

УДК 669.162.1

Сулименко С.Е. /к.т.н./

НМетАУ

Получение частично металлизированного сырья в стационарном слое

В работе приведены результаты лабораторных исследований по получению частично металлизированного сырья для доменной плавки при высокотемпературной обработке железорудных окатышей, за счет сжигания твердого топлива в замкнутом пространстве в нижней части слоевой системы. Разработанная технология позволяет получать продукт со степенью металлизации от 30 до 40 %. Реализация предлагаемой технологии получения частично металлизированного сырья возможна на обжиговых и агломерационных машинах при реконструкции их головных частей. Ил. 5. Табл. 4. Библиогр.: 3 назв.

Ключевые слова: окатыши, межгранульное пространство, слой регенерации, дутьевой режим, восстановление, степень металлизации, остаточный углерод, удельная производительность

The paper presents the results of laboratory research on the production partially metallized materials for blast furnace at high temperature treatment of iron ore pellets, due to combustion of solid fuel in an enclosed space at the bottom of the layered system. The developed technology allows to obtain a product with the metallization of 30 to 40%. The implementation of the proposed technology for partially metallized materials available on the roasting and sintering machines in the reconstruction of their warheads.

Keywords: pellets, intergranular space, a layer of regeneration, the blowing mode, recovery, the metallization, the residual carbon, specific performance.

Проблема получения высококачественного сырья для доменной плавки по-прежнему остается актуальной. Особенно остро вопрос качества железосодержащего сырья стоит в связи с заменой части кокса пылеугольным топливом. В этих условиях снижение содержания мелочи в сырье, изменение его химического состава и увеличение механической прочности является задачей, решение которой позволит не только уменьшить расход кокса на выплавку чугуна, но и снизить негативные последствия от его уменьшения. Перспективным направлением улучшения показателей доменной плавки может быть использование частично металлизированного сырья, получаемого вне доменной печи с применением низкосортного топлива [1].

На современном этапе механизм восстановительных процессов при использовании в качестве восстановителей газообразного, жидкого и твердого топлива изучен достаточно полно, что позволило организовать производство сырья в виде кричного, губчатого и жидкого железа [2, 3]. При этом основные усилия были направлены на создание различных устройств и агрегатов, обеспечивающих степень металлизации железорудного сырья на уровне 90-95 %. Очевидно, что по экономическим причинам, такой материал в составе доменной шихты проплавливать нецелесообразно.

Решение задачи производства частично металлизированного сырья возможно путем совмещения процесса обжига и восстановления углеродсодержащих окатышей в стационарном слое при использовании

дутьевого режима и твердого топлива.

Основой технологии является формирование очага для сжигания твердого топлива в замкнутом пространстве нижней части стационарного слоя в дутьевом режиме с образованием восстановительного газа и теплоты для упрочнения и частичной металлизации обрабатываемого слоя окатышей.

Схема практической реализации технологии получения частично металлизированного сырья приведена на рис. 1. На решетку 2 чаши 1 загружается слой постели 3 из обожженных окатышей, на которые укладывается твердое топливо крупностью 0-10 мм в качестве слоя регенерации 4. На предварительно зажженный слой регенерации 3 укладываются углеродсодержащие окатыши 5 крупностью 9,5-12,5 мм, содержащие 12 % топлива крупностью <0,1 мм. Для создания одинаковых тепловых условий по высоте слоя окатышей 5 вводится 2-4 % топлива 6.

Зажигание топлива слоя регенерации производится в режиме прососа горячих газов через слой в течение 30 с. На зажженный слой загружаются окатыши с внутренним и межгранульным топливом и осуществляется переход на дутьевой режим подачи воздуха через слой. Это приводит к образованию очага горения в замкнутом пространстве с повышением температур до 1200-1300 °С и появлением восстановительного газа в виде СО с перемещением зоны высоких температур снизу вверх через металлизированный слой.

Появление свежеевостановленного железа в присутствии жидких и частично оплавленных окатышей способствует протеканию смешанного типа восста-

новления железа в твердых и жидких фазах. Происходящее при этом наложение непрямого восстановления на прямое, интенсифицирует процесс восстановления и, при повышении температуры, приводит к уплотнению окатышей с образованием сростков [2].

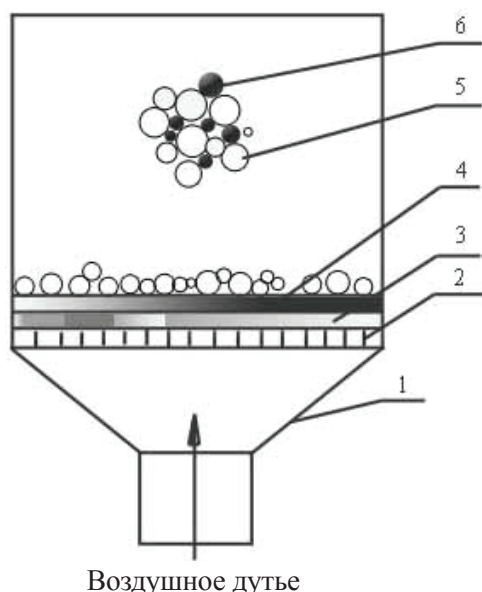


Рис. 1. Схема загрузки шихты в лабораторную чашу: 1 – чаша; 2 – колосниковая решетка; 3 – слой постели; 4 – слой топлива регенерации; 5 – окатыши; 6 – твердое топливо в межгранульном пространстве

Отработку технологии получения частично металлизированного сырья для доменной печи проводили на лабораторной установке, состоящей из квадратной чаши 190-190 мм высотой 200 мм и вентилятора, обеспечивающего необходимый режим дутья для восстановления оксидов железа в окатышах. В качестве топлива для слоя регенерации и в слое между окатышами использовали коксовую мелочь крупностью 0-10 мм. Измельченная до <0,1 мм коксовая мелочь в количестве 12 % вводилась в концентрат ЮГОКа, содержащего (%) $Fe_{\text{общ.}}$ 64,55; FeO 28,33; CaO 0,06; SiO_2 8,47. Смесь окомковывалась на тарельчатом грануляторе диаметром 1 м.

Экспериментами в начальной стадии было установлено, что использование предлагаемой структуры стационарного слоя из-за пристенного эффекта воз-

никают затруднения в обработке центра слоя восстановительными газами. Этому также способствовало заплывание свода из-за спекания гранул, переходящих в пластическое состояние при сгорании топлива регенерационного слоя. Для снижения негативного воздействия этого явления на процесс было предложено укладывать вертикальные прослойки из коксовой мелочи крупностью 0-10 мм. Схема формирования структуры слоя на квадратной чаше представлена на рис. 2. Наличие вертикальных прослоек из топлива должно обеспечить горизонтальное проникновение газового потока выше уровня образующегося свода из спекшихся гранул шихты.

Результаты обжига двух шихт, отличающихся содержанием топлива в межгранульном пространстве, приведены в табл. 1, 2.

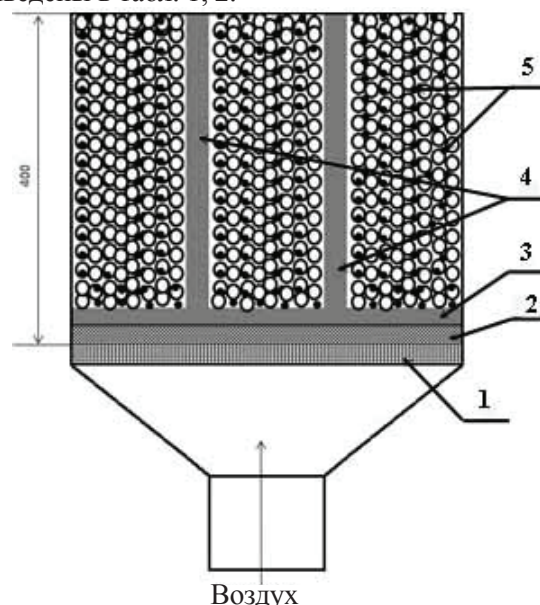


Рис. 2. Схема загрузки шихты для металлизации: 1 – колосниковая решетка; 2 – постель; 3 – слой регенерации; 4 – слой твердого топлива; 5 – межгранульное твердое топливо

Таблица 1. Гранулометрический состав продукта обжига

№ пробы	Топливо слоя, %	Содержание, %				Выход годового, %
		спек	+10мм	10-5мм	-5мм	
1	2,0	65,8	12,4	9,4	12,4	77,6
2	4,0	53,5	23,8	10,5	12,2	77,8

Таблица 2. Химический состав продукта обжига

№ пробы	Топливо слоя, %	Вид пробы	Содержание, %				
			$Fe_{\text{общ.}}$	FeO	$Fe_{\text{мет.}}$	$C_{\text{ост.}}$	Ст. мет.
01	2,0	Верх спёка	67,65	50,17	21,93	1,44	32,42
		Середина спёка	68,19	39,87	29,43	1,32	43,15
		Низ спёка	66,30	49,71	18,96	1,91	28,59
		+10 мм	65,63	36,36	12,25	3,23	18,74
		10-5 мм	47,91	22,55	7,48	11,68	15,61
		-5 мм	49,73	19,5	6,85	15,58	13,77
02	4,0	Верх спёка	67,50	43,35	16,66	3,27	24,68
		Середина спёка	68,86	49,52	22,87	4,21	33,21
		Низ спёка	68,01	52,84	16,73	3,05	24,59
		+10 мм	62,05	28,64	8,50	8,32	13,69
		10-5 мм	55,37	22,38	8,96	15,00	16,18
		-5 мм	46,57	17,12	5,96	8,82	12,79

Анализ гранулометрического состава продукта обжига показывает, что при содержании 2 % топлива фр. 0-10 мм в межгранульном пространстве при наличии вертикальных прослоек в обрабатываемом слое создаются условия для перехода 65,8 % массы шихты в спёк, против 53,5 % при содержании в слое 4 % топлива и сохранения выхода годного продукта на постоянном уровне. Другая часть продукта представлена обожженными окатышами крупностью +10 и 10-5 мм, а также мелочью крупностью 0-5 мм.

Из данных табл. 2 и рис. 3 видно, что максимальная степень восстановления достигается в центральной части спёка. Для этого вида продукции также характерно низкое содержание остаточного углерода: 1,32-1,91 % при содержании 2 % топлива в межгранульном пространстве и 1,81-4,21 % при содержании 4 % топлива.

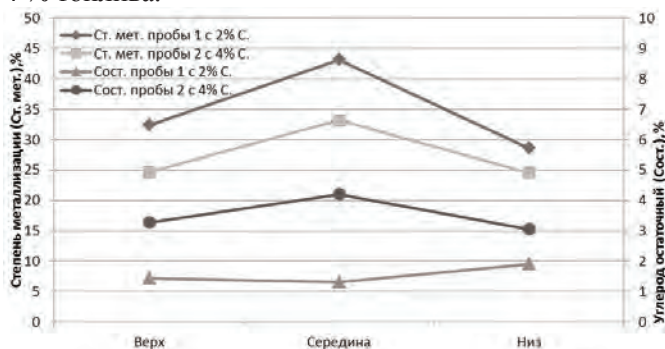


Рис. 3. Влияние содержания топлива в слое на степень металлизации и содержание остаточного углерода в спёке

Характерным для продукта в виде обожженных окатышей различной крупности является повышенное содержание остаточного углерода во фракции крупностью <5 и 5-10 мм (рис. 4). Неполное использование твердого топлива приводит к снижению степени восстановления до 5,96-12,2 %. Замеры температуры в верхней части спека показали, что она не превышает 1100 °С и не обеспечивает условий для перевода окатышей в пластическое состояние, позволяющее полностью использовать восстановительный потенциал тонкоизмельченного топлива, расположенного внутри окатыша.

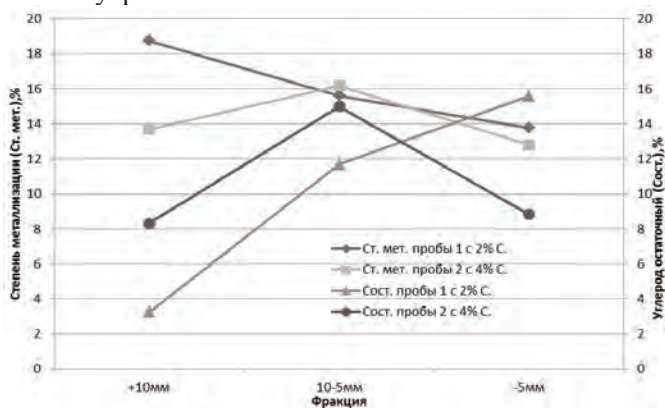


Рис. 4. Изменение степени металлизации и содержания остаточного углерода по фракциям при содержании топлива в слое 2 %, 4 %

Таблица 3. Гранулометрический состав продуктов обжига

№ пробы	Содержание, %				Выход годного, %	Время спекания, мин
	спёк	+10 мм	10-5 мм	-5 мм		
3	65,0	14,3	10,5	10,2	90,8	60
4	68,7	18,5	4,5	8,3	91,7	42

Совмещенный процесс обжига и металлизации окатышей при формировании структуры слоя с вертикальными прослойками подтверждает возможность получения частично металлизированного сырья, близкого по составу близкому к промывочным материалам. Характерным для этого процесса является невысокая удельная производительность на уровне 0,5 т/м²·ч. Изменить эту ситуацию можно за счет изменения структуры обрабатываемого слоя в дутьевом режиме при использовании твердого топлива. Для оценки этой возможности в слое окатышей создавали вертикальные и горизонтальные прослойки из твердого топлива так, как это приведено на рис. 5.

В табл. 3 приведены результаты обжига окатышей при введении в структуру слоя горизонтальных прослоек из твердого топлива, при этом в четвертой пробе в структуре слоя отсутствовали вертикальные прослойки.

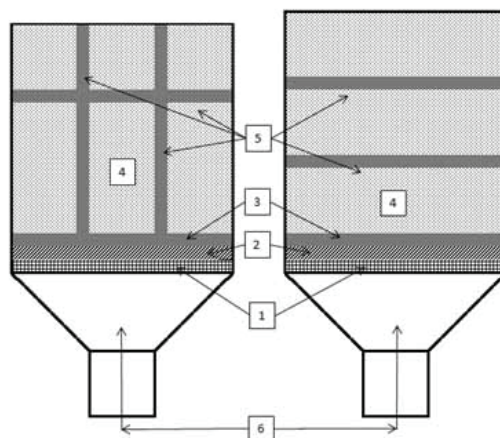


Рис. 5. Схема укладки слоев в чашу: 1 — колосниковая решетка; 2 — постель; 3 — слой регенерации; 4 — слой окатышей; 5 — слой твердого топлива; 6 — подача дутья

Положительным можно признать влияние горизонтальных прослоек топлива на увеличение выхода спеков до 65-68,7 % и выхода годного продукта с 90,8 до 91,7 % при уменьшении времени обжига для четвертого спекания с 60 до 42 мин с увеличением производительности до 0,65 т/м²·ч. Химический анализ продуктов обжига приведен в табл. 4.

Таблица 4. Химический состав продуктов обжига

№ пробы	Вид пробы	Содержание, %					
		Fe _{общ.}	FeO	Fe _{мет.}	Fe ₂ O ₃	C _{ост.}	Ст. мет.
03	Спёк	70,84	38,06	31,40	13,91	2,21	44,32
	+10 мм	61,95	30,15	16,06	31,90	9,06	26,63
	10-5 мм	52,10	34,60	7,40	25,24	15,76	14,20
	-5 мм	36,07	17,26	3,25	27,63	20,19	9,02
04	Спёк	65,20	65,90	11,43	7,56	1,18	16,75
	+10 мм	62,73	34,88	5,25	43,19	5,49	8,36
	10-5 мм	54,23	26,19	5,6	40,24	13,72	10,32
	-5 мм	44,88	18,00	5,89	35,61	21,32	13,12

Из приведенных данных видно, что структура обжигаемого слоя, содержащая вертикальные и горизонтальные прослойки из твердого топлива, эффективнее, чем структура слоя только с горизонтальными прослойками. Это отражается на степени металлизации (44,32-14,20 % против 16,75-8,36 %), что связано с более высокой газопроницаемостью при наличии горизонтальных прослоек.

При наличии горизонтальных и вертикальных прослоек в местах их контакта идет с опережением процесс воспламенения топлива горизонтальных прослоек, который позволяет сохранить необходимый для восстановления сырья температурный уровень процесса, что подтверждается содержанием металлизированного железа в спеке на уровне 31,4 % против 11,43 % при наличии в слое только горизонтальных прослоек. Улучшение условий для протекания восстановительных процессов подтверждается также более высоким содержанием металлического железа в окатышах крупностью +10 и 5-10 мм (табл. 4).

Таким образом, предлагаемый высокотемпературный режим восстановления оксидов железа в окатышах за счет сжигания твердого топлива в замкнутом пространстве в нижней части слоевой системы при продувке окислителя через регенерационный

слой позволяет обеспечить получение продукта со степенью металлизации от 30 до 40 % при удельной производительности 0,5-0,65 т/м²·ч. Продуктом процесса являются спёки и окатыши крупностью 10-5 мм. Реализация предлагаемой технологии получения частично металлизированного сырья возможна на обжиговых и агломерационных машинах при реконструкции зон формирования слоя в головных частях машины.

Библиографический список

1. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. - К.: Вища школа, 1981. – 330 с.
2. Губін Г.В., Півень В.О. Сучасні промислові способи без коксової металургії заліза. – Кривий Ріг, 2010. – 336 с.
3. Добромиров Ю.Л. К вопросу о механизме процесса восстановления железа углеродом с участием жидкой оксидной фазы. Украинская технологическая академия, Сб. науч. тр. – Ялта: Крымское отделение УТА, 2006. – Т. 1. - С. 111-121.

Поступила 22.04.2013

Требования к статьям, направляемым в редакцию

Уважаемые авторы! Для ускорения подготовки очередных номеров журнала редакция обращается с просьбой ко всем авторам передавать статьи в электронном виде на носителях в виде CD-R или CD-RW матриц, либо на флешке. Возможна также передача материалов в редакцию по электронной почте. Отправка в редакцию статей в электронном виде не исключает необходимости предоставления сопроводительного письма от организации и подписанного авторами одного экземпляра статьи.

В редакцию следует предоставлять статью, отпечатанную четкими черными буквами на белой бумаге формата А4 (210х297 мм) в двух экземплярах, объемом не более 6-8 стр. При компьютерном наборе статей желательна распечатка на лазерном или струйном принтере в нормальном (не экономичном) режиме (для первого экземпляра). Количество иллюстраций (рисунков) должно быть не более 4-х (как исключение - до 6). Статья должна начинаться с указания индекса УДК. К статье необходимо приложить аннотацию на русском и английском языках объемом до 0,5 страницы, перечень ключевых слов, сопроводительное письмо от организации, сведения об авторах (указать фамилию, имя и отчество, ученое звание, степень, занимаемая должность, место работы, номер служебного телефона и адрес электронной почты каждого автора (при наличии) и указать, кому из авторов поручено вести переписку). Перед отправкой в редакцию статья должна быть тщательно вычитана и подписана всеми авторами. Статьи в рукописном виде, а также содержащие многочисленные исправления в тексте, не принимаются.

• Компьютерный набор статей следует осуществлять в текстовом редакторе MS Word (формат файлов *.doc или *.rtf), без переносов, шрифтом Times New Roman. Размер символов - 14 пт. Допускается включение в текст статьи рисунков, выполненных средствами MS Office, при этом элементы одного рисунка следует группировать. Вставка в текст сканированных и других изображений (например, с цифровой фотокамеры) не рекомендуется. Такие изображения желательно предоставлять в виде отдельных файлов (предпочтительны форматы *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi, ч/б фото).

Формулы из MathCad и т.п. программ в тексте не допускаются. Убедительная просьба к авторам не разбивать текст статьи на колонки, как это сделано в журнале, т.к. это только усложняет их обработку!

• Таблицы следует пронумеровать и дать им заголовки. Единицы физических величин должны быть указаны в соответствии с Международной системой единиц (СИ). При компьютерном наборе рекомендуемый размер символов в таблицах 8...9 пт (для очень емких таблиц - до 6 пт). Наличие в тексте таблиц, границы которых выходят за поля страницы нежелательно.

• В библиографическом списке необходимо привести фамилии и инициалы авторов, точное название книги и сборника, сведения о повторности издания, место издания, издательство (или издающую организацию), год издания и общее число страниц. В тексте статьи при ссылке на книгу желательно указать конкретную страницу, материал которой был использован. Для статей из журналов и сборников следует указать фамилии и инициалы первых трех авторов, название статьи, название издания (чьи труды, если это сборник), год выхода, номер и страницы, на которых напечатана статья. Иностранные источники описываются на языке оригинала.

Редакция оставляет за собой право отправлять статьи авторам на доработку в следующих случаях:

- статья небрежно оформлена и не соответствует требованиям редакции без подписей авторов (см. выше);
- статья требует доработки в соответствии с замечаниями редактора раздела;
- к статье не прилагается разрешение на публикацию от организации, в которой работают авторы.

Требования и пожелания к рекламным и т.п. материалам, публикация которых оплачивается, а также «экстренные» публикации согласовываются непосредственно в редакции с ответственным секретарем журнала

Редакция журнала «Металлургическая и горнорудная промышленность»

Тел. (0562) 46-12-95, отв. секретарь (056) 744-81-66. E-mail: metinfo@metinform.dp.ua; mgp@metajournal.com.ua.