

УДК 669.173.22

## ТВЕРДОФАЗНАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ УГЛЕМ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО КОНЦЕНТРАТА МЕСТОРОЖДЕНИЯ БАПЫ (РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН)

Л. А. Зайнуллин<sup>1</sup>, В. Г. Карелин<sup>1</sup>, А. Ю. Епишин<sup>1</sup>,  
Д. А. Артов<sup>1</sup>, Н. А. Спирин<sup>2</sup>, Б. А. Едильбаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия),

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия),

<sup>3</sup> ТОО «Электромарганец» (г. Текели, Республика Казахстан)

Проведены исследования по металлизации углем крупного концентрата сухой магнитной сепарации крупностью 10-0 мм на лабораторной вращающейся печи. Качество металлизованного продукта определяли по трем показателям: содержание железа общего и металлического в металлизованном продукте и степень металлизации. Показано, что в процессе металлизации примерно в два раза уменьшается прочность на сжатие металлизированных частиц по сравнению с исходными частицами. В качестве восстановителя использовались угли различных угольных месторождений Казахстана (Куучекинский, Шубаркульский, Майкубенский, Кумыскудукский). Тестовые опыты по термообработке исходных углей показали, что для металлизации железной руды могут быть использованы угли Кумыскудукского и Майкубенского месторождений, которые обладают одинаковой реакционной способностью. При температуре 1000 °С в течение 30–60 мин получается металлизированный концентрат со степенью металлизации 92–96 % без признаков спекания.

**Ключевые слова:** железорудный концентрат, твердофазная металлизация, восстановитель, прочность, крупность.

В Республике Казахстан эксплуатируется железорудное месторождение Бапы. На действующем руднике методом сухой магнитной сепарации получают концентрат крупностью 10-0 мм с содержанием железа 52 %. В ОАО «ВНИИМТ» (Россия) по заказу ТОО «ВаруMining» проведены лабораторные исследования по твердофазной металлизации углем крупного железорудного концентрата, получаемого на месторождении Бапы. Исследования проведены на лабораторной вращающейся печи диаметром 120 мм на концентрате крупностью 10-0 мм. В качестве восстановителя использовались угли различных угольных месторождений Казахстана (Куучекинский, Шубаркульский, Майкубенский, Кумыскудукский). Тестовые опыты по термообработке исходных углей показали, что для металлизации железной руды могут быть использованы угли Кумыскудукского и Майкубенского месторождений, которые обладают одинаковой реакционной способностью. Качество металлизованного продукта определялось по трем показателям: содержание железа общего и металлического в металлизованном продукте и степень металлизации, рассчитываемой по формуле:

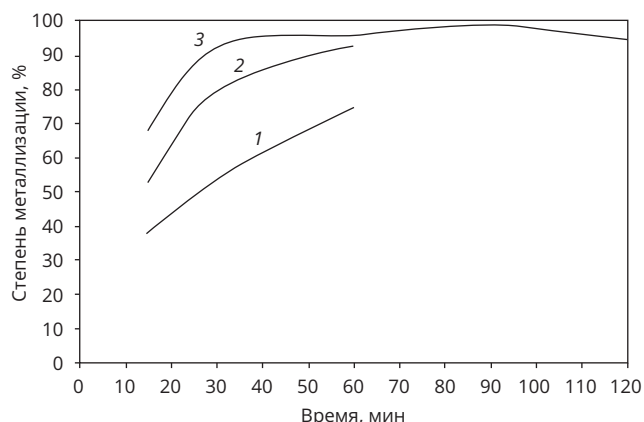
$$\varphi_M = \frac{Fe_M}{Fe_{общ}} \cdot 100 \%,$$

где  $\varphi_M$  — степень металлизации, %;  $Fe_M$  и  $Fe_{общ}$  — содержание металлического и общего железа в металлизованном продукте.

На рис. 1 приведена зависимость степени металлизации крупного (10-0 мм) концентрата от длительности металлизации при различных температурах

использованием в качестве восстановителя Кумыскудукского угля. При длительности процесса металлизации 60 мин при увеличении температуры (900–950–1000 °С) степень металлизации возрастает (74,7; 93,0; 96,1 %) соответственно. В области температур металлизации 900–1000 °С спекание концентрата отсутствует. Как видно из табл. 1, при металлизации крупного концентрата в сходных условиях достигаются одинаковые показатели металлизации при использовании в качестве восстановителя Майкубенского и Кумыскудукского углей.

В ходе процесса металлизации крупного концентрата происходит незначительное измельчение частиц (табл. 2). Так, при металлизации исходных частиц крупностью 10-15 мм в металлизованном продукте в



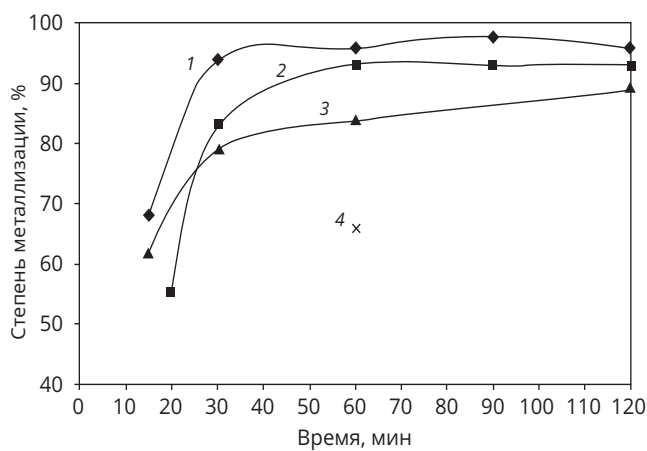
**Рис. 1.** Зависимость степени металлизации крупного (10-0) мм концентрата от длительности металлизации при температуре, °С: 1 — 900; 2 — 950; 3 — 1000

**Таблица 1.** Показатели металлизации крупного концентрата с использованием различных углей

Температура, °С	Время, мин	Содержание, %		Степень металлизации
		Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>мет</sub>	
Майкубенский уголь				
1000	90	67,6	66,8	98,7
1000	60	68,8	66,2	96,1
1000	30	67,5	62,5	92,6
Кумыскудукский уголь				
1000	90	67,5	66,6	98,5
1000	60	69,7	67,4	96,6
1000	30	66,4	62,6	94,3

**Таблица 2.** Гранулометрический состав исходных и металлизированных фракций крупного концентрата (кумыскудукский уголь)

Крупность исходного концентрата, мм		15-10	10-5
		Содержание фракций в металлизированном концентрате, %	
Крупность фракций металлизированного концентрата, мм:	15-10	91,5	—
	10-5	5,9	94,6
	5-3	1,2	2,6
	3-1	0,7	1,4
	1-0	0,7	1,4



**Рис. 2.** Зависимость степени металлизации от времени для различных железорудных материалов: концентрат Бапы крупностью, мм: 1 — (1-0), 4 — (15-10); окатыши: 2 — лебединские, 3 — качканарские

такой же крупности осталось 91,5 % частиц. При этом содержание более мелких частиц в металлизированном продукте составило 5,9; 1,2; 0,7 и 0,7 % для частиц крупностью 10-5, 5-3, 3-1, 1-0 мм соответственно. Аналогичная картина наблюдается и для частиц в исходной крупности 10-5 мм. В металлизированном концентрате доля частиц исходной крупности составила 94,6 %, а содержание более мелких фракций составило 2,6; 1,4; 1,4 % для частиц крупностью 5-3, 3-1, 1-0 мм.

В ходе металлизации наблюдается разупрочнение частиц концентрата. Прочность на сжатие частиц определяли на разрывной машине как средний пока-

затель из 20 образцов. Так, прочность на сжатие исходных частиц концентрата крупностью 10-15 мм составила 122 кг/частицу, а металлизированных частиц такой крупности прочность на сжатие уменьшилась до 60 кг/частицу. Для частиц исходного концентрата крупностью 10-5 мм прочность на сжатие составила 70 кг/частицу, а для металлизированных частиц такой же крупности — 31 кг/частицу. Таким образом, прочность на сжатие частиц металлизированного концентрата уменьшается примерно в 2 раза по сравнению с прочностью исходного концентрата.

На рис. 2 представлены данные по металлизации крупного концентрата в сравнении с металлизацией Лебединских и Качканарских окатышей крупностью 10-15 мм. В таких опытах в качестве восстановителя использовали бурый полукокс, а металлизация проводилась при температуре 1000 °С. Как видно на этом рисунке, концентрат Бапы в крупности 10-0 мм (кривая 1) восстанавливается быстрее, чем Лебединские (кривая 2) и Качканарские (кривая 3) окатыши. Этот факт объясняется наличием в крупном концентрате Бапы большого (около 50 %) количества частиц крупностью менее 5 мм, которые, естественно, восстанавливаются с большей скоростью по сравнению с окатышами крупностью 15-10 мм. С другой стороны, частицы концентрата Бапы крупностью 15-10 мм восстанавливаются значительно медленнее (см. точку 4 на рис. 2) по сравнению с Лебединскими и Качканарскими окатышами такой же крупности. Это объясняется тем, что концентрат Бапы имеет большую плотность по сравнению с пористыми окатышами.

В целом проведенные лабораторные исследования показали, что железорудный концентрат крупностью 10-0 мм, получаемый методом сухой магнитной сепарации железной руды месторождения Бапы, может быть успешно металлизирован способом твердофазного восстановления с использованием местного Кумыскудукского угля. При температуре 1000 °С в течение 30-60 мин получается металлизированный концентрат со степенью металлизации 92-96 %. При таких условиях в ходе металлизации спекание рудугольной шихты не наблюдается.

Статья поступила 21.05.2020

## Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 6, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»  
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: [aup@vniimt.ru](mailto:aup@vniimt.ru)

[www.vniimt.ru](http://www.vniimt.ru)