



The calculations show that metal produced by method of recycling in rotary furnaces will cost 150-170 USD per ton. It enables to make conclusion on opportunity of new process especially taking into account its economical significance.

Н. Г. КИСЛИЦЫНА, РУП «БМЗ», Т. М. ЗАЯЦ, ГГТУ им. П. О. Сухого

УДК 621.74

РЕЦИКЛИНГ ОКАЛИНЫ

Металлургическое производство характеризуется образованием большого количества отходов, негативно влияющих на окружающую среду. Большинство из них по содержанию полезных компонентов конкурентоспособно с первичным сырьем и может быть использовано в технологических процессах. К таким отходам относится окалина – продукт высокотемпературного окисления металла, представляющий собой чешуйчатые частицы различной толщины и размера, состоящие из оксидов железа.

Так, например, на Белорусском металлургическом заводе ежегодно образуется около 40 тыс. т окалины, которая в полном объеме идет в отвал. Переработка окалины позволит заменить дорогостоящий доменный чугун за счет использования металлосодержащих отходов, сэкономить ресурсы (энергию материалы сырье), решить экологические проблемы за счет переработки уже накопленных отходов.

На первом этапе для разработки технологии переработки окалины были проведены лаборатор-

ные исследования процессов твердофазного восстановления.

Исходными материалами для проведения исследований были окалина, образующаяся на БМЗ, химический состав которой приведен в табл. 1, восстановитель (кокс, графит или лигнин), известь (рис. 1).

При проведении исследований навеска восстанавливаемого материала (окалины) смешивалась с восстановителем (от 40 до 50% от массы окалины), добавлялась известь. Подготовленные образцы помещались в печь марки SNOL 6,7/1300. Температура нагрева образцов варьировалась в пределах 900–1300 °С. Время пребывания материала в печи составляло от 30 до 90 мин. После извлечения образцов они отделялись от восстановителя и взвешивались. Потеря массы при этом составляла от 5 до 30%.

В результате проведенных исследований были определены зависимости скорости восстановления от температуры, вида восстановителя, размера окалины и восстановителя (рис. 2, 3).

Таблица 1. Химический состав окалины

Наименование	Место образования	Fe _{общ}	Fe _{мет}	FeO	Fe ₂ O ₃	Si	C	S	P	Mn
Окалина крупная	ЭСПЦ-1	72	2,6	61	31	0,17	0,22	0,02	0,012	0,45
Окалина мелкая	Прокатное производство	73	4,3	61	31	0,13	0,15	0,02	0,01	0,43
Пыль коричневая	Фильтры ЭСПЦ-1	30	0,7	4,1	37	0,11	1,99	0,82	0,011	2
Пыль серая	Стружка станков	85	79	7,2	0,6	0,18	4,1	0,02	0,007	0,04

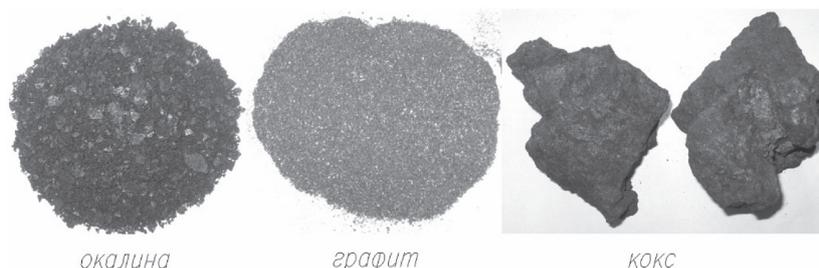


Рис. 1. Исходные материалы

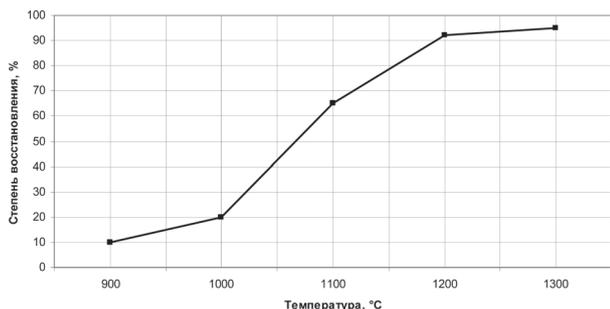


Рис. 2. Зависимость степени восстановления от температуры (восстановитель – графит, время восстановления – 60 мин)

В табл. 2 приведен химический состав полученного при восстановлении окалины материала.

Полученный из окалины материал (рис. 4) по химическому составу аналогичен доменному чугуна (C – 3,9–4,4%, S – < 0,03, P – < 0,08, Si – 1,2–1,6, Mn до 0,3%) и может использоваться вместо дорогостоящего перепельного чугуна.

Важную роль при восстановлении в неподвижном слое играют режим нагрева и предварительная подготовка шихты: тщательное смешивание и дисперсность материалов. Это позволяет сделать вывод, что процессы нагрева и восстановления в динамическом слое при постоянном перемешивании должны проходить более интенсивно.

Проведенные лабораторные опыты показали, что наилучшие условия восстановления достигаются при температуре 1300 °C и использовании в качестве восстановителя графита. Измельчение материалов и увеличение площади поверхности

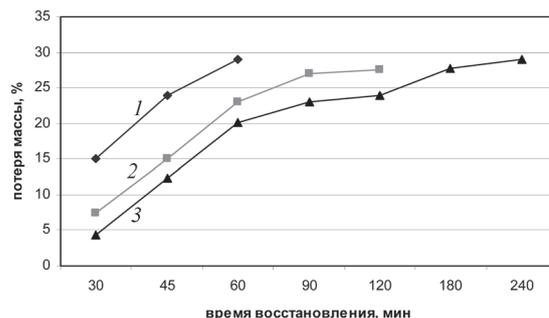


Рис. 3. Влияние вида восстановителя на время восстановления окалины (температура восстановления – 1300 °C): 1 – графит; 2 – кокс; 3 – лигнин

контакта при тщательном смешивании зерен оксидов железа и частиц угля приводят к значительному ускорению процесса восстановления.

Развитие одностадийных способов получения стали из руды, минуя доменный передел, явилось базой для создания аналогичных процессов для переработки железосодержащих отходов, учитывая, что окалина содержит около 75% железа, а стружка, даже окисленная, еще более. В настоящее время отработаны четыре основных способа переработки рудного сырья, которые пригодны и для рециклинга отходов: получение неметаллизированных окатышей или агломерата, производство губчатого железа в твердом виде (металлизированных окатышей), кричного железа в пластинчатом состоянии, жидкого чугуна или полупродукта.

Несмотря на существенное различие технологий и оборудования, расход тепловой энергии на процессы восстановления, плавления и науглеро-

Таблица 2. Химический состав образцов полученного материала

Номер образца	Элемент, %								
	Fe	C	Cu	S	P	Si	Mn	Cr	Al
1	94,3	4,47	0,151	0,039	0,022	0,078	0,32	0,05	–
2	94,7	4,42	0,173	0,0271	0,0223	0,1	0,201	0,09	–
3	94,1	4,45	0,11	0,046	0,025	0,14	0,19	0,04	–
4	95,1	4,29	0,13	0,03	0,013	0,0859	0,2	0,05	–
5	94,8	4,13	0,14	0,026	0,021	0,084	0,31	0,09	0,0049
6	95,3	3,88	0,15	0,017	0,012	0,022	0,23	0,09	–
7	95,2	3,89	0,16	0,036	0,012	0,02	0,231	0,089	–
8	95	4,11	0,12	0,041	0,019	0,086	0,28	0,092	0,005

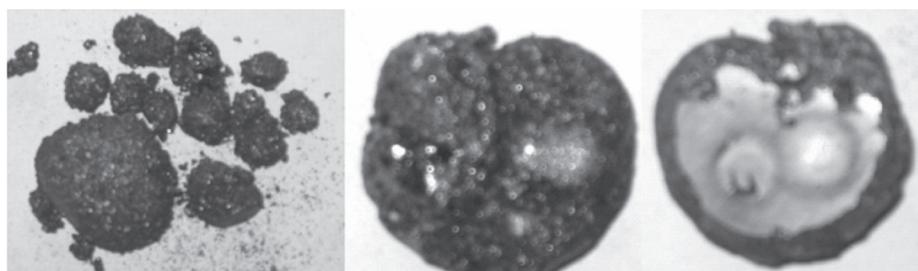


Рис. 4. Полученный материал

живания окисленного железа составляет около 5 МДж/кг (1,7 кВт·ч/кг), включая затраты на реакцию $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}$ и развитие температуры в рабочей зоне 1500–1700 °С.

С учетом термического к. п. д. печей общий расход твердого топлива (угля) составляет до 2,0–3,0 т/т железа. Для сравнения в доменных печах расходуется 450–500 кг кокса на 1 т чугуна (т. к. п. д. ~ 40%). В пользу альтернативных способов получения железа может служить тот факт, что при этом используются более дешевые и недефицитные энергоносители, в том числе местные, а также природный газ.

Рециклинг дисперсных металлоотходов без предварительного брикетирования или окускования представляется более простым технологически и не требующим значительных капиталовложений. Работы в этом направлении привели к созданию систем Redsmelt, Hismelt, Ромелт и некоторых аналогичных. Системы предусматривают получение жидкого металла (чугуна или полупродукта). Из них лишь Ромелт основан на непосредственной переплавке дисперсных материалов. Прочие фактически на предварительных стадиях процесса осуществляют окомковывание, обжиг и частичное восстановление сырья.

Переплавление дисперсных оксидных материалов вместе с науглероживателями имеет некоторые преимущества, прежде всего высокие скорости нагрева и восстановления. Однако обработка материала в слое затрудняет их использование: высокая плотность слоя, спекание частиц вблизи температуры плавления, необходимость использования высокотемпературных теплоносителей и, как следствие, низкий термический к. п. д. (высокая температура отходящих газов).

Новая альтернатива появилась в последнее время в связи с разработкой ротационных печей (пат. РБ № 2428 и 2770) (рис. 5). Этот тип плавиль-

ных агрегатов позволяет перерабатывать любое сырье благодаря тому, что нагрев и массообмен осуществляются в динамическом слое, подобно вращающимся печам. В отличие от последних поток газов находится в печи вдвое дольше, а при подаче закрученного потока взаимодействие его с материалом может быть интенсифицировано в несколько раз при увеличении скорости вращения до 10–15 м/с против 0,5–1,5 м/с (поступательная скорость потока в барабанных печах). Благодаря возможности качания в такие печи легко загрузить шихту и слить жидкий расплав, причем емкость подобных печей лимитируется только технологическими потребностями. Ротационные печи позволяют вести методический режим обработки по температуре и составу атмосферы печи, т. е. в начальный момент осуществить процесс восстановления при температурах 900–1100 °С и содержании $\text{CO} \approx 25\text{--}35\%$, затем поднять температуру до 1750–1850 °С за счет использования обогащенного дутья и получить расплав. Печи позволяют в случае необходимости произвести доводку сплава и его рафинирование перед разливкой. Ротационные печи могут работать на жидком и газообразном топливе, а в качестве восстановителей использовать любые углеродсодержащие материалы, в том числе отходы. Достоинством таких печей являются относительно низкие капитальные затраты и возможность их изготовления на белорусских предприятиях.

В 2009–2010 гг. на РУП «БМЗ» была проведена серия плавов на экспериментальной РНП с целью определения технологических параметров восстановления окислы. Выявлена возможность получения в ротационной печи чугуна и стали из оксидов с использованием различных восстановителей. Доля восстановленного железа составляла от 70 до 95%.

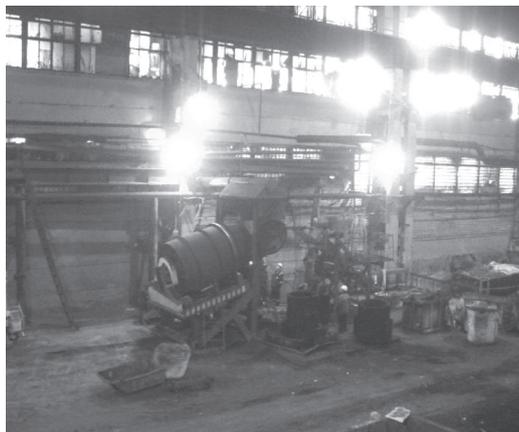


Рис. 5. Испытания ротационных печей

Установленные особенности процесса восстановления оксидных металлоотходов, технологические и режимные параметры тепловой обработки и плавки позволяют перейти к промышленным установкам емкостью до 20 т и соответственно производительностью до 10 т/ч.

Расчеты показывают, что металл, полученный путем рециклинга в РНП, будет иметь стоимость 150–170 долл. за 1 т. Это позволяет сделать вывод о перспективности нового процесса, особенно с учетом его экологической значимости.