

УДК 669.054.83

Тюляев Д. В.
(Филиал № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС», г. Алчевск, ЛНР),
к.т.н. Куберский С. В.,
к.т.н. Проценко М. Ю.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ КОНВЕРТЕРНОЙ ПЫЛИ

Исследованы физико-химические свойства пыли, улавливаемой сухой конвертерной газоочисткой и аспирационными установками кислородно-конвертерного цеха на всех стадиях получения жидкой стали и подготовки её к непрерывной разливке. Предложены наиболее рациональные схемы утилизации конвертерной пыли и пути возвращения её в технологический передел.

Ключевые слова: кислородный конвертер, эвакуация газов, сухая газоочистка, электрофильтр, аспирационная установка, пыль, химический и фракционный состав, рециклинг.

В настоящее время в металлургическом производстве существует две прямо противоположные тенденции. С одной стороны, запасы коксующихся углей неуклонно сокращаются, их цена постоянно растёт; уменьшается добыча природного железорудного сырья, увеличиваются затраты на его обогащение; практически не осваиваются новые месторождения; постоянно растут тарифы на энергоресурсы и железнодорожные перевозки. С другой стороны, возрастают накопленные десятилетиями отходы металлургического, горнодобывающего, машиностроительного и химического производств, а также топливно-энергетического комплекса, которые содержат значительные количества полезных элементов и в первую очередь железа.

Сегодня по объёму и содержанию полезных компонентов техногенные месторождения можно приравнять к месторождениям природных ископаемых. Кроме того, расположение этих отходов вблизи металлургических производств, а также то, что не требуется огромных затрат на их освоение, являются положительными факторами.

Конвертерное производство стали является одним из наиболее ресурсоёмких металлургических переделов и характеризуется образованием большого количества отходов производства, основную долю которых составляют шлаки, шламы и пыль.

Анализ физико-химических свойств этих отходов показывает, что они содержат достаточно большое количество компонентов, полезных не только для различных металлургических переделов, но и для других отраслей промышленности.

Поэтому возвращение этих компонентов в технологический процесс для полной или частичной замены традиционного сырья является важной научно-технической задачей. Особенно актуальными вопросы утилизации и повторного использования отходов являются в современных условиях, характеризующихся повышенным дефицитом основных сырьевых материалов, а также ухудшением экологической обстановки ввиду складирования и хранения различных техногенных материалов.

Эффективность решения данной проблемы зависит от двух основных составляющих. С одной стороны, переработка и утилизация отходов и использование их в виде относительно дешёвого металлургического сырья даст значительное снижение затрат на шихту, позволит повысить качество и конкурентоспособность продукции, а также снизить её себестоимость. С другой стороны, очистка целых регионов, где скопились огромные техногенные месторождения отходов, а также утилизация текущих накоплений отходов от вышеперечис-

ленных производств в итоге позволит решить актуальные экологические проблемы.

Поэтому цель данной работы заключалась в определении технологической ценности пыли, образующейся на различных этапах технологии получения жидкой стали.

На металлургических предприятиях с технологией сухой очистки конвертерных газов образуется много пыли, количество которой зависит от режимов продувки в конвертере, химического и гранулометрического составов шихтовых и шлакообразующих материалов и составляет 13–32 кг/т [1].

В работе [2] установлена зависимость количества пыли в конвертерных газах от метода проведения продувки, времени присадки извести и начала вспенивания шлака и показано, что меньше всего пыли выносятся в том случае, если шлак вспенивается примерно через 60 % времени от начала продувки и если присадки извести осуществляют несколькими порциями по её ходу. На крупность и состав пыли существенное влияние оказывает способ отвода газа из конвертера: при доступе воздуха и горении конвертерных газов или без доступа воздуха.

Масса металлических частиц в газах может достигать 1–1,5 % от садки плавильного агрегата.

В результате окисления FeO до Fe₂O₃ при отводе газов с дожиганием развиваются высокие температуры. Пылевидные частицы имеют чёрно-бурый цвет и различную крупность. Количество частиц размером меньше 0,5 мкм составляет примерно 20 %, 0,5–1 мкм — 65 % и >1 мкм — 15 % [2]. В ходе продувки химический состав пыли изменяется. При переработке низкофосфористых чугунов содержание железа в пыли возрастает с 50 до 70 %, содержание CaO находится в пределах 5–14 %, SiO₂ — 0,7–3 %, фосфора — 0,16–0,3 %, серы — 0–0,12 %. Наибольшее количество пыли выделяется примерно в середине продувки. При отводе газов без доступа воздуха пылевые частицы имеют в основном серый цвет и более крупные размеры.

В кислородно-конвертерном цехе (ККЦ) филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС»

реализована технология сухой очистки газов, образующихся в процессе продувки стали в кислородных конвертерах (КК) комбинированного дутья. Продувка осуществляется без дожигания отходящих газов, с дожиганием СО на выходе из дымовой трубы — «на свече».

Главное преимущество сухой очистки состоит в том, что пыль улавливается в сухом виде, поэтому отпадает надобность в устройстве сложного шламового хозяйства. Для сухой электростатической очистки не требуется большого расхода электроэнергии. Сухие газы или продукты сгорания должны пройти предварительную обработку для повышения электрической проводимости пыли. Обработка заключается в повышении влажности газа увлажнением пыли и поддержании соответствующей температуры. Для увлажнения используется скруббер с форсунками тонкого распыливания [2]. Скруббер предназначен для снижения температуры конвертерного газа, предварительной очистки конвертерного газа от крупных частиц пыли, а также кондиционирования газов, поступающих в электростатический фильтр. Предварительно очищенный в скруббере газ по газоходу поступает в четырёхпольный электрофильтр. Электростатический фильтр (ЭСФ) предназначен для окончательной очистки отходящих конвертерных газов перед попаданием в дожигающее устройство. Внутри электрофильтра параллельно ходу газа располагаются рамы с заземлёнными на корпус осадительными электродами, образующими проходы (коридоры), по которым движутся отходящие газы. По центру проходов между осадительными электродами подвешиваются на изоляторах коронирующие (разрядные) электроды. Каждая группа осадительных и коронирующих электродов образует отдельное электрическое поле [2]. В каждом поле электрофильтра установлены механизмы встряхивания осадительных и коронирующих электродов, которые обеспечивают утилизацию осевшей пыли из ЭСФ в бункер-накопитель для последующего её вывоза.

Помимо основной газоочистки имеется ряд аспирационных установок, обеспечивающих пылеулавливание на всех стадиях организации производства стали:

– установка очистки газа неорганизованных выбросов конвертеров № 1 и № 2 предназначена для улавливания, транспортировки и очистки пылегазовоздушной смеси, образующейся на разных стадиях технологического процесса производства стали в конвертерах № 1, № 2. Насыщенные пылью газы собираются вытяжными колпаками над конвертерами в зонах завалки лома, заливки чугуна, слива стали и барботажных стенов внепечной обработки стали;

– установка очистки газа отделения перелива, десульфурации чугуна и скачивания шлака предназначена для очистки пылегазовоздушной смеси, улавливаемой в зонах перелива чугуна из чугуновозных ковшей в заливочные ковши, десульфурации чугуна и скачивания шлака;

– установка очистки газа отделения подачи сыпучих и ферросплавов (ФС) предназначена для очистки запылённой пылегазовоздушной смеси, удаляемой от бункеров в местах загрузки, от укрытий в местах перегрузки и выгрузки сыпучих и ферросплавов в конвертеры и сталеразливочные ковши;

– установка очистки газа отделения хранения сыпучих и ферросплавов предназначена для очистки запылённой пылегазовоздушной смеси, удаляемой от укрытий мест перегрузки и выгрузки материалов участка хранения сыпучих и ферросплавов, а также узла грохочения извести;

– установка очистки газа агрегата ковш-печь (АКП) предназначена для очистки газов, поступающих из двух областей всасывания: первичного отходящего газа

из двух позиций АКП и запылённого воздуха, поступающего из установки подачи ферросплавов и легирующих присадок в ковши.

Очистка газа в первых двух установках осуществляется посредством двухрядного рукавного фильтра с импульсной регенерацией; в трёх последних установках — посредством рукавного фильтра с импульсной регенерацией. Удаление и транспортировка уловленной пыли из бункеров фильтра осуществляется системой механической транспортировки в сборный бункер-накопитель каждой установки.

Для определения технологической ценности пыли, образующейся на различных этапах производства жидкой стали были отобраны её пробы и проанализированы в центральной лаборатории и ККЦ с использованием стандартных методик и оборудования.

Удельное образование пыли в аспирационных установках ККЦ, а также её химический и фракционный составы представлены в таблицах 1–3.

Необходимо отметить, что большая часть пыли имеет размер до 0,4 мм, что способствует её рассеиванию ветром при хранении на открытых площадях. Кроме того, пыль практически не поддаётся смачиванию, что также усложняет её транспортировку и хранение. Поэтому даже простой перевод пыли в компактное состояние посредством спекания, брикетирования и т. д. обеспечивает значительный экологический эффект [2].

По состоянию на начало 2019 г. на шламоотвалах предприятия скопилось около 50 тыс. т пыли, полученной с аспирационных установок ККЦ. Доля и фракционный состав пыли со всех газоочисток (ГО) конвертерного цеха приведены на рисунке.

Таблица 1

Удельное образование пыли на различных участках технологии, кг/т

скруббер (крупная)	ЭСФ (мелкая)	неорганизованные выбросы КК	перелив и десульфурация чугуна	подача сыпучих и ФС к КК	выгрузка и хранение сыпучих и ФС	АКП
5,0–7,9	11,5–14,1	0,5–1,1	0,5–1,8	0,6–1,5	0,3–1,4	0,1–0,3

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Таблица 2

Фракционный состав пыли, образующейся на различных участках технологии, %

Фракция пыли	скруббер (крупная фракция)	ЭСФ (мелкая фракция)	неорганизованные выбросы КК	перелив и десульфурация чугуна	подача сыпучих и ФС к КК	выгрузка и хранение сыпучих и ФС	АКП
<0,1 мм	9,6	20,7	18,8	2,5	10,1	4,9	17,9
0,1–0,2 мм	26	18	65,7	22,5	82,0	89,0	37,8
0,2–0,4 мм	44	41	12,2	68,2	7,5	4,7	35,6
0,4–0,5 мм	6	12	1,2	2,2	0,1	0,2	4,7
0,5–1,0 мм	12	8	1,5	3,2	0,1	0,5	3,2
1,0–1,6 мм	2	0,1	0,5	1,2	0,2	0,7	0,7
>1,6 мм	0,4	0,2	0,1	0,2	0	0	0,1

Таблица 3

Химический состав пыли, образуемой на различных участках технологии

Компонент пыли	Участок образования пыли и содержание в ней основных компонентов, %						
	скруббер (крупная фракция)	ЭСФ (мелкая фракция)	неорганизованные выбросы КК	перелив и десульфурация чугуна	подача сыпучих и ФС к КК	выгрузка и хранение сыпучих и ФС	АКП
Fe _{общ.}	55,2	54,2	34,7	58,7			21,7
Fe _{мет.}	25,8	6,8	1,1	1,7			0,7
FeO	28,0	19,3	8,0	9,6			2,2
Fe ₂ O ₃	11,0	46,8	39,1	70,9	5,4	3,9	28,2
SiO ₂	2,9	2,6	4,9	1,9	7,9	5,2	8,6
CaO	23,4	13,8	19,7	5,7	51,8	51,5	21,5
MgO	3,4	2,0	3,2	2,1	6,3	5,2	12,1
Al ₂ O ₃	0,5	0,4	1,7	0,4	3,2	3,6	3,9
MnO	0,4	0,6	0,8	0,2	8,9	3,4	5,3
TiO ₂	0,05	0,03	0,09	0,03	0,08	0,06	0,11
P	0,09	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,02
S	0,13	0,18	0,55	0,57			2,21
Zn	0,28	0,65	4,30	0,31			2,00
Pb	0,06	0,08	0,43	0,02			0,20
K ₂ O	0,12	0,45	1,08	0,18	0,22	0,23	2,46
Na ₂ O	0,21	0,41	0,76	0,18	0,28	0,31	2,92

Анализ представленных в таблицах 1–3 данных показывает, что удельное образование пыли с аспирационных установок ККЦ составляет 21,9–26,8 кг/т, а содержание общего железа в смеси пыли (с учётом удельного образования) находится в пределах 46,3–50,9 %.

Преимущества и недостатки пыли, образующейся на различных участках технологической цепочки производства жидкой стали, представлены в таблице 4.

На основании результатов химического анализа пыли можно условно разделить на две основные группы — железосодержащая

и известковая. В состав всей пыли, кроме участка сыпучих, входят цинк и свинец, содержание которых увеличивается с повышением доли лома в шихте конвертерной плавки и имеет тенденцию к накоплению [3].

По физическим характеристикам железосодержащую пыль можно использовать в агломерационном производстве. Однако ввод пыли в агломерационную шихту необходимо ограничивать, так как вторичное использование цинксодержащих материалов приводит к накоплению цинка в футеровке доменных печей и ускорению её разрушения [4]. Известковая пыль с участков выгрузки, хранения и транспортировки сыпучих и ферросплавов ввиду отсутствия цинка и свинца может быть использована для закладки в штабель.

Цинк и свинец, так или иначе, всегда содержатся в металлоломе — обязательной части шихты конвертерного производства, и внесение этих элементов в ходе рециклинга железосодержащей пыли не приведёт к существенному изменению хода конвертерной плавки [3]. Ввиду повышенного содержания MgO в пыли АКП и CaO в пыли газоочисток сыпучих рационально их использование (после придания компактной формы путём окомкования, брикетирования и т. д.) в качестве флюсующих добавок при выплавке стали.

Известковая пыль также может быть опробована для теплоизоляции зеркала чу-

гуна в заливочном ковше, а также стали в сталеразливочном ковше после обработки на АКП или в промежуточном ковше при разливке на МНЛЗ.

Таким образом, в результате проведённых исследований проанализированы образцы пыли, образующейся на основных участках технологической цепочки производства жидкой стали, определены её удельное количество, фракционный и химический состав, показаны основные преимущества и недостатки пыли различных источников образования, а также предложены рекомендации по утилизации и повторному использованию этого вида технологических отходов.

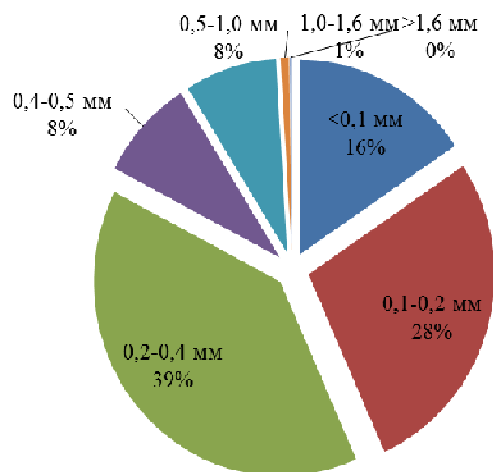


Рисунок Фракционный состав смеси пыли со всех ГО ККЦ

Таблица 4

Качественная характеристика пыли, образующейся на различных участках технологии

Технологический участок	Преимущества	Недостатки
скруббер (крупная фракция)	$Fe_{общ} > 55 \%$, $Fe_{мет} > 25 \%$	$S=0,13 \%$, $P=0,09 \%$, $Zn=0,28 \%$, $Pb=0,06 \%$
ЭСФ (мелкая фракция)	$Fe_{общ} \approx 55 \%$	$Fe_{мет} < 10 \%$, $S=0,18 \%$, $P=0,05 \%$, $Zn=0,65 \%$, $Pb=0,08 \%$
неорганизованные выбросы КК		$Fe_{мет} < 2 \%$, $P=0,05 \%$, $Zn=4,3 \%$, $Pb=0,43 \%$
перелив и десульфурация чугуна	$Fe_{общ} > 55 \%$	$Fe_{мет} < 2 \%$, $P=0,05 \%$, $Zn=0,31 \%$
подача сыпучих и ФС к КК	$CaO \approx 50-55 \%$, отсутствие S, Zn, Pb	Fe ($Fe_2O_3=3-6 \%$)
выгрузка и хранение сыпучих и ФС		
АКП	$MgO > 12 \%$, $CaO > 20 \%$	$S=2,2 \%$, $Zn=2,0 \%$, $Pb=0,2 \%$

С целью практической оценки возможности утилизации всей пыли газоочисток ККЦ планируется проведение опытных плавок и изучение:

– влияния введения брикетов/окатышей из железосодержащей пыли на технологи-

ческие параметры и химический состав продуктов конвертерной плавки;

– возможности использования известковой пыли в качестве теплоизолирующей смеси для сталеразливочных и промежуточных ковшей.

Библиографический список

1. Santanur, K. R. *Evaluation of Dust Generated from Basic Oxygen Furnace Steel Making [Text]* / K. R. Santanur, Gautam Chattopadhyay & Asim K. Ray // *Journal of the Air & Waste Management Association*. — 1997. — 47 (6). — P. 716–721.
2. Бережинский, А. И. *Утилизация, охлаждение и очистка конвертерных газов [Текст]* / А. И. Бережинский, П. С. Хомутильников. — М. : Металлургия, 1967. — 216 с.
3. Mihok, L. *Recycling of oxygen converter flue dust into oxygen converter charge [Text]* / L. Mihok, D. Baricova // *Metalurgija* / — 2003. — 42 (4). — P. 271–275.
4. Меламуд, С. Г. *Разработка технологии переработки цинксодержащих пылей металлургического производства [Текст]* / С. Г. Меламуд, В. В. Шатилю, В. А. Мальцев, Б. П. Юрьев // *Сталь*. — 2012. — № 8. — С. 78–81.

© Тюляев Д. В.

© Куберский С. В.

© Проценко М. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТУ Новохатским А. М., зам. нач. ККЦ по технологии филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Швец Д. В.

Статья поступила в редакцию 04.03.19.

Тюляев Д. В. (Філія № 12 ЗАТ «ВНЕШТОРГСЕРВИС», м. Алчевськ, ЛНР),
к.т.н. Куберський С. В., к.т.н. Проценко М. Ю. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ І ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ КОНВЕРТЕРНОГО ПИЛУ

Досліджено фізико-хімічні властивості пилу, уловлюваного системою конвертерного газоочищення сухого типу і аспіраційними установками киснево-конвертерного цеху на усіх стадіях отримання рідкої сталі і підготовки її до безперервного розливання. Запропоновано найбільш раціональні схеми утилізації конвертерного пилу і шляхи повернення його в технологічний переділ.

Ключові слова: кисневий конвертер, евакуація газів, сухе газоочищення, електрофільтр, аспіраційна установка, пил, хімічний і фракційний склад, рециклінг.

Tyulyaev D. V. (Branch № 12 of CJSC “VNESHORGSERVIS”, Alchevsk, LPR),
PhD Kuberskiy S. V., PhD Protsenko M. Yu. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES AND TECHNOLOGICAL VALUE OF CONVERTER DUST

The physicochemical properties were investigated of the dust captured by dry converter gas cleaning plant and aspiration plants of the oxygen converter shop at all stages of producing liquid steel and preparing it for continuous casting. The most rational schemes for the recovery of converter dust and ways to return it to the technological process have been proposed.

Key words: oxygen converter, gas evacuation, dry gas cleaning, electro-filter, aspiration plant, dust, chemical and fractional composition, recycling.