



УДК 669.74

Поступила 02.11.2015

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛОЛОМА В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

## ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE USE OF SCRAP IN STEEL PRODUCTION

*С. В. КОРНЕЕВ, С. М. КАБИШОВ, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь*

*S. V. KORNEEV, S. M. KABISHOV, Belarussian National Technical University, Minsk, Belarus*

*Показаны основные экологические проблемы, возникающие при использовании металлического лома в сталеплавильном производстве. Представлены условия появления в выбросах электросталеплавильных печей вредных веществ и меры борьбы с ними. Показаны преимущества предварительной подготовки и очистки металлолома от примесей в качестве одной из мер по уменьшению вредных выбросов от сталеплавильных печей в атмосферу.*

*The article shows the major environmental problems arising from the use of scrap in steelmaking. Presented conditions appearance in the electric furnace emissions of harmful substances and their control measures. Shown the advantages of a preliminary preparation and cleaning impurities of metal as one of the measures to reduce emissions from the furnaces into the atmosphere.*

**Ключевые слова.** *Экология, дуговая сталеплавильная печь, металлический лом, предварительный подогрев, выбросы, дожигание, фураны, диоксины, подготовка лома.*

**Keywords.** *Ecology, electric arc furnace, preheat scrap metal, emissions, afterburning, furans, dioxins, preparing scrap.*

### Введение

В настоящее время снижение потребления энергетических и природных ресурсов и уменьшение отрицательного воздействия производства на окружающую среду входят в число основных приоритетов развития металлургических технологий и оборудования. Очевидно, что эти задачи тесно связаны между собой. Несмотря на высокий уровень внедрения новейших технических достижений, металлургические предприятия служат источниками вредных выбросов и крупными потребителями энергоресурсов. В связи с этим поиск рациональных методов, позволяющих улучшить ситуацию, является актуальным и целесообразным.

**Сопоставление различных технологий выплавки стали с точки зрения энергопотребления, связь энергопотребления и экологических параметров процесса**

Значительные объемы энергоресурсов, потребляемые металлургическими заводами, – основная причина увеличения выбросов парниковых газов и оксидов азота генерирующими установками. Поэтому разработка и внедрение технологий, обеспечивающих снижение энергопотребления на стадии выплавки стали, которая является одним из наиболее энергоемких технологических переделов черной металлургии, положительно отражается на общей экологической ситуации.

В условиях современных металлургических предприятий для получения стального расплава используются две основные технологии: передел жидкого чугуна и переплав стального лома. Следует отметить, что на практике технология выплавки стали и в кислородных конвертерах, и дуговых сталеплавильных печах зачастую включает элементы как первого, так и второго вариантов. Кроме того, в последние десятилетия все большее развитие получают технологии, связанные с применением при выплавке стали железа прямого восстановления (DRI) и горячебрикетированного железа (HBI). Данные шихтовые материалы характеризуются низкой концентрацией вредных примесей (S, P, Cu, Ni, Cr, Sn, и As), что по-

звояет получать высококачественную металлопродукцию. Но замена 1 % лома металлизированным сырьем при степени металлизации окатышей (горячебрикетированного железа) 92–93 % и содержании в них 4–5 % пустой породы требует ввода до 2 кВт·ч/т дополнительной энергии. И, напротив, замена 1 % стального лома передельным чушковым чугуном позволяет дополнительно ввести 1,1 кВт·ч/т энергии за счет окисления С и Si.

Чушковый чугун также имеет низкую концентрацию примесей цветных металлов, но более высокое содержание серы и фосфора, чем в стальном ломе. Значительное количество чугуна в шихте приводит к увеличению продолжительности плавки из-за необходимости дополнительного обезуглероживания. Кроме того, результатом увеличения расхода шлакообразующих при работе с применением DRI, HBI и передельного чугуна является рост энергопотребления.

Несмотря на более высокие качественные показатели, использование первородного сырья приводит к увеличению расхода энергии на получение 1 т металлопродукции, а также снижению производительности печей. Таким образом, применение металлического лома в электродуговых печах, как правило, требует меньших энергетических затрат.

Помимо снижения энергопотребления, использование металлолома в металлургическом производстве позволяет уменьшить экологическую нагрузку на месторождения руд, а также значительно сократить объемы выбросов вредных веществ в окружающую среду по сравнению с предприятиями полного цикла, где используется первородное сырье. Кроме того, уменьшается рассеяние различных металлов в природной среде вследствие необходимости сортировки лома с выделением отдельных металлов и сплавов и дальнейшего их использования. Но достижение указанного результата возможно только при организации эффективной системы сортировки и использовании специальных способов предварительной подготовки металлошихты.

Предварительная подготовка металлошихты, безусловно, требует как затрат труда, так и затрат энергоресурсов, однако получаемый эффект заключается не только в удалении вредных веществ, но и в повышении технико-экономических показателей плавки.

Например, из практики сталеплавильного производства известно, что на расход энергии влияет количество загружаемых бадей шихты. Считается, что загрузка каждой бады требует дополнительных затрат энергии около 8–15 кВт·ч/т. Очевидно, что количество подвалок будет напрямую зависеть от насыпной плотности и способа загрузки шихты. Плотная завалка шихты обеспечивается оптимальным соотношением различных видов лома. Как правило, в ДСП рекомендуется вводить 15–20 % мелкого лома, 40–50 % крупного и 30–45 % среднего. Форма и размер кусков лома определяют скорость плавления и соответственно расход энергии. Различие в размерах и наличие примесей может существенно повысить расход энергии (до 40–50 кВт·ч/т).

При легковесном ломе и небольшом количестве крупногабаритных кусков их размещают сверху некоторой части легковесного лома и в центральной части первой бады. Практический опыт также показал, что при шихтовке плавок высокопроизводительных дуговых печей следует ограничивать количество тяжеловесного кускового лома с размерами сечения 250×250 мм и более на уровне 20 %, так как даже уменьшение числа подвалок при большей доле такого лома не позволит компенсировать дополнительные затраты времени и энергии на его расплавление [1].

Одной из сложных проблем при переработке вторичных металлов является переработка легковесного, в частности, автомобильного, лома, поскольку такой лом содержит большое количество неметаллических материалов, а также цветных металлов. Наибольший расход энергии на обработку наблюдается при дроблении кузовов вместе с двигателем, шинами и сиденьями и составляет в среднем 27 кВт·ч/т, а наименьший – для сплюснутых кузовов – в среднем 16 кВт·ч/т. Но, во-первых, дробление позволяет в дальнейшем разделить автомобильный лом на три фракции: магнитную (черные металлы), воздушную (неметаллические материалы с низкой плотностью) и цветную, в которую входят все цветные металлы – алюминий, цинк, медь, а также нержавеющая сталь, во-вторых, сепарация минимизирует вероятность попадания в печь ПВХ материалов и резины.

Для анализа влияния дополнительной предварительной подготовки металлошихты перед плавкой на технико-экономические показатели были рассчитаны материальные и тепловые балансы плавок, а также рассмотрены производственные данные. Полученные результаты показали, что подготовка металлошихты приводит к уменьшению времени плавки на 5–6 мин, что, в конечном итоге, обеспечивает большую производительность ДСП. Кроме того, с учетом потребления электрической энергии на пресс-ножницах (удельный расход электроэнергии 15 кВт·ч/т) и другом оборудовании для подготовки металлошихты

(5 кВт·ч/т) снижение расхода электрической энергии при плавке перекрывает затраты на предварительную подготовку и составляет в среднем 40 кВт·ч/т. Следовательно, с точки зрения энергосбережения данные мероприятия являются эффективными.

**Условия и источники образования вредных выбросов при нагреве и плавлении металлолома в ДСП**

Выбросы, которые образуются в процессе выплавки стали в ДСП, можно условно разделить на две группы. К первой относятся вещества, которые являются неизбежными продуктами технологического процесса и количество которых можно уменьшить путем совершенствования технологии и оборудования. Для очистки газов от выбросов первой группы эффективно применяют классические схемы, включающие систему дожигания и различные фильтры.

Основным назначением системы дожигания является окисление угарного газа до состояния  $\text{CO}_2$ . Суммарный объем  $\text{CO}$  определяется количеством окисляемого углерода и интенсивностью продувки ванны кислородом, а также наличием устройств для дожигания  $\text{CO}$  в рабочем пространстве печи.

Задачей системы фильтров, применяемых в электросталеплавильном производстве, является снижение концентрации пыли до приемлемого уровня. Известно, что в процессе выплавки стали в электродуговых печах выделяется большое количество пыли, которое зависит от особенностей технологического процесса и изменяется в широких пределах: от 6 до 25 кг/т [2]. Состав пыли и скорость ее выделения также зависят от периода плавки и типа применяемого плавильного оборудования. Например, на количество оксидов железа, образующихся при горении дуг, оказывают влияние электрический режим плавки, состав атмосферы печи и другие факторы. В электродуговых печах переменного тока угар железа значительно выше, чем в печах постоянного тока.

Как показывает производственный опыт, в составе уловленной пыли также содержится значительное количество оксидов кальция, кремния, магния, источниками образования которых являются шлакообразующие, футеровка печи и примеси металлошихты. Концентрация фторидов в выбросах пропорциональна количеству плавикового шпата, подаваемого с известью в качестве компоненты шлакообразующих.

Для работников сталеплавильных цехов значительную проблему составляют также вторичные пылегазовые выбросы, которые невозможно полностью устранить. Данные выбросы возникают при выпуске металла, заправке печи и особенно при завалке шихты в печь с открытым сводом. При этом количество выбросов существенно зависит от засоренности металлошихты примесями.

Именно неметаллические примеси, содержащиеся в скрапе, являются причиной образования выбросов, которые следует выделить во вторую группу. Данные выбросы представляют собой продукты сгорания или иных химических процессов, происходящих в ДСП и системе дымоудаления с веществами, которые попадают в печь с засоренным металлоломом. Их концентрация в уходящих газах, как правило, невелика, но они могут представлять весьма серьезную опасность для людей и окружающей среды. Большинство систем газоочистки, действующих в электросталеплавильных цехах, не предназначено для качественного удаления газообразных веществ, что создает экологические проблемы в случае использования на предприятии засоренного лома.

Согласно СТБ 2026–2010, засоренность некоторых видов металлического лома безвредными примесями и маслами регламентируется и ограничена следующими значениями: 2АШР, 4А – 0,5 %; 2А, 6А, 8А, 11А – 1; 3А – 1,5; 1А, 5АК, 9А, 10А – 2; 5А, 7А, 10АС – 3; 6АМ, 7АМ, 15АМ – 5; 13А – 6%. Как показывает практика сталеплавильного производства, значительная часть неметаллических материалов, попадающих в металлолом, может представлять собой горючие вещества.

К основным загрязнителям металлошихты, способным к горению, относят резины, пластики, органическое стекло, покрытия в виде лаков и красок, масла и смазки и др. Как правило, это углеводороды, которые могут содержать различные добавки.

Полиэтилен, например, имеет температуру воспламенения 270 °С и при нагревании его на воздухе выше 120 °С возможно выделение в атмосферу летучих продуктов термоокислительной деструкции, содержащих уксусную кислоту, формальдегид, ацетальдегид, оксид углерода. Полиэтилентерефталат (ПЭТФ, ПЭТ, лавсан) имеет температуру плавления  $t_{\text{пл}} = 260$  °С и температуру разложения – 350 °С. Полная утилизация ПЭТФ производится управляемым сжиганием при температуре не менее 850 °С. Органическое стекло имеет температуру плавления 160 °С, температуру кипения 200 °С, температуру воспламенения 260 °С. Оргстекло при горении не выделяет ядовитых газов. Поливинилхлорид (ПВХ) имеет температуру плавления 150–220 °С, при температурах выше 110–120 °С склонен к разложению с выделением хлористого водорода. Некоторые виды специальных резин (например, маслостойкие) получают на основе хлоропренового каучука (наирита) и при их разложении также могут образовываться хлорсодержащие соединения.

Таким образом, высокотемпературное сжигание большинства примесей приводит к выделению относительно безвредных продуктов разложения, за исключением примесей, содержащих в составе хлор и некоторые другие соединения. Именно продукты сгорания или высокотемпературного разложения сложных органических веществ часто представляют серьезную опасность. Сталеплавильные цеха с ЭДП являются значительными источниками органических загрязнителей, таких, как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ), полихлорированные дибензо-*p*-диоксины (ПХДД) и полихлорированные дибензофураны (ПХДФ) и летучие органические соединения (ЛОС).

Эквивалент токсичности (ЭТ или *TEQ*) смеси различных загрязнителей определяется суммой концентраций отдельных составляющих (*C*), умноженных на их относительную токсичность (*TEF*). За единицу принята относительная токсичность 2,3,7,8-тетрахлородибензо-*p*-диоксина, сокращенно 2,3,7,8-*TCDD* ( $C_{12}H_4Cl_4O_2$ ) с температурой плавления 320–325 °С, который разлагается при температурах выше 750 °С.

Диоксины обладают мощным мутагенным, иммуноподавляющим, канцерогенным и другими действиями. Кроме того, они слабо расщепляются как в организме человека, так и в природной среде.

Учитывая перспективы строительства в условиях ОАО «БМЗ» электросталеплавильной печи с шахтным подогревом лома, особую актуальность приобретает анализ экологических рисков, связанных с возможностью образования из галогенсодержащих полимеров, которые могут содержаться в металлоломе, диоксинов и фуранов.

Для того чтобы оценить характер возможного выделения данных веществ, выполним некоторые предварительные расчеты. Воспользуемся рекомендациями относительно массовой скорости выгорания твердых горючих материалов, применяемых в пожарно-технических расчетах при оценке продолжительности пожара. Скорость выгорания большинства твердых горючих материалов примерно в 2–3 раза ниже, чем у жидкостей, и составляет, например для синтетического каучука 0,72 кг/(м<sup>2</sup>·мин), а для органического стекла и полистирола – 1,14 кг/(м<sup>2</sup>·мин) [3].

Используя приведенные данные, были рассчитаны времена выгорания твердых горючих примесей в количестве 1% от общей массы металлошихты для условий нагрева с различными размерами кусков и, следовательно, разной удельной поверхностью. Время выгорания примесей составило от 0,2 до 3,5 мин. Однако следует учитывать, что при нахождении указанных веществ в металлозавалке скорость выгорания примесей будет сильно зависеть от условий прогрева металла, т. е. от их местонахождения в шахте.

На рис. 1 приведены результаты расчета нагрева кусков малого и крупного сечения (в качестве малого сечения принята пластина толщиной 5 мм, а крупного сечения пластина толщиной 100 мм) при их обтекании потоком газа с температурой 1000 °С.

Как следует из рисунка, горению примесей может предшествовать инерционный период, характеризующийся высокой интенсивностью теплоотвода к нагреваемому металлу, на продолжительность которого непосредственное влияние оказывают температура и скорость греющей среды, а также размеры кусков металлошихты.

Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о том, что при предварительном подогреве лома, загрязненного различными примесями, завершенность процесса их выгорания будет зависеть от массивности кусков лома, температуры газов, способа укладки лома и времени нагрева, зависящего от того, до какой средней температуры необходимо подогреть металлошихту перед завалкой в печь.

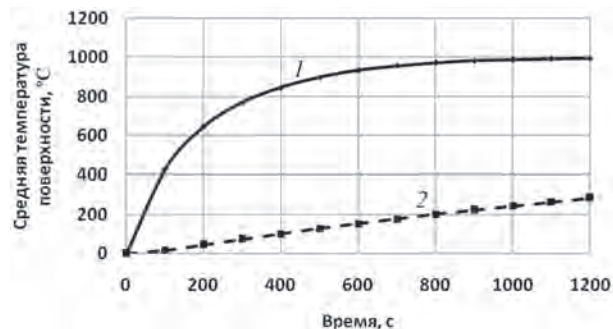


Рис. 1. Изменение температуры поверхности кусков металлолома при его нагреве газами с постоянной температурой 1000 °С: 1 – малое сечение; 2 – крупное сечение

Для исключения попадания вредных веществ в окружающую среду необходимо дожигание летучих органических соединений (ЛОС) до полного выгорания примесей. Эксперименты по моделированию дожигания летучих органических соединений из лома при предварительном нагреве показали, что ЛОС полностью окисляются, когда содержание кислорода в отходящем газе составляет по меньшей мере 4 %, температура газа выше 700 °С, а среднее время пребывания газов в установке дожигания больше, чем 0,3 с [4]. Эти условия должны быть выполнены для

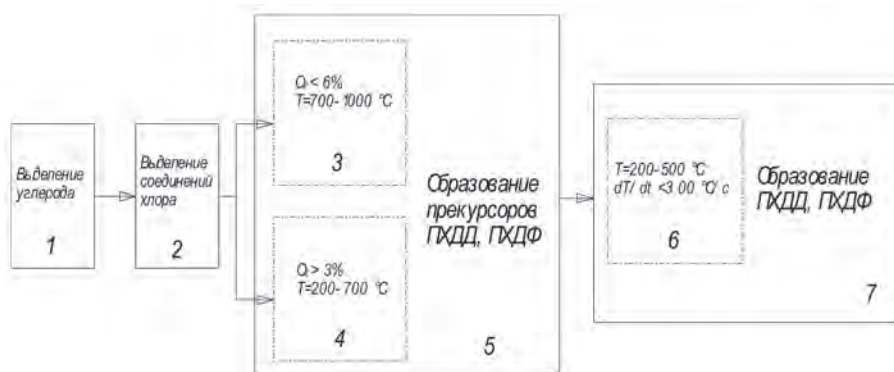


Рис. 2. Схема образования ПХДД и ПХДФ: 1 – формирование реакционного углерода; 2 – формирование реакционного хлора; 3, 4 – условия формирования прекурсоров ПХДД и ПХДФ; 5 – формирование прекурсоров ПХДД и ПХДФ; 6, 7 – условия и этап формирования ПХДД и ПХДФ

любой промышленной установки дожигания. Дожигание ЛОС в обычных установках предварительного нагрева лома происходит в отдельной камере сгорания.

Следует отметить, что, помимо системы шахтного подогрева, источниками выбросов диоксинов и фуранов служат также ДСП. Выбросы значительны в течение фазы начала плавления лома, когда температура еще низкая. Диоксины и фураны повторно образуются также при низких температурах (250–500 °С) из хлорорганических соединений с помощью вторичного синтеза, катализатором которого являются некоторые металлы. Имеющиеся данные указывают, что профиль распределения температур более важен, чем средняя температура при определении концентрации диоксинов и фуранов в отходящих газах [5]. В отличие от многих других вредных соединений для минимизации выбросов в окружающую среду диоксинов и фуранов дожигание ЛОС не является достаточным.

Разделяют три механизма формирования диоксинов и фуранов [4]: микрозагрязнители формируются путем прямого синтеза из конкретных реагентов (хлорбензол или полихлорированный бифенил), присутствующих в загруженных материалах; в результате термической деградации или трансформации органических веществ в ароматических соединениях с двумя кольцами при высокой температуре (600–850 °С); новосинтезом из прекурсоров при более низкой температуре (200–500 °С).

Процесс новосинтеза включает в себя первоначально частичную газификацию органических соединений и взаимодействие между кислородом и углеродом, после чего происходит формирование прекурсоров (предшественников) ПХДД/Ф и, наконец, при взаимодействии с хлором – синтез ПХДД и ПХДФ (диапазон температур 200–500 °С). Общая схема образования ПХДД и ПХДФ показана на рис. 2.

Как следует из рисунка, для минимизации выбросов в окружающую среду ПХДД и ПХДФ можно использовать различные способы:

- сократить количество исходных реагентов, например, при предварительной подготовке металлошихты с отделением хлорсодержащих материалов и органических веществ;
- обеспечить отсутствие необходимых условий для образования прекурсоров ПХДД и ПХДФ;
- обеспечить отсутствие необходимых условий для образования ПХДД и ПХДФ из их прекурсоров;
- поглотить ПХДД и ПХДФ при помощи адсорбентов и очистить газы от частиц загрязненного адсорбента до их попадания в атмосферу.

Анализ технологий, применяемых в мире, показал, что для сокращения вредных выбросов могут применяться как отдельные способы из числа перечисленных, так и комплексные варианты.

Недостатком наиболее распространенного способа, включающего дожигание загрязненных газов с последующим быстрым охлаждением продуктов сгорания газов, является снижение эффективности классических систем теплоутилизации, применяемых в электросталеплавильном производстве. В связи с этим большое значение приобретают технологии подготовки металлошихты к плавке, которые обеспечивают удаление источников образования вредных выбросов.

#### **Основные технологические решения для снижения выбросов вредных веществ при предварительном нагреве металлошихты**

В настоящее время существуют два основных способа нагрева металлошихты: предварительный нагрев металлошихты в корзинах (бадьях) и интегрированный нагрев в совмещенных с печью камерах.

Причем способ нагрева в бадьях как удаляемыми из электродуговых печей газами, так и продуктами сгорания природного газа, сжигаемого в самих установках, не получил широкого распространения. Связано это с относительно невысоким температурным уровнем подогрева по причине ограниченной стойкости самих корзин и с экологическими проблемами, возникающими при реализации данного процесса. Особенно это касается выделения вредных веществ в атмосферу цеха при перемещении корзин с подогретым ломом и загрузке металлошихты в ЭДП в случае неполного выгорания примесей.

Второй способ предусматривает нагрев металлошихты либо непрерывным процессом, как в процессе Consteel, либо порционным нагревом в установках шахтного типа.

В агрегатах шахтного типа камера подогрева отделена от ванны специальными устройствами: толкателями или удерживающими пальцами, которые позволяют проходить печным газам и обеспечивают подачу шихты в зону плавления в нужное время. Дуговые печи, работающие с подогревом лома, характеризуются меньшим выделением пыли с технологическими газами, что связано в основном с фильтрующим действием подогреваемого лома.

В печах с предварительным подогревом используют две схемы удаления печных газов: по первой схеме дымовые газы отводятся непосредственно на газоочистку (система без рециркуляции газов); по второй схеме газы возвращаются в камеру дожигания (система с рециркуляцией газов).

Наряду с некоторыми преимуществами системы без рециркуляции газов имеют принципиальный недостаток, который выражается в применении только чистого лома, не содержащего масел, пластмасс и других веществ. В противном случае печные газы загрязняют атмосферу цеха и могут создать взрывоопасную ситуацию, поступая в газоотводящий тракт.

В соответствии со Стокгольмской конвенцией о стойких органических загрязнителях, ратифицированной РБ 27 июня 2011 года, законодательство об охране окружающей среды стран Европы и СНГ требует ограничивать концентрацию диоксинов и фуранов на выходе из источника выбросов и применять для этого наилучшие имеющиеся методы. Это ограничивает применение средств теплоутилизации удаляемых из печей газов и, в частности, установок подогрева металлошихты, используемых без специальных средств снижения токсичности.

В ТКП 17.08-13-2011 приведены данные об удельных показателях выбросов при выплавке стали в электродуговых печах [6]. Например, без предварительной подготовки лома и низком или среднем уровне очистки отходящих газов (в скруббере) удельные выбросы диоксинов/фуранов составляют 10 мкг ЭТ/т стали, а с предварительной подготовкой лома либо использованием чистого железа или с использованием специальных мер по снижению выбросов диоксинов/фуранов – 0,2 мкг ЭТ/т стали.

Для очистки газов от диоксинов и фуранов применяют дорогостоящее оборудование, обеспечивающее дожигание и очистку печного газа от пыли и аэрозолей, на которых адсорбируются диоксины, например, в скрубберах типа «Airfine» [7].

Следует отметить, что технология дожигания удаляемых из электродуговой печи газов с последующим быстрым охлаждением была многократно опробована в производственных условиях и доказала свою эффективность в борьбе с выбросами вредных веществ [8]. В качестве примеров применения данной технологии можно привести BSW (г. Кельн, Германия); Salzgitter AG (г. Пайне); В. Е. S. (г. Бранденбург, Германия); HSE Henningsdorfer Stahl Engineering GmbH (г. Хеннингсдорф, Германия); DEW (Германия); ArcelorMittal (г. Гамбург, Германия); Gerlafingen Stahl AG (Швейцария); ArcelorMittal (г. Диффранж, Люксембург).

Например, на заводе BSW до 1989 г. концентрация диоксинов составляла около  $0,3 \text{ нг/м}^3$ , после внедрения быстрого охлаждения разбрызгиванием воды за печью снизилась до  $0,07 \text{ нг/м}^3$  (т. е. в 4 раза), а после внедрения двухступенчатой системы с высокотемпературным дожиганием газа и камерой быстрого охлаждения до  $150\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$  – до  $0,03 \text{ нг/м}^3$  (т. е. в 10 раз) [9].

Снижения выбросов диоксинов и других вредных соединений можно также добиться с помощью адсорбирующих материалов в сочетании с рукавными фильтрами. В качестве адсорбентов, как правило, используются активированный уголь, пылевидный активированный буроугольный кокс или их смеси с известью, которые подаются в газопровод перед системой газоочистки [8]. Данная технология позволяет также удалять существенное количество тяжелых металлов и некоторое количество ртути из газовой фазы. Такая технология была внедрена с 1997 г. Arcelor Mittal на трех заводах в Люксембурге, Swiss Steel на заводах Швейцарии и Германии, ряд других компаний используют эту технологию в Германии и Бельгии.

Вдувание адсорбента в отходящие печные газы – один из самых дорогих способов очистки, однако в сочетании с другими способами обеспечивает снижение содержания диоксинов до уровня менее  $0,1 \text{ нг/м}^3$ .

В настоящее время шахтные электродуговые печи часто оснащают устройствами для борьбы с выбросами диоксинов. Например, для одновременного решения двух задач, а именно снижения себестоимости и защиты окружающей среды, компания JP STEEL PLANTECH Co. разработала электродуговую печь нового поколения ECOARC™ [10]. Преимущества печи ECOARC в сравнении с традиционными конструкциями электродуговых печей: низкое потребление энергии (200 кВт·ч/т при использовании 40 нм<sup>3</sup>/т кислорода); низкий расход материала электродов (0,8–1,0 кг/т); низкий уровень выбросов диоксинов, низкий уровень запыления; низкий уровень импульсных помех и гармоник в электросети и др. Объем отходящего газа в печи снижен благодаря полугерметичной конструкции печи и газоходов отходящих газов. В Японии установлены три установки начиная с 2000 г.: Kishiwada Steel, 70 т, 2001 г.; JFE Bars & Shapes / Himeji Works, 140 т, 2005 г.; JFE Bars & Shapes / Sendai Works, 130 т, 2008 г. В 2010 г. запущена установка Dongkuk Steel / Incheon Works, 120 т в Южной Корее, в 2012 г. – UMC Metals, 70 т в Таиланде [10].

### Выводы

1. Современные технологии переплава стального лома позволяют добиться существенной экономии энергоресурсов, что положительно отражается на суммарных объемах выбросов и сбросов, образующихся при производстве металлопродукции.

2. Наиболее рациональным с точки зрения энергоэффективности и экологической безопасности является вариант внедрения систем предварительного подогрева лома при обязательной организации его качественной подготовки к плавке, чтобы исключить вероятность попадания в шахту или печь галогенсодержащих материалов, которые могут привести к образованию диоксинов и фуранов.

3. Применение металлолома без предварительной подготовки требует дополнительных затрат на систему дожига и быстрого охлаждения образующихся газообразных продуктов, что минимизирует концентрацию вредных веществ в выбросах, но ухудшает энергетические показатели процесса, так как не позволяет эффективно использовать классические системы теплоутилизации.

### Литература

1. Се м и н, А. Е. Плавление лома и предъявляемые к нему требования / А. Е. Семи́н, В. Н. Супрун // Рынок вторичных металлов. 2007. № 2. С. 40–45.
2. Ло п у х о в, Г. А. Переработка электросталеплавильной пыли // Электromеталлургия. 2001. № 1. С. 47–48.
3. Г р и н и н, А. С. Экологическая безопасность: учеб. пособ. / А. С. Гринин, В. Н. Новиков. М.: Гранд, 2001. 296 с.
4. F i s h e r, R., B r i g g s A. M. W., B a k e r S. S. et al. Effects of operational factors on the formation of toxic organic micropollutants in EAF steelmaking // EUR 21432 – Steelmaking processes. Luxembourg. 2005. 154 p.
5. P r ü m, et al. Reducing dioxin emissions in electric steel mills // MPT international. 2005. Vol. 1. N 2005. P. 36–42.
6. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосфера. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Правила расчета выбросов стойких органических загрязнителей ТКП 17.08-13-2011 (02120). Минск, 2011. 44 с.
7. Хо ф ш т а д л е р, К. Система «Эрфайн» для удаления диокси́на из отходящих газов аглопрои́зводства и электродуговых печей / К. Хофштадлер, В. Геберт, К. Ланцершторфер // Сталь. 2001. № 12. С. 81–84.
8. Л и с и е н к о В. Г., Щ е л о к о в Я. М., Л а д ы г и ч е в М. Г. Сооружение промышленных печей. Проектирование плавильных комплексов: Справ. изд. Кн. 2. Т. I. М.: Теплотехник, 2006. 755 с.
9. Е л а н с к и й Г. Н., М е д в е д е в М. Н. Диоксины – экологическая опасность // Сталь. 2000. № 2. С. 82–86
10. S u g a s a w a, T., K a t o H., S a t o Y. The most advanced power saving technology in EAF introduction to ECOARC™ // 5th EFRS IRON&STEEL SYMPOSIUM / UCTEA, 2014, 10 p.

### References

1. S e m i n A. E., S u p r u n V. N. Plavlenie loma i pred'javljajemye k nemu trebovaniya [Melting scrap and requirements applied to him]. *Rynok vtorichnyh metallov = Secondary metals market*, 2007, no. 2, pp. 40–45.
2. L o p u h o v G. A. Pererabotka elektrostaleplavil'noj pyli [Recycling electric steel dust]. *Elektrometallyrgiya = Electrometallurgy*. 2001, no. 1, pp. 47–48.
3. G r i n i n A. S., N o v i k o v V. N. *Ikologicheskaja bezopasnost'* [Environmental safety]. Moscow, Grand Publ., 2001. 296 p.
4. F i s h e r R., B r i g g s A. M. W., B a k e r S. S. et al. Effects of operational factors on the formation of toxic organic micropollutants in EAF steelmaking. EUR 21432 – Steelmaking processes. Luxembourg, 2005. 154 p.
5. P r ü m, et al. Reducing dioxin emissions in electric steel mills. MPT international, 2005. Vol. 1, no. 2005, pp. 36–42.
6. *Ohrana okruzhajushhej sredy i prirodopol'zovanie. Atmosfera Vybrosy zagryznojajushhih veshhestv v atmosferyj vozduh. Pravi-la rascheta vybrosov stojkih organicheskikh zagryznitelej* [Protection of the environment and nature. Atmosphere Emissions of pollutants into the air. TAP 17.08-13-2011 (02120). Minsk, 2011. 44 p.
7. H o f s h t a d l e r K., G e b e r t B., L a n t s e r s h t o r f e r K. Sistema «Erfajn» dlja udalenija dioksina iz othodjashhih gazov agloproizvodstva i jelektrodugovyh pechej [The system «Erfajn» to remove dioxins from flue gases sinter plant and electric arc furnaces]. *Stal' = Steel*, 2001, no. 12, pp. 81–84.

8. Lisenko V. G., Schelokov Ya. M., Ladygichev M. G. *Sooruzhenie promyshlennyh pechej. Proektirovanie plavil'nyh kompleksov: Spravochnoe izdanie. Kniga 2, tom I* [The construction of industrial furnaces. Design melting complexes: Book 2, Volume I]. Moscow, Teplotekhnik Publ., 2006, 755 p.

9. Elansky G. N., Medvedev M. N. Dioksiny – jekologicheskaja opasnost' [Dioxins – ecological danger]. *Stal' = Steel*, 2000, no. 2, pp. 82–86.

10. Sugawara T., Kato H., Sato Y. The most advanced power saving technology in EAF introduction to ECOARC™ // 5th EFRS IRON&STEEL SYMPOSIUM. UCTEA, 2014, 10 p.

#### **Сведения об авторе**

*Кабешов Сергей Михайлович*, Белорусский национальный технический университет, пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь. E-mail: boxsmk@gmail.com. Тел. моб.: +375 29 768 17 78.

#### **Information about the authors**

*Kabishov Sergey*, Belarusian National Technical University, 65, Nezavisimosti ave., Minsk, 200013, Belarus.

E-mail: boxsmk@gmail.com. Tel.: +375 29 768 17 78.