

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з курсу «Автоматизація металургійного виробництва»,
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 «Автоматизація металургійного виробництва»,
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 «Автоматизація металургійного виробництва», для студентів спеціальностей 136 – Металургія, за освітньою програмою «Металургійні процеси та системи» / Укл. Дьомін Д. О. – Харків, НТУ «ХПІ», 2025. – 36 с.

Укладачі: Д. О. Дьомін

Рецензент проф. Акімов О.В.

Кафедра ливарного виробництва

Харків 2025

Робота №1

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОМЕННОГО ПРОЦЕСУ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з доменного процесу, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу доменної плавки.

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.

Перед завантаженням у доменну піч пилювату шихту зволожують і на гуркітах відсівають коксову дрібницю. Завантаження шихти в піч повністю механізовано. Скиповий витяг або конвеєр піднімає шихту на колошник, потім шихта надходить у приймальну вирву двоконусного засипного апарату. Для розподілу шихти за перерізом колошника передбачений розподільник шихти, що обертається.

Дуття подається в піч повітродувними машинами, встановленими на пароповітродувній станції (ППС). Перед подачею в піч дуття нагрівають у регенеративних повітронагрівачах, зволожують паром до заданого вмісту вологи і збагачують киснем. Зазвичай у доменних печах використовують комбіноване дуття, що містить у своєму складі природний газ.

Доменний газ в системі газоочищення очищають від пилу в пиловловлювачах (грубе очищення) і водою в скруберах високого та низького тиску. Після скрубера високого тиску газ пропускають через краплеуловлювач для осушення.

Чавун і шлак із відповідних льоток по жолобах надходять у ковші та в них транспортуються до місця використання. Для охолодження печі та очищення газу використовується вода.

Основним завданням при керуванні доменним процесом є стабілізація теплового стану печі, що виявляється у сталості продуктивності печі, складу та температури продуктів плавки. Головними причинами коливань теплового стану є зміни якості шихти, відхилення температури і складу дуття від заданих значень, порушення в розподілі матеріалів по перерізу печі. Сильний вплив на

тепловий стан печі здійснює вологість коксу (оскільки кокс дозуюють за масою), зміст і рівень окисленості заліза в шихті. Тому саме ці обурення мають бути в першу чергу компенсовані при ручному або автоматичному керуванні ходом доменної печі.

Доменна піч – це об'єкт регулювання з великою інерційністю. Так, при зміні складу шихти перехідний процес триває $(2-3)\tau_0$, а при зміні параметрів дуття $(1-2)\tau_0$, де τ_0 – час знаходження матеріалів у печі, що дорівнює 5–6 год.

Постановка задачі

За заданою принциповою схемою процесу визначити контури сигналізації, контролю, регулювання параметрів доменного процесу та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 1.

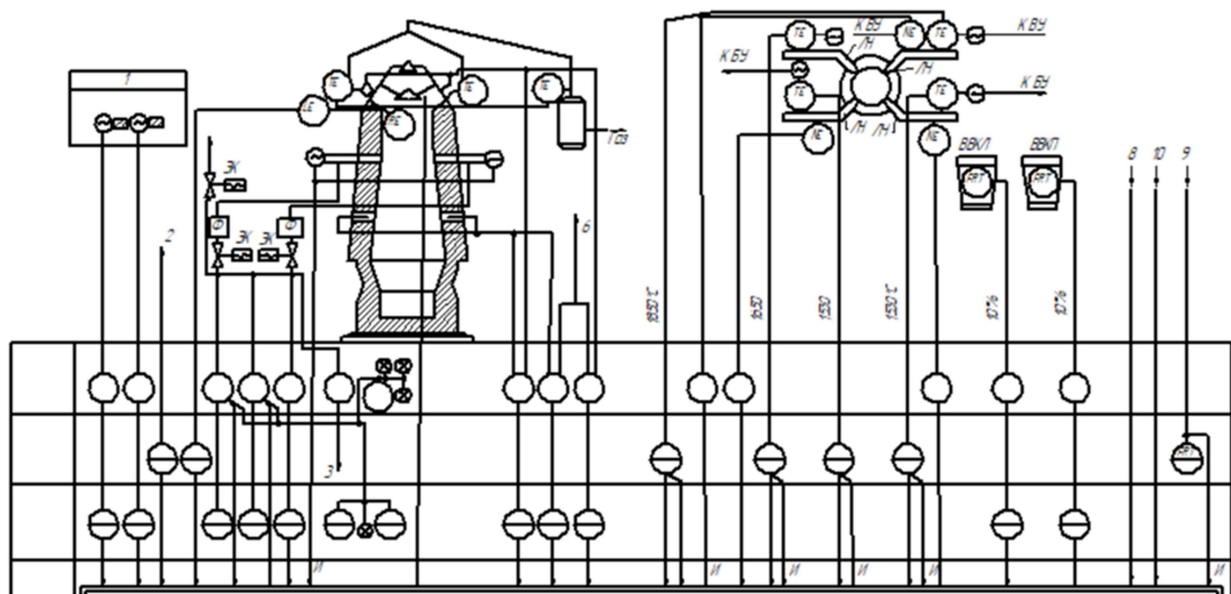


Рис. 1. Схема принципова доменного процесу для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- швидкість сходу шихти,
- температура в робочому просторі,
- температура газів на виході з печі,
- температура дуття,
- витрата дуття,
- перепад тиску,
- вологість коксу,
- склад газів,
- параметри продуктів плавки

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу доменної плавки.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити по контурах контрольовані параметри та розмістити прибори сигналізації, контролю, керування.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті доменного процесу.
2. Опис контрольованих параметрів процесу.
3. Вихідна схема з нанесеними контурами керування та розміщенням відповідних засобів автоматизації.
4. 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. Які параметри завантаження печі мають контролюватися та як здійснюється керування цими параметрами.
6. Які параметри дуття мають контролюватися, який агрегат для цього використовується та як здійснюється керування цими параметрами.
7. Що є основним завданням при керуванні доменним процесом та з чим це пов'язано.
8. Що є головними причинами коливань теплового стану доменної печі.
9. Чи передбачена система охолодження печі та які елементи печі підлягають охолодженню.
10. Яка інерційність доменної печі як об'єкту керування.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАРТЕНІВСЬКОГО ПРОЦЕСУ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з мартенівського процесу, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу мартенівської плавки.

Теоретичні відомості

При виплавці сталі в мартенівських печах відбувається випалювання з чавуну кремнію, марганцю, фосфору, сірки і вуглецю. Великі сучасні мартенівські печі працюють на скрап-рудному процесі, при якому металева частина шихти складається з 50–60% рідкого чавуну і 50–40% залізного брухту відповідно. Джерелами кисню для окислення чавуну служать залізна руда, технічний кисень, застосовуваний для продувки ванни через спеціальні зводові фурми; кисень атмосфери печі, що надходить у ванну через шлак. Аналіз продуктів згоряння, проводиться за допомогою автоматичних газоаналізаторів або аналізатора надлишкового кисню.

З точки зору автоматизації мартенівська піч і процес плавки мають наступні особливості:

- періодичність дії, тобто процес циклічно повторюється від завалки до випуску плавки;
- живлення теплом (теплова потужність) і температура різних частин печі змінюється по ходу плавки від плавки до плавки по ходу кампанії плавки;
- технологічні процеси, що протікають в печі, дуже складні, йдуть з поглинанням і виділенням тепла і виділенням горючих газів (CO_2 з ванни)
- режим роботи печі схильний до різких збурень, пов'язаних з періодичним реверсуванням факела;
- відсутні багато датчиків, необхідних для автоматичного управління мартенівської плавкою (датчики складу металу, шлак та ін.).

Використовують два основних способи управління тепловою потужністю:

- статичне програмне керування,
- динамічне керування.

При статичному програмному керуванні на підставі попередніх досліджень розробляють теплову інструкцію, в якій задані теплова потужність та витрати різних видів палива для кожного періоду плавки. На підставі Інструкції сталевар встановлює завдання окремим регуляторам витрати палива, коригуючи їх на підставі власного досвіду. Тобто функцію керування виконує сталевар, а локальні системи автоматики тільки підтримують задані витрати палива. Однак у зв'язку з інтенсифікацією процесів плавки шляхом подачі кисню в факел і в ванну статичне керування все менш задовольняє вимогам забезпечення економічної роботи печей. При збільшенні інтенсивності

продувки ванни киснем і скороченні періодів заливки-прогріву шихти коливання температури зводу печі підвищуються до рівня від 1300–1400 до 1800–1900°C. Так само впливають значні коливання вмісту кисню і горючих компонентів у продуктах згоряння. Ця нестаціонарність теплового процесу зумовила застосування динамічного керування, що використовує поточну інформацію і задає керуючий вплив по ходу плавки.

До динамічних систем керування тепловою потужністю можна віднести системи керування обмежуючим фактором, в яких теплова потужність підтримується на максимальному рівні до тих пір, поки хоча б один з обмежуючих факторів (температура зводу, температура насадок, вміст O_2 в продуктах згоряння і т. д.) не вийде за допустимі значення. Якщо така ситуація виникає, то теплова потужність починає дискретно або безперервно знижуватися до тих пір, поки параметр не увійде в допустимі межі.

Завдання регулювання горіння в мартенівській печі – це повне спалювання палива всіх видів, включаючи і СО з ванни, в межах робочого простору печі. Контролювати якість спалювання палива можна за аналізом продуктів згоряння, зокрема на O_2 , використовуючи газоаналізатори.

При проектуванні схем регулювання горіння можна рекомендувати використовувати регулювання горіння по співвідношенню палива всіх видів і носіїв кисню та схему регулювання з корекцією по аналізу продуктів згоряння. Провідними параметрами є витрати палива (природного газу і мазуту), введення–витрата вентиляторного повітря, витрата кисню, що подається в факел, і витрата стисненого повітря.

Завдання регулятору співвідношення встановлює сталевар, використовуючи для цього дистанційний задатчик.

Регулювання тиску з корекцією по аналізу продуктів згоряння забезпечує більш повне спалювання палива, дозволяє враховувати, що виділяється з ванни. В цьому випадку застосовують спеціальні коригуючий регулятор, що замінює задатчик співвідношення. Співвідношення задається автоматично в залежності від відхилення вмісту кисню в продуктах згоряння від заданого.

Тиск в робочому просторі мартенівської печі регулюють таким чином, щоб на рівні отворів в робочих вікнах для візуального спостереження («гляделки» на професійному сленгу) надлишковий тиск дорівнював нулю. При цьому під склепінням тиск становить 30–60 Па. Тиск регулюють шиббером, встановленим в загальному боріві перед димовою трубою, або направляючим апаратом димососа котла-утилізатора.

Система автоматичного перекидання клапанів у мартенівській печі служить для обертання насадок регенераторів, дозволяє зменшити час між перекиданнями клапанів, що може здійснюватися різними способами. Найбільш простою системою автоматичного перекидання клапанів є перекидання за часом з використанням моторного реле часу. Завдання встановлює сталевар окремо для кожної сторони печі і змінює вручну по ходу плавки. Така система не гарантує від перегріву насадки і не забезпечує оптимальної тривалості між перекиданнями.

Більш поширеною та ефективною є система перекидання клапанів по різниці температур зверху насадок з контролем за часом. Щоб уникнути зміни частоти перекидання при випадкових короткочасних коливаннях температури насадки систему блокують з реле часу, яке не пропускає командний сигнал до закінчення, встановленого на реле мінімального значення часу.

Застосовується також перекидання клапанів за допомогою інтегрального реле часу, яке являє собою моторне реле часу з частотою обертання двигуна пропорційно до температури гріючої насадки. Перекидання клапанів відбувається після кожного півоберта вихідного валу реле, при цьому інтервал між перекиданнями обернено пропорційний температурі насадки за період нагріву.

Постановка задачі

За заданою принциповою схемою процесу визначити контури сигналізації, контролю, регулювання параметрів мартенівського процесу та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 1.

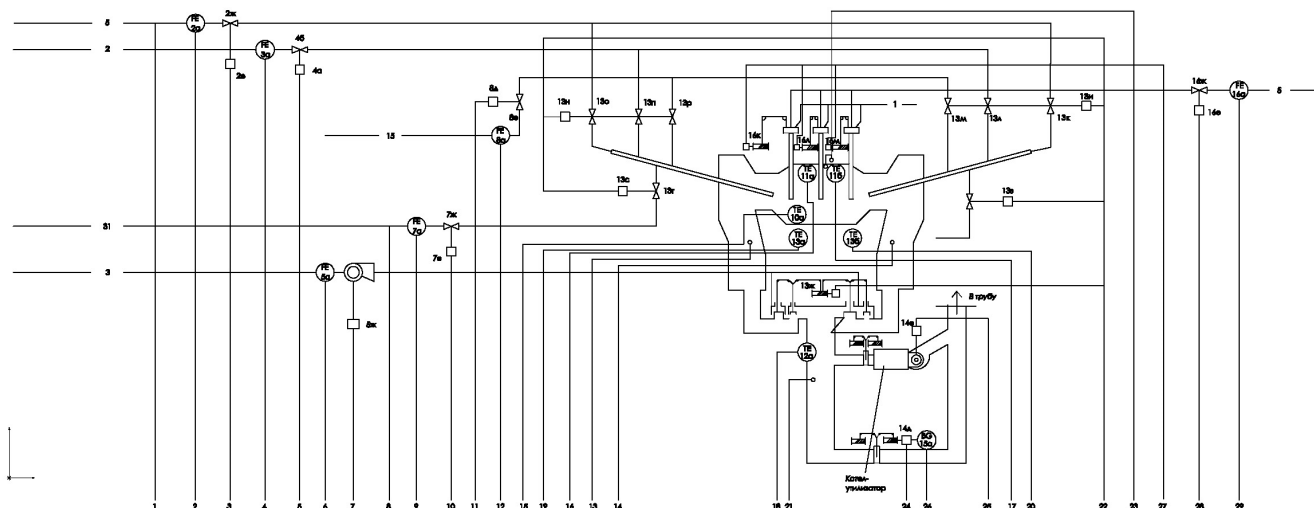


Рис. 1. Схема принципова мартенівського процесу для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- витрата кисню на факелі,
- витрата пари,
- співвідношення паливо:повітря,
- витрата газу та мазуту,
- теплове навантаження,
- температура сталі,
- температура конструктивних елементів печі,
- температура охолодження печі,
- тиск в робочому просторі,

– витрати кисню на ванну

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу мартенівської плавки.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити по контурах контрольовані параметри та розмістити прибори сигналізації, контролю, керування.

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. В чому полягає суть процесу мартенівської плавки.
2. Що використовується в якості шихти та палива.
3. Що є джерелами кисню для окислення чавуну.
4. Які особливості мартенівської печі та процесу плавки в ній як об'єкту автоматизації (керування).
5. Які основні параметри печі та процесу плавки мають контролюватися та як здійснюється керування цими параметрами.
6. Які є способи управління тепловою потужністю мартенівської печі.
7. В чому полягає завдання регулювання горіння в мартенівській печі
8. Як регулюють тиск в робочому просторі мартенівської печі.
9. Для чого служить система автоматичного перекидання клапанів у мартенівській печі.
10. Як здійснюється перекидання клапанів в процесі мартенівської плавки.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНВЕРТЕРНОГО ПРОЦЕСУ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з конвертерного процесу, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу конвертерної плавки.

Теоретичні відомості

Киснево-конвертерний процес з верхнім продуванням полягає в продуванні рідкого чавуну киснем, що підводиться до металу згори через сопла водоохолоджуваної форми. При цьому вигорають домішки чавуну: вуглець, кремній, марганець, сірка, фосфор, а продукти реакцій переходять в шлак або газову фазу. При екзотермічних окислювальних реакціях виділяється більше тепла, ніж треба для нагріву сталі до температури випуску, тому вводять охолоджувачі, якими можуть бути сталевий лом або залізна руда. Конвертерний процес протікає дуже швидко, що є його основною перевагою з точки зору досягнення високої продуктивності агрегату, але і створює значні труднощі, що ускладнюють управління плавкою. В ході плавки відсутня безперервна інформація про склад металу, і тому основною трудностю є припинення продування при заданому вмісті вуглецю. Швидкість вигорання вуглецю настільки велика що, 1 хвилина відповідає переходу до сталі іншої марки. Додаткова трудність полягає в тому, що до моменту припинення продування температура металу також має бути в заданих межах.

Використовують локальні системи керування – без застосування ЕОМ автоматичне регулювання зводиться до підтримки заданої витрати кисню, регулюванню положення кисневої фурми і тиску в кесоні на виході з конвертера, якщо це конвертер без допалювання.

У схемі автоматизованої системи застосовується суматор, що дає інформацію про кількість кисню, що поступив в конвертер, з початку продування. Ця інформація використовується для визначення моменту припинення продування. Передбачено також автоматичне облаштування забезпечення безпеки – воно дає команду на припинення подання кисню і витягання фурми з конвертера при падінні тиску кисню, падіння тиску при витраті охолоджуваної фурми води, а також при збільшенні температури води при сливі з фурми вище певного рівня. Таке збільшення може свідчити прогар фурми.

Повна автоматизація конвертерного процесу неможлива без застосування ЕОМ, поза межами АСУ ТП. у АСУ ТП конвертерного виробництва сталі можна розглядати два основні принципи керування: 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. До початкових керівних дій можливо віднести витрати лому, чавуну, руди, вапна, які розраховуються на ЕОМ по балансних рівняннях і використовуються при шихтовці плавки. До інтегральних керівних дій відносять сумарну кількість кисню, яку необхідно подати в конвертер для випалювання усіх домішок і отримання потрібного змісту в металі вуглецю. 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. Такими діями є витрата кисню, висота кисневих фурм, кількість і тривалість присадки сипких матеріалів. 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 будується так, щоб добитися певного характеру цієї інформації, наприклад, заданої кривої виміру швидкості вигорання вуглецю або температури конвертерних газів по ходу плавки. 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, уточнюється кількість охолоджувальних або екзотермічних добавок і приймаються заходи, що забезпечують отримання сталі заданого складу і температури.

Постановка задачі

За заданою принциповою схемою процесу визначити контури сигналізації, контролю, регулювання параметрів конвертерного процесу та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 1.

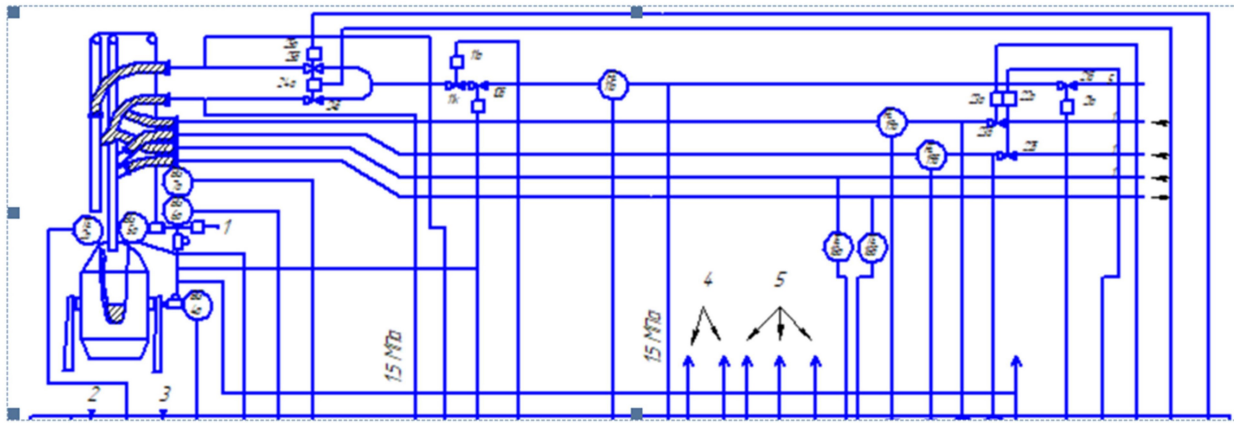


Рис. 1. Схема принципова конвертерного процесу для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- температура чавуну та сталі,
- температура випромінювання полум'я конвертера,
- положення конвертера,
- положення фурми,
- час продувки,
- тиск перед фурмами,
- витрата кисню,
- склад газів, що відходять з печі,
- температура газів, що відходять з печі,
- параметри охолодження фурм.

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу конвертерної плавки.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити по контурах контрольовані параметри та розмістити прибори сигналізації, контролю, керування.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

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

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу конвертерної плавки.
2. Що є джерелами кисню для окислення чавуну.
3. Що є перевагами конвертерного процесу.
4. В чому полягає складність керування конвертерним процесом.
5. В чому полягає суть статичного керування конвертерним процесом.
6. В чому полягає суть динамічного керування конвертерним процесом.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ НЕПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з процесу неперервної розливки, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу неперервної розливки.

Теоретичні відомості

Процес неперервної розливки сталі застосовується для різних типів сплавів. Якщо таким сплавом є сталь, то процес ув'язаний з плавильним агрегатом, наприклад конвертером.

Схема процесу включає в себе: сталерозливальний ківш, проміжний ківш, кристалізатор, систему охолодження кристалізатора, систему змащування кристалізатору, тягнуча кліть, газорізку, рольганг.

Рідка сталь поступає неперервним потоком з ковша в кристалізатор, де відбувається її охолодження. Злиток сталі, що твердіє, захоплюється валками та протягується із певною швидкістю задля подальшої порізки на мірні довжини, відповідно до вимог на продукцію.

Газокисневі пальники для різання зливка на мірні довжини переміщуються зі швидкістю, що дорівнює швидкості руху зливка. Точне дотримання мірної довжини забезпечується спеціальною апаратурою, що складається з датчика імпульсів, встановленого на валу редуктора тягнучої кліті, і лічильника імпульсів. По досягненні заданого значення довжини зливка видається сигнал на початок різання. В такий спосіб формуються готові злитки мірної довжини.

Постановка задачі

За заданою принциповою схемою процесу визначити елементи системи контролю параметрів процесу неперервної розливки та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 1.

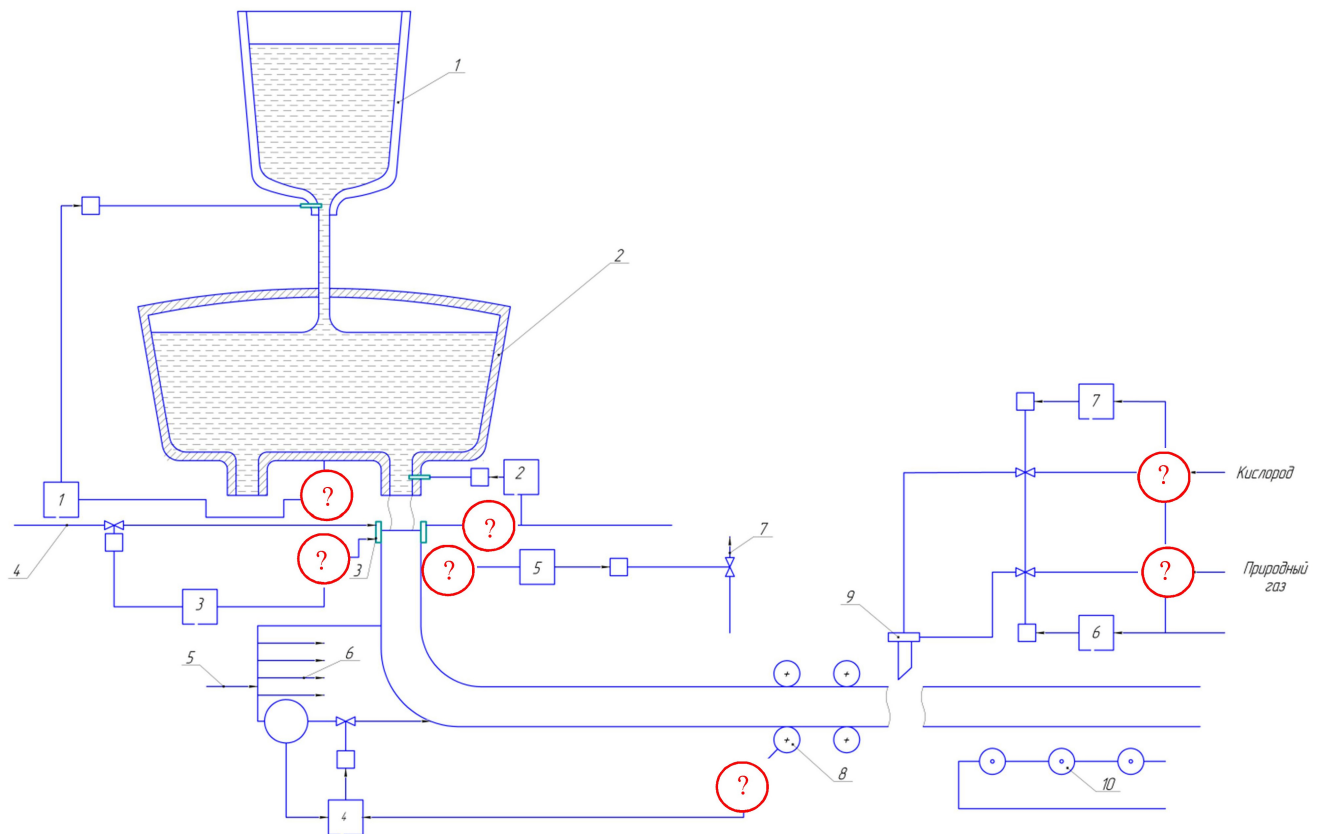


Рис. 1. Схема принципова процесу неперервної розливки для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- маси сталі в сталерозливному ковші,
- рівень металу у проміжному ковші,
- рівень металу у кристалізаторі,
- швидкість витягування зливка,
- зусилля витягування зливка із кристалізатора,
- витрата та параметри води, що подається на кристалізатор,
- витрати та параметри води, що подається на вторинне охолодження,
- температура поверхні зливка,
- витрата технологічного мастила.

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу неперервної розливки.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити на місцях установки позначення елементів системи автоматизації.

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. В чому полягає суть процесу неперервної розливки.
2. Для яких сплавів використовується технологія неперервної розливки.
3. З якими плавильними агрегатами може використовуватися система неперервної розливки, якщо в якості сплаву використовується сталь.
4. Які елементи включає в себе схема неперервної розливки.
5. Чи є газокисневі пальники для різання зливка стаціонарними, чи рухомими.
6. Чим забезпечується точне дотримання мірної довжини зливків.
7. В якому разі видається сигнал на початок різання зливка.
8. Як працює система охолодження в процесі неперервної розливки.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з електродугового процесу плавки, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу електродугової плавки.

Теоретичні відомості

Електродугова піч змінного струму (рис. 1) призначена для виплавки сталі та чавуну. Сутність процесу полягає в розплавленні твердої шихти або доведення рідкого сплаву до заданої температури завдяки температурі, що створюється в робочому просторі печі електричними дугами, що горять між графітовим чи графітизованим електродом та шихтою (або рідким металом).

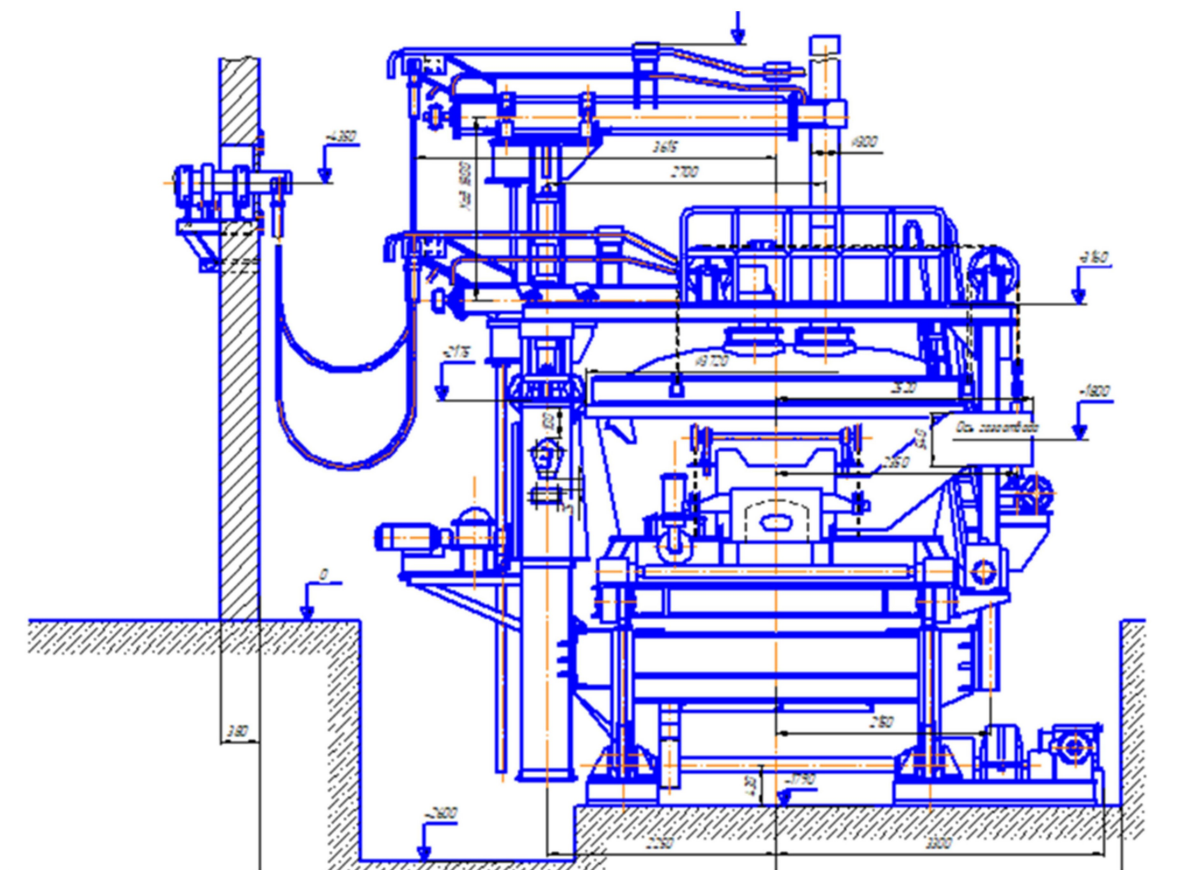


Рис. 1. Електродугова піч

Управління процесом плавки здійснюється потужністю, що підводиться до печі від трансформатора, шляхом вибору ступеня напруги, а також регулюванням довжини електричної дуги між торцем електрода та металевою шихтою чи поверхнею ванни після розплавлення шихти та формування розплаву. По різних етапах плавки підводиться різна потужність (рис. 2).

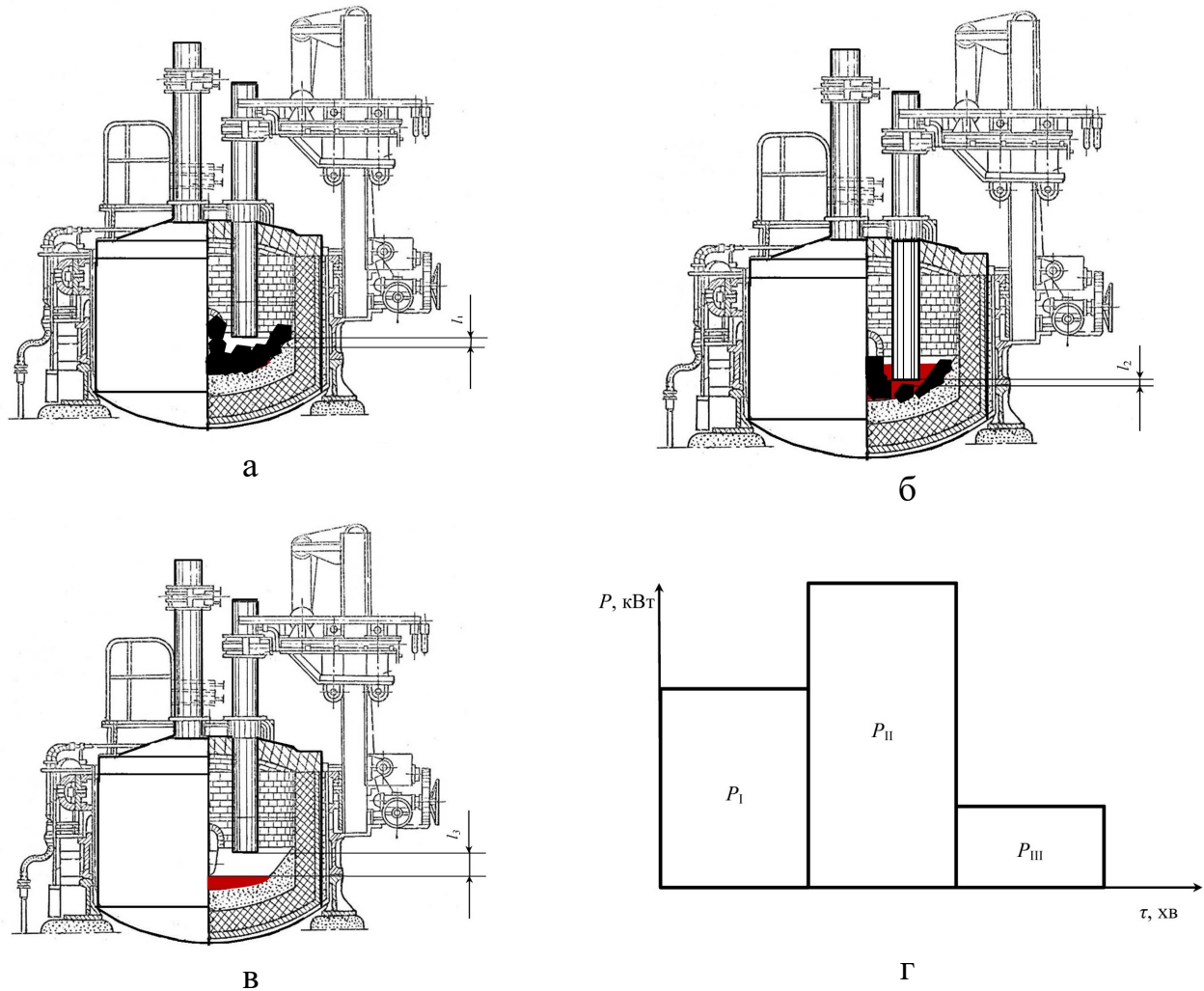


Рис. 2. Етапи плавки в електродуговій печі, по яких формується управління процесом: а – початковий етап плавки, довжина дуги формується в проміжку l_1 , потужність, що підводиться, P_I ; б – етап плавки, коли в шихті прорізані колодезі і дуга закрита з усіх боків шихтою, довжина дуги формується в проміжку l_2 потужність, що підводиться, P_{II} максимальна, в – етап плавки, коли вся шихта розплавлена і дуга знов відкрита, довжина дуги формується в проміжку l_3 потужність, що підводиться, P_{III} мінімальна, г – графік потужності

Для регулювання електричної потужності електродугової печі застосовуються диференціальні регулятори потужності, які підтримують сталість відносини напруги до сили струму, тобто опір фази. Параметр регулювання даної системи може бути записаний таким чином:

$$A = aI - bU = bI(r_0 - r), \quad (1)$$

де I – сила струму,

U – напруга,

a і b – коефіцієнти, що залежать від коефіцієнтів трансформаторів струму та напруги та необхідного співвідношення струму та напруги,

r – задане та поточне значення повного опору печі,

$$r_0 = \frac{a}{b}. \quad (2)$$

Постановка задачі

1. По загальному вигляду конструкції печі та теоретичним відомостям щодо процесу електродугової плавки позначити основні елементи печі.

2. За заданою принциповою схемою процесу визначити контури сигналізації, контролю, регулювання параметрів електродугового процесу та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 3.

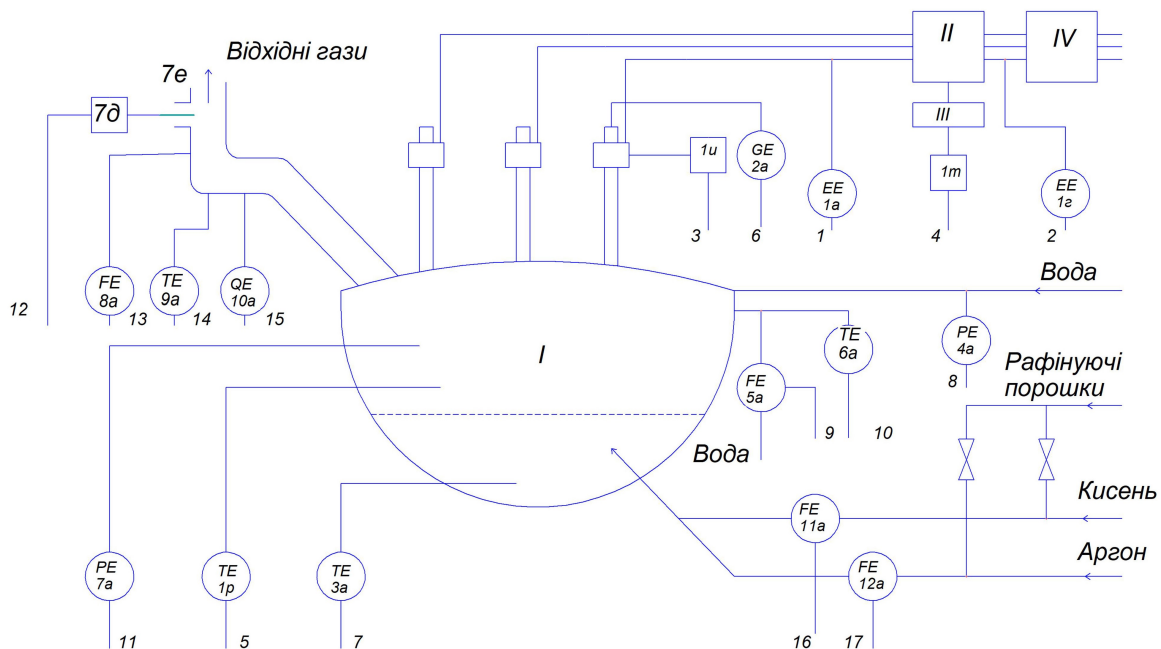


Рис. 2. Схема принципова електродугового процесу для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- параметри електричного режиму (струму, напруги, потужності, кількості витраченої енергії),
- температура футеровки,
- положення електродів,

- температура металу,
- параметри системи водяного охолодження,
- склад відхідних газів,
- витрата рафінуючих матеріалів.

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу електродугової плавки та елементи печі.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити по контурах контрольовані параметри та розмістити прибори сигналізації, контролю, керування.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

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

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу електродугової плавки.
2. Що використовується в якості шихти та палива.
3. Що є джерелом температури в електродуговій печі.
4. Які основні конструктивні елементи електродугової печі.
5. Як здійснюється керування процесом плавки.
6. Які існують етапи плавки в електродуговій печі.
7. Які засоби використовують для регулювання електричної потужності.
8. Що є параметр регулювання системи керування процесом плавки.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Proyektirovaniye sistem kontrolya i avtomaticheskogo regulirovaniya metallurgicheskikh protsessov / Glinkov G. M., Makovskiy V. A., Lotman S. L., Shapirovskiy R. M. Metallurgiya, 1986. 352 s.
3. Demin D. A. Synthesis process control elektrodugovoy smelting iron // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2012. Vol. 2, Issue 10 (56). P. 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2012.3881>
4. Demin, D. A. (2012). Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 6, 52–58.

Робота №6

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВАГРАНОЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з процесу ваграночної плавки, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації ваграночного процесу.

Теоретичні відомості

Вагранка – це піч шахтного типу (рис. 1) 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.

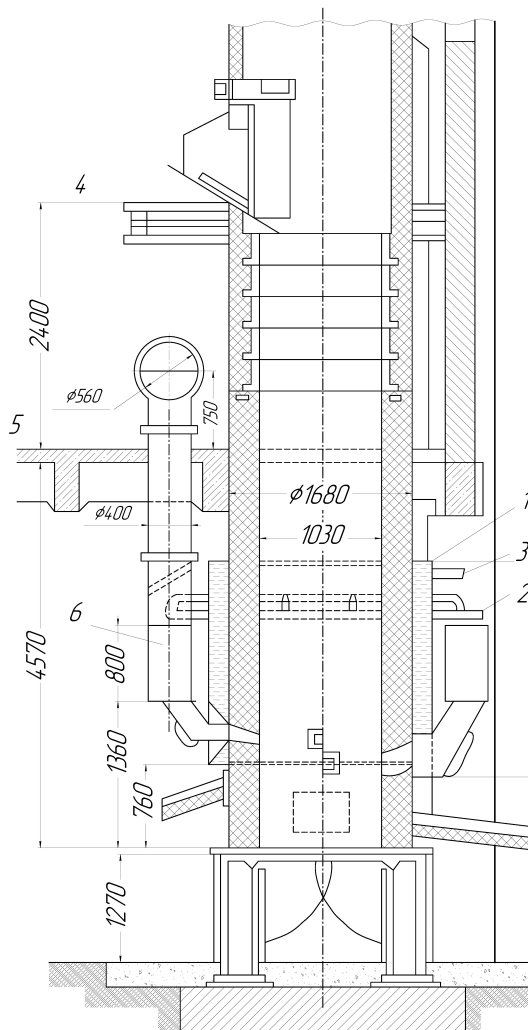


Рис. 1. Схема конструкції вагранки (один з прикладів)

Як шихтові матеріали у доменних печах використовують деякі продукти

доменного процесу, зокрема ливарні чавуни та переробні чавуни, природньолеговані чавуни, лом сталевий, лом чавунний та повернення власного виробництва.

Особливість управління процесами плавки в вагранці є складність контролю деяких параметрів плавки або взагалі їх неконтрольованість. Прикладом може бути контроль температури в робочому просторі вагранки.

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.

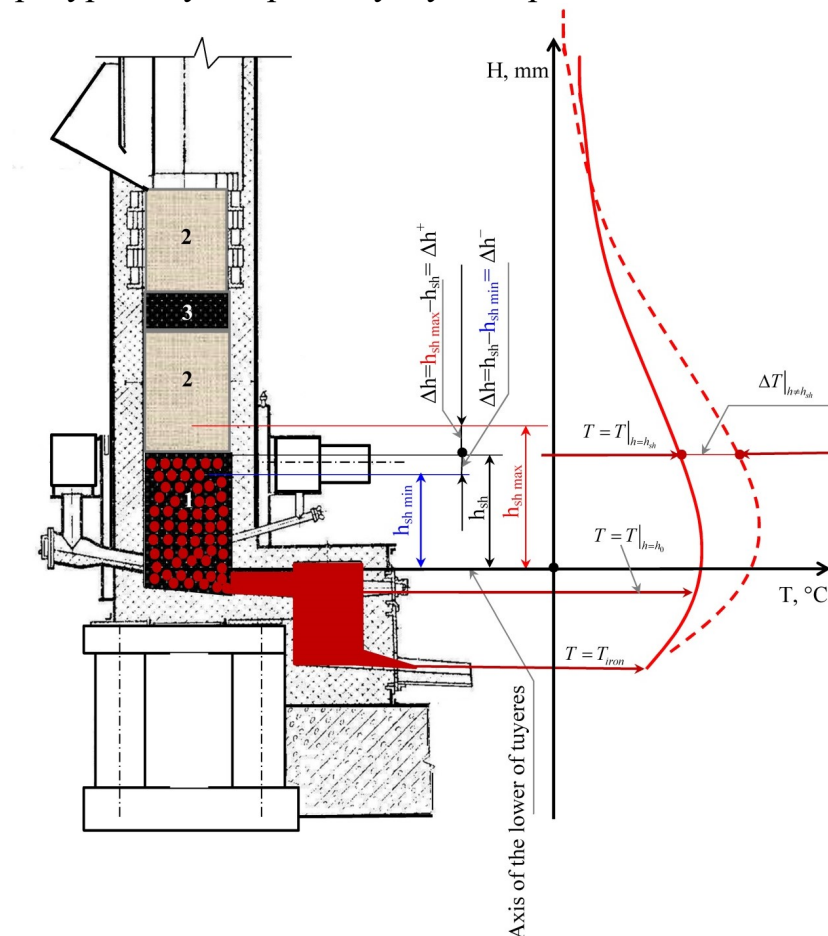


Рис. 2. Візуалізація температурного профілю вагранки за зонами завантаження:

1 – холоста колоша; 2 – металева колоша; 3 – паливна колоша

Плавка в коксових вагранках здійснюється після підготовки вагранки до роботи та розпалювання холостої калоші. Процес розпалювання проводиться протягом декількох годин. Висота холостої калоші заміряється мірним прутом. Після розгоряння коксу проводиться продування холостих калоші протягом декількох хвилин, попередньо заклавши робоче вікно. Після продування перевіряється рівень холостої калоші і у разі, якщо він нижче заданого, додається кокс.

Завантаження коксу та металевої шихти здійснюється скіповим підйомником. Це робиться в наступний спосіб. На холосту колошу завалюється вапняк, з метою ошлакування перших порцій коксової золи. Потім проводиться пошарове завантаження матеріалів у наступній послідовності: металева колоша, коксова колоша, флюс. Флюс завантажується в бункер вагового візка безпосередньо на паливну колошу, яка вважається робочою. Щоб уникнути зіткнення вапняку з футеруванням вагранки, його завантажують у центральну частину бункера.

Компоненти металевої шихти завантажуються в наступному порядку: чавун у чушках, лом чавунний, відходи власного виробництва, лом сталевий. На верх металевої калоші завантажується феросиліцій задля забезпечення заданого вмісту кремнію в чавуні, від якого залежить отримання мікроструктури.

Описана процедура завантаження вважається регламентованою та відповідною до нормального режиму роботи вагранки.

Після завантаження шихти до рівня вікна завалки і необхідної витримки її для природного прогріву перших металевих колош протягом 15–20 хв вагранка готова до плавки. Для початку плавки виконуються такі операції:

- відкриваються одна або дві фурмові «гляделки», щоб уникнути вибуху при включенні дуття;
- включається дуття, подача його регулюється шибером на повітропроводі, тиск якого має відповідати заданому значенню;
- у разі перших порцій металу в копильнику металева льотка зашпаровується формувальним складом.

У процесі плавки чавун з вагранки безперервно надходить у копильник, з якого метал видається в роздавальні ковші.

Після завантаження останньої калоші кількість повітря, що подається, підтримується постійним, для чого шибер на повітропроводі поступово закривається.

Про повне проплавлення шихти свідчить припинення стікання крапель чавуну біля фурм. Якщо це відбувається, то дуття зупиняють, шибер закривається повністю, а фурмові «гляделки» відкриваються, щоб уникнути вибуху. З копильника випускається весь метал і, відкриваючи дверцята копильника, випускається шлак.

Час закінчення плавки визначається залежно від потреби в рідкому металі та кількості неவிплавленого металу, що знаходиться у вагранці.

Постановка задачі

1. По загальному вигляду конструкції печі та теоретичним відомостям щодо процесу ваграночної плавки позначити основні елементи печі.

2. За заданою принциповою схемою процесу визначити контури сигналізації, контролю, регулювання параметрів електродугового процесу та нанести їх на схему автоматизації. Схема принципова представлена на рис. 3.

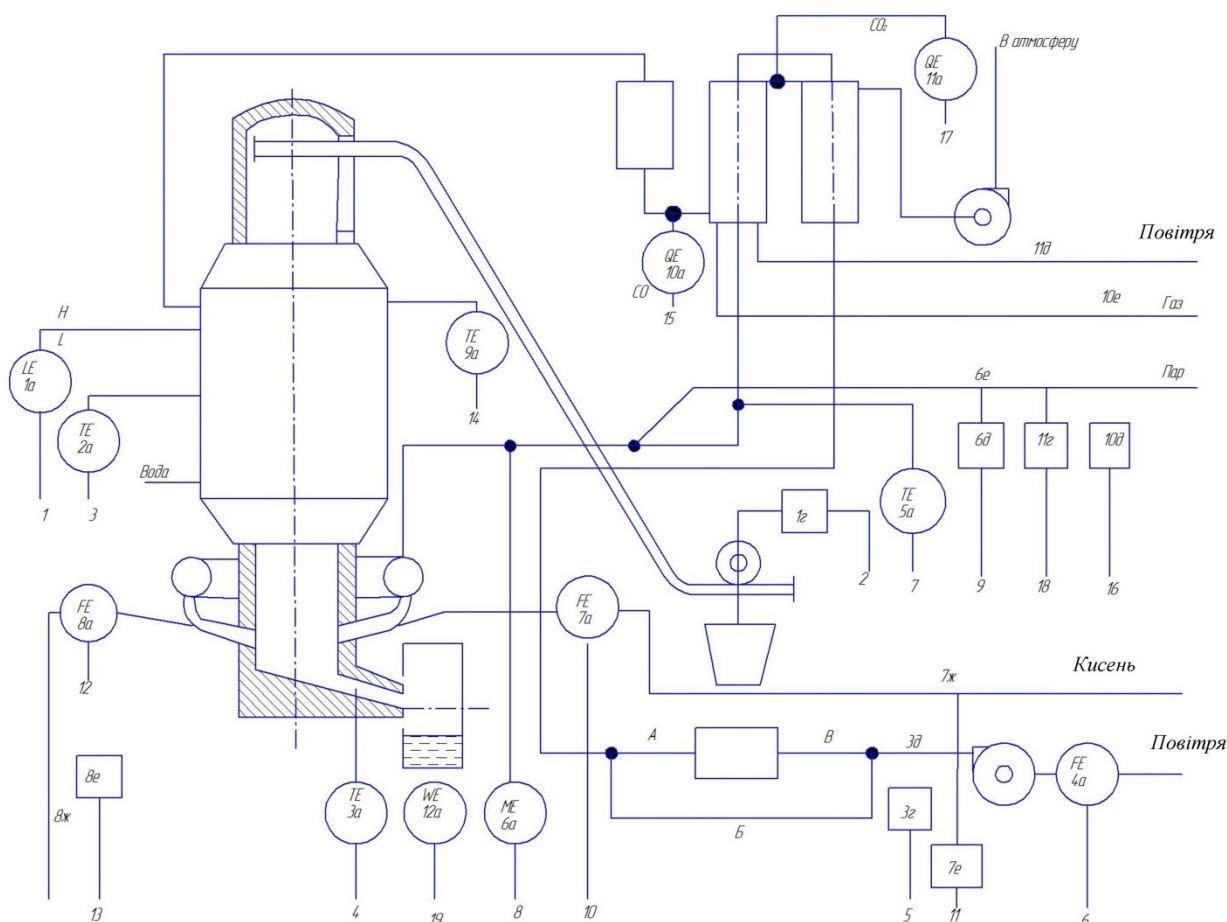


Рис. 3. Схема принципова ваграночного процесу для нанесення на неї елементів системи автоматизації

Вихідні дані:

Контрольовані параметри:

- Рівень завантаження шихти,
- Температура футеровки,
- Температура чавуну на випуску,
- Витрати повітряного дуття, кисню та природного газу відповідно,
- Температура гарячого дуття,
- Вологість дуття,
- Температура охолоджуючої води в контурі охолодження футеровки,
- Вміст CO и CO_2 в газах, що відходять,

- Маса чавуну в копильнику,
- Продуктивність печі.

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу ваграночної плавки та елементи печі.
2. Обрати для контрольованих параметрів позначення.
3. Розставити по контурах контрольовані параметри та розмістити прилади сигналізації, контролю, керування.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

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

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу ваграночної плавки.
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. Який вигляд має температурний профіль вагранки.
6. Яка послідовність ваграночного процесу.
7. В якій послідовності відбувається завантаження вагранки.
8. Який є нюанс у завантаженні у вагранку вапняку.
9. Які обов'язкові операції проводяться перед початком плавки.
10. Як підтримується постійним кількістю повітря, що подається, після завантаження останньої калюші та що свідчить про повне проплавлення шихти.

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>.

РОЗРОБКА СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ІНДУКЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ ПЛАВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з побудови схем автоматизації технологічних процесів металургійного виробництва та закріпити знання з індукційного процесу плавки, систем контролю та регулювання в складі системи автоматизації процесу плавки в індукційних печах.

Теоретичні відомості

Основними елементами тигельних індукційних печей є тигель та індуктора, що представляє собою соленоїд, виконаний з мідної водоохолоджуваної трубки. Спрощене представлення конструкції індукційної печі наведено на рис. 1. Температура для плавлення є наслідком виникнення вихрових токів Фуко поміж елементів шихти.

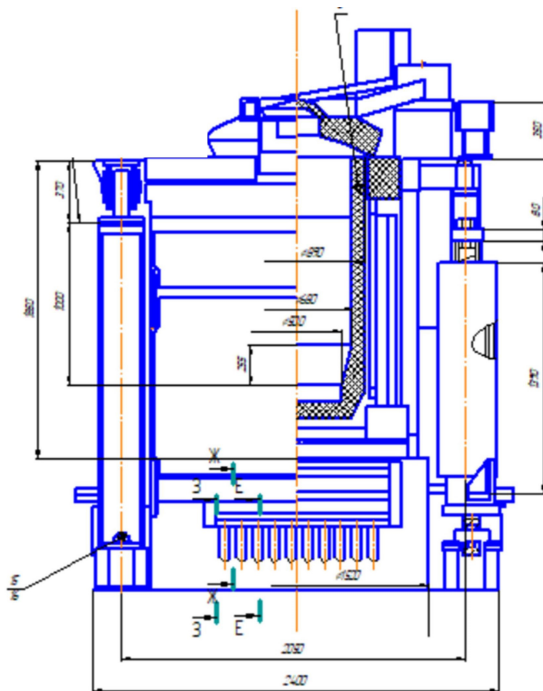


Рис. 1. Приклад конструкції індукційної печі

Технологія плавки в індукційній печі складається з таких операцій:

- підготовка металошихти до плавки,
- плавання шихти,
- доведення розплаву до заданої температури та хімічного складу.

Підготовка металошихти до плавки залежить від види шихти. Шматкові матеріали необхідно підігрівати до 500–600 °С, що може здійснюватися в різний спосіб: продуванням прогрітим повітрям у добових бункерах, спеціальних цебрах пальниками, в камерних печах пальниками або індукційними струмами. Високотемпературне перегрів підвищує термічний

ККД плавильної печі за рахунок прискорення плавки (до 500 °С – на 15–20%, до 800 °С – на 20–30%).

Плавання шихти складається з кількох етапів. У початковий період, коли у цеху відсутній рідкий метал, проводиться наплавлення його з твердої шихти. Для прискорення цього процесу попередньо заготовляють спеціальний пусковий болван масою 0,5–0,6 ємності печі. Це дозволяє наповнити тигель рідким металом. Надалі застосовується режим плавки «на болоті», що постійно знаходиться в тиглі печі. При цьому з повної печі випускається 0,6–0,75 об'єму наплавленого металу з наступною добавкою відповідної кількості твердої шихти. Такий режим плавки є найбільш продуктивним та забезпечує максимальну швидкість процесу.

Зміна потужності проводиться перемиканням на відповідний ступінь вторинної обмотки живлючого трансформатора. Кількість ступенів напруги вторинної обмотки може бути різною, але частина з них використовуються для плавки, решта – для спікання тигля та міксерного режиму витримки рідкого металу.

Доведення розплаву до заданого хімічного складу здійснюється запровадженням необхідних відновників, модифікаторів та легуючих елементів.

Постановка задачі

За заданою спрощеною схемою автоматизації процесу визначити параметри процесу, що контролюються та регулюються. Схема представлена на рис. 1.

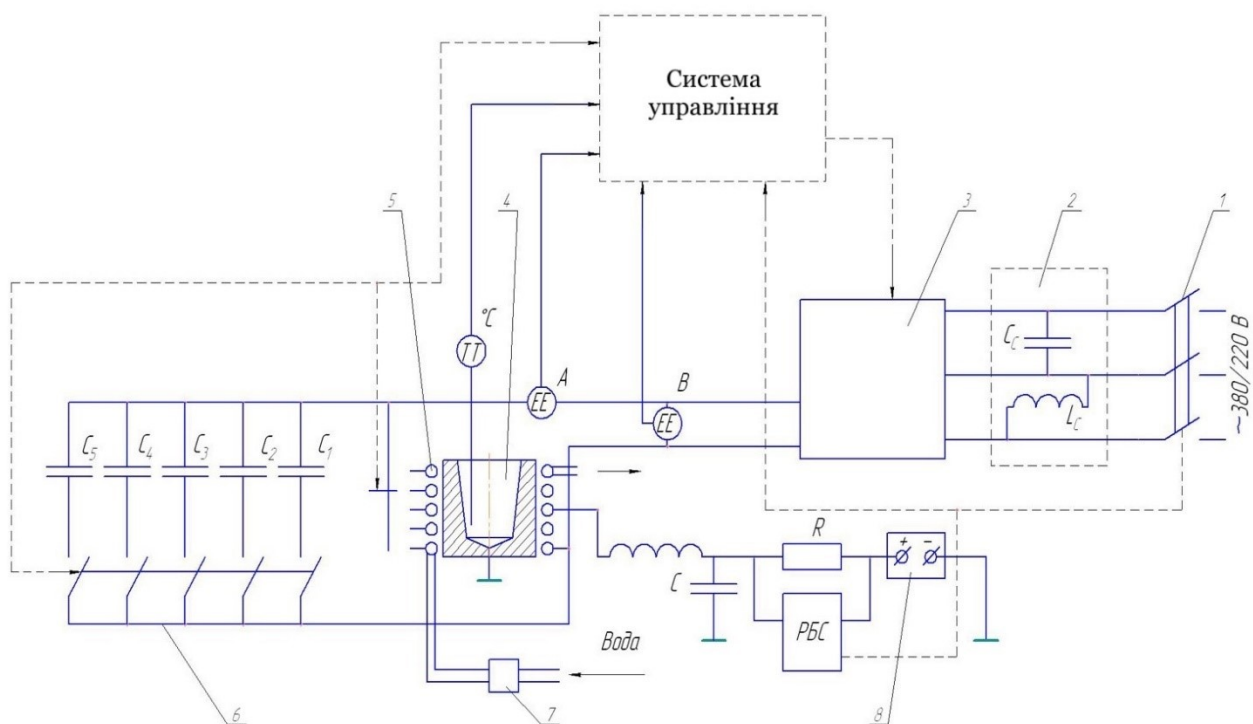


Рис. 1. Схема автоматизації процесу індукційної плавки (спрощена)

Вихідні дані:

Схема автоматизації процесу індукційної плавки (спрощена).

Порядок виконання роботи

1. Визначити суть процесу плавки в індукційних печах.
2. Визначити контрольовані параметри плавки.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті індукційного процесу плавки.
2. Опис контрольованих параметрів процесу.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. В чому полягає суть процесу плавки в індукційних печах.
2. Що використовується в індукційних печах в якості шихти та палива.
3. Які основні елементи індукційної печі.
4. Який фізичний принцип покладено в основу плавлення в індукційних печах.
5. Які операції включає технологія плавки в індукційній печі.
6. Від чого залежить підготовка металошихти до плавки та як вона проводиться.
7. З яких етапів складається плавлення шихти.
8. Який режим плавки є найбільш продуктивним.
9. Як здійснюється зміна потужності, що підводиться до печі.
10. Як та для чого проводиться доведення розплаву до заданого хімічного складу.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензев. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. Constructing the parametric failure function of the temperature control system of induction crucible furnaces //EUREKA: Physics and Engineering. 2020. Issue 6. P. 19–32. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001489>
3. Classification rule for determining the temperature regime of induction gray cast iron / Stanovska I., Duhanets V., Prokopovych L., Yakhin S. // EUREKA: Physics and Engineering. 2021. Issue 1. P. 11–17. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001604>

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЛАВКИ

Мета роботи

Отримати та відпрацювати практичні навички з визначення оптимального керування процесу насичення ванни вуглецем в електродугових печах.

Теоретичні відомості

Для визначення оптимального керування процесом треба побудувати математичну модель процесу, обрати критерій якості керування (функціонал), визначити кінцевий стан та початковий стан системи, після чого можна знайти закон оптимального керування.

За математичну модель часто обирається диференціальне рівняння чи система диференціальних рівнянь, що описує поведінку системи в деякому факторному просторі змінних. Такими змінними можуть бути, наприклад, елементи хімічного складу сплаву, значення яких змінюється в процесі плавки (плавлення та термочасова обробка).

За критерії оптимальності можуть бути обрані енергетичні витрати на процес, продуктивність процесу, ресурсовитрати, відповідність значень факторів в кінці процесу керування заданим значенням чи діапазоном значень, час переведення системи з початкового в кінцевий стан.

За початковий стан обирають значення факторів на початку керування, тобто в поточний час. За кінцевий стан обирають значення факторів, які мають бути відповідно до вимог процесу чи до продукту процесу. Загалом такий стан може представляти собою деяку гіперповерхню $f^{(k)}(F_1, F_2, \dots, F_k) = 0$ в факторному просторі, що складається з елементів F_i (рис. 1).

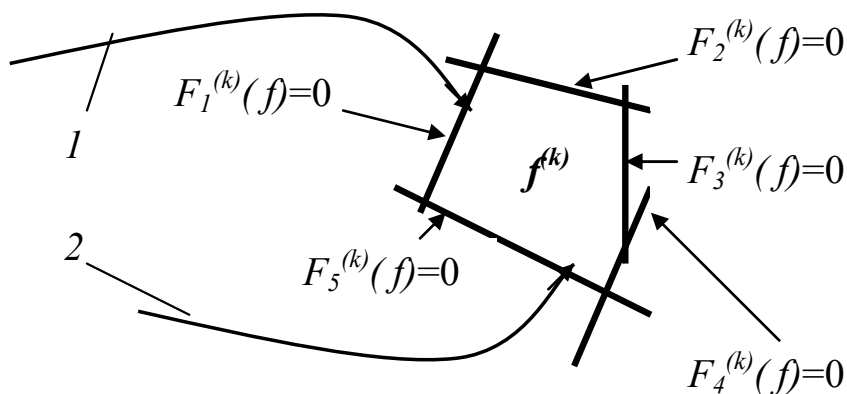


Рис. 1. Схема формування областей допустимих значень – кінцевого стану процесу керування: 1 – траєкторія процесу при застосуванні керування u_1 , 2 – траєкторія процесу при застосуванні керування u_2

Керування u_i – це певна дія на об’єкт керування, яка приводить до руху об’єкту по певній траєкторії, яка визначається рішенням диференціального рівняння чи системи рівнянь, що описують зміну значень факторів в часі.

Пошук оптимального керування може здійснюватися, як правило, або методом динамічного програмування, або з використанням принципу максимуму Понтрягіна, залежно від поставленої задачі та обраного функціоналу.

Якщо об’єктом керування є певний фізико-хімічний процес, то математичною моделлю процесу може бути рівняння швидкостей хімічних реакцій, що перебігають у розплаві даної маси за даної температури. Так, наприклад, завдання управління електродуговим процесом плавки чавуну на етапі термочасового оброблення є завданням про швидкодію, тобто функціоналом є час переведення системи з початкового в кінцевий стан, який має бути мінімізований. Задача в такому разі може бути сформульована таким чином: визначити оптимальне керування u_{opt} , яке переводить процес за мінімальний час з початкового стану $F_i(t^{(0)})=F_i(0)=F_i^{(0)}$ в кінцевий, що розташовано на поверхні $f^{(k)}(F_1, F_2, \dots, F_k) = 0$. Дана поверхня являє собою аналітичний опис, що зв’язує вміст елементів хімічного складу сплаву, який задовольняє набору заданих значень вихідних змінних $\{y_i^3\}$, і може бути встановлено на основі математичних моделей «склад – властивість» у вигляді рівнянь регресії. Початковий стан формується хімічним складом сплаву, отриманим відразу після розплавлення шихти, або складом на момент часу $t=\tau_3(u)$.

Для розв’язання поставленого завдання може бути використаний принцип максимуму Понтрягіна. Наприклад, маючи залежність вмісту кремнію від вмісту вуглецю, і рівняння швидкості окислювально-відновних реакцій, у яких беруть участь ці елементи, може бути розраховане оптимальне керування процесом окислювально-відновними процесами, що протікають у розплаві. Якщо позначити через F_1 та F_3 вміст в чавуні вуглецю та кремнію відповідно, то математичний опис процесу в даному випадку може мати вигляд:

$$\frac{dF_3}{dt} = K(a_0 + a_1 F_1), \quad \frac{dF_1}{dt} = bu, \quad (1)$$

де a_0, a_1 – коефіцієнти залежності вмісту кремнію від вмісту вуглецю в розплаві,

u – управління,

b – у загальному випадку деяка константа,

K – константа швидкості хімічного процесу, що протікає в обсязі розплавлення й на межі поверхні розділу фаз «розплав – шлак».

Кінцевий стан описується рівнянням

$$f^{(k)}(F_1, F_3) = F_3 - \xi F_1 = 0, \quad (2)$$

де ξ – коефіцієнт, що характеризує необхідне співвідношення вмісту вуглецю й кремнію в чавуні, обумовлене конкретними вимогами до його якості.
На величину керувального впливу накладені обмеження

$$-U \leq u \leq U. \quad (3)$$

Керування процесом науглецювання здійснюється зануренням графітових електродів у розплав на певну глибину під час знятої напруги, при цьому ступінь науглецювання пропорційна глибині занурення електродів.

Пошук оптимального керування здійснюється в такій послідовності.

1. Визначається Гамільтоніан системи, який в даному випадку має вигляд

$$H = \lambda_1 \varphi_1 + \lambda_2 \varphi_2 = \lambda_1 K (a_0 + a_1 F_1) + \lambda_2 b u. \quad (4)$$

2. Визначається система диференціальних рівнянь для функцій λ_1 і λ_2 яка в даному випадку має вигляд:

$$\frac{\partial \lambda_1}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial F_3} \equiv 0, \quad \frac{\partial \lambda_2}{\partial t} = -\frac{\partial H}{\partial F_1} = -\lambda_1 K a_1. \quad (5)$$

3. З умови трансверсальності визначаються граничні умови для функцій λ_1 і λ_2 на кінці траєкторії, які в даному випадку мають вигляд:

$$\lambda_1(t^{(k)}) = q \frac{\partial f^{(k)}}{\partial F_3} = q, \quad \lambda_2(t^{(k)}) = -q \xi, \quad (6)$$

де q – деяке постійне число.

4. Система рівнянь (5) інтегрується, у результаті визначаються значення функцій $\lambda_1(\tau)$ і $\lambda_2(\tau)$:

$$\lambda_1(t) = C_1, \quad \lambda_2(t) = -K a_1 C_1 t + C_2. \quad (7)$$

5. На основі граничних умов (6) та рівнянь (7), вважаючи, що момент часу $t^{(k)}$ відповідає потраплянню процесу в кінцевий стан, і він відомий, визначаються постійні інтегрування C_1 і C_2 :

$$C_1 = q, \quad C_2 = q(K a_1 t^{(k)} - \xi). \quad (8)$$

6. Із (8) знаходяться значення функцій $\lambda_1(t)$ и $\lambda_2(t)$:

$$\lambda_1(t) = q, \quad \lambda_2(t) = q(K a_1 t^{(k)} - \xi - K a_1 t). \quad (9)$$

7. На основі Гамільтоніану системи (4) та рівнянь (9) визначається оптимальне керування:

$$u_{opt}(t) = U \operatorname{sgn} \lambda_2(t), \quad (10)$$

де $\operatorname{sgn} \lambda_2(t)$ – функція знаку для $\lambda_2(t)$.

Оскільки функція $\lambda_2(t)$ є лінійною і, отже, може тільки один раз змінювати свій знак під час змінювання t , робиться висновок про те, що оптимальне керування для досліджуваного процесу, описуваного системою (1) за наявності обмежень виду (3), є кусково-постійною функцією від t , яка має не більше, ніж одну точку перемикавання з одного граничного значення в нерівностях (3) на інше.

Зважаючи на те, що для інтервалів сталості керування права частина другого рівняння системи (1) постійна, ці рівняння можуть бути проінтегровані. У результаті формули для $F_3(t)$ і $F_1(t)$ набувають вигляду:

$$\begin{aligned} F_3(t) &= (Ka_0 + Ka_1 C_3)t + Ka_1 b u \frac{t^2}{2} + C_4, \\ F_1(t) &= b u t + C_3. \end{aligned} \quad (11)$$

Сталі інтегрування знаходяться з початкових умов:

$$C_3 = F_3^{(0)}, \quad C_4 = F_1^{(0)}. \quad (12)$$

Момент перемикавання управління $t^{(s)}$ може бути визначений, якщо прийняти $\lambda_2(t^{(s)}) = 0$ у формулі (9):

$$t^{(s)} = t^{(k)} - \frac{\xi}{Ka_1}. \quad (13)$$

Із (13) випливає, що перемикавання керування буде лише тоді, коли з даного стану системи не можна потрапити на лінію кінцевих значень, що задається прямою (2) за час $t^{(k)} \leq \frac{\xi}{Ka_1}$.

Траєкторія процесу отримується виключаючи параметр t з рівняння (11), вона представляє собою залежність $F_3 = \varphi(F_1)$ (рис. 2).

Рівняння лінії перемикавання може бути знайдено з рівняння (2) шляхом підстановки в нього (11) при $t=1$, тобто отримане співвідношення між початковими умовами і визначає лінію переключення (рис. 2):

$$F_3^{(s)} = -\frac{a_0}{a_1} \xi + \frac{1}{2} \frac{b \xi^2}{Ka_1} u. \quad (5.14)$$

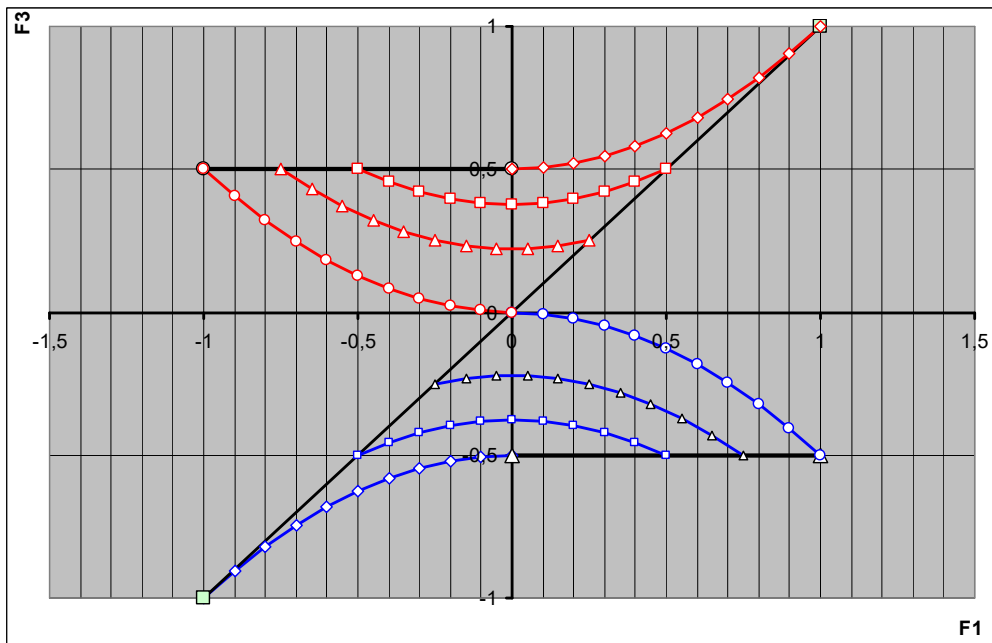


Рис. 8. Фазові траєкторії та лінії переключення

Постановка задачі

Задаючи співвідношення між вмістом $[C]$ та $[Si]$, що формує лінію кінцевого стану, відповідно до заданого варіанту, та виходячи з початкових вимог щодо вмісту вуглецю та кремнію в поточний час термочасової обробки чавуну в електродуговій печі, записати в загальному вигляді:

- математичну модель процесу,
- Кінцевий стан,
- граничні умови для функцій λ_1 і λ_2 на кінці траєкторії,
- значення функцій $\lambda_1(t)$ і $\lambda_2(t)$,
- закон оптимального керування,
- формули для визначення $F_3(t)$ і $F_1(t)$,
- формулу, що описує траєкторія процесу в координатах $F_1 - F_3$,
- формулу, що описує лінію переключення.

Вихідні дані:

Параметри	Значення параметрів по варіантах				
	1	2	3	4	5
$[C]_0, \%$	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6
$[Si]_0, \%$	2.0	1.65	2.0	2.2	3.0
ξ	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з принципом максимуму Понтрягіна в застосуванні для визначення оптимального керування процесом доведення стану розплаву до заданих вимог щодо вмісту вуглецю та кремнію.

2. Визначити усі рівняння для пошуку оптимального керування.

Оформлення звіту

Звіт має містити:

1. Стислий опис суті принципу максимуму Понтрягіна.
2. Опис процесу керування.
3. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що треба для визначення оптимального керування процесом.
2. Що може бути обране за математичну модель процесу, якщо це фізико-хімічний процес.
3. Що може бути обране як факторний простір змінних, якщо треба визначати оптимальне керування фізико-хімічним процесом.
4. Які бувають критерії оптимальності керування.
5. Що може бути обране за початковий стан при визначенні оптимального керування фізико-хімічними процесами, що протікають в розплаві.
6. Що може бути обране за кінцевий стан при визначенні оптимального керування фізико-хімічними процесами, що протікають в розплаві в процесі плавки чи термочасової обробки.
7. Який загальний вигляд може мати кінцевий стан в задачі оптимального керування процесом плавки чи термочасової обробки.
8. Що таке керування процесом плавки чи термочасової обробки.
9. Які методи можуть бути застосовані для пошуку оптимального керування об'єктами чи процесами.

Література

1. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків: ТОВ "ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП", 2024. – 130 с.
2. Demin D. A. Synthesis process control elektrodugovoy smelting iron // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2012. Vol. 2, Issue 10 (56). P. 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2012.3881>
3. Demin, D. A. (2012). Synthesis of optimal temperature regulator of electroarc holding furnace bath. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 52–58.
4. Demin D. A. Mathematical description typification in the problems of synthesis of optimal controller of foundry technological parameters // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2014. Vol. 1, Issue 4 (67). P. 43–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.119500>.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт
з курсу «Автоматизація металургійного виробництва»,
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. 277

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