.

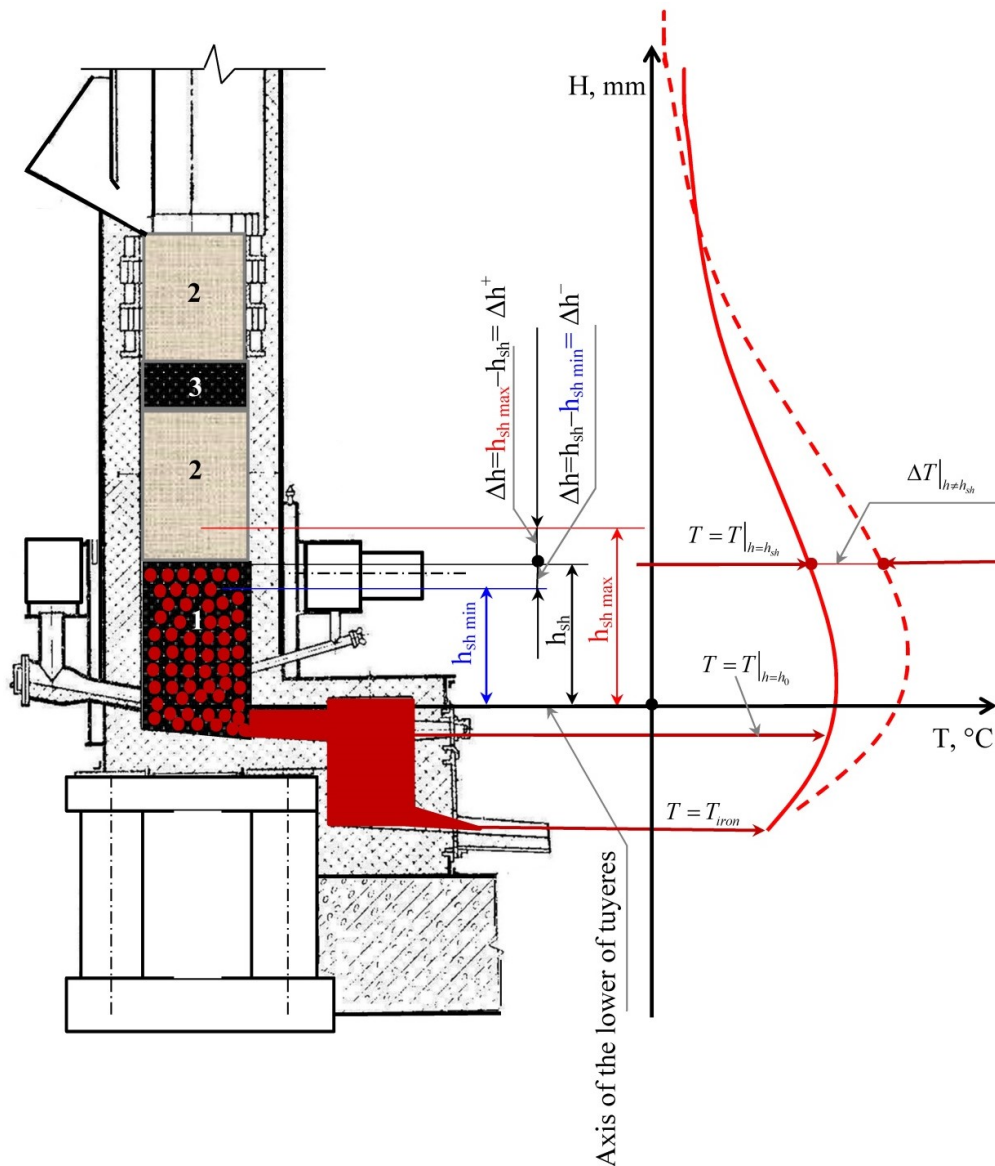


Рис. 2. Візуалізація температурного профілю вагранки за зонами завантаження:
 1 – холоста колоша; 2 – металева колоша; 3 – паливна колоша

Для управління процесом та забезпечення необхідних показників по вмісту шкідливих газів, що викидаються з вагранки, необхідно вимірювати температуру газів та вміст CO та CO₂ з максимальною точністю. Якщо це вдається по різних на горизонтах вагранки, тобто на різній висоті від рівня фурм, то можна прогнозувати температуру чавуну на жолобі вагранки при його видачі в ковш, а також температуру та склад газів на виході з вагранки. Для цього може бути використаний принцип вимірювання, заснований на розстановці датчиків відповідно до D-оптимальних планів на відрізок, які дозволяють з максимальною точністю оцінити значення вихідних змінних. Вихідною змінною є температура в точці контакту футерування, коксу та розплаву чавуну, що стікає через пори між шматками коксу, а також вміст CO та CO₂. Принцип розміщення датчиків відповідно до точок D-оптимального плану представлений на рис. 3.

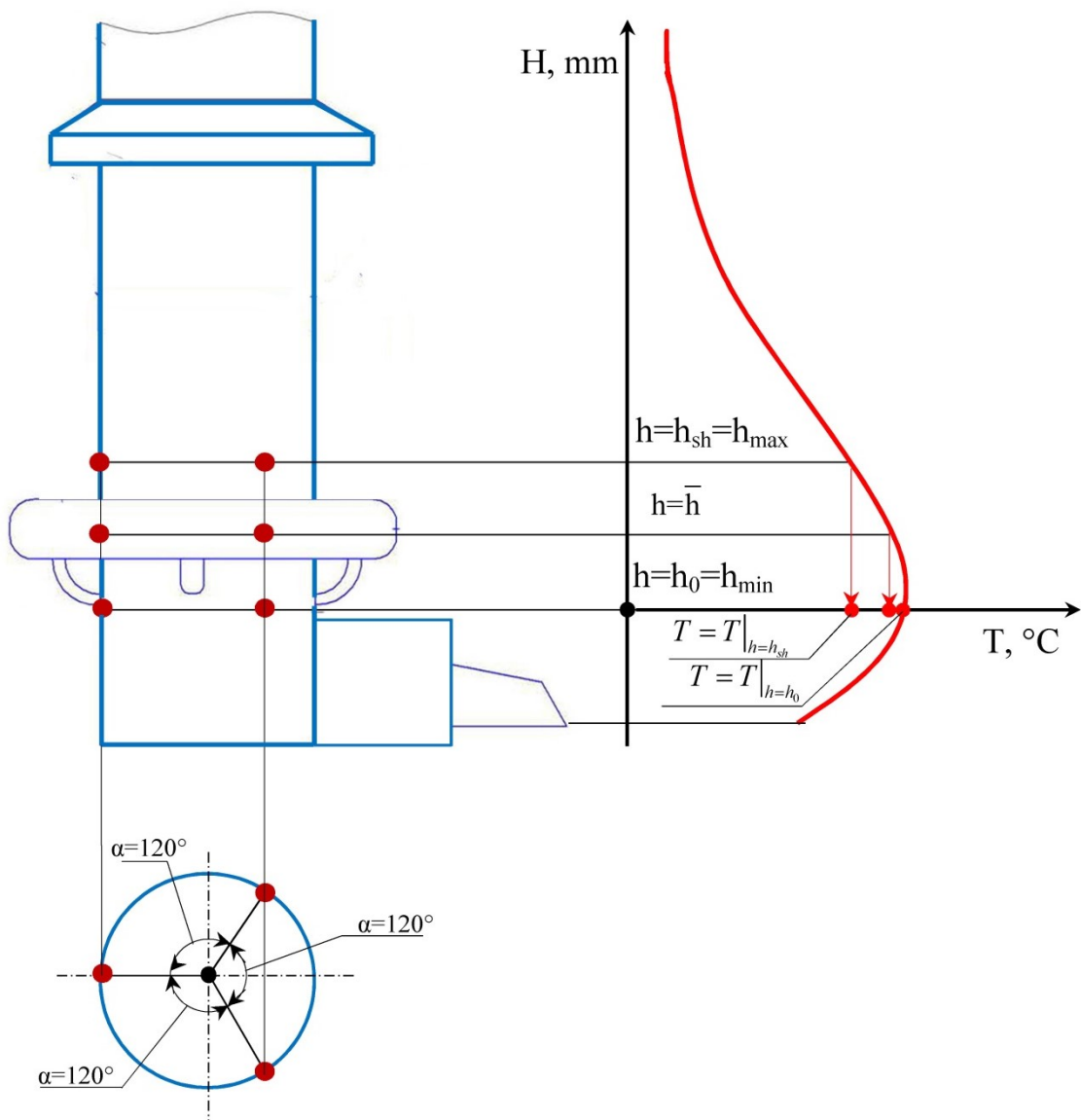


Рис. 3. Принцип розстановки датчиків відповідно до точок D-оптимального плану: ● — точка установки датчика

Враховуючи, що в зоні холостої колоши розподіл температури по висоті може бути представлений у вигляді параболи, достатньо встановити датчики на трьох рівнях по висоті і в трьох точках за відповідним рівнем горизонту. В цьому випадку кут між датчиками становить 120° (рис. 2). Таким чином, входною змінною для реалізації D-оптимального плану за висотою є змінна h , а для реалізації D-оптимального плану внутрішнього контуру вагранки – змінна α . Обидві змінні наводяться до нормованого вигляду

$$x_i = \frac{x_{in} - \bar{x}_i}{I_i}, \quad (1)$$

де x_i – нормоване значення входних змінних, i – індекси, що ідентифікують входні змінні: $i = 1$ для h , $i = 2$ для α , x_{in} – натуральне значення входних змінних, $\bar{x}_i$ – середнє значення входних змінних, I_i – інтервали варіювання входних змінних:

$$I_i = x_{in}^{\max} - \bar{x}_i = \bar{x}_i - x_{in}^{\min}. \quad (2)$$

Операція (2) переводить натуральні значення входних змінних в нормований діапазон $[-1; +1]$. Побудова D-оптимального плану здійснюється в точках нормованого діапазона:

- за висотою: $x_{1\min} = -1$, $x_{1\max} = +1$, $\bar{x}_1 = 0$,
- за кутом: $x_{2\min} = -1$, $x_{2\max} = +1$, $\bar{x}_2 = 0$,

Рівняння, що описує температурний профіль по висоті в функції нормованої входної змінної, має вигляд:

$$T = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_1 x_1^2, \quad (3)$$

де β_i – коефіцієнти, що мають бути визначені за результатами промислових експериментів.

В натуральному вигляді рівняння (2.5) представляється в наступний спосіб:

$$T = \beta_0 + \beta_1 \frac{x_1 - \bar{x}_1}{I_1} + \beta_1 \left(\frac{x_1 - \bar{x}_1}{I_1} \right)^2. \quad (4)$$

Рівняння, що описує температурний профіль внутрішнього контуру вагранки, має аналогічну структуру.

Коефіцієнти в (4) розраховуються за матричним рівнянням

$$\mathbf{B} = \frac{1}{3} \mathbf{D} \mathbf{F}^T \mathbf{Y}, \quad (5)$$

де $\mathbf{B}$ – матриця коефіцієнтів, $\mathbf{Y}$ – вектор-стовпчик значень вихідної змінної (температури), $\mathbf{D}$ – нормована дисперсійна матриця D-оптимального плану:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 3 & 0 & -3 \\ 0 & 1.5 & 0 \\ -3 & 0 & 4.5 \end{pmatrix},$$

$\mathbf{F}$ – матриця D-оптимального плану:

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix},$$

$\mathbf{F}^T$ – транспонована матриця D-оптимального плану:

$$\mathbf{F}^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

Дисперсія оцінки вихідної змінної визначається за формулою

$$s_T^2(x) = \mathbf{f}^T(\mathbf{x}) (\mathbf{F}^T \mathbf{F})^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}) s^2, \quad (6)$$

де $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{pmatrix} 1 \\ x_i \\ x_i^2 \end{pmatrix}$, $\mathbf{f}^T(\mathbf{x}) = (1 \ x_i \ x_i^2)$, s^2 – оцінка дисперсії:

$$s^2 = \frac{1}{(nv - n)} \sum_{j=1}^n \left((T^{calc})_j - (T^{ex})_j \right)^2, \quad (7)$$

де $n=3$ – число точок D-оптимального плану, v – число паралельних вимірювань в кожній точці D-оптимального плану, T^{calc} – значення вихідної змінної, розраховане за рівнянням (3), T^{ex} – експериментальне значення вихідної змінної, що знімаються з датчиків.

Отримане рівняння (3) дозволяє розрахувати температуру у системі «футеровка – кокс – розплав» у точці установки датчика з максимальною точністю. Оцінка дисперсії визначення температури в такому разі визначається з (6).

В аналогічний спосіб можуть бути отримані рівняння, які описують вміст газів по висоті вагранки.

Постановка задачі

Побудувати D-оптимальний план для визначення місць установки датчиків та рівняння, що описують температуру та вміст газів по висоті вагранки.

Вихідні дані:

Координата по висоті вагранки від осі фурм, мм	CO, %	CO ₂ , %	T, °C
100			1660
200	2	12	
400	6	14	
500			1680
650			1650
800	10	15	
850			1580
1200	11.5	14.5	1360
1600	12.3	13.6	

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу ваграночної плавки.
2. Ознайомитися з принципом побудови D-оптимальних планів.
3. Вивчити процедуру побудови на основі використання D-оптимальних планів рівнянь, що описують розподіл температури та вмісту газів по висоті вагранки.
4. Побудувати рівняння розподілу температури по висоті вагранки.
5. Побудувати рівняння розподілу CO по висоті вагранки.
6. Побудувати рівняння розподілу CO₂ по висоті вагранки.

Оформлення звіту

1. Стислий опис суті процесу плавки у вагранці.
2. Вихідні дані для побудови рівнянь розподілу температури та вмісту газів по висоті вагранки.
3. Наведення рівнянь розподілу температури та вмісту газів по висоті вагранки.
4. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу ваграночної плавки.
2. Що є джерелами тепла у ваграночному процесі.
3. Який вигляд має температурний профіль вагранки в зоні горіння палива.
4. Чи залежить максимальна температура газів від кількості дуття та розмірів паливної та металевої калаш.
5. Як локалізований максимум температури газів у вагранці.
6. Який вигляд має залежність вмісту CO від висоти вагранки.
7. Який вигляд має залежність вмісту CO₂ від висоти вагранки.

8. Як вирішуються питання забезпечення екологічних вимог до процесу ваграночної плавки.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting // EUREKA: Physics and Engineering. 2023. Issue 2. P. 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>
- 3 Demin D. Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process // Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 3, Issue 1 (47). P. 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з курсу «Інноваційні основи металургії. Екологія та охорона праці в ливарному
виробництві»,
для студентів спеціальностей 136 – Металургія,
за освітньою програмою
«Металургійні процеси та системи»

Укладачі: ДЬОМІН Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск О. В. Акімов

Роботу до видання рекомендує О. І. Пономаренко

За авторською редакцією

План 2025р., поз. 278

Підп. до друку 2025 р. Гарнітура Times New Roman

Видавничий центр НТУ «ХП»,

вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

Електронна версія