

НЕПРЕРЫВНЫЙ ПЕРЕПЛАВ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ И ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ В РУДНОТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПОЛУПРОДУКТОВ

К.К. Каскин

CONTINUOUS REMELTING OF METALLIZED IRON ORE PELLETS IN AN ORE-THERMAL FURNACE FOR OBTAINING THE SEMI-PRODUCT MATERIAL

К.К. Kaskin

Рассматривается возможность получения из металлизированных и железорудных окатышей полупродуктов легированных ванадием, хромом, никелем с максимально высоким содержанием легирующих элементов.

Ключевые слова: степень восстановления, некондиционная хромовая руда.

The paper describes the possibility of obtaining the alloyed semi-product material containing vanadium, chromium, nickel with high contents of alloying elements from a metallized iron ore pellets.

Keywords: degree of recovery, substandard chromium ore.

В последнее время металлизированные железорудные окатыши, как правило, используют в дуговых сталеплавильных печах (ДСП). Существенные недостатки этих печей: периодичность процесса, сложность оборудования, отрицательное влияние на качество электроэнергии в питающих сетях, пиковые нагрузки в электроснабжении и значительные простои на ремонтах побудили многие фирмы начать поиск более эффективных агрегатов и процессов переплава металлизированного сырья. Так, например, в ФРГ фирмой «Крупп» были выполнены поисковые работы по переплаву металлизированного железорудного сырья (МЖРС) в руднотермических печах на углеродистый полупродукт для дальнейшего получения стали [1, 2].

Фирма «Крупп» в полупромышленной печи опробовала технологию переплава металлизированных окатышей в руднотермической печи при работе с открытым колошником, не имеющую отмеченных недостатков. Однако непрерывности процесса при этом не достигается.

Нами [3, 4] предлагается другой вариант, основанный на непрерывной работе печи с закрытым колошником в режиме активного сопротивления, позволяющий, по сравнению с технологией фирмы «Крупп», уменьшить энергозатраты и восстановить легирующие элементы (хром, ванадий) из руд.

В связи с этим изучение и создание технологии непрерывного процесса переплава МЖРС, обеспечивающей хорошие технико-экономические показатели, являются актуальной задачей.

Нами опробован непрерывный процесс выплавки в руднотермических печах мощностью 1,2 МВ·А с периклазовой футеровкой ванны.

Было проведено четыре серии опытных плавок. В первой серии при выплавке углеродистого полупродукта (см. таблицу) в качестве металлической части шихты использовали металлизированные окатыши Лебединского горно-обогатительного комбината (ГОК) с содержанием углерода 2 %, пустой породы 12 % и степени металлизации 95 %. В качестве окислителя применяли железорудные окатыши. Для разрыхления использовали древесную щепу и известь для шлакообразования. Печь работала непрерывно на известковых шлаках высокой основности ($\text{CaO/SiO}_2 = 3-4$) при кратности шлака 0,3–0,35. Температура металла и шлака на выпуске 1600–1650 °С. Расход электроэнергии на 1 т полупродукта при закрытом колошнике составлял в среднем 870 кВт·ч и увеличивался до 920 кВт·ч/т, когда содержание углерода понизилось до 0,1 %. Для понижения содержания углерода в металле с 2,35 % до 0,012 % в шихту вводили железорудные окатыши того же ГОКа в количестве от 50 до 250 кг на 1 т МЖРС. В дальнейшем плавку вели на окислых шлаках без добавки извести в шихту. Удельный расход электроэнергии понизился до 550–570 кВт·ч.

Установлено, что ведение процесса с закрытым колошником возможно только на высоком и среднем содержании углерода в металле.

При выплавке металла, содержащего менее 0,1 % С, ввиду бурного кипения шлака колошник раскрывался (см. таблицу).

Во второй серии при выплавке ванадийсодержащего полупродукта использовали металлизированные окатыши Качканарского ГОКа со степенью металлизации 83 %, содержанием пустой породы

Химический состав металла и шлака

Наименование	Содержание элементов в металле, %							Основность (CaO + MgO)% SiO ₂ %	Уд. расх. эл. энерг., МВт·ч/т
	C	S	Si	Cr	Ni	V	Ti		
Углеродистый полупродукт	0,30–2,35	0,003–0,008	0,01–0,03	–	–	–	–	2,8–4,5	0,80–0,90, закрытый колошник
	0,10–0,012	0,02–0,04	0,01–0,03	–	–	–	–	1,5–2,5	0,87–0,92, открытый колошник
	1,55–2,52	0,011–0,023	0,02–1,76	–	–	–	–	0,3–0,5	0,55–0,57, закрытый колошник
Ванадийсодерж. полупродукт	2,65–3,85	0,003	0,57–2,80	0,05–0,19	–	0,38–0,45	0,18–0,60	1,5–2,2	0,60–1,00, закрытый колошник
Хромоникелевый полупродукт	1,98–3,50	0,012–0,030	0,10–0,24	7,78–19,30	5,60–10,80	–	0,40–0,42	1,3–1,8	0,95–1,10, закрытый колошник
Хромистый полупродукт (чугун)	5,0–5,25	0,14–0,16	0,90–1,25	7,1–10,50	–	–	–	1,02–1,06	Закрытый колошник
	4,6–5,0	0,10–0,05	0,95–1,5	18,0	–	–	–	1,03–1,08	Закрытый колошник
	5,1–5,2	0,10–0,03	1,01–1,90	18,8	–	–	–	0,9–1,078	Закрытый колошник

17 % и углерода 1,75 %; V₂O₅ – 0,57 %; TiO₂ – 2,52 %, в качестве восстановителя кокс в количестве 70–10 кг/т МЖРС, известь и другие шлакообразующие не присаживались. При переплаве окатышей Качканарского ГОКа извлечение ванадия и титана достигало соответственно 92 и 77 %. Содержание азота в металле не превышало 0,003 %, меди – 0,004 %, свинца – 0,0005 %. Степень восстановления ванадия составила 92 %. При добавке в шихту конверторного ванадиевого шлака с содержанием по массе 18,5 % V₂O₅ и 8,20 % TiO₂ был получен металл состава: V – 2,3 %; C – 2,66 %; Mn – 0,50 %; S – 0,023 %; P – 0,025 %; Si – 0,09 %; Ti – 0,03 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при переплаве МЖРС из титаномагнетитов с высоким содержанием TiO₂ и содержащих ванадий, регулируя количество восстановителя и состав шлака, можно перевести основное количество TiO₂ в шлак, а большую часть ванадия в металл.

Опытные плавки показали, что при работе с закрытым колошником можно получить металл с высокой концентрацией углерода. Так, при присадке 70 кг кокса на 1 т металлизированного сырья получили металл, содержащий 3,75–3,85 % C.

В третьей серии опытных плавки при выплавке хромоникелевого полупродукта использовали металлизированные окатыши Ново-Михайловского ГОКа со степенью металлизации 95 %, содержанием углерода и пустой породы 2,26 и 6,5 % соответ-

ственно; коксовый орешек, закись никеля, хромовую руду Донского месторождения кусковой и порошкообразной фракций с содержанием 50 % Cr₂O₃. Состав полученного металла представлен в таблице. Степень восстановления хрома достигала 92 %.

Плавки, проведенные на пылевидной хромовой руде, до перехода печи на устойчивый технологический режим отличались постепенным повышением содержания хрома в металле и высокой концентрации Cr₂O₃ в шлаке, превышавшей 20 %. Количество хрома в металле и в шлаке было существенно ниже, чем в шихте, что свидетельствовало, во-первых, о накоплении оксида хрома в печи, во-вторых, о неполном переходе его в карбид на колошнике. Только к третьему выпуску металла и шлака, в устойчивом режиме, накопление Cr₂O₃ прекратилось. При работе на кусковой руде этих явлений не обнаружено.

Таким образом, установлена возможность получения хромоникелевого полупродукта в процессе непрерывного переплава металлизированных окатышей в руднотермической печи, работающей с закрытым колошником в режиме сопротивления.

В четвертой серии опытных плавки при выплавке хромистого полупродукта (чугуна) использовалась: коксовая мелочь (зольностью 15 %), железорудные окатыши Сокловско-Сарбайского горнообогатительного производственного объединения (ССГПО) содержанием железа 61,5 %, хромовая руда Донского ГОКа содержанием оксида хрома 37 %.

Особенностью технологии является работа печи с закрытым колошником, который поддерживается на постоянном уровне за счет подсыпки шихты из печных карманов. Выпуск металла и шлака производится периодически, после израсходования определенного количества электроэнергии.

Всего было проведено три кампании по три выпуска металла в каждой. Ранее было установлено, что печь выходит на стабильный состав металла и шлака на третьем выпуске, первая кампания проведена на выплавку хромистого чугуна содержанием 10 % хрома, вторая и третья на 18,8 % хрома (см. таблицу). Кратность шлака на второй кампании составила 0,564, на третьей – 0,268. Содержание углерода на второй колебалось от 4,6 до 5 %, на третьей кампании от 5,1 до 5,7 %, а концентрация кремния достигала до 1,9 % (см. таблицу). Характерным для обеих кампаний наблюдалось снижение серы на второй до 0,05 %, на третьей до 0,03 %, а в шлаке повышается от 0,24 до 0,50 %. Установлено, что концентрация Cr_2O_3 в шлаке на второй кампании достигает до 4,5 %, на третьей 2,4 %, а содержание FeO в шлаке составило соответственно 15,60 и 12,30 %. Извлечение хрома достигнуто на второй кампании 88 %, на третьей 95 %. Это связано с тем, что печь выходит на стабильный режим, при этом извлечение хрома достигает 95 %. При увеличении основности $(CaO+MgO)/SiO_2$ до 1,078 повышается содержание хрома до 18 %, кремния до 1,9 %.

Таким образом, особенностью всех четырех серий выплавки углеродистого, ванадийсодержащего, хромоникелевого и хромистого полупродуктов является работа печи с закрытым колошником, обеспечивающим непрерывность процесса, полнее используется восстановительная способность углерода, так как CO, проходящий через слой окатышей, участвует в довосстановлении оксидов железа, хрома, ванадия, никеля.

Поэтому для нормального проведения процесса с закрытым колошником, необходима работа в режиме сопротивления, при этом нагрев металла происходит через перегретый шлак. Шлак должен обладать достаточным электросопротивлением, чтобы нагреть металл до заданной температуры, и достаточной жидкотекучестью для нормального хода печи.

Особенность четвертой серии плавок заключается в том, что в качестве шихты можно использовать железорудные окатыши и некондиционную (бедную) хромовую руду и получать не только хромистый, но и хромомарганцевый полупродукт (чугун) с последующим переделом на нержавеющую сталь в конверторе типа АКР, исключая применение таких ферросплавов, как низкоуглеродистый феррохром, ферромарганец, а также легированный нержавеющей лом, который практически отсутствует в Казахстане.

В этом процессе полученный чугун заливается в конвертор аргоно-кислородного рафинирования, где проводят обезуглероживание с помощью аргоно-кислородной или азотно-кислородной продувки, а затем раскисление, десульфурация и доводка стали.

Таким образом, в рудновосстановительной печи имеется возможность получения различного сортамента полупродуктов (углеродистый, ванадийсодержащий, хромоникелевый и хромистый) с использованием в шихте металлизированных железорудных окатышей, а также железорудного сырья и некондиционных хромовых руд. В перспективе можно наладить производство нержавеющей марок сталей и различных легированных полупродуктов, которые не производятся в Казахстане.

Литература

1. Кёнси, Х. Производство стали из губчатого железа в электрошлаковой печи сопротивления / Х. Кёнси, Г. Рази // Чёрные металлы. – 1977. – № 1. – С. 13–18
2. Rath, G. Continuous steel Production with iron sponde in Electro-Slag Resistance Process (ESW Process) / G. Rath, H. Konig // *Hüttenmännische Monatshefte*. – 1978. – Bd. 123, № 11. – S. 384–389.
3. Каскин, К.К. Выплавка хромоникелевого полупродукта непрерывным процессом / К.К. Каскин, А.Х. Кадарметов, А.Н. Учаев // *Повышение качества и эффективности производства электростали: науч. тр. / НИИМ. – Челябинск: Металлургия, 1990.*
4. Кадарметов, А.Х. Непрерывный переплав металлизированных окатышей в руднотермической печи / А.Х. Кадарметов, К.К. Каскин, А.Н. Учаев // *Металлург.* – 1986. – № 3.

Поступила в редакцию 13 марта 2012 г.