

УДК 669.054.8

д.т.н. Новохатский А. М.,  
к.т.н. Диментьев А. О.,  
Филиппенко Д. Г.,  
Блинов А. М.

(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, tafadimas@mail.ru)

## ОКУСКОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*Среди проблем в металлургической промышленности особое место занимает вопрос утилизации железосодержащих техногенных отходов. В статье рассмотрен абсолютно новый путь экстракции железа из колошниковой и конвертерной пыли, шламов и окалина.*

**Ключевые слова:** железосодержащие отходы металлургических предприятий, колошниковая пыль, шлам, конвертерная пыль, окалина, железозуглерод, доменная печь.

Ежегодно в черной металлургии образуется огромное количество железосодержащих отходов, которые негативно влияют на экологическую обстановку территорий, находящихся вблизи производственных комплексов. К отходам доменного производства относятся колошниковая пыль и шламы. К железосодержащим отходам конвертерного производства относится конвертерная пыль. На Алчевском металлургическом комбинате за год только с одной работающей доменной печи образуется 42000 т колошниковой пыли и 35000 т шлама, которые вывозятся на прилегающие территории комбината и сваливаются на шламовых отвалах.

Железосодержащие шламы, полученные при водной очистке газа, в настоящее время перерабатываются двумя путями:

- 1) утилизируются в агломерационном цехе;
- 2) захороняются или складировываются в отвалах и в шламонакопителях.

Наиболее простым является последний путь, который широко используется всеми металлургическими заводами СНГ. В то же время вся пыль и шламы представляют большую угрозу окружающей среде. Это связано, во-первых, с их мелкодисперсным характером – до 80% частиц размером менее 1мкм. Они легко выносятся в атмосферу и вымываются водой, загрязняя почву. Помимо этого, шламонакопители занимают огромные территории земли, которая не может

быть использована в сельском хозяйстве. К тому же пыль и шлам сталеплавильных цехов содержат многократно превышающую предельно допустимую концентрацию чрезвычайно токсичных и хорошо растворимых в воде цианидов (соли синильной кислоты), радониды и другие вредные для человека соединения и элементы, как то: Pb, Cd, As, F и шестивалентный Cr. Поэтому захоронение требует специальной дорогостоящей дезактивации этих отходов [1].

Более правильным решением является утилизация железосодержащих отходов на агломашине путем добавления их к шихте.

Исследования, проведенные на шламах различных металлургических предприятий СНГ, показали, что их добавка в агломерационную шихту приводит к плохой спекаемости агломерата. В результате чего основная масса шлама, добавленного изначально, уходит в возврат, а часть удаляется вместе с отходящими газами в атмосферу.

Шламы содержат значительное количество не только полезных компонентов, но и нежелательного цинка, который сокращает срок службы футеровки доменной печи. Поэтому потребление указанных шламов ограничено.

Другая причина ограничения расхода этих шламов диктуется спецификой агломерационного процесса, где они окусковываются в составе агломерационной шихты. Поскольку шламы имеют повышенную

влажность, то агломерационная шихта на их основе приобретает грязевидное состояние, из-за чего ввод этих шламов в шихту ухудшает ее газопроницаемость [2]. Основная причина – ухудшение получения и разрушаемость гранул в зонах сушки и переувлажнения. В результате ухудшается производительность агломерационных машин и качество агломерата.

Однако количество отходов настолько велико, что таким образом утилизация не позволяет переработать весь их объем. Это приводит к необходимости поиска альтернативных способов окускования вторичного сырья.

При использовании в аглошихте замасленной окалины масса, выносимая из спекаемого слоя и осаждающаяся на элементах мультициклонов и лопатках роторов эксгаустеров, содержит большое количество масел. В результате чего происходит залипание пылью элементов мультициклона. При этом возрастает скорость движения газа и, соответственно, снижается эффективность его использования в батарейных циклонах [3]. Обычно, на практике, система газоочистки агломерационных машин отключена.

Колошниковая пыль также в основном используется в агломерационном производстве. Данный отход доменного производства из бункеров-сборников сухих пылеуловителей обычно загружается в железнодорожные вагоны, в которых вывозится на рудный двор аглофабрики. В процессах транспортировки и перегрузок колошниковой пыли имеют место большие потери (<15 %), которые загрязняют территорию вблизи металлургического ком-

плекса. Это вынуждает вести поиск более совершенных технических решений по ее транспортировке и подготовке к утилизации. Помимо проблем с транспортировкой еще одним недостатком колошниковой пыли является плохая спекаемость ее в агломерационном процессе [4].

Конвертерная пыль, которая имеет абсолютно другой химический состав и мелкодисперсность, нашла свое применение в агломерации. Ее, так же, как и колошниковую пыль, добавляют в агломерационную шихту. Отход сталеплавильного производства плохо комкуется, а в слое шихты портит газопроницаемость, в результате чего производительность агломашины падает, а выбросы в атмосферу увеличиваются.

В условиях лаборатории кафедры Металлургии черных металлов Донбасского государственного технического университета были проведены опытные спекания смесей угольной шихты с железосодержащими отходами с целью оценить возможность получения железоуглерода из подобной шихты [5].

Было проведено спекание 4 смесей:

- 90 % угольной шихты и 10 % окалины;
- 90 % угольной шихты и 10 % колошниковой пыли;
- 90 % угольной шихты и 10 % конвертерной пыли;
- 100 % угольной шихты.

В таблице 1 представлен химический анализ золы полученных спеков, их реакционная способность и горячая прочность (показатели, необходимые для доменной плавки).

Таблица 1

Характеристики полученных спеков

Состав шихты для спекания	Ac	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	Реакц. способ.	Горячая прочность
90% угольной шихты и 10% окалины	28,1	3,26	0,75	29	13,3	51,3	0,53	4,5	72,7

Продолжение таблицы 1

90% угольной шихты и 10% колошн. пыли	35,8	6,69	1,36	35,1	14,7	38,6	0,21	56,1	23,5
90% угольной шихты и 10% конвер. пыли	41,4	7,98	1,57	29	12,4	42,6	0,39	67,4	30,7
100% угольной шихты	16,9	3,41	1,09	49,5	23	19,4	0,23	60,1	38,5

Как видно из таблицы 1, спеки, полученные из смесей угольной шихты и железосодержащих отходов, характеризуются высоким содержанием золы (30–40 %), при этом содержание  $Fe_2O_3$  в ней составляет 40–50 %. Их реакционная способность и горячая прочность, кроме смеси с окалиной, практически такая же, как у спека, полученного из угольной шихты.

В связи с этим можно предположить, что железоуглерод, полученный из смеси угольной шихты с колошниковой или конвертерной пылью, можно будет грузить в доменную печь в определенных пропорциях с остальными шихтовыми материалами, поэтому необходимо провести промышленные эксперименты по получению железоуглерода в коксовых батареях.

Так как добавка колошниковой пыли в коксовую шихту практически не влияет на качество полученного кокса, были прове-

дены эксперименты по оценке возможности спекания смесей угольной шихты и колошниковой пыли в соотношениях:

- 40 % колошниковой пыли и 60 % угольной шихты;
- 60 % колошниковой пыли и 40 % угольной шихты;
- 80 % колошниковой пыли и 20 % угольной шихты.

Эксперименты были разделены на две части:

- в начальных способах полученную смесь насыпали в металлический стакан, в котором происходило спекание;
- для увеличения удельного веса смесь спрессовывали в металлическом стакане, после чего помещали в печь и спекали.

Полученные спеки имели форму цилиндра диаметром 60 мм и высотой 60 мм. В таблице 2 представлена их механическая прочность.

Таблица 2

Механическая прочность спеков из разных смесей

	Неспрессованный	Спрессованный
40% колошниковой пыли 60% угольной шихты	2200 кг / кусок (77 кг/см <sup>2</sup> )	2800 кг / кусок (100 кг/см <sup>2</sup> )
60% колошниковой пыли 40% угольной шихты	180 кг / кусок (6,3 кг/см <sup>2</sup> )	100 кг / кусок (3,5 кг/см <sup>2</sup> )
80% колошниковой пыли 40% угольной шихты	Материал рассыпался	

При спекании шихты с 80% содержанием колошниковой пыли после завершения эксперимента цельных кусков получено не было, поэтому данную шихту использо-

вать для получения железоуглерода нецелесообразно.

Как видно из таблицы 2, для производства прочного железоуглерода более целесообразно использовать шихту с содержа-

нием колошниковой пыли 40%, при этом проведенные аналогичные испытания по определению механической прочности куска кокса показали, что она составляет около  $16 \text{ кг/см}^2$ , что в 5 раз меньше, чем у данного железуглерода.

Таким образом, лабораторные исследования показали, что железуглерод, полученный из 40% колошниковой пыли и 60% угольной шихты, может быть загружен в доменную печь, но для более точных выводов необходимо провести промышленные эксперименты.

В таблице 3 представлен химический состав железуглерода, который получен из шихты с содержанием колошниковой пыли 40% и 60%. На основе данных в таблице 3 были проведены расчеты по опре-

делению количества железа в материале, массы и основности шлака при плавлении золы железуглерода. Результаты расчетов характеристик продуктов плавки приведены в таблице 4.

На железуглероде, который получен из спрессованной шихты при смеси 60% колошниковой пыли и 40% угля, визуально видно металлическое железо, а на поверхности аналогичного спека, но при смеси 40% колошниковой пыли и 60% угольной шихты, частично присутствует ржавчина. На основании данных, в таблице 4 построен график изменения расчетной массы шлака при различном содержании колошниковой пыли в шихте, который представлен на рисунке 1.

Таблица 3

Химический состав железуглерода

Состав шихты для спекания	Ac	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	P	S
60% угольной шихты и 40% колошн. пыли	53,9	9,19	1,33	17,4	5,25	64,8	0,13	0,095	0,6
40% угольной шихты и 60% колошн. пыли	66,5	9,64	1,35	14,5	3,89	66,5	0,12	0,082	0,62
<b>Спрессованная</b> 60% угольной шихты и 40% колошн. пыли	49,9	9,1	1,35	17	5,33	62,6	0,12	0,092	0,77
<b>Спрессованная</b> 40% угольной шихты и 60% колошн. пыли	69,4	9,71	1,33	14,4	3,82	67,6	0,13	0,067	0,57

Таблица 4

Характеристики продуктов плавки из одной тонны железуглерода

Состав шихты для спекания	т материала /т чистого железа	т материала /т шлака	Основность шлака	Основность шлака по 4 компонентам
60% угольной шихты и 40% колошниковой пыли	0,312-0,349	0,164-0,179	0,53-0,54	0,46-0,47
40% угольной шихты и 60% колошниковой пыли	0,442-0,469	0,196-0,204	0,66-0,67	0,6-0,61

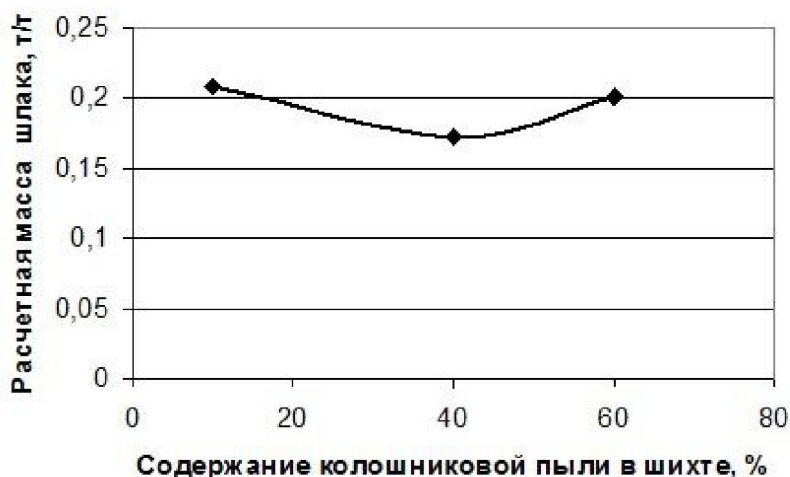


Рисунок 1 Изменение расчетной массы шлака из золы железоуглерода при различном содержании колошниковой пыли в шихте для его получения

Также определена плотность спека из смеси 60% колошниковой пыли и 40% угольной шихты, которая составляет при неспрессованном материале в стакане  $0,973 \text{ г/см}^3$  ( $\text{т/м}^3$ ), а при спрессованном –  $1,103 \text{ г/см}^3$  ( $\text{т/м}^3$ ), т. е. на 11,8 % больше.

Однако необходимо провести промышленные эксперименты по получению железоуглерода в коксовых батареях для уточнения его характеристик и оценки возможности спекания.

#### Выводы:

1. Железосодержащие техногенные отходы нецелесообразно спекать на агломашине, поскольку теряется ее производительность и наблюдается повышенное количество выброса пыли, которая оседает на близлежащие населенные пункты.

2. На основании проведенных исследований получены спеченные брикеты, которые можно использовать в качестве дополнительной шихты в доменном производстве.

3. При ощущении дефицита шихты в доменном производстве экономически выгодно использовать техногенные металлургические отходы.

4. На основании проведенных экспериментов определено, что смесь угольной шихты с колошниковой или конвертерной пылью в определенных пропорциях можно использовать для получения железоуглерода, при этом качество данного продукта будет незначительно отличаться от обычного кокса.

#### Библиографический список

1. Летимин, В. П. Пыль и шлам газоочисток сталеплавильных цехов и анализ путей их утилизации [Текст] / В. Н. Летимин // *Черная металлургия*. — 2009. — № 11. — С. 72–76.
2. Коршиков, Г. В. Поведение цинка при спекании доменного и конвертерного шламов с концентратами КМА [Текст] / Г. В. Коршиков, С. Л. Зевин, В. В. Греков // *Сталь*. — 2003. — № 5. — С. 2–6.
3. Кравцов, В. М. Использование замасленной окалины прокатных цехов в агломерационной шихте металлургического завода [Текст] / В. М. Кравцов, П. А. Горский, И.Л. Холмецкий // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 1974. — № 4. — С. 5–6.

4. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии [Текст] / А. И. Толочко и др. — Челябинск: Металлургия, 1990. — 152 с.

5. Филиппенко, Д. Г. Развитие теории и технологии переработки железосодержащих техногенных отходов [Текст] / Д. Г. Филиппенко // Повышение эффективности металлургического производства : тез. докл. XXIV обл. науч.-техн. конф., посвящ. 60-летию ЛГТУ, март 2016 г. — Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2016. — С. 34.

© Новохатский А. М.

© Диментьев А. О.

© Филиппенко Д. Г.

© Блинов А. М.

*Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н.,  
нач. доменного цеха ПАО «АМК» Диментьевым В. И.*

*Статья поступила в редакцию 17.11.16.*

**д.т.н. Новохатський О. М., к.т.н. Діментьєв О. О., Філіппенко Д. Г., Блінов О. М.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР, [tafadimas@mail.ru](mailto:tafadimas@mail.ru))

#### **ЗГРУДКУВАННЯ ЗАЛІЗОВІСНИХ ВІДХОДІВ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ**

*Серед проблем в металургійній промисловості особливе місце займає питання утилізації залізовісних техногенних відходів. У статті розглянуто абсолютно новий шлях екстракції заліза з колошникового і конвертерного пилу, шламів і окалини.*

**Ключові слова:** залізовісні відходи металургійних підприємств, колошниковий пил, шлам, конвертерний пил, окалина, залізовуглець, доменна піч.

**Doctor of Tech.Sc. Novohatskyi A. M., PhD Dimentiev A. O., Filippenko D. G., Blinov A. M.** (DonSTU, Alchevsk, LPR, [tafadimas@mail.ru](mailto:tafadimas@mail.ru))

#### **AGGLOMERATION OF IRON-BEARING WASTES OF FERROUS METALLURGY**

*Among the problems in the steel industry a special role is given to the issue of recycling the iron-bearing wastes. The article deals with a completely new way of extracting iron from the blast furnace and converter dust, sludge and sinter.*

**Key words:** iron-bearing wastes of steel industry, blast-furnace dust, sludge, converter dust, sinter, iron-carbon, blast furnace.