**Ховавко Олександр Ігорович. Розробка теплофізичних і технологічних засад рециркуляції та регенерації водню при відновленні залізних порошків : дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / НАН України; Інститут газу. — К., 2007. — 164арк. : табл., іл. — Бібліогр.: арк. 134-144.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Ховавко О.І. Розробка теплофізичних й технологічних засад рециркуляції та регенерації водню при відновленні залізних порошків.– Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика і промислова теплоенергетика – Інститут газу НАН України, Київ, 2007.  Дисертацію присвячено розв'язанню проблеми створення енерготехнології отримання безвуглецевого залізного порошку.  Проведено порівняльний енерготехнологічний аналіз існуючих процесів отримання порошків у воденьвміщуючих атмосферах. Виявлено недоліки технологій й апаратурного оформлення. Показано перспективність розробки двостадійної технології з рециркуляцією та регенерацією відновлювального агенту. Аргументовано вибір теплового режиму для отримання безвуглецевого заліза – температура не вище 900С.  Запропонована оригінальна система газопостачання пічних агрегатів із застосуванням рециркуляційної гілки з регенерацією водню. Доведено, що за допомогою регенерації водню його абсолютний (стехіометричний) коефіцієнт використання (КВ) можна довести до 90%, тоді як у однопотокових процесах абсолютний КВ термодинамічно обмежено величиною 29-33 (при 100% термодинамічного або відносного КВ).  Створено експериментальну установку по дослідженню кінетики відновлення, а також методику проведення плануємого експерименту. На основі кінетичних досліджень процесів відновлення і відпалу в поєднанні з методами експерименту, що планується, визначена область оптимальних значень для чинників управління процесом. Отримано регресивні рівняння, які описують вивчені взаємозв'язки, що дозволяють оптимізувати процес або оцінювати його ефективність, а також рівняння, що характеризує особливості масопереносу.  Аргументована система газопостачання у технології відновлення-відпал. А саме, на стадію відновлення подають гази рециркуляції та відпрацьовані гази з печі відпалу, а на стадію відпалу тільки електролізний водень.  Теоретично й експериментально доведено факт можливості відчистки водню від вологи під час рециркуляції до крапки роси +20С. Це дозволяє знизити навантаження на блок адсорберів у технологічному ланцюзі відчистки водню, або зовсім його позбутися.  Обґрунтовано застосування порошкових затворів (ПЗ) для локалізації іпічної атмосфери. Реалізація рециркуляції водню стає можливою за рахунок застосування ПЗ. На основі наближення Дарсі проведено числовий аналіз умов роботи ПЗ. Визначено конструктивні й технологічні параметри роботи ПЗ, що гарантують підтримку тиску водню у робочій зоні на рівні 10-15 мм вод. ст. при мінімальному витоку у зовнішнє середовище.  Представлено модель рециркуляційного відновлювального процесу. Експериментально визначено оптимальний гідродинамічний режим у печі з точки зору максимального масообміну. Прораховано енергозберігаючий ефект для схеми, що пропонується. | |
| |  | | --- | | Головним підсумком дисертаційної роботи є наукове обґрунтування й розробка засад по зниженню енерговитрат при одержанні безвуглецевого залізного порошку за рахунок рециркуляції та регенерації водню.  Комплекс теоретичних і експериментальних досліджень дозволив зробити ряд узагальнюючих висновків:   1. Найбільш енерговитратним газовим відновником є електролізний водень, але тільки його використання є запорукою одержання відновленого безвуглецевого заліза. Тому, головною метою енерготехнологічного вдосконалення такого процесу є забезпечення найбільш можливої ефективності використання водню. 2. В звичайній практиці відновлення заліза термодинамічний коефіцієнт використання водню тд не перевищує 35%, що дорівнює 10-15% стехіометричного ст. Для підвищення ефективності використання енергоємного агенту запропонована двостадійна концепція відновлення з рециркуляцією та регенерацією водню. При даній схемі витрати водню наближаються практично до теоретичних. 3. Проведені експериментальні дослідження процесу двостадійного водневого відновлення. Показано можливість поєднання кінетичних експериментів із методами факторного експерименту, що планується. Встановлено, що найбільш важливими факторами для шарового процесу є: температури відновлення та відпалу, висота шару засипки й особливо критичний ступінь передвідновлення кр – ступінь відновлення, при якому процес переводитися до другої стадії. Виявлено оптимальне значення кр, яке знаходиться в області 93-94%. 4. Для прямого моделювання процесів з рециркуляцією і регенерацією відновлювального газу створена спеціальна установка з автоматичним записом зміни ваги силікагелевого адсорберу. Отримано узагальнене рівняння масообміну для умов водневого відновлення залізорудних концентратів з рециркуляцією водню: Num=0.1Re0.63. 5. Запропоновано рециркуляцію з очисткою від вологи водню для печі відновлення. Цей захід дозволяє в повній мірі використовувати відновлювальний потенціал газу. Обґрунтовано оптимальну схему газопостачання: в зону нагріву печі відновлення подавати знепилений газ після печі відпалу, а в холодильник печі відновлення – газ рециркуляції, що відмито від вологи; в піч відпалу –чистий електролізний водень. Така система газопостачання гарантує високі показники кінцевого продукту по кисню й вуглецю. 6. Проведені термодинамічні розрахунки показують, що відчистку водню від вологи під час рециркуляції можливо проводити лише до точки роси +20С. При подачі водню з такою вологістю в холодильник печі відновлення підкислювання порошку не відбувається. Дане положення дозволяє відмовитися від застосування енергоємного блоку адсорберів у системі очищення відновлювального газу. 7. Розглянуто термодинамічний (відносний) тд і стехіометричний (абсолютний) ст коефіцієнти використання водню (КВ). За звичай у однопотоковому процесі тд складає 30-35%, що дорівнює ст =10-15%. Встановлено, що рециркуляція водню дозволяє забезпечити сприятливі гідродинамічні обставини в реакторі при мінімальній витраті свіжого газу на процес відновлення. Так, за рахунок покращення масообміну тд досягає 70 %, що дорівнює ст=25-30%. Регенерація ж водню при рециркуляції дозволяє досягти стехіометричного, тобто абсолютного, ст=75-90%. 8. На підставі виконаних досліджень розроблено технологічний процес отримання безвуглецевих залізних порошків на конвеєрних електропечах розробки Інституту газу НАНУ. Встановлено його оптимальні параметри при розрахунковій продуктивності 50 кг/год: температура відновлення і відпалу 900С, висота шару засипки 15 та 12-18 мм відповідно. Розроблена апаратурно-технологічна схема процесу. 9. Обґрунтовано застосування порошкових затворів (ПЗ) для локалізації пічної атмосфери і визначені умови застосовності моделі конвективного тепло-масообміну стосовно ПЗ конвеєрної печі. Показано, що масо- і теплоперенос у порошкових затворах відповідає моделі Дарсі-Бусинеска для вільної конвекції у пористих тілах. На основі наближення Дарсі проведено числовий аналіз умов роботи ПЗ. Визначено конструктивні й технологічні параметри роботи ПЗ, що гарантують підтримку тиску водню у робочій зоні на рівні 10-15 мм вод. ст. при мінімальному витоку у зовнішнє середовище. 10. Проведено аналітичні розрахунки температурного режиму газового середовища. Встановлено, що зменшення висоти муфеля та підігрів водню значно збільшують величину коефіцієнтів масообміну між порошком та газом. Одночасний вплив зниження висоти муфеля й підігріву водню приводить до збільшення коефіцієнтів переносу в 3.5-5 разів. При сполученні “затиснення” муфеля з підігрівом водню можна цілком виключити вплив дифузійного опору масообміну. Підігрів водню до 600С у холодильнику печі дозволяє в 1.8 разів скоротити довжину зони її нагріву. 11. Розрахунки основних апаратів системи рециркуляції й регенерації газів показують, що питомі витрати водню не будуть перевищувати 750 м3 на тону залізного порошку. При традиційній однопотоковій схемі відновлення витрати водню складають не менш ніж 1500 нм3/т Fe. Якщо враховувати енерговитрати на одержання 1 м3електролізного водню, а це – ~5 кВтгод/нм3 й інші енерговтрати (~750 кВт/т Fe), то енергоефект може скласти ~3000 кВт/т Fe. 12. Основні результати роботи покладені за основу тендерної та проектної документації по створенню виробництва безвуглецевого залізного порошку для індійської фірми NMDC (National Mineral Development Corporation). | |