

УДК 669.184

**ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ ЧАВУНУ З РУДНИХ КОНЦЕНТРАТИВ
І МЕТАЛУРГІЙНИХ ШЛАМІВ¹***М. В. Луценко**Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”**Розглянута технологія отримання чавуну з вторинних матеріалів на базі рідкофазної відновлювальної плавки.**Рассмотрена технология получения чугуна из вторичных материалов на базе жидкофазной восстановительной плавки.**Technology of manufacturing of pig iron using recycled scrap and melting process through the liquid non-oxidising C-enriched environment was considered.***Вступ**

Найпоширенішим ливарним сплавом на найближче десятиріччя залишається чавун, потенційні можливості якого як конструкційного матеріалу використовуються не повною мірою. Слід зазначити, що в загальному обсязі виробництва виливків із сірого чавуну випуск лиття з низькомарочного чавуну досягає майже 80 %. Недостатньо високі фізико-механічні властивості такого чавуну приводять до підвищеної витрати металу на виготовлення виливків.

Одним з напрямків зниження витрати металу є використання низько- і середньолегованих чавунів, що містять як легуючі компоненти нікель, хром, мідь, титан, алюміній у кількості до 5 – 7 мас.%. Однак розширення об'ємів виробництва виливків з високоякісних сплавів вимагає залучення в металообіг дефіцитних і дорогих легуючих елементів у великих кількостях. У цьому зв'язку гостро постає питання про зниження собівартості лиття за рахунок вартості металевих шихти.

Як відомо, у металургії утворюється велика кількість металовмістких відходів у вигляді мілкодисперсних пилу й шламів. Тому проблема утилізації таких відходів висувається на передній план. Це обумовлено, з одного боку, величезними ресурсами цього виду вторинної сировини, з іншого боку – науково-технічними розробками, що з'явилися за останні роки [1–3].

¹ - роботу виконано під керівництвом доктора технічних наук, професора В.М.Костякова, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України і доктора технічних наук, професора В.С.Богуського, НТУУ „КПІ”

Слід зазначити, що сучасна концепція утилізації відходів на металургійних підприємствах припускає багаторазове використання вторинних ресурсоцінних матеріалів для власних потреб підприємства або за його межами за умови їхньої переробки.

Аналіз наявних даних про застосування оксидовмістких матеріалів у вигляді рудної сировини, пилу сталеплавильного виробництва, шламів доменного, сталеплавильного, прокатного й гальванічного виробництв для виплавки чавуну і сталі показує, що застосування цього виду сировини перспективно й економічно виправдано. Це визначає актуальність напрямку досліджень.

Найбільше ефективно процес відновлення оксидів металів реалізується в умовах рідкофазної відновлювальної плавки в плавильних агрегатах, широко застосовуваних у металургії.

Постановка задачі

Робота присвячена розробленню технології рідкофазної відновної плавки вторинних ресурсоцінних оксидовмістких матеріалів, з метою отримання металів, які надалі використовуються в машинобудуванні в якості конструкційних матеріалів. Дана технологія полягає в тому, що методом рідкофазної відновної плавки в ДСП, відновлюють оксиди металів вуглецем, з подальшим отриманням високоякісного металу. Це дозволяє вирішити проблеми економічного використання ресурсоцінних матеріалів, що утворилися в результаті виробництва металопродукції в чорній металургії та проблеми охорони навколишнього середовища.

Плавка зазначених матеріалів, яким би методом вона не здійснювалася – це комплекс окремих процесів. Серед них у випадку переробки різних шламів, доменних і сталеплавильних шлаків, ковальської і прокатної окалини, рудної сировини й інших матеріалів найважливіше значення мають: нагрівання шихти і дисоціація хімічних сполук; взаємодія відновників і оксидів металів; розплавлення складових шихти з утворенням первинних розплавів; розчинення більш тугоплавких компонентів у первинних розплавах; поділ продуктів плавки; розподіл коштовних компонентів між продуктами плавки.

Швидкість і повнота протікання цих процесів залежать від фізико-хімічних властивостей компонентів шихти, температури й інтенсивності масо- і теплообміну, а продуктивність агрегатів у цілому визначається часом, витраченим на завершення самої повільної стадії.

Нагрівання шихти лімітується процесами теплопередачі. Вочевидь, нагрів великих шматків шихти через порівняно низьку теплопровідність шихтових матеріалів протікає відносно повільно і може бути прискорений лише зменшенням розмірів шматків.

Реакції взаємодії відновника, наприклад, вуглецю й оксиду металу є

екзотермічними процесами, що протікають на границі розділу фаз. З літератури й практики відомо, що власно хімічний акт процесу окислювання вуглецю при високих температурах протікає вкрай швидко.

Процеси утворення металевого розплаву й шлакоутворення протікають у дві стадії: розплавлювання легкоплавких складових шихти і розчинення більш тугоплавких речовин у цих розплавах. Шлакоутворення, як правило, починається після розплавлювання металеві складові шихти і відбувається більш повільно, тому що для більшості оксидів шихти температура плавлення вище ніж у заліза. При обмежених температурах у плавильному агрегаті особливо важливого значення набувають процеси розчинення тугоплавких оксидів у первинних шлакових розплавах. Процеси розчинення є дифузійними і тому протікають значно повільніше процесів розплавлювання легкоплавких компонентів. Утворення шлаків у плавильних печах починається, як правило, з одержання легкоплавких евтектик, наприклад, оксидо-сульфідних, і більш складних багато-компонентних легкоплавких композицій.

Методика проведення експериментів

При виплавці дослідних чавунів використовували базовий сплав складу, масова частка %: 3,95 C; 1,90 Si; 0,86 Mn; 0,09 Cr; 0,18 Al; 0,16 Cu; 0,066 S; 0,067 P. Складовою частиною шихти служили залізорудний концентрат Інгулецького ГОКу складу, масова частка, %: 58,9 Fe₂O₃; 28,6 FeO; 9,8 SiO₂; 0,3 CaO; 0,7 MgO; 0,02 MnO; 0,6 Al₂O₃; 0,22 S; 0,02 P; 0,08 Na₂O; 0,07 K₂O; 1,1 ППП, суміш доменного і мартенівського шламу, що включає, масова частка, %: 49,9 Fe_{заг}; 63,6 Fe₂O₃; 6,98 FeO; 7,64 SiO₂; 1,1 Al₂O₃; 0,87 MnO; 8,24 CaO; 1,27 MgO; 6,0 C; 0,17 S; 10,7 ППП і залізорудні окатиші Комсомольського ГОКу складу, масова частка, %: 62,6 Fe_{заг}; 87,1 Fe₂O₃; 2,0 Fe; 8,5 SiO₂; 0,4 Al₂O₃; 0,42 CaO; 0,9 MgO; 0,03 TiO₂; 0,06 S; 0,09 P і 0,43 ППП. У якості відновника використовували електродний бій і коксик.

Технологія плавки передбачала розплавлювання базового чавуну з наступним введенням у рідку ванну окомкованого залізорудного концентрату і шламу, залізорудних окатишів і легування металу марганцем і кремнієм. Рідкий метал при температурі 1693 – 1723 К виливали з печі в підігріту графітову виливницю.

При виплавці чавуну відновник вводився в рідку ванну по різних схемах. У таблиці 1 наведений склад шихти й хімічний склад виплавленого чавуну. У плавках 1 і 2 залізорудний концентрат і вуглець вводилися в рідку ванну в стехіометричному співвідношенні, при якому повинне відбуватися повне відновлення заліза. У наступній серії дослідних плавок (плавки 3 і 4) концентрат завантажували у ванну печі без відновника з урахуванням відновлення заліза вуглецем, розчиненим у металі.

Таблиця 1 Склад шихти і хімічний склад виплавленого чавуну

№ плавки	Склад шихти, %	Хімічний склад, масова частка %					Ступінь відновлення Fe, %
		C	Si	Mn	P	S	
1	Чавун – 50, залізорудний концентрат – 50	3,74	0,46	0,30	0,08	0,05	89,3
2	Чавун – 70, залізорудний концентрат – 30	3,14	0,40	0,32	0,05	0,07	91,3
3	Чавун – 50, залізорудний концентрат – 50	0,57	0,31	0,23	0,06	0,07	85,1
4	Чавун – 70, залізорудний концентрат – 30	0,80	0,30	0,35	0,07	0,08	87,1
5	Чавун – 50, залізорудний концентрат – 50	3,88	1,00	0,41	0,07	0,10	92,8
6	Чавун – 70, залізорудний концентрат – 30	4,11	1,18	0,34	0,07	0,09	94,2
7	Чавун – 47, Залізорудний концентрат – 53	4,62	1,02	0,62	0,05	0,04	95,7
8	Чавун – 66, залізорудний концентрат – 34	4,26	0,95	1,22	0,03	0,04	95,4
9	Шлам доменних і мартенівських печей	3,47	0,20	0,33	0,05	0,04	94,7
10	Чавун – 45; шлак – 55	4,52	0,26	0,30	0,06	0,11	92,0
11	Чавун – 65; шлак – 35	4,42	0,22	0,32	0,05	0,09	93,8
12	Шлак, ФС65, FeMn75	3,43	1,76	0,71	0,14	0,06	95,2
13	Чавун – 50, окатиші – 50, ФС65, FeMn	3,06	1,77	0,91	0,06	0,05	93,0
14	Чавун – 50 %, окатиші – 50 %, ФС65, FeMn	3,21	1,75	0,88	0,07	0,05	93,3

У плавках 5 й 6 вуглець у стехіометричному співвідношенні вводили в рідку ванну разом з концентратом і додатково подавали на поверхню шлаків наприкінці плавки в кількості 6,0 і 8,7 мас.% відповідно. Нарешті, у плавках 7 і

8 кількість вуглецю, що вводили, разом із залізородним концентратом перевищувала стехіометричне співвідношення на 29 і 33 мас.%.

У плавках № 9–14 як шихту використали шлам доменних і мартенівських печей і залізородні окатиші, кокс і залізородний бій, а також феросплави ФС65 (плавки № 12 – 14) і FeMn75.

При переплаві шламу (плавка 9) досягається високий ступінь відновлення заліза, але спостерігається високий вміст сірки внаслідок переходу її з коксу в метал. При відновленні заліза електродним боєм вміст сірки в чавуні різко зменшується.

Результати дослідження і їхнє обговорення

З аналізу наведених даних встановлено, що ступінь відновлення заліза із залізородного концентрату залежить від способу уведення вуглецю в рідку ванну і його кількості.

У плавках № 1 і 2 шихта у вигляді брикетів, що містять залізородний концентрат і відновник, завантажувалася в піч при рідкому болоті 50 і 70 % від ваги садки. Кількість вуглецю в брикетах перебувала в стехіометричному співвідношенні, необхідному для повного відновлення заліза. При вмісті залізного концентрату в завалці 50 % ступінь відновлення заліза склав 89,3 % і при зменшенні кількості концентрату, що завантажуюється, у піч до 30 % величина останнього збільшувалася до 91,3 %.

При відновленні заліза тільки вуглецем, розчиненим у чавуні, при вмісті в завалці 50 і 30 % концентрату ступінь відновлення заліза не перевищував 85,1 і 87,1 % відповідно (плавки 3 і 4).

У плавках 5, 6 окомкований залізородний концентрат з вуглецем у стехіометричному співвідношенні вводили в рідку ванну печі в процесі плавки, а надлишкова кількість вуглецю подавалося на поверхню шлаків наприкінці плавки. При такому уведенні відновника в рідку ванну більш високий ступінь відновлення заліза 94,2 % був в плавці № 6, коли концентрат з вуглецем у кількості 30 % від ваги садки завантажувався в піч, а на поверхню шлаків додатково подавався вуглець у кількості 8,7 % понад стехіометрично необхідного для відновлення оксиду.

При надлишковому вмісті вуглецю в брикетах концентрату в плавці № 7 на 33,7 % і № 8 на 29,0 % ступінь відновлення заліза дорівнює 95,7 і 95,4 % відповідно.

Результати проведених досліджень показали, що на характер взаємодії фаз при рідкофазній відновлювальній плавці залізородного концентрату помітно впливає спосіб уведення відновника (вуглецю) у металевий розплав. Так, при уведенні в розплав чавуну концентрату без відновника спостерігається більш низький ступінь відновлення заліза, що не перевищує 87,1 % при вмісті в шихті базового чавуну 70 %. При вмісті в концентраті

вуглецю в стехіометричному співвідношенні ступінь відновлення заліза трохи підвищується і становить 91,3 % при завантаженні базового чавуну у ванну печі в кількості 70 %. Додаткова подача вуглецю на поверхню рідкої ванни наприкінці плавки для розкиснення шлаків збільшує ступінь відновлення заліза до 94,2 % при вмісті концентрату в шихті 30 %.

Найбільш високий ступінь відновлення заліза досягається при вмісті в брикетах залізорудного концентрату вуглецю в кількості, що перевищує теоретично необхідну для повного відновлення оксиду заліза. Це погоджується з наявними в літературі даними [4].

У плавках № 9 – 14 як шихту використали шлам доменних і мартенівських печей і залізорудні окатиші, кокс і залізорудний бій, а також феросплави ФС65 (плавки № 12 – 14) і FeMn75. При переплаві шламу (плавка 9) досягається високий ступінь відновлення заліза, але спостерігається високий вміст сірки внаслідок переходу її з коксу в метал. При відновленні заліза електродним боєм вміст сірки в чавуні різко зменшується. Досліджено поведіння вуглецю в процесі відновлювальної плавки оксидовмістких матеріалів (табл. 2).

Таблиця 2 Витрата вуглецю на протікання окремих процесів плавки

№ плавки	Ступінь відновлення заліза, %	Відношення введеного вуглецю до стехіометрично необхідного	Витрата вуглецю на протікання процесів плавки, %			Витрата елементів чавуну на відновлення	
			відновлення	науглецювання	окислювання	C	Si
1	86,0	1,0	89,6	7,5	2,9	–	–
2	91,3	1,0	93,3	–	6,7	–	–
3	85,0	–	–	–	–	73,2	80,5
4	87,1	–	–	–	–	68,3	76,7
5	92,8	1,3	64,2	6,9	28,9	–	–
6	94,2	1,4	61,2	4,5	34,3	–	–
7	95,7	1,4	69,5	15,8	14,7	–	–
8	95,4	1,5	65,3	16,3	18,4	–	–
9	92,0	1,4	85,6	3,1	11,3	–	–
10	93,8	1,4	85,5	2,3	12,2	–	–
11	94,7	1,4	63,5	7,0	12,3	–	–

Примітка: номери плавки відповідають даним таблиці 1.

З аналізу даних таблиці 2 видно, що у всіх плавках, за винятком плавки № 3 й 4, незалежно від виду шихти вуглець відновника витрачається на відновлення заліза, науглецювання металу й окиснення газовою атмосферою. У плавках № 3 й 4 на відновлення заліза витрачався тільки вуглець і кремній, що розчинені в чавуні, оскільки у ванну не вводився відновник. Абсолютні

значення витрати вуглецю й кремнію в плавках № 3 й 4 досить близькі. Це говорить про те, що в процесі плавки зазначені елементи одночасно беруть участь у відновленні заліза.

При введенні вуглецю в шихту в стехіометрично необхідній кількості (плавки № 1 й 2) ступінь відновлення заліза становить 86,0 і 91,3 % відповідно. Причому ступінь відновлення заліза більш високий при зменшенні вмісту в шихті рудного концентрату. У цьому випадку практично весь вуглець витрачається на відновлення заліза.

У плавках № 3 й 4, коли в шихту не вводився відновник, характер взаємодії фаз у рідкій ванні чавуну трохи змінився. Вміст вуглецю й кремнію у виплавленому металі зменшився за рахунок витрати їх на відновлення заліза.

При введенні в шихту вуглецю в стехіометричній кількості і додатковому розкисненні шлаків підвищуються витрати відновника за рахунок окиснювання вуглецю (плавки № 5 й 6). Найбільш високий ступінь відновлення заліза характерний для плавки № 7 й 8, коли весь відновник із надлишком вуглецю вводився в рідку ванну з окомкованим концентратом. У цих плавках основна кількість вуглецю витрачається на відновлення заліза й на вуглецювання розплаву. Аналогічна картина спостерігається при виплавці сірого чавуну зі шламу доменного й сталеплавильного виробництв (плавки № 12, 13 і 14).

Висновки

1. Аналіз наведених даних показав, що на характер взаємодії фаз у процесі рідкофазної відновлювальної плавки істотно впливає спосіб уведення вуглецю в рідку ванну. Найбільш сприятливі умови для протікання відновних процесів досягаються при введенні в шихту окомкованого залізородного концентрату що містить відновник у надлишковій кількості.

2. Дослідженням поведінки вуглецю при плавці залізородного концентрату в рідкій ванні показано, що розподіл вуглецю на процеси відновлення, на вуглецювання і окиснення залежить від складу шихти.

Література

1. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В. С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін.: За ред. Д.Ф. Чернеги, Ю.Я.Готвянського – К.: Вища школа, 2006 – 503 с.
2. Оксидосодержащие стали и чугуны / В.Н.Костяков, В.Л.Найдек, Е.Б. Полетаев и др. //Процессы литья. – 2001. – № 2. – С. 3 – 5.
3. Пат. № 405054 Австрия, МКИ⁶, С 21 В 11/10, Способ и установка для получения расплава железа с использованием Fe-содержащих отходов металлургического производства.
4. Механизм восстановительной плавки // В.Н.Костяков, В.Л.Найдек, Н.И.Тарасевич и др.// Процессы литья – 2005. – № 2. – С. 3 – 10.