

Устойчивое развитие и рециклинг отходов в черной металлургии

Негативное влияние на степень устойчивого развития Украины оказывает ее металлургическая отрасль. Рециклинг отходов черной металлургии становится одной из приоритетных задач предприятий, что связано с охраной окружающей среды и постоянным ростом цен на первичное сырье. В статье рассмотрены наиболее используемые технологии переработки отходов черной металлургии и варианты дальнейшего их использования.

Ключевые слова: сталь, металлургия, производство, шлак, пыль, отходы, утилизация

Технологические требования и экологические нормативы мирового сообщества к металлургическому производству с каждым годом ужесточаются. Украине, входящей в десятку основных производителей металлургической продукции, чтобы соответствовать международным стандартам необходимо ускоренными темпами модернизировать отрасль и не забывать об истощении природных сырьевых запасов.

Если опираться на принципы устойчивого развития, то эффективность использования ресурсов в последние годы является почти главенствующей темой экологической стратегии в производственных схемах. Возникла необходимость перехода от контроля над загрязнением к предотвращению загрязнения, необходимо идти к более чистому производству. При этом нужно отходы и выбросы рассматривать как потенциальные ресурсы, которые могут быть преобразованы в дополнительные материалы для использования в производстве.

В таблице 1 приведены основные виды отходов, типичное удельное количество и приближительная оценка образования их во всем мире [1].

Общая оценка образующихся твердых техногенных отходов в Украине составляет более 1 млрд т, которые находятся в большей части в накопителях, объемом в пределах 25 млрд т. На складирование отходов расходы превышают 20 % себестоимости продукции [2].

Из всего количества образующихся в Украине отходов и вторичных материальных ресурсов (ВМР) наибольшая доля приходится на предприятия горно-металлургического комплекса (ГМК) – более 120 млн т в год. Они распределяются следующим образом, в %: горнорудные предприятия – до 70, металлургические – около 25, коксохимические – до 3, ферросплавные – 1,6, другие – от 0,16 до 0,4.

Уровень утилизации отходов и использование ВМР среди предприятий ГМК составляет в среднем 40 % от их образования, остальная масса находится в отвалах и полигонах, создавая напряженную экологическую ситуацию. В то же время Евросоюз, США и Япония используют ВМР на уровне 60-80 %, получая 20 % всего алюминия, 30 – железа, до 50 – свинца и цинка, 40 – меди и других полезных компонентов.

Опыт таких стран свидетельствует о том, что переработка и использование ВМР в 5-15 раз дешевле разработки природных месторождений. Кроме того, переработка отходов производства обеспечивает не только экономию используемого первичного сырья для металлургических процессов, но и дает экономию затрат на утилизацию и ликвидацию отходов.

Большую часть металлургических отходов составляют шлаки (при выплавке чугуна и стали образуется в среднем до 25 %). Объемы сталеплавильных шлаковых отвалов в Украине огромные. По имеющимся данным они составляют свыше 100 млн т (с содержанием железа более 14 %), а доменных (с содержанием железа 5-7 %) – более 70 млн т. Большая часть шлака реализуется как конечный продукт, что позволяет сэкономить природные сырьевые материалы: гравий, песок, камень. Шлаковые продукты используются в качестве строительного материала или удобрения, в цементной промышленности.

Технологические процессы переработки металлургических шлаков традиционно подразделяют на два основных направления: переработка в расплавленном состоянии и переработка затвердевающих шлаков – текущих и отвальных. В жидком состоянии перерабатываются в основном доменные шлаки.

В последние годы наиболее эффективными в технологическом, экономическом и эксплуатационном отношении становятся процессы получения шлаковой продукции непосредственно из жидких шлаков без стадии охлаждения, вылеживания и последующей механической обработки, например, на агрегатах барабанного типа.

Перспективным, считают авторы [3], является способ переработки шлаковых расплавов методом воздушной грануляции. Он заключается в диспергировании организованной струи шлакового расплава потоком газа-воздуха, аргона, пара и других с подачей воды или без нее, последующим охлаждением и сбором диспергированных частиц шлака.

Важный момент в данной технологии – это организация эффективного взаимодействия потоков расплава и газа-энергонесителя, в результате которого осуществляются дробление расплава и охлаждение частиц. Сравнение затрат на мокрую, полусухую и воздушную грануляции шлаковых

Основные отходы металлургического производства, их удельное и общее количество

| Источник | Основные типы отходов | Загрязнитель | Удельное количество, сухое, кг/т стали | Общеплановое количество, 1000/г. | Рециклинг | Общее обрабатываемое количество, т/г. |
|--|--|--|--|----------------------------------|---|---------------------------------------|
| Металлургические комбинаты | отсортированная мелочь (руда, агломерат, кокс) вторичная пыль | незначительный низкий | 50-70 | 50000 | 100 % агломерат (реализация) | – |
| | | | 8-10 | 7000 | 30 % агломерат (C _{связ.}) | 5000 |
| | доменная пыль | низкий | 15-20 | 13000 | 80 % агломерат (C _{связ.}) | 2600 |
| | доменный шлам | Zn (до 3 %) | 15-20 | 13000 | 40 % агломерат (C _{связ.}) | 8000 |
| | кислородно-конвертерные пыль-шлам | Zn(до 3 %) | 15-30 | 16000 | 50 % агломерат (C _{связ.}) | 8000 |
| | сухая окалина (непрерывная разливка, стан горячей прокатки) | низкий | 12-18 | 12000 | 100 % агломерат (C _{связ.}) | – |
| | промасленная окалина/шлам (станы горячей и холодной прокатки) | масла | 3-5 | 3000 | 20 % агломерат (C _{связ.}) | 2400 |
| | агломерационная пыль | Cl, S, диоксины | 3-5 | 3000 | 30 % агломерат (C _{связ.}) | 2000 |
| | травильные отходы | кислоты | 1-2 | 1000 | | 1000 |
| <i>Итого</i> | | | <i>120-180</i> | <i>18000</i> | <i>75 %</i> | <i>29000</i> |
| Электросталеплавильные агрегаты для производства углеродистой стали | пыль ЭДП | Zn, тяжелые металлы, диоксины масла | 15-20 | 7000 | 50 %, вальц-процесс (C _{связ.}) | 3500 |
| | | | 8-12 | 4000 | 30 % (C _{связ.}) (реализация) | 1200 |
| | окалина (непрерывная разливка, станы горячей и холодной прокатки) прокатный шлак/отстой (станы горячей и холодной прокатки) | масла | 2-4 | 1000 | 20 % | 800 |
| <i>Итого</i> | | | <i>30-55</i> | <i>13000</i> | <i>58 %</i> | <i>4500</i> |
| Электросталеплавильные агрегаты для производства коррозионно-стойкой стали | пыль ЭДП | Zn, Cr, тяжелые металлы, диоксины | 10-15 | 300 | 80 % SAF (прочие) | 60 |
| | | | 5-8 | 150 | 40 % SAF (прочие) | 100 |
| | пыль/шлам АОД-процесса окалина (станы горячей и холодной прокатки, травильные агрегаты) | Cr, Zn масла, S, F | 5-8 | 150 | 70 % SAF (прочие) | 50 |
| | прокатный шлак/отстой станы горячей и холодной прокатки) | масла | 1-2 | 50 | 40 % SAF (прочие) | 30 |
| | прочие | масла, кислоты и др. | 2-3 | 70 | 30 % | 50 |
| <i>Итого</i> | | | <i>25-35</i> | <i>720</i> | <i>60 %</i> | <i>290</i> |

расплавов показывает, что последняя в 1,5-2,0 раза экономичнее.

Необходимо отметить, что разработанные технологии переработки шлаков в жидком состоянии способствуют энергосбережению, поскольку утилизируют тепло шлакового расплава, используемое для промышленного производства и коммунального хозяйства. По расчетам в 1 т шлакового расплава при температуре 1600 °С аккумулировано около 1,8 ГДж тепловой энергии.

Авторы работы [4], используя комплексный подход к утилизации сталеплавильных шлаков с предварительным восстановлением железа из расплава и последующим охлаждением металлической и шлаковой части, снизили энергозатраты на восстановление за счет использования тепла шлака и упростили конструкцию жидкофазного агрегата.

Для переработки продуктов шлакового расплава хорошо зарекомендовала себя технология пневматического разделения материалов по плотности и

крупности частиц. Основным фактором, усложняющим технологию первичной переработки распадающегося шлака, является кинетика силикатного распада.

Частично металлургические шлаки возвращаются в плавильный процесс, что позволяет сэкономить на шлакообразующих агентах. Использование подготовленных конвертерных шлаков дает возможность сэкономить шихтовые компоненты и сократить длительность плавки.

Применение каждого килограмма шлаков при производстве одной тонны чугуна позволяет сэкономить 0,42 кг сырого известняка, 0,36 – железорудного сырья и 0,11 – кокса. При использовании отмагниченного из шлака скрапа также можно дополнительно сэкономить, в кг: 0,82 – железорудного сырья; 0,18 – сырого известняка; 0,17 – кокса; сократить удельный выход шлака на 0,94 кг [5].

Кроме железа в конвертерных шлаках имеется значительное количество оксидов кальция, магния, марганца, использование которых даст экономию флюсов, известняка и марганецсодержащих компонентов шихты.

При загрузке уже подготовленного шлака в печь происходит разрыхление столба шихты и улучшение его газопроницаемости. При этом повышается эффективность десульфурации чугуна за счет формирования основного доменного шлака в горне печи, что улучшает технологические показатели эксплуатации доменной печи.

Шлаки электродуговой плавки, а также шлаки агрегата ковш-печь можно вторично использовать в печи, что позволит уменьшить потери металла в виде корольков и мелких скрапин, ускорит формирование нового печного шлака и несколько уменьшит расход энергии на плавку. Шлаки из агрегата ковш-печь можно вводить в любом количестве при выплавке стали в ДСП благодаря высокой основности и полному отсутствию в них фосфора. Оценочные расчеты показывают, что повторно в ДСП может быть использовано до 50 % основного окисленного печного шлака [6].

Из результатов исследований влияния замены известняка тонкомолотым гранулированным шлаком видно существенное сокращение выбросов CO₂ при неизменном качестве металла.

Большая часть шлака, оказывающаяся в отвалах, образуется при внепечной обработке высоколегированных сталей в электродуговых печах. Подобный шлак трудно использовать из-за характеристик выщелачивания и недостаточного постоянства состава [7].

Кроме шлака, в ГМК ежегодно образуется 100 млн т металлургических отходов, переработка которых представляет определенные трудности, например, шлам масляной прокаткой окалины или пыль, составляющая 1-2 % сырьевых материалов, вводимых в плавильный агрегат. В целом в системах газоочистки улавливается пыли около 20 кг/т стали в конвертерном процессе и 15-25 кг/т стали в электросталеплавильном производстве. Большая часть сталеплавильной пыли не перерабатывается, а идет в хранилища [8]. На тканевых фильтрах

систем газоочистки улавливается лишь 70 % общего выноса пыли, следовательно, значительная ее часть попадает в атмосферу.

Состав пыли непосредственно связан с химическим составом используемой металлошихты. Поскольку все процессы сталеплавильного производства протекают при температурах выше 1600 °С, то металлы: цинк, свинец, кадмий, присутствующие в шихте, практически полностью переходят в газовую фазу и накапливаются в фильтрах газоочисток. Составы пыли сталеплавильного производства представлены в таблице 2. Наиболее ценными компонентами сталеплавильной пыли являются железо и цинк. В электросталеплавильной пыли цинк находится в виде феррита цинка ZnFe₂O₄ (29 %) и цинкита ZnO (2 %) [9].

Таблица 2

Состав пыли сталеплавильного производства, %

| Компоненты | Конвертерное производство | Электросталеплавильное производство |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Fe | 41,0-73,0 | 20,0-55,0 |
| Zn | 0,2-4,2 | 10,0-35,0 |
| C | 0,4-4,3 | 0,2-5,0 |
| Pb | 0,2-1,0 | 1,0-8,0 |
| S | 0,04-0,3 | 0,02-3,00 |
| SiO ₂ | 0,8-2,0 | 1,5-10,0 |
| CaO | 3,0-20,0 | 3,0-17,0 |
| MnO | 0,4-1,4 | 2,5-6,0 |
| Na ₂ O | 0,7-1,0 | 1,5-2,0 |
| K ₂ O | 0,6-5,8 | 1,0-1,5 |
| Cl | 0,1-3,3 | 0,3-6,8 |
| Al ₂ O ₃ | 0,1-0,33 | 0,3-10,0 |
| F | 0,08-0,96 | 0,2-0,5 |
| MgO | 0,15-1,50 | 3,5-27,0 |
| Cd | – | 0,05-0,2 |

Сложность изучения состава электросталеплавильной пыли состоит в необходимости использования нескольких методов анализа – химического и физического, элементных и фазовых [10].

Отходы с малым содержанием цветных металлов чаще всего утилизируются в аглошихте. Но в пыли газоочисток электросталеплавильных печей содержится цинка до 35 %, что говорит о высокой ценности пыли в качестве сырья для получения цинка. При этом переработке подвергается лишь третья часть всей образующейся пыли, остальная идет в отвалы, негативно воздействуя на окружающую среду.

В промышленном масштабе наибольшее распространение получили пирометаллургические методы переработки железосодержащих отходов. В основе этих методов лежит процесс восстановления оксида цинка при 1000-1200 °С, при температуре выше точки кипения металлического цинка (~906°С), что обеспечивает выделение его в парообразном состоянии и последующую возгонку. Наиболее распространен процесс переработки во вращающейся трубчатой печи, известный как вальц-процесс (80 % всей

перерабатываемой пыли). Конечным продуктом данной технологии является сырой оксид цинка с большим содержанием примесей (Pb, Cd и др.), который отправляют в цинковое производство [11].

Недостатки вельцевания заключаются в: большом расходе топлива; необходимости содержания в пыли не менее 4 % Zn; регулировании температуры и состава шихты; безвозвратной потере железа (содержание FeO достигает 50 % массы шлака).

Имеется еще ряд используемых технологических процессов утилизации железозинкосодержащих шлаков и пылей: технология FASTMELT – металлизация окатышей или брикетов в печи с вращающимся подом, и в дальнейшем – получение чугуна в ЭДП, (разработчиками являются компании Midrex Technologies Inc. (США) и Kobe Steel, Ltd (Япония)). Подобный процесс используют также Inmetco (США) и Paul Wurth S.A. (Люксембург).

Меньшее распространение в промышленности получил процесс переработки сталеплавильной пыли, разработанной компанией Paul Wurth, различные установки Primus.

Технология PRIMUS – металлизация неокискованных дисперсных отходов в многоподовой печи с последующей выплавкой чугуна в ЭДП. Цинк и свинец восстанавливаются до металла, испаряются, снова окисляются газом и выносятся с отходящими газами, а затем улавливаются в газоочистке (до 95 %).

Двухступенчатый процесс Primus позволяет осуществить полное восстановление цинка, свинца, о большей части железа с образованием небольшого количества чистого шлака.

Для переработки пыли конвертерного производства и других железосодержащих отходов (окалина, мелкий скрап, шламы доменной печи), эффективным является процесс OXYCUP компании Kuttner [12]. Агрегат представляет собой кислородную вагранку. Продуктами процесса являются чугун, по качеству близкий к доменному (0,52-1,1 % Si; 0,07-0,48 % S; 3,71-4,33 % C), и шлак. Подобные технологии используют на ряде предприятий [13, 14, 15].

Рядом компаний были разработаны и внедрены технологии переработки железосодержащих отходов с использованием плазмы (SconAre, ScanDusst и др.). Эти процессы пригодны для всех видов металлургических пылей и шламов, имеют высокий коэффициент использования энергии, но в то же время требуют значительных капитальных вложений.

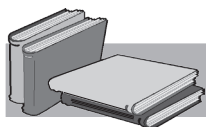
Разработаны и гидрометаллургические способы утилизации пыли ДСП с получением цинка и свинца при обработке шламов кислотами и щелочами. Из работающих процессов известен метод EZINEX компании Engitec Tecnologies S.p. A. (Италия). Гидрометаллургические способы не получили широкого промышленного применения из-за высоких эксплуатационных затрат и загрязнения окружающей среды.

Оценивая современное состояние и перспективы переработки металлургических шлаков, можно сделать вывод, что они являются пополняемым сырьевым ресурсом для производства. Уровень созданного технологического оборудования обеспечивает полную переработку отвальных шлаков, а новые технологические решения по переработке шлаков в жидком состоянии позволяют практически исключить вывоз металлургических шлаков в отвалы и полностью использовать в промышленности.

Вопрос о механизме генерации пыли в металлургических процессах остается нерешенным. Необходимо исследование кинетики и механизма локальных процессов на границе металл-газ в высокотемпературных зонах сталеплавильных агрегатов. По всем данным, количество выносимой пыли тесно связано с процессом обезуглероживания ванны.

Использование в промышленности технологии переработки пыли и шламов дальнейшего распространения не получают, и большая часть отходов направляется в отвалы. Это обусловлено тем, что данные технологии связаны с высокими капитальными и эксплуатационными затратами. Процесс переработки пыли и шламов должен быть достаточно простым, компактным, легко встраиваемым в технологический цикл предприятия. Он должен решать проблему полной утилизации пыли, с получением, возможно, товарного цинка и возвращением железосодержащего продукта сразу в производство стали.

Безусловно, одна из ключевых проблем металлургии, это достижение «нулевых отходов». Однако прогнозы развития современной металлургии не дают оснований надеяться на то, что в ближайшее время будут найдены принципиально новые методы устранения большого количества отходов. Поэтому они должны рассматриваться, прежде всего, как техногенные ресурсы, не уступающие по своей ценности природным.



ЛИТЕРАТУРА

1. Технологии оптимального рециклинга отходов черной металлургии / Г. Хансман, П. Фонтана, А. Чиапперо и др. // Черные металлы, октябрь 2008 г. – С. 32-37.
2. Назюта Л. Ю., Смотров А. В., Губанова А. В. Производственная логистика металлургических предприятий в контексте стратегии сбора, переработки и утилизации отходов металлургического производства // Бюл. Черная металлургия. – № 8. – 2013. – С. 77-84.
3. Сорокин Ю. В., Демин Б. Л. Состояние шлакопереработки и перспективы ее развития // Сталь. – № 5. – 2010. – С. 136-140.
4. Комплексная переработка жидких сталеплавильных шлаков с восстановлением железа и получением качественной товарной продукции / А. Г. Шакуров, В. В. Журавлев, В. М. Паршин и др. // Сталь. – № 2. – 2014. – С. 75-81.

5. *Алешин А.* Неиспользованный ресурс / *Металл.* – № 2. – 2008. – С. 22-24.
6. *Гудим Ю. А., Зинуров И. Ю.* Развитие технологии производства электростали и пути улучшения технико-экономических показателей работы дуговых сталеплавильных печей / *Электromеталлургия.* – № 1. – 2014. – С. 3-9.
7. *Кюн М.* Улучшение использования отходов металлургического производства – шаг на пути к устойчивому развитию / *Черные металлы.* – № 7. – 2013. – С. 35-42.
8. *Доронин И. Е., Свяжин А. Г.* Промышленные способы переработки сталеплавильной пыли / *Металлург.* – № 10. – 2010. – С. 48-53.
9. *Machado J.* Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust // *J. of Hazardous Materials.* – 2006. – В. 136. – Р. 953-960.
10. *Хилько А. А., Симонян Л. М., Глинская И. В.* Особенности изучения состава электросталеплавильной пыли. *Изв. ВУЗов «Черная металлургия.* – № 1. – 2014. – С. 9-13.
11. *Лотош В. Е.* Переработка отходов природопользования / *Екатеринбург: Полиграфист.* – 2007. – С. 503.
12. [Электронный ресурс]: <http://www.scandust.se/scandust.htm>.
13. Исследование физико-химических свойств цинкосодержащих пылей электросталеплавильных производств / *В. П. Корнеев, В. П. Сиротинкин, Н. В. Петракова и др.* // *Металлы.* – № 4. – 2013. – С. 38-43.
14. *Ковалев В. Н.* Технология переработки цинкосодержащей пыли электросталеплавильных печей / *Бюл. Черная металлургия.* – № 7. – 2013. – С. 73-75.
15. *Емельянова Е. С., Буторина И. В.* Оценка возможности переработки сталеплавильной пыли в вагранках / *Металлург.* – № 10. – 2010. – С. 54-56.

Анотація

Демидик В. М.

Сталий розвиток і рециклінг відходів у чорній металургії

Негативний вплив на ступінь сталого розвитку України чинить її металургійна галузь. Рециклінг відходів чорної металургії стає одним з пріоритетних завдань для підприємств, що пов'язано з охороною оточуючого середовища та з постійним ростом цін на первинну сировину. В статті розглянуті технології, які найбільше використовуються в переробці відходів у чорній металургії та варіанти подальшого їх використання.

Ключові слова

сталь, металургія, виробництво, шлак, пил, відходи, утилізація

Summary

Demydyk V. N.

Sustainable development and waste recycling in ferrous metallurgy

Metallurgical industry has a negative impact on the sustainable development of Ukraine. Waste recycling is being becoming one of the priorities for the enterprises what is connected with protection of environment and increase in cost of raw materials. In this paper most often used technologies of ferrous metallurgy waste recycling and options of their using in future are considered.

Keywords

steel, metallurgy, production, slag, dust, waste, utilization

Поступила 03.06.14