

Технология ITmk-3 — процесс прямого получения железа, использующий уголь в качестве твердого восстановителя. Исключение применения дорогостоящего и дефицитного кокса, относительная простота конструкции теплового агрегата (печь с вращающимся подом), получение готового продукта (чугунных гранул), не уступающего по свойствам классическому доменному чугуну, за короткое время (10 – 15 мин), делают технологию ITmk-3 весьма перспективной.

По данным разработчика технологии (фирма “Kobe Steel”, Япония), ее можно применять для переработки любых видов железорудного сырья¹. Однако подавляющее большинство проведенных исследований выполнено для магнетитовых руд, на которых работает также завод SDI в штате Миннесота (США). Гематитовые руды характеризуются отличительными особенностями как на стадии сырого окомкования, так и при их восстановлении, поэтому применять к этим рудам имеющиеся результаты не всегда возможно. Следовательно, отсутствие опыта по переработке гематитовых концентратов не позволяет считать процесс ITmk-3 в полной мере универсальным.

В настоящей работе определяются оптимальная удельная поверхность гематитового концентрата и тип связующего материала, обеспечивающие высокие прочностные свойства сырых окатышей (пластичность и прочность на сжатие). Гематитовый концентрат измельчали на шаровой мельнице до частиц с удельной поверхностью $S_{уд}$ 1260, 1530, 1800 и 2000 $см^2/г$. Для каждого из четырех гранулометрических составов готовили по две смеси концентрата с бентонитом в качестве связующего в количестве, мас. %, концентрат/бентонит 79,2/0,8 и 78,8/1,2. Влажность шихты 7 %, в качестве твердого топлива-восстановителя использовали коксик с $S_{уд} \sim 2000 \text{ см}^2/г$ в количестве 20 мас. %. Подготовка шихты предусматривала дозирование материалов, их смешивание и увлажнение с последующим окомкованием на тарельчатом грануляторе диам. 1 м с углом

наклона 45 град. Скорость вращения гранулятора и длительность окатывания во всех опытах были одинаковыми. Определяли прочность на сжатие, пластичность и влажность сырых окатышей диам. 14 – 16 мм.

Зависимости механических свойств сырых окатышей и их влажности от удельной поверхности гематитового концентрата представлены на рис. 1 и 2. Из рис. 1 видно, что при обоих содержаниях бентонита в шихте зависимость прочностных характеристик сырых окатышей имеет экстремальный характер. Прочность сырых окатышей на сжатие возрастает при увеличении $S_{уд}$ концентрата до $\sim 1600 \text{ см}^2/г$, что обусловлено увеличением числа контактов между отдельными частицами, а при дальнейшем ее увеличении до 2000 $см^2/г$ наблюдается снижение прочности (с 19,26 до 17,98 Н/окатыш), что можно объяснить присутствием большого количества влаги (рис. 2), необходимого для осуществления процесса окомкования. Иной характер имеет зависимость пластичности окатышей от удельной поверхности концентрата (см. рис. 1): с уменьшением размера частиц она постоянно растет при обоих содержаниях бентонита в окатышах.

Таким образом, с учетом того, что в проведенных испытаниях самые низкие значения прочности имели окатыши из концентрата с $S_{уд}$ 1260 $см^2/г$, а с точки зрения связующего лучшие показатели были у окатышей, содержащих 1,2 % бентонита, на следующих эта-



Рис. 1. Влияние удельной поверхности концентрата на качественные показатели сырых окатышей (цифры у кривых — количество бентонита, мас. %)

¹ Tanaka H., Miyagawa K., Harada T. FASTMET, FASTMELT and ITmk3 : Development of New Coal-based Ironmaking Processes // Direct from Midrex, RHF Technologies. March 2011. P. 15 – 19.

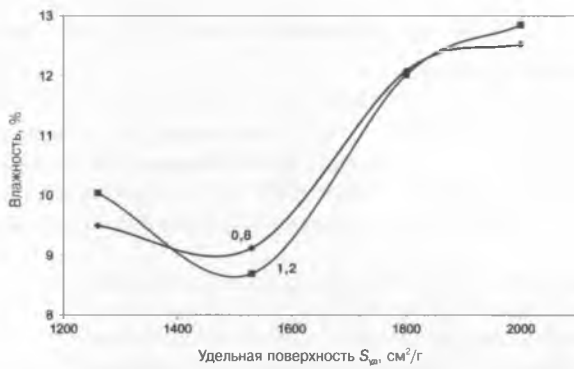


Рис. 2. Влияние удельной поверхности $S_{уд}$ на влажность окатышей (цифры у кривых — количество бентонита, мас. %)

пах испытаний использовали концентраты с удельными поверхностями 1530, 1800, 2000 $см^2/г$ и с содержанием бентонита 1,2 %. Однако несмотря на доступность и относительную дешевизну бентонита, использование его в качестве связующего нежелательно, поскольку его присутствие снижает не только восстановимость, но и содержание железа в конечном продукте. Поэтому на следующем этапе исследований подбирали эффективные связующие, способные обеспечить прочностные показатели сырых окатышей, не снижая при этом содержания железа в конечном продукте (в чугунных гранулах).

В настоящее время наиболее распространено использование полимерных связующих взамен традиционной бентонитовой глины. В проведенных опытах применяли интерполимерное (ИПС) и полимерминеральное (ПМС) связующие. Использование ИПС и ПМС обусловлено рядом их достоинств, в частности выгоранием под действием высоких температур, способствующим увеличению общей пористости и росту содержания железа в конечном продукте. Кроме того, их малое количество в шихте снижает себестоимость готового продукта. Для каждого из трех гранулометрических составов гематитового концентрата ($S_{уд}$ 1530, 1800 и 2000 $см^2/г$) использовали добавки бентонита, ИПС и ПМС в количестве, мас. %, соответственно 1,2, 0,012 и 0,015, количество твердого топлива в шихте при этом составляло 20 мас. %.

Результаты исследований свойств сырых окатышей с различными типами связующих добавок представлены на рис. 3, а, б, из которого видно, что окатыши, содержащие ПМС, характеризуются высокими показателями прочности на сжатие (~ 22,56 Н/окатыш и низкими значениями пластичности (1,2 – 1,8 раза — число сбрасываний окатышей с высоты 400 мм до их разрушения), аналогичные показатели имеют окатыши с добавкой ИПС. Сырые окатыши с добавкой бен-

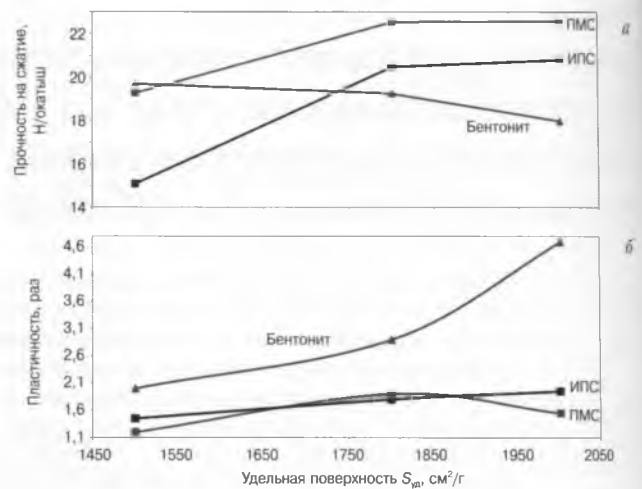


Рис. 3. Качественные показатели сырых окатышей: зависимость прочности на сжатие (а) и пластичности (б) от удельной поверхности концентрата

тонитовой глины, напротив, демонстрируют высокую пластичность (до 5 раз) и низкую прочность на сжатие ~ 17,98 – 19,7 Н/окатыш. Высокая пластичность окатышей с бентонитом обусловлена действием самого связующего и их более высокой влажностью (до 12 %), по сравнению с окатышами с добавками ИПС и ПМС (8,4 и 0,1 % соответственно).

Анализ зависимостей показателей механических свойств сырых окатышей от разного типа связующих добавок показал, что те из них, которые изготовлены из гематитового концентрата с большими $S_{уд}$ (1800 и 2000 $см^2/г$), характеризуются лучшими показателями, чем окатыши с удельной поверхностью 1530 $см^2/г$, поэтому для получения качественных сырых окатышей необходимо использовать гематитовый концентрат с $S_{уд} > 1800$ $см^2/г$.

Таким образом, в лабораторных условиях исследованы закономерности процесса окомкования окатышей из гематитового концентрата с большим содержанием твердого топлива и разными типами связующих добавок. Выявлено, что для получения сырых окатышей с высокими прочностными показателями необходимо, чтобы поверхность гематитового концентрата была не меньше 1800 $см^2/г$. На данном этапе однозначный вывод об оптимальном связующем для гематитовых окатышей, обеспечивающем их высокие показатели прочности и пластичности, сделать нельзя, поскольку окатыши с разными типами связующих добавок характеризуются либо высокими показателями прочности на сжатие и низкими на пластичность, либо наоборот. Это определяет необходимость дополнительных исследований, в том числе с использованием других типов связующих.