

УДК 669.184:669.184.15

В.Д. МАНТУЛА, заместитель генерального директора, **С.В. СПИРИНА**, канд. хим. наук, заведующий отделом, **Л.Г. ЧАЛЫЙ**, канд. техн. наук, главный специалист отдела, **В.С. КУЛИК**, младший научный сотрудник
Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ПЫЛИ В АППАРАТАХ ГАЗООЧИСТКИ И ТЯГОДУТЬЕВОМ ОБОРУДОВАНИИ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ

Исследованы процессы образования отложений пыли в аппаратах газоочистки и тягодутьевом оборудовании кислородных конвертеров. На базе исследований, проведенных в конвертерных цехах ОАО «НТМК» и ПАО «ЕМЗ», выявлено два различных механизма образования твердых отложений: карбонатные отложения в аппаратах мокрой газоочистки и отложения высокодисперсных частиц оксидов железа (феррошпинелей) на элементах нагнетателя в составе газоотводящего тракта конвертера. Главной причиной образования твердых карбонатных отложений в трубе Вентури является большая кальциевая жесткость и гидратная щелочность воды, подаваемой на орошение в аппараты газоочистки. Основную массовую долю в отложениях на элементах нагнетателей конвертеров составляют феррошпинели $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и Fe_3O_4 , обладающие магнитными свойствами, высокой дисперсностью и плотностью частиц, высокими адгезионными свойствами. Даны рекомендации по минимизации процессов образования отложений пыли на элементах нагнетателей и газоотводящих трактах конвертеров.

Ключевые слова: кислородный конвертер, тягодутьевое оборудование, нагнетатель, газоочистка, отходящие газы, отложения пыли, химический состав, плотность, механизм образования.

«Мокрые» системы очистки конвертерных газов, как известно, имеют существенные недостатки:

- образование отложений (зарастание) на внутренних поверхностях аппаратов газоочисток вследствие повышенного выноса из конвертера и неудовлетворительного качества осветленной воды;
- налипание пыли на роторе нагнетателя как следствие повышенного выноса капельной влаги.

Образование твердых связанных отложений в трубах Вентури и на элементах нагнетателей ухудшает их технические характеристики, снижает уровень эксплуатационной надежности и обуславливает необходимость внеплановых ремонтов и чисток.

При выплавке стали из ванадийсодержащих чугунов дуплекс-процессом, как показал опыт эксплуатации конвертеров ОАО «Нижнетагильский металлургический



комбинат» (ОАО «НТМК»), в газоотводящих трактах образуются твердые связанные отложения пыли на элементах нагнетателей. Изучение состава отложений на элементах газоочистного и тягодутьевого оборудования, анализ причин их образования и разработка рекомендаций по минимизации этого процесса и явилось целью настоящих исследований.

После реконструкции, проведенной в 2007–2010 гг., в конвертерном цехе ОАО «НТМК» установлены четыре конвертера (№ 1–4) емкостью 160 т, работающие в режиме полного дожигания оксида углерода при интенсивности продувки кислородом 350–500 м³/мин по принятой технологии переработки ванадийсодержащих чугунов. На предприятии приняты две технологии выплавки стали в кислородных конвертерах [1]:

1. Монопроцесс – получение стали из передельного чугуна путем продувки его технически чистым кислородом через фурму, которая вводится в конвертер сверху. Для улучшения технологии выплавки металла одновременно проводится донная продувка азотом и аргоном.

2. Дуплекс-процесс – получение металла в две стадии:

- первая стадия – деванадация в конвертере ванадиевого чугуна (содержание углерода до 5 %) с получением ванадийсодержащего шлака и полупродукта (содержание углерода – 3–3,9 %);
- вторая стадия – выплавка стали различных марок из полученного полупродукта, который подают в другой конвертер.

Как показали исследования, ранее проведенные в ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», образующаяся в кислородных конвертерах пыль состоит из частиц различного происхождения – по дисперсному составу пыли следует выделить:

- крупные фракции, представляющие собой унос потоком газа брызг металла, шлака и сыпучих материалов (размер частиц в основном выше 40 мкм), содержание которых в пыли колеблется в зависимости от периода плавки в пределах 10–30 %;
- высокодисперсные частицы возгонного происхождения, размерами менее 1 мкм, массовая доля которых в конвертерной пыли составляет 70–90 %.

В соответствии с наиболее распространенной в настоящее время теорией основным механизмом образования высокодисперсных частиц является испарение железа и других элементов из реакционной зоны с последующей их конденсацией и кристаллизацией.

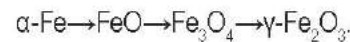
Поскольку основным элементом в чугуне является железо, то, в соответствии с поверхностной концентрацией и доступностью для кислорода, переход его в газовую фазу из расплава значительно превышает вынос

других составляющих конвертерной пыли. Среднее содержание общего железа в конвертерной пыли колеблется в пределах 50–80 % (по массе) и не зависит от емкости конвертера, интенсивности кислородной продувки, конструкции и положения фурмы, состава металла.

Частицы пыли в процессе движения в газоотводящем тракте – от места образования (полость конвертера) до нагнетателя – претерпевают изменения в дисперсном, химическом и фазовом составе. Это является следствием коагуляции и окислительно-восстановительных реакций с газовой фазой. Ранее проведенные рентгеновские исследования [2] показали, что в пыли, отобранной из горловины конвертера, основными фазами являются α -Fe и FeO (вюстит).

Процесс окисления железа, сопровождающийся кристаллохимическими превращениями дисперсных частиц в газоотводящем тракте конвертера, зависит от способа отвода конвертерных газов: с полным дожиганием, частичным или без дожигания СО [2]. Степень окисленности железа в пыли зависит от состава отходящих газов (соотношение СО/СО₂ зависит от коэффициента избытка воздуха α и газовой выделений из ванны конвертера).

В системах отвода газов с полным дожиганием СО последовательность фазовых превращений дисперсных железосодержащих частиц представляет собой



На другие составляющие конвертерной пыли (СаО, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅) изменение параметров газовой среды в охладителе конвертерных газов (ОКГ) влияния не оказывает, так как термодинамическое восстановление этих оксидов отходящими газами невозможно.

Рентгеновские и химические анализы показали, что в конце газоотводящего тракта конвертера основными фазами в высокодисперсной пыли являются γ -Fe₂O₃ (маггемит), Fe₃O₄ (магнетит) и твердый раствор γ -Fe₂O₃-Fe₃O₄ с преобладанием маггемита. Таким образом, процесс окисления железа в условиях газоотводящего тракта конвертера при полном дожигании СО заканчивается на стадии образования маггемита (γ -Fe₂O₃), который является неустойчивой модификацией оксида железа – при температуре ниже 600 °С γ -Fe₂O₃ должен перейти в устойчивую фазу – α -Fe₂O₃ (гематит). Однако в газоотводящих трактах конвертеров этот переход не осуществляется вследствие кратковременности пребывания газов в ОКГ и сложности перестройки решетки.

Fe₃O₄ и γ -Fe₂O₃ имеют структуру типа шпинели (феррошпинели) – фазовый переход Fe₃O₄ → γ -Fe₂O₃ не связан с перестройкой кристаллической решетки и сводится лишь к дополнительной потере железа, а следовательно

но, Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггемит, имеющий искаженную структуру шпинели) трудноразличимы при применении рентгеновских методов анализа – для всех шпинелей характерны высокая твердость, магнитные свойства, химическая и термическая устойчивость [3].

Как показали исследования авторов, конвертерная пыль, основную долю которой составляют ферритовые шпинели Fe_3O_4 и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, обладает высоким уровнем дисперсности частиц, плотности и адгезионных свойств, а также магнитными свойствами [2]. Такая пыль при определенных условиях может образовывать твердые связанные отложения на конструкциях газоотводящих трактов сталеплавильных агрегатов. Плотность и твердость этих отложений зависят от соотношения в пыли массовой доли ферритовых шпинелей к массовой доле других составляющих пыли (CaO , MgO , Al_2O_3 и др.). Чем выше содержание в пыли шпинельных ферритов, тем большая вероятность образования на элементах газоотводящего тракта твердых связанных отложений. Увеличение влажности отходящих газов также способствует образованию таких отложений.

При увеличении в пыли массовой доли оксидов шихтовых материалов более вероятным становится образование несвязанных (рыхлых и сыпучих) отложений на поверхности оборудования газоотводящих трактов конвертеров.

Эксплуатация конвертеров на ОАО «НТМК» показала, что наибольшую проблему в работе создают отложения, образующиеся на элементах нагнетателя за конвертером № 4, где, в отличие от нагнетателей других конвертеров (№ 1–3), имеет место образование твердых, прочных связанных отложений. В нагнетателях конвертеров № 1–3 отложения либо отсутствуют, либо являются несвязанными и легче удаляются с поверхности элементов нагнетателей.

Отличительные особенности работы вышеуказанных конвертеров:

- на конвертерах № 1–3 проводится в основном выплавка стали из передельного ванадийсодержащего чугуна (монопроцесс) или из полупродукта (полупродуктовые плавки – вторая стадия дуплекс-процесса);
- на конвертере № 4, поскольку он ближе всех расположен к миксеру, проводятся преимущественно (около 80 %) плавки по получению полупродукта и ванадийсодержащего шлака (деванадация ванадиевого чугуна).

Таким образом, можно утверждать, что образование твердых связанных отложений происходит в период деванадации чугуна.

При деванадации основными составляющими шихтовки в конвертере являются чугун, окалина и окаты-

ши, т.е. железосодержащие компоненты. При выплавке стали из полупродукта в конвертер подают присадки (известь, дробленый кирпич, ожеженный известково-магнезиальный флюс, марганцевый агломерат, доломит), поэтому состав пыли в отходящих газах при этих процессах существенно отличается, что в свою очередь обуславливает характер отложений в газоотводящих трактах конвертеров.

С целью выяснения природы образования связанных твердых отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4 проведены исследования химического, фазового и элементного составов этих отложений. Определение химического состава отложений осуществлено по аттестованным методикам выполнения измерений.

Качественный фазовый состав исследован на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. Исследование полуколичественного химического и элементного составов отложений проведено методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра ARL 9800 корпорации «Термо Электрон».

Макроскопически образец отложений пыли, отобранной в нагнетателе конвертера № 4, представляет собой твердый монолит темно-бурого цвета, обладающий магнитными свойствами.

Химический состав отложений пыли представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4 КЦ ОАО «НТМК», % по массе

FeO	Fe ₂ O ₃	Fe общ	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	V ₂ O ₅	ППП
8,58	53,64	50,85	1,01	1,76	0,55	1,62	0,106	6,94

Отличительной особенностью химического состава связанных отложений пыли из нагнетателя конвертера № 4 является более низкое (по сравнению с отложениями пыли в нагнетателе конвертера № 1) содержание MgO , Al_2O_3 , V_2O_5 . В частности, по результатам ранее проведенного авторами химического анализа отложений пыли в нагнетателе конвертера № 1, выплавляющего сталь из полупродукта, содержание этих оксидов составляло, %: MgO – 9,7, Al_2O_3 – 15,4, V_2O_5 – 4,6.

Рентгенофазовым анализом установлено, что основными фазами в связанных отложениях на элементах нагнетателя конвертера № 4 являются феррошпинели – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггемит) и Fe_3O_4 (магнетит). В исследуемом образце обнаружено также присутствие алюмошпинели FeAl_2O_4 (герцинит). В настоящее время герцинит при-



меняется в производстве новейшего вида огнеупоров (магнезито-герцинитовые), которые характеризуются высокой прочностью, коррозионной стойкостью и абразивностью. Очевидно, что герцинит также способствует упрочнению отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4.

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа элементного состава отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4 представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа элементного состава отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4 ОАО «НТМК»

Элемент	Массовая доля, %
Fe	76,8
K	7,31
S	4,08
Cl	3,24
Na	2,64
Zn	2,28
Ca	1,01
Si	0,563
Mn	0,484
Mg	0,465
V	0,338
P	0,192
Pb	0,174

Как следует из полученных данных, массовая доля железа в отложениях составляет 76,8 %. Впервые установлено, что в твердых связанных отложениях пыли содержится значительная доля щелочных металлов – калия (7,31 %) и натрия (2,34 %), а также соединений хлора (3,24 %). Кроме указанных в табл. 2 элементов, обнаружены также следы (в пределах 160–900 ppm) Ni, Cr, W, Cu, Al, Mo.

В табл. 3 представлены оксиды химических элементов, содержащихся в связанных отложениях нагнетателя конвертера № 4.

Таблица 3 – Результаты рентгенофлуоресцентного анализа химического состава отложений пыли на элементах нагнетателя конвертера № 4 ОАО «НТМК»

Оксид	Массовая доля, %
Fe ₂ O ₃	75,9
K ₂ O	6,53
SO ₃	6,26
Na ₂ O	2,56
Cl	2,36
ZnO	2,02
CaO	1,07
SiO ₂	0,832

Оксид	Массовая доля, %
MgO	0,725
MnO	0,476
V ₂ O ₅	0,425
P ₂ O ₅	0,371
PbO	0,120

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа подтверждают, что основную долю (75,9 %) в твердых связанных отложениях составляет оксид железа Fe₂O₃. Оксиды щелочных металлов K₂O и Na₂O составляют в отложениях суммарно 9,09 %, массовая доля соединений Cl равна 2,36 %. Источником оксидов щелочных металлов и соединений хлора, наиболее вероятно, является вода, подаваемая в систему мокрой газоочистки. Содержание оксидов MgO и V₂O₅ в исследуемом образце составляет соответственно 0,725 % и 0,425 %, а содержание Al₂O₃ – всего лишь 319 ppm.

При вводе в эксплуатацию газоотводящего тракта конвертера № 2 емкостью 160 т на ПАО «Енакиевский металлургический завод» (ПАО «ЕМЗ»), работающего в режиме отвода газов с частичным дожиганием CO, при интенсивности продувки кислородом 400–450 м³/мин столкнулись с такой же проблемой образования отложений. Однако в конвертерном цехе ПАО «ЕМЗ» выплавку стали производят по традиционной технологии конвертерной плавки, применяя ресурсосберегающие технологии выплавки стали:

- двойная заливка чугуна – при шихтовке массу чугуна уменьшают на величину от 10 до 12 т, а массу металлолома соответственно увеличивают; завалку лома производят двумя совками, после завалки металлолома в конвертер заливают от 30 до 40 т чугуна – после заливки второй порции чугуна плавку ведут по обычной технологии;
- применение углеродсодержащих материалов для снижения расхода чугуна – присадки углеродсодержащих материалов производят после заливки чугуна в количестве от 1 до 3 т;
- выплавка стали с применением малошлаковой технологии – шихтовку плавки производят из расчета увеличения массы лома на величину от 2 до 3 т;
- выплавка стали с оставшимся конечным шлаком от предыдущей плавки (80–90 % плавов) – разрешается производить завалку металлолома на оставленный в конвертере шлак после перевода его в инертное состояние путем присадки угля и извести. Наличие в конвертере с первых секунд продувки сформированного жидкого шлака, содержащего прогретые и частично начавшие растворяться флюсы, способствует более быстрому (по сравнению с

классической технологией) наведению жидкоподвижного шлака, при этом он, при прочих равных условиях, имеет меньшее поверхностное натяжение, от величины которого напрямую зависит способность конвертерного шлака к вспениванию под воздействием пузырьков CO.

Отбор проб для анализов проведен из оборудования, установленного на газоотводящем тракте конвертера № 2 ПАО «ЕМЗ».

Проанализированы следующие пробы:

- отложения в трубе Вентури;
- отложения шлама в переходном газоходе трубы Вентури;
- содержимое из фильтра водовода на газоочистку;
- шлам из гидрозатвора узла предварительного охлаждения (УПО);
- отложения на роторе нагнетателя.

Химический анализ проведен по соответствующим ДСТУ, ГОСТ и аттестованным методикам выполнения измерений. Содержание отдельных компонентов в исследуемых пробах (Zn, Pb, Na₂O, K₂O, Cl) определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Результаты исследования химического состава отложений в аппаратах газоочистки и на элементах тягодутьевого оборудования конвертера № 2 ПАО «ЕМЗ» представлены в табл. 4.

Как следует из приведенных результатов химического анализа (табл. 4), в отложениях, образующихся в трубе Вентури, преобладает CaO (массовая доля 46,88 %), в меньшем количестве содержатся железо и его оксиды

– Fe_{общ} – 11,07 %. Обращает внимание высокое содержание в отложениях углерода (массовая доля – 9,6 %). Потери при прокаливании – 35,7 %.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что основной фазой в отложениях является карбонат кальция CaCO₃.

Ранее проведенные авторами рентгеновские и термографические исследования показали, что карбонат кальция содержится в пыли кислородных конвертеров [2]. Однако массовая доля CaCO₃ в конвертерной пыли незначительна. По данным химического анализа, содержание CaO в пыли кислородных конвертеров в зависимости от периода плавки и режима подачи сыпучих колеблется в пределах 3–15 %, массовая доля углерода в конвертерной пыли – в пределах 0,4–1,2 %.

Основными компонентами в конвертерной пыли и шламе являются железо и его оксиды (Fe_{общ} колеблется в пределах 50–70 %). Это подтверждается также результатами химического анализа шлама в переходном газоходе трубы Вентури (табл. 4, графа 3) и шламе УПО (табл. 4, графа 5). Массовая доля CaO в шламе из переходного газохода составляет 1,87 %, Fe_{общ} – 62,94 %. Массовая доля этих компонентов в шламе УПО – соответственно 9,34 % и 69,48 %.

Таким образом, содержащаяся в отходящих газах конвертера № 2 пыль не является основной причиной образования твердых карбонатных отложений в трубе Вентури. Основная причина образования этих отложений – большая кальциевая жесткость и гидратная щелочность воды, подаваемой на орошение в аппараты

Таблица 4 – Результаты исследования химического состава отложений в аппаратах газоочистки и на элементах тягодутьевого оборудования конвертера № 2 ПАО «ЕМЗ»

Компонент	Массовая доля компонента, %				
	Отложения в трубе Вентури	Отложения шлама в переходном газоходе трубы Вентури	Содержимое из фильтра водовода на газоочистку	Шлам из гидрозатвора УПО	Отложения на роторе нагнетателя
FeO	2,98	30,27	1,20	25,70	–
Fe ₂ O ₃	8,54	39,74	26,13	14,25	–
Fe _{мет}	2,76	11,47	1,78	39,42	–
Fe _{общ}	11,07	62,94	21,27	69,48	52,5
CaO	46,88	1,87	34,87	9,34	2,6
MgO	0,46	0,57	2,03	1,27	0,28
Al ₂ O ₃	0,53	0,63	0,56	0,60	0,18
SiO ₂	0,39	1,63	1,83	2,50	2,25
Zn	1,96	5,60	0,76	1,0	8,50
Pb	0,60	0,39	0,30	0,03	0,95
C	9,60	0,85	7,48	1,26	2,0
K ₂ O	0,10	0,49	0,11	0,095	1,15
Na ₂ O	0,16	0,55	0,11	н/о	0,96
Cl	0,017	0,20	0,12	0,05	0,39
ППП	35,7	8,69	30,85	н/о	2,9

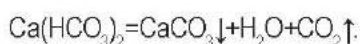


газоочистки (концентрация Ca^{2+} составляет в среднем 16 мг-экв/дм^3 , общая щелочность – $3,5 \text{ мг-экв/дм}^3$).

Еще одно подтверждение этого вывода – результаты химического анализа содержимого из фильтра водовода на газоочистку (табл. 4), в котором основным компонентом является CaO (34,87 %). Массовая доля углерода составляет 7,4 %, $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – 21,27 %.

Жесткость воды определяется количеством ионов кальция и магния.

При нагреве жесткой воды бикарбонат кальция, присутствующий в ней, разлагается на углекислый газ и нерастворимый осадок карбоната кальция CaCO_3 (углекислая соль кальция) [4]



Карбонат кальция откладывается на внутренних поверхностях теплообменных аппаратов, в которых происходит испарение или нагревание воды, образуя твердые отложения (накипь). Твердые отложения в трубе Вентури представляют собой карбонат кальция с примесью оксидов железа и других составляющих конвертерной пыли. Присутствие оксидов железа обуславливает черно-бурый цвет отложений. Структура твердых отложений в трубе Вентури однородна, магнитными свойствами эти отложения не обладают. Следует отметить, что существуют условия и большая вероятность образования твердых отложений на внутренних поверхностях других аппаратов мокрой газоочистки, в частности скруббера, что вызывает необходимость систематического надзора за их состоянием.

Для предотвращения образования твердых отложений в трубе Вентури необходимо применять обработку воды ингибиторами или другие методы подготовки воды, подаваемой на орошение в аппараты мокрой газоочистки.

Макроскопический образец отложений пыли, отобранный на роторе нагнетателя, представляет собой твердый монолит темно-бурого цвета, обладающий магнитными свойствами. Химический состав этих отложений представлен в табл. 4.

Основная причина образования твердых отложений на элементах нагнетателя, расположенного в конце газоотводящего тракта конвертера, – осаждение высокодисперсных частиц конвертерной пыли. Средний медианный размер частиц пыли после газоочистки при отводе газов с частичным дожиганием CO составляет $0,3 \text{ мкм}$.

Методами рентгеновского анализа установлено, что в конце газоотводящего тракта конвертера основные фазы железа в конвертерной пыли – $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (маггемит), Fe_3O_4 (магнетит) и твердый раствор $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Fe}_3\text{O}_4$ с преобладанием в нем маггемита.

Для отложений на роторе нагнетателя конвертера № 2 ПАО «ЕМЗ» кроме феррошпинелей характерно присутствие цинка (массовая доля $\text{Zn}=8,6 \%$).

Шлам, отобранный из узла предварительного охлаждения (УПО) отходящих конвертерных газов, представляет собой смесь крупных фрагментов прочных твердых образований, состоящих из мелкодисперсных частиц. Основной особенностью шлама является высокое содержание металлического железа (39,42 %), вюстита FeO (25,7 %), SiO_2 (2,5 %), что свидетельствует о выносе из конвертера мелких брызг металла и шлака, оседающих в узле предварительного охлаждения газов. Шлам обладает магнитными свойствами.

Отложения шлама в переходном газоходе трубы Вентури представляют собой рыхлый влажный материал черного цвета с большими включениями желто-серых образований. Основными в шламе являются компоненты, характерные для конвертерной пыли при отводе газов с частичным дожиганием CO (FeO , Fe_2O_3 , $\text{Fe}_{\text{мет}}$).

Следует отметить сравнительно высокое содержание в шламе цинка, массовая доля которого составляет 5,6 %.

Проведенные исследования на ОАО «НТМК» и ПАО «ЕМЗ» позволяют сделать выводы о составе и свойствах отложений пыли в трубах Вентури и на элементах нагнетателей в составе газоотводящих трактов конвертеров и дать рекомендации по снижению образования этих отложений.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Установлены два механизма образования отложений в аппаратах газоочистки и на элементах тягодутьевого оборудования: карбонатные отложения; отложения высокодисперсных частиц оксидов железа (феррошпинелей).

2. Твердые отложения в трубах Вентури представляют собой карбонат кальция с примесью оксидов железа и других составляющих конвертерной пыли. Основной причиной образования в трубах Вентури твердых карбонатных отложений является большая кальциевая жесткость и гидратная щелочность воды, подаваемой на орошение в аппараты газоочистки. Для предотвращения образования твердых карбонатных отложений в трубе Вентури следует применять химическую обработку воды ингибиторами или другие методы подготовки воды, подаваемой в этот аппарат.

3. Основную массовую долю в отложениях на элементах нагнетателей конвертеров составляют феррошпинели $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и Fe_3O_4 , обладающие магнитными свойствами, высокой дисперсностью и плотностью частиц,

высокими адгезионными свойствами. Плотность и твердость связанных отложений зависит от соотношения содержания в них феррошпинелей и других составляющих пыли (выносимой потоком газов извести и других составляющих шихтовки плавки).

Наиболее выраженное влияние феррошпинелей на образование твердых связанных отложений пыли на элементах нагнетателя наблюдается при деванадациии чугуна (первая стадия дуплекс-процесса), проводящейся на конвертере № 4 ОАО «НТМК». Деванадацию чугуна необходимо проводить поочередно на всех конвертерах ОАО «НТМК», чередуя с выплавкой стали из полупродукта.

Образованию твердых отложений на элементах нагнетателя способствует увеличение влажности отходящих газов, которую следует поддерживать перед нагнетателем на минимально возможном уровне.

Досліджено процеси утворення відкладень пилу в апаратах газоочистки і тягодутьтвовому обладнанні кисневих конвертерів. На базі досліджень, що проведені у конвертерних цехах ВАТ «НТМК» і ПАТ «ЄМЗ», виявлено два різні механізми утворення твердих відкладень: карбонатні відкладення в апаратах мокрої газоочистки та відкладення високодисперсних часток оксидів заліза (ферошпинелей) на елементах нагнітача у складі газовідвідного тракту конвертера. Основною причиною утворення твердих карбонатних відкладень у трубі Вентурі є велика кальцієва жорсткість та гідратна лужність води, що подається на зрошення в апарати газоочистки. Основну масову частку у відкладеннях на елементах нагнітача конвертерів складають ферошпинелі $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ і Fe_3O_4 , що мають магнітні властивості, високу дисперсність та щільність часток, високі адгезійні і гідрофільні властивості. Надано рекомендації щодо мінімізації процесів утворення відкладень пилу на елементах нагнітачів і газовідвідних трактах конвертерів.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мантула, В.Д. Модернизация газоотводящих трактов кислородных конвертеров емкостью 160 т в условиях действующего производства / В.Д. Мантула, А.З. Рыжавский, А.Ю. Пирогов, Д.В. Семенов, Д.В. Романов // Экология и промышленность. – 2009. – № 4. – С. 46–50.
2. Чалый, Л.Г. Исследование влияния способов отвода и охлаждения газов сталеплавильных кислородных конвертеров на состав и физико-химические свойства пыли : дисс. ... канд. техн. наук. – М. : ЦНИИЧМ им. И.П. Бардина, 1978. – 202 с.
3. Бляссе, Ж. Кристаллохимия феррошпинелей : пер. с англ. / Ж. Бляссе. – М. : Металлургия, 1968. – 436 с.
4. Глинка, Н.Л. Общая химия / Н.Л. Глинка. – Л. : Химия, 1982. – 688 с.

Поступила в редакцию 15.04.2012

Processes of dust deposit formation in gas cleaning and draught equipment of BOF were investigated. Based on studies carried out in BOF shops of JSC "NTMK" and PbJSC "EMZ", it is revealed two different mechanisms of solid deposit formation: carbonaceous deposits in scrubbers and deposits of finely dispersed particles of iron oxides (ferrite spinel) on supercharger elements of gas-outlet duct of a converter. The main reason of solid carbonaceous deposits formation in a Venturi tube is high calcium hardness and hydrated alkalinity of water supplied for irrigation into gas cleaning apparatus. The main mass fraction in deposits on supercharger elements of converters is ferrite spinels $\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and Fe_3O_4 , having magnetic properties, high dispersion and density of particle, high adhesive and hydrophilic properties. Recommendations aimed at minimizing process of dust deposit formation on supercharger elements and gas-outlet ducts of converters are given.