

Варианты утилизации аспирационной пыли плавильных печей

Магистрантка гр. 50424022 Курач Д.И.

Научный руководитель – Ровин С.Л.

Белорусский национальный технический университет,

Практически все технологические операции сопровождаются вредными выбросами, в том числе и процесс плавки. В соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды, все предприятия обязаны проводить мероприятия по очистке и обезвреживанию аспирируемых газов перед их выбросом в атмосферу, обеспечивающие снижение концентрации и количества загрязняющих веществ в выбросах до установленных норм.

На машиностроительных предприятиях одним из главных источников выбросов являются процессы плавки. Причем выбросы плавильных агрегатов отличаются высоким содержанием как газообразных загрязняющих веществ, так и взвешенных твердых частиц – пыли. Концентрация пыли в выбросах плавильных агрегатов может достигать 15-20 г/м³, а состав пыли отличается многокомпонентностью (в пыли стале- и чугуноплавильных печей может содержаться до 15-20 различных элементов и их соединений, а в пыли агрегатов для плавки цветных металлов до нескольких десятков составляющих) и полидисперсностью (с преобладанием частиц с размерами 1-50 мкм). Традиционно аспирационная пыль, уловленная аппаратами очистки, вывозится и захоранивается на полигонах промышленных отходов [1].

В тоже время, кроме вредных веществ, аспирационная пыль плавильных агрегатов содержит в себе и большое количество полезных компонентов, к которым относятся, в первую очередь, металлы. При выплавке черных сплавов это: Fe, Mn, Cr, Cu, W, V, Ti, Zn и т. д. Однако, как правило все эти металлы присутствуют в пыли не в чистом виде, а в соединениях – в виде оксидов, силикатов, алюмосиликатов, фаялитов, ферритов и др. В качестве примера в таблицах 1 и 2 представлены элементный анализ аспирационной пыли сталеплавильных электродуговых печей, выполненный с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра, и фазовый анализ пыли по основным компонентам, выполненный с помощью дифрактометра ДРОН-3, соответственно [2].

Таблица 1 – Результаты РФА анализа аспирационной пыли дуговых сталеплавильных печей

Эле-	%	+/-	Эле-	%	+/-
Al	6,04	0,72	P	0,137	0,077
Fe	46,32	0,49	Cr	0,276	0,033
Si	17,27	0,49	Cu	0,321	0,031
Zn	3,54	0,11	Ni	0,120	0,029
Mn	2,84	0,11	Pb	0,08	0,005
Ca	3,06	0,15	S	0,089	0,039
Ti	0,68	0,11	Mg	2,94	0,15

Таблица 2 – Результаты фазового анализа пыли электродуговых печей

Фаза	Концентрация, %
Магнетит (Fe ₃ O ₄)	37,67
Гематит (Fe ₂ O ₃) + Вюстит (FeO)	27,64 + 6,17
Алюмосиликат магния (AlH ₆ MgO ₅ Si) + Глинозем	3,24 + 2,58
Магнезитоферрит (MgFe ₂ O ₄) + Хромит (FeCr ₂ O ₄)	2,8 + 1,1
Оксид кальция (CaO)	3,42
Кварц (SiO ₂)	3,65
Цинка оксид (ZnO) + Оксид марганца (MnO)	4,4 + 1,6
C (сажистый углерод)	1,3
Прочие	≤ 4,5

Несмотря на значительное количество потенциально ценных компонентов в составе, по экспертным оценкам сегодня используется не более 3-5% улавливаемой пыли металлургических агрегатов. Наиболее существенными проблемами, препятствующими утилизации, являются высокая дисперсность частиц и чрезвычайная неоднородность и нестабильность гранулометрического и химического состава пыли [3].

Неоднократные попытки прямого использования (восстановления и переплавки) аспирационной пыли в электродуговых сталеплавильных печах (возврата пыли в агрегат, являющийся ее источником) ни в брикетированном виде, ни путем вдувания ее совместно с угольной пылью в реакционную зону на границу металл-шлак не привели к более-менее стабильным положительным результатам. Во всех случаях отмечалось резкое снижение производительности, энергоэффективности, экологических параметров плавки и качества получаемого металла [4].

Единственным на сегодня вариантом рециклинга (возврата) содержащегося в пыли железа в производство является подмешивание пыли к рудному сырью при производстве окатышей, которые затем используются в доменной плавке чугуна или в агрегатах внедоменной металлургии (Midrex, Corex, Fastmet, Comet и др.) при производстве губчатого железа. Однако все эти технологии предполагают специальную достаточно затратную подготовку сырья (сбор и гомогенизацию отходов, поступающих из разных источников, измельчение и смешивание исходных компонентов, брикетирование, окомкование или получение агломерата), требуют многомиллионных инвестиций в технологию и оборудование и обеспечивают необходимую рентабельность только при очень больших объемах сырья, начиная от 150-200 тыс. тонн/год и более [2, 3].

На машиностроительных предприятиях Беларуси не собирается таких значительных объемов пыли, соответственно, строительство металлургических комбинатов полного цикла или применение указанных технологий на машиностроительных предприятиях нерентабельно.

Еще одним вариантом утилизации аспирационных пылей плавильных агрегатов является использование их в качестве специальных технологических продуктов: добавок в формовочные смеси для создания легкоотделимого пригара при изготовлении стальных отливок; добавок в стержневые смеси, для изменения их теплопроводности и снижения термических напряжений; добавок в экзотермические смеси вместо окалины; добавок при производстве цементного клинкера; красящего пигмента при производстве стройматериалов. Пыли, образующиеся при плавке легированных (быстрорежущих, нержавеющей, жаропрочных и др.) сталей могут быть использованы в качестве модификаторов и добавок для микролегирования черных сплавов [5]. Одним из способов утилизации пыли может быть ее применение в качестве сырья, используемого для динамического легирования сталей: легирования заготовок в твердом агрегатном состоянии за счет высокоэнергетического ударного (врывного) взаимодействия с микрообъектами (3-100 микрон), движущимися со сверхзвуковыми скоростями, вызывающего сверхглубокое проникание (СГП) порошковых частиц в металлическую матрицу [6].

Однако, в большинстве случаев такому использованию аспирационных пылей в промышленных масштабах препятствует крайняя нестабильность их характеристик и состава, а те небольшие количества, в которых они применяются, не позволяют решить проблему утилизации в целом.

Наиболее перспективным направлением решения задачи использования аспирационных пылей представляется их рециклинг непосредственно на предприятиях, где они образуются, путем применения специального технологического оборудования. Такой подход позволил бы устранить необходимость в дорогостоящих логистических решениях по сбору, хранению и транспортировке пыли к удаленным местам ее переработки, в гомогенизации и усреднении ее состава, а также снять ограничения, связанные с

незначительными объемами использования пыли в качестве конечного продукта, например, в качестве модификатора некоторых литейных сплавов или сырья для динамического легирования.

В качестве основного оборудования для рециклинга аспирационной пыли пирометаллургическими методами наиболее рациональным представляется использование ротационных наклоняющихся плавильных печей (РНП), которые являются самым эффективным на сегодняшний день плавильным агрегатом для работы на дисперсной шихте. А в качестве технологий прототипов могут быть использованы процессы, разработанные в Белорусском национальном техническом университете для восстановительной плавки железной окалины [7].

Список использованной литературы

1. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды: учебное пособие / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. – Барнаул: изд-во «Алтай», 2000. – 395 с.
2. Ровин, С. Л. Исследование и утилизация аспирационной пыли сталеплавильных дуговых печей / С. Л. Ровин, Д. И. Курач, С. В. Григорьев // *Литье и металлургия*. – 2023. – №1. – С. 73-78.
3. Топоркова, Ю. И. Обзор методов переработки пылей электродуговой плавки / Ю. И. Топоркова, Д. Блудова, С. В. Мамяченков, О. С. Анисимова // *iPolytech Journal. Металлургия и материаловедение*, 2021. Т. 25. № 5. С. 643–680.
4. Демин, А. В. Поиск способов утилизации пыли дуговых сталеплавильных печей на Белорусском металлургическом заводе. Части первая и вторая. / А. В. Демин, А. И. Рожков, О. М. Грудницкий, В. В. Николаев, А. В. Феклистов // *Литье и металлургия*. 2015. №3. С. 74-79.
5. Рудницкий, Ф. И. Повышение прочности серого чугуна путем введения в расплав дисперсных добавок / Ф. И. Рудницкий, С. А. Куликов, В. А. Шумигай // *Литье и металлургия*. 2018. № 3. С. 43–49.
6. Яздани-Черати Дж. Х. Динамическое легирование стали порошковыми сгустками / Дж. Х. Яздани-Черати, В. Г. Шарифзянов, Ю. С. Ушеренко, С. М. Ушеренко // *Перспективные материалы и технологии: материалы международного симпозиума 22-26 мая 2017: в 2 ч. / под ред. В. В. Рубаника*. – Витебск: ВГТУ, 2017. – Ч. 2. – С. 212-214.
7. Ровин, С. Л. Применение ротационных наклоняющихся печей для прямого получения железа из окалины и шламов / С. Л. Ровин, Л. Е. Ровин // *Металлургия: Республ. межведом. сб. научн. тр. в 2 ч.* – Минск: БНТУ, 2020. – Вып. 41, ч. 1. – С. 41–61.