



УДК 669.21

Поступила 02.02.2016

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЗОВАННОГО ПРОДУКТА ИЗ ОКАЛИНЫ RECEIVING AN IRON-RICH PRODUCT FROM SCALE

*Т. Н. ЛИПАТКИНА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nti.to@bmz.gomel.by*

*T. N. LIPATKINA, JSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nti.to@bmz.gomel.by*

*Изучена возможность твердофазного восстановления железосодержащего отхода – окалины различными восстановителями. Проведены испытания по твердофазному восстановлению окалины твердым восстановителем в разработанной лабораторной ротационной установке. В результате испытаний получен металлизированный продукт с содержанием железа общего 87%, степень металлизации составила 96,2%.*

*Possibility of solid-phase restoration of ferriferous scale by various reducing agents is studied in the article. Tests on solid-phase restoration of scale by a firm reducers in the developed laboratory rotary installation are carried out. As a result of tests the iron-rich product with the general content of iron of 87% is received, degree of metallization 96,2%.*

**Ключевые слова.** Железосодержащий отход, окалина, восстановитель, лабораторная ротационная установка, металлизированный продукт, степень металлизации.

**Keywords.** Ferriferous wastes, scale, reducing agent, laboratory rotary installation, iron-rich product, degree of metallization.

Во всех странах, имеющих развитое машиностроение и металлургию, ежегодно образуется большое количество оксидных железосодержащих металлоотходов, в том числе и окалины, что создает экологические и экономические проблемы.

Представленная работа направлена на изучение возможности восстановления железосодержащего отхода металлургического производства – окалины с получением металлизированного материала.

В результате проведения работы исследовали процесс твердофазного восстановления окалины в динамическом подвижном слое. В качестве оборудования для проведения исследования использовали разработанную лабораторную ротационную установку, которая позволяет моделировать процессы, происходящие в ротационной печи. Опыт свидетельствует о том, что вращающиеся печи наилучшим образом адаптированы к термообработке полидисперсного материала. Управляя скоростью вращения, можно изменять интенсивность перемешивания, соответственно интенсивность тепло- и массообмена. Кроме того, в таких условиях обеспечивается равномерный прогрев частиц по всему сечению слоя, диффузионные процессы твердофазного восстановления также существенно ускоряются при интенсивном перемешивании слоя [1–4].

В процессе работы исследовали влияние на процесс восстановления окалины различных восстановителей (кокс, антрацит, графит), температур в течение различных временных отрезков.

В качестве железосодержащего отхода использовали окалину, в качестве восстановителя – кокс, антрацит, графит.

Химический состав исследуемой окалины:  $Fe_{мет.} - 0,5\%$ ,  $Fe_{общ.} - 73$ ,  $Fe_2O_3 - 44$ ,  $FeO - 53\%$ .

Исследование химического состава исходной окалины проводили методом инфракрасной спектроскопии с помощью газоанализатора и спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой с использованием плазменного спектрометра. Массовые доли железа анализировали химическими методами по ГОСТ 23581.18-81, 26482-90, 23581.3-79.

Фракционный состав и влажность окалины анализировали по разработанным методикам. Фракционный состав калины:  $> 1,6 \text{ мм} - 33,8\%$ ,  $1,6-0,8 \text{ мм} - 35,7\%$ ,  $0,8-0,1 \text{ мм} - 29,3\%$ ,  $< 0,1 \text{ мм} 1,2\%$ . Влажность окалины – 3%. Фракционный состав кокса – менее  $0,8 \text{ мм} - 54,5\%$ ,  $0,8-1,6 - 23,7\%$ , более  $1,6 - 22,68\%$ .



Рис. 1. Общий вид лабораторной ротационной установки для исследования процесса твердофазного восстановления окалины в динамическом подвижном слое

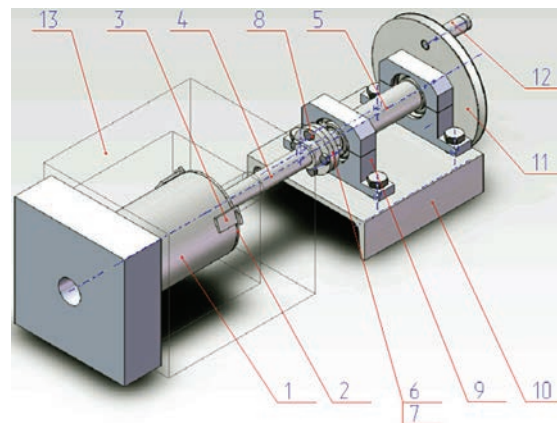


Рис. 2. Схема ротационной лабораторной установки: 1 – металлический стакан; 2 – крышка стакана; 3 – ушко стакана; 4 – трубка; 5 – вращательный вал; 6, 7 – фланцы; 8 – фиксирующий винт; 9 – узел подшипниковый; 10 – станина; 11 – шкив; 12 – ручка; 13 – корпус электрической муфельной печи

Содержание углерода – не менее 80%. Фракционный состав кокса определяли ситовым анализом согласно ГОСТ 5954.2-91, содержание золы – согласно ГОСТ 11022-95.

Внешний вид разработанной лабораторной ротационной установки представлен на рис. 1, схема установки показана на рис. 2.

Учитывая, что при вращении печи может происходить разрушение и измельчение частиц окалины, проведен анализ на определение степени такого измельчения. Анализ проводили с использованием сухой и влажной окалины. Эксперименты подтвердили, что при перемешивании слоя окалина измельчается: размер наибольшей фракции снижался и увеличивалось количество мелкой составляющей. Причем высушенная окалина измельчалась при вращении более интенсивно, чем влажная: убыль фракции с размером более 1,6 мм в сухом состоянии составила около 20%, а во влажном – менее 10%. Измерение фракционного состава окалины проводили ситовым методом.

На рис. 3, 4 приведены результаты анализа и изменение фракционного состава окалины до и после вращения в лабораторной установке.

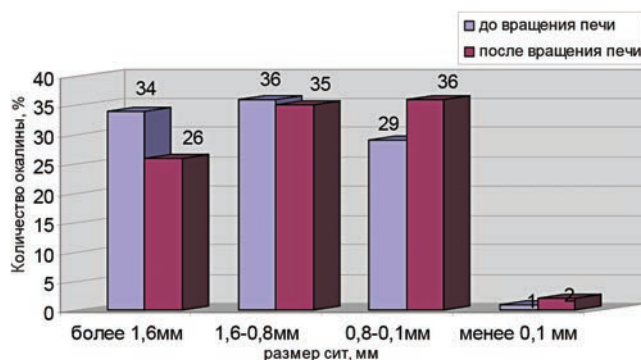


Рис. 3. Изменение фракционного состава сухой окалины

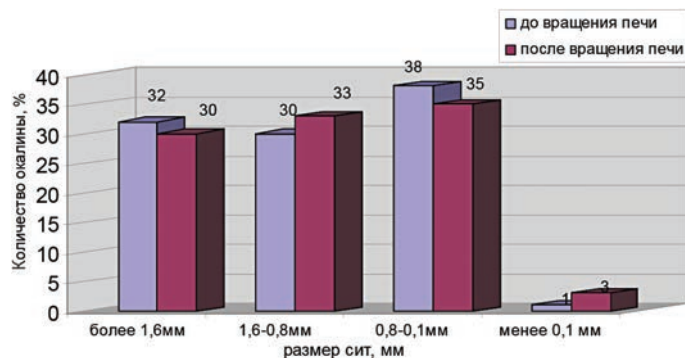


Рис. 4. Изменение фракционного состава влажной окалины

Также отдельно для расчетов определяли процент потери массы восстановителя за счет угара. Взвешенную навеску восстановителя засыпали в металлический стакан, производили вращение печи в течение 1 ч при температуре 900 °С со скоростью 5 об/мин. После отключения печи взвешивали навеску. Потеря массы (угар) составила 8%.

### Порядок проведения эксперимента

Подготовленная, предварительно высушенная и взвешенная проба окалины и восстановитель засыпались в металлический стакан ротационной лабораторной установки. Металлический стакан помещали в нагревательную печь. Температура нагрева проб в печи варьировалась в пределах 600–1100 °С, время нагрева составляло 30–90 мин, время выдержки – 30–60 мин, скорость вращения – 3–5 об/мин. После отключения печи металлический стакан охлаждали и извлекали из печи.

При вращении ротационной установки происходило интенсивное перемешивание материалов и восстановление окалины твердым восстановителем.

Текущий контроль процесса восстановления производили по убыли массы пробы. Следовательно, показателем степени восстановления окалины служит потеря массы пробы:

$$\Delta m = m_{\text{исх}} - m_{\text{кон}} / m_{\text{кон}} \cdot 100\%,$$

где  $m_{\text{исх}}$ ,  $m_{\text{кон}}$  – соответственно масса исходной и конечной пробы, г.

Для подтверждения результатов взвешивания полученные образцы анализировали химическими и оптическими методами.

Исходная проба представляет собой смесь окалины и восстановителя.

В табл. 1 приведены результаты проведения экспериментов по твердофазному восстановлению окалины твердым восстановителем.

Таблица 1. Результаты экспериментов по твердофазному восстановлению окалины

Исходная проба	Режим испытаний	Степень металлизации, %, $\eta = F_{\text{мет}} / F_{\text{общ}} \cdot 100\%$
100 г окалины 70 г антрацита	Нагрев до 600 °С – 25 мин, выдержка – 30 мин	0,68*
	Нагрев до 900 °С – 40 мин, выдержка – 30 мин	0,80*
100 г окалины 60 г графита	Нагрев до 600 °С – 25 мин, выдержка – 30 мин	0,73
	Нагрев до 900 °С – 40 мин, выдержка – 30 мин	0,80
	Нагрев до 1000 °С – 45 мин, выдержка – 30 мин	24,1
100 г окалины 60 г кокса	Нагрев до 600 °С – 25 мин, выдержка – 0 мин	0,70
	Нагрев до 900 °С – 40 мин, выдержка – 30 мин	0,79
	Нагрев до 1000 °С – 45 мин, выдержка – 30 мин	26,6*
	Нагрев до 1100 °С – 45 мин, выдержка – 60 мин	91,3
100 г окалины 60 г кокса	Нагрев до 600 °С – 25 мин, выдержка – 0 мин	0,61
	Нагрев до 900 °С – 40 мин, выдержка – 0 мин	0,80
	Нагрев до 1000 °С – 40 мин, выдержка – 0 мин	21,0
	Нагрев до 1100 °С – 45 мин, выдержка – 60 мин	96,2*

\* Образцы дополнительно анализировали химическими методами.

В результате проведения опытов по восстановлению окалины твердым восстановителем в лабораторной ротационной установке получен металлизированный продукт, содержащий железа металлического 84%, железа общего – 87,3, степень металлизации составила 96,2% (табл. 2).

Таблица 2. Результаты химического состава исходной и восстановленной окалины

Наименование материала	Fe <sub>мет.</sub> , %	Fe <sub>общ.</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	FeO, %	C, %
Исходный материал окалины	0,50	73,0	44,5	53,3	0,08
Восстановленная окалины	84,0	87,3	–	5,2	1,2

В проведенной работе определен оптимальный режим восстановления окалины в ротационной лабораторной установке: температура – 1100 °С, время выдержки при данной температуре – 60 мин, восстановитель – кокс, отсеб кокса.

В результате эксперимента по восстановлению железосодержащего отхода – окалины в ротационной лабораторной установке получен металлизированный продукт в твердом виде. Опытным путем доказана

возможность получения из железосодержащего отхода металлизированного продукта. Содержание металлического железа возросло от 0,5% в исходной окалине до 84% в металлизированном продукте.

Полученный металлизированный материал может быть использован в шихте металлургических агрегатов, в том числе и дуговой сталеплавильной печи, или возможна дальнейшая плавка металлизированного продукта в ротационной печи с получением чугуна или стали.

### Литература

1. Ровин С. Л., Ровин Л. Е., Заяц Т. М. Восстановление оксидов железа в ротационных печах // *Литье и металлургия*. 2011. № 1(59). С. 38–45.
2. Лисиенко В. Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Вращающиеся печи: Справ. изд.: В 2-х кн. Кн. 1. М.: Теплотехник, 2004. 688 с.
3. Юсфин Ю. С., Гиммельфарб А. А., Пашков Н. Ф. Новые процессы получения металла. М.: Металлургия, 1994. 319 с.
4. Крутилин А. Н., Кухарчук М. Н., Сычева О. А. Твердофазное восстановление оксидов железа углеродом // *Литье и металлургия*. 2012. № 2 (65). С. 11–16.

### References

1. Rovin S. L., Rovin L. E., Zayats T. M. Vosstanovlenie oksidov zheleza v rotacionnyh pechah [Reduction of iron oxide in rotary kilns]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2011, no. 1(59), pp.38–45.
2. Lisienco V. G., Shhelokov Ja. M., Ladygichev M. G. *Vrashhajushhiesja pechi* [Rotary kilns]. Moscow, Teplotehnik Publ., 2004, 6 p.
3. Jusfin Ju. S., Gimmel'farb A. A., Pashkov N. F. *Novye processy poluchenija metalla* [New processes for the production of metal]. Moscow, Metallurgija Publ., 1994, 319 p.
4. Krutilin A. N., Kuharchuk M. N., Sycheva O. A. Tverdogaznoe vosstanovlenie oksidov zheleza uglerodom [Solid reduction of iron oxide with carbon]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 2 (65), pp. 11–16.