

К оценке химического состава и параметрических характеристик частиц пыли электродуговых печей

К.С. Кошкарёв, С.А. Кошкарёв, Р.А. Лясин, Ф.Г.

Антонов

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: Предприятия черной металлургии ежегодно выбрасывают в атмосферу значительное количество мелкодисперсной пыли. В статье представлены результаты выполненного исследования по определению дисперсного состава пыли ингредиентов в выделениях печей ДСП сталеплавильного цеха. Комбинированное использование методов энергодисперсионной спектроскопии (EDS) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии анализа позволило получить фракционный состав ингредиентов, значения эквивалентных размеров частиц пыли и получены интегральные зависимости плотности распределения по эквивалентным размерам (диаметрам) D ингредиентов, содержавших в пробах пыли от печей ДСП. На основании проведенного исследования сделан вывод о возможности применения пылеуловителей некоторых типов в системах обеспыливания с достижением приемлемой величины их эффективности для повышения экологической безопасности сталеплавильного цеха.

Ключевые слова: металлургия, аэрозоль, пыль, ингредиент, частица, пылеуловитель, электросталеплавильный цех, дисперсный анализ, плотность распределения, среднемедианный диаметр, d_{450} .

В последние годы имеется тенденция снижения выбросов от металлургических предприятий с 1499,6 тыс.т/г в 2020 году, до 1282,2 тыс.т/г в 2022 году. Это является результатом природоохранной политики Правительства и Росприроднадзора РФ. Государство увеличило затраты на охрану окружающей среды от выбросов металлургических производств с 54834 млн.руб. в 2020 г. до 68270 млн.руб. в 2022 г, что следует из отчета Росстата за 2023 г «Основные показатели охраны окружающей среды». дальнейшей целью охраны окружающей среды» [1]. Для снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, окружающей среды и обеспечения более благоприятной экологической обстановки в городах РФ в целом требуется модернизация существующих систем аспирации. Применение высокоэффективных пылеуловителей в системах обеспыливания аспирации

дуговых электросталеплавильных печей (ДСП) на предприятиях черной металлургии, обеспечивающих существенное снижение пылевых выбросов достижением незначительных величин коэффициента проскока твердых частиц пыли, является одним наиболее эффективных решений актуальных проблем при проведении природоохранных мероприятий на предприятиях металлургии.

В статье [2] выполнены исследования параметров пыли, выделяющихся и выбрасываемых печами ДСП в атмосферу. Приведены результаты элементного химического и гранулометрического состава пыли ДСП [2].

В [3] описан метод отбора проб пыли, выбрасываемой металлургическими предприятиями в Верхнесилезской агломерации (Польша). Приведены результаты исследования химического состава пыли, полученных современным методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS) [3].

В работе [4] проводится выполнено исследование характеристик пыли отходов от ДСП. В данном исследовании были применены: метод сканирующей электроскопии SEM (СЭМ), энергодисперсионной спектроскопии с помощью EDS, рентгеновского картографического анализа с помощью СЭМ, рентгеновской дифракции (XRD) и мессбауэровской спектроскопии, посредством которых были получены данные по химическим, морфологическим, структурным и гранулометрическим составам исследованных проб [4].

Результаты исследования [5] показали уровень загрязнения воздуха в городе Уитбанк (ЮАР). Отбор проб пыли в воздухе проводился в районе города, где расположено 4 металлургических завода. Автор использует Химический и дисперсный анализы состава выполнены для пыли фракции менее 0,125 мм с использованием метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой [5].

Проведенный обзор даже части литературы показывает актуальность дальнейшего изучения химического, дисперсного составов, и аэродинамических характеристик пыли предприятий металлургического производства.

Для снижения негативного воздействия на атмосферу городов, в которых расположены предприятия черной металлургии, необходимо решать задачи по модернизации существующих систем аспирации, обеспечивающих их эффективную работу. Наиболее значимой частью решения проблемы снижения выбросов мелкодисперсной пыли является применение аппаратов пылеулавливания с незначительными величинами коэффициентов проскока твердых частиц в системах обеспыливания аспирации ДСП электросталеплавильных цехов [6-7].

Цель и постановка задачи исследования

Целью работы являлись исследование элементного химического и дисперсного состава аэрозолей, выделяющихся в процессе выплавки сталей в дуговых электросталеплавильных печах ДСП, для последующей оценки возможности применения пылеуловителей инерционного типа (ВЗП) и фильтров. Это позволит уменьшить величины коэффициентов проскока твердых частиц в системах обеспыливания аспирации при обосновании нормирования выбросов ингредиентов твердых веществ.

Далее привести описание кратко методов исследования и полученные графические, аналитические исследования.

1. Определить средневзвешенную величину $d_{\text{ч}50}^{\text{общ}}$ всех ингредиентов твердых веществ и массу частиц $m_{\text{ч}50_i}$ эквивалентным размером $d_{\text{ч}50_i}$.
Определить для всех ингредиентов твердых веществ величины массы частиц

меньше среднемедианного размера частиц для каждого ингредиента $d_{q50 i}$ и менее 10 мкм по всей выборке проб.

2. Получить график плотности распределения $D^{\text{общ}}$ для суммы всех ингредиентов твердых веществ средневзвешенную величину $d_{q50}^{\text{общ}}$ частиц в пробе.

В исследовании использовался сканирующий электронный микроскоп Versa 3D DualBeam, позволяющий получить результаты химического состава пылей совместного применения методов энергодисперсионной спектроскопии (EDS) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии EDAX Element (EDX).

В проведенном исследовании были определены качественный и количественный состав пылей твердых веществ в пылегазовоздушной смеси, выделяющейся в воздух рабочей зоны в процессе производства стали на ДСП на различных участках в электросталеплавильном цехе предприятия.

Отбор проб были произведены в соответствии с ГОСТ Р 70230-2022 (ГОСТ Р 70230-2022 Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли. М. Стандартинформ, 2022).

Дисперсный состав пыли отобранной из пылегазовоздушной смеси определялся в соответствие с методикой ГОСТ Р 70230-2022 (ГОСТ Р 70230-2022 Качество воздуха. Методика определения массовой концентрации взвешенных частиц PM_{2.5}, PM₁₀ в воздухе рабочей зоны на основе анализа фракционного состава пыли. М. Стандартинформ, 2022). Дисперсный состав пыли отобранной из пылегазовоздушной смеси определялся в соответствие с методикой [8,9]. Фотоизображения образцов пыли с требуемым количеством частиц - в пробе около 500 ед, были получены на электронном микроскопе МБС-10 Микромед.

Обработка полученных фотоизображений при сканировании с использованием редактора Adobe Photoshop. Определение количества частиц различного эквивалентного диаметра выполнено в программном обеспечении SPOTEXPLORER 2018 и на основе методик, приведенных в [8,9].

На рисунке 1 приведено одно из характерных фотоизображений отобранной в исследовании пробе с результатом определения химического состава частиц пыли, выделяющихся при производстве стали на ДСП.

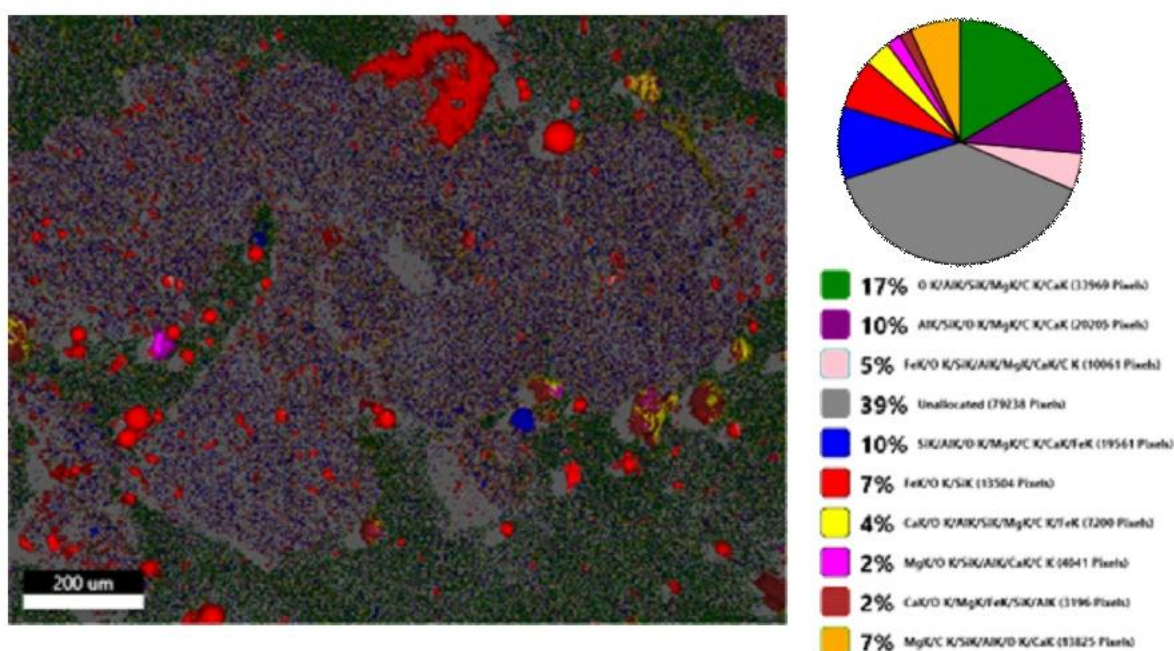


Рис.1. – Результаты определения ингредиентного состава частиц пыли пробы в СЭМ изображении, полученного при исследовании в микроскопе в Versa 3D DualBeam.

Результаты определения уточненного химического состава образца частиц пыли, выделяющихся при производстве стали на ДСП, исследованного в микроскопе Versa 3D DualBeam, приведено на рис. 2.

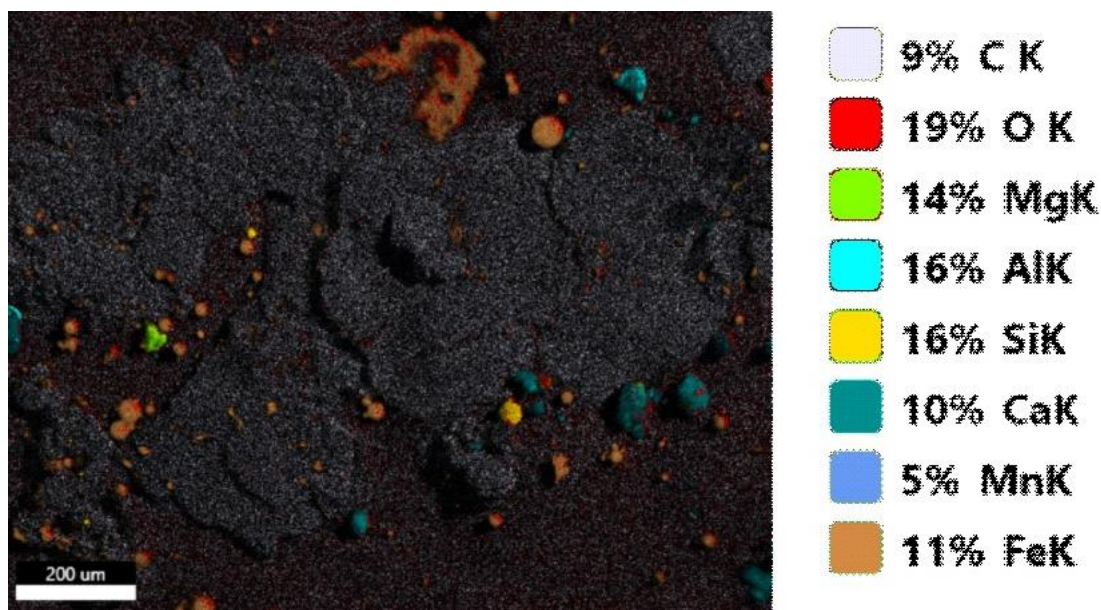


Рис.2. – Результаты определения уточненного химического состава образца пыли, исследуемого в Versa 3D DualBeam.

Анализ результатов определения уточненного химического состава репрезентативной выборки образцов пыли показал, что содержание углерода (C) составляет 9%, оксидов элементов (OK) – 19%, магния Mg (MgK) - 14%, алюминия Al (AlK) -16%, кремния (SiK) – 16%, кальция Ca(CaK) – 10%, марганца Mn (MnK) – 5%, железа Fe(FeK)- 11%.

График плотности распределения D по всей выборке проб для суммы всех ингредиентов с определением средневзвешенной величины $d_{\text{ч}50}^{\text{общ}}$ частиц (суммарно) приведен на рис 3.

Массы одной частицы средневзвешенной величины $d_{\text{ч}50_i}$, в первом приближении, используя значения истинной плотности частиц ρ_i материалов [10], рассчитаны по соотношению

$$m_{\text{ч}50} = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d_{\text{ч}50_i}}{2} \right)^3 \rho_i \quad (1)$$

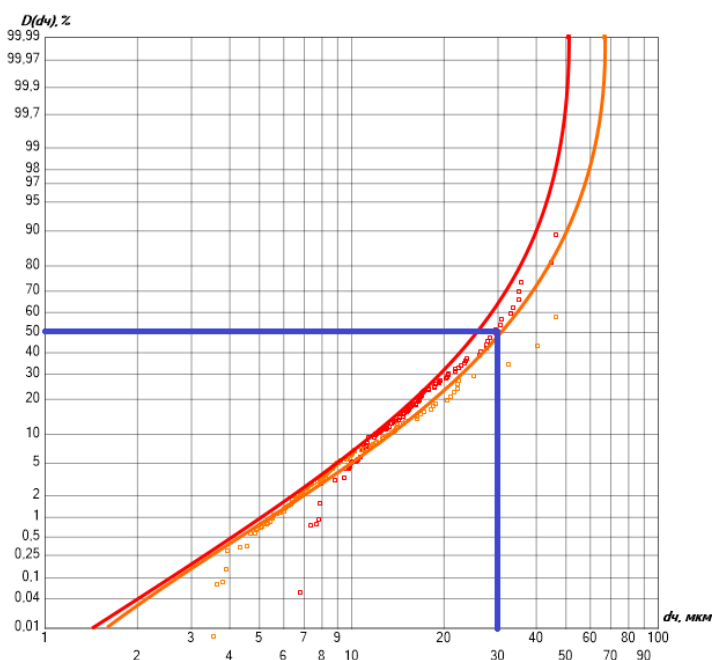


Рис.3. – График плотности распределения D по всей выборке проб для суммы всех ингредиентов, содержащихся в пробе пыли с определением средневзвешенной величины $d_{ч50}^{общ}$ частиц (суммарно), $d_{ч50}^{общ} = 30\text{мкм}$.

Масса частицы каждого ингредиентов $m_{ч50_i}$ эквивалентным размером $d_{ч50_i}$ определена по соотношению (1) и имеет значение

$$m_{ч50}(Al) = 2,21 * 10^{-8}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(Ca) = 8,12 * 10^{-7}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(Fe) = 8,9 * 10^{-7}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(Mg) = 6,64 * 10^{-7}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(Mn) = 1,02 * 10^{-7}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(Si) = 1,52 * 10^{-7}\text{Г}$$

$$m_{ч50}(C) = 8,63 * 10^{-7}\text{Г}$$

Для средневзвешенной величины $d_{ч50}^{общ}$ частиц с учетом значений плотности выполнена оценка величины массы, составляющее значение $m_{ч50_{общ}} = 9,9 * 10^{-8}\text{Г}$. Суммарная масса частиц с размерами величины $d_{ч50}^{общ} \leq 30$ мкм составляет 50%. Суммарная масса частиц величины размера $d_{ч}^{общ} \leq 10$ мкм составляет около 7% .

Выводы

Результаты выполненного эксперимента микроскопического анализа фракционного состава пыли, анализа EDS и СЭМ, позволили получить процентный состав химический состав и параметры дисперсного состава пыли от печей ДСП. Полученные результаты можно использовать при последующем нормировании выбросов.

Суммарная масса частиц величины размера $d_{\text{ч}}^{\text{общ}}$ менее 10 мкм составляет около 7%. Величина коэффициента проскока пылевых частиц в системах обеспыливания аспирации с пылеуловителями с использованием встречно закрученных потоках типа ВЗП или пенодинамического слоя жидкости барботажного типа, на составляет 5%. Это делает возможным использование данных типов пылеуловителей в системах обеспыливания аспирации печей ДСП.

Литература

1. Основные показатели охраны окружающей среды. Федеральная служба государственной статистики. Росстат Основные показатели охраны окружающей среды. URL: rosstat.gov.ru/compendium/document/13294 (дата обращения: 20.11.2024).

2. Sofilić T., Rastovčan-Mioč A., Cerjan-Stefanović S., Novosel-Radović V., Jenko M. Characterization of steel mill electric-arc furnace dust. *Journal of Hazardous Materials*. – 2004. – Vol. 109, No. 1-3. – pp. 59-70. URL: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.032

3. Lewińska-Preis L., Szram E., Fabiańska M. J., Nádudvari Á., Misz-Kennan M., Abramowicz A., Kruszewski Ł., Kita A. *International Journal of Coal Science and Technology*. 2021. URL: doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.006.

4 Machado J. G. M. S., Brehm F. A., Moraes C. A. M., Santos C.A.D., Vilela A.C.F., Cunha J.B.M.D. Chemical, physical, structural and morphological characterization of the electric arc furnace dust. *Journal of Hazardous Materials*. –

2006. – Vol. 136, № 3. – pp. 953-960. – URL: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.044.

5. Žibret G., Van Tonder D., Žibret L.. Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20, No. 7. pp. 4455-4468. URL: doi.org/10.1007/s11356-012-1398-7.

6. Кошкарев К.С., Кошкарев С.А., Батаев Д.К.-С., Курасов А.Н., Лясин, Р.А. К определению дисперсного состава частиц твердых ингредиентов в воздушной среде и оценке величины концентрации пыли на неорганизованных источниках выбросов в атмосферу электросталеплавильного цеха // Инженерный вестник Дона. 2023. №12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8879.

7. Блинов К. А., Ровенский А. И., Славин В. И. Экологические проблемы сталеплавильного производства // Сталь. 1983. №1. С. 21-22.

8. Азаров В. Н., Ребров В. А., Козловцева Е. Ю., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Тертишников И.В., Поляков И.В., Абухба Б.А. О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде.// Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976.

9. Азаров В. Н., Есина Е. Ю., Азарова Н. В. Анализ дисперсного состава пыли в техносфере : учебное пособие. Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2008. 44 с.

10. Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Русанов А.А. Справочник по пыле- и золоулавливанию.– 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

References

1. Osnovnye pokazateli ohrany okruzhayushej sredy. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Rosstat Osnovnye pokazateli ohrany okruzhayushej

sredy.[The main indicators of environmental protection. Federal State Statistics Service. Rosstat Main indicators of environmental protection]. URL: rosstat.gov.ru/compendium/document/13294 (data obrasheniya: 20.11.2024).

2.Sofilić T., Rastovčan-Mioč A., Cerjan-Stefanović S., Novosel-Radović V., Jenko M. Journal of Hazardous Materials. 2004. Vol. 109, No. 1-3. pp. 59-70.URL: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.032

3. Lewińska-Preis L., Szram E., Fabiańska M. J., Nádudvari Á., Misz-Kennan M., Abramowicz A., Kruszewski Ł., Kita A. International Journal of Coal Science and Technology. 2021.URL: doi.org/10.1016/j.apr.2019.01.006.

4 Machado J. G. M. S., Brehm F. A., Moraes C. A. M , Santos C.A.D., Vilela A.C.F., Cunha J.B.M.D. Journal of Hazardous Materials. 2006. Vol. 136, No. 3. pp. 953-960. URL: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.01.044.

5. G. Žibret, D. Van Tonder, L. Žibret. Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20, No. 7. pp. 4455-4468. – URL: doi.org/10.1007/s11356-012-1398-7.

6. Koshkarev K.S., Koshkarev S.A., Bataev D.K.-S., Kurasov A.N., Lyasin R.A. Inzhenernyj vestnik Dona 2023, №12, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8879.

7. Blinov K. A., Rovenskij A. I., Slavin V. I. Stal'. 1983. №1. pp. 21-22.

8. Azarov V. N., Rebrov V. A., Kozlovceva E. Ju., Azarov A.V., Dobrinskij D.R., Tertishnikov I.V., Poljakov I.V., Abuhba B.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976.

9. Azarov V. N., Esina E. Ju., Azarova N. V. [Analysis of the dispersed composition of dust in the technosphere] Volgograd: Volgogradskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2008. 44 p.

10. Birger M.I., Valdberg A.Yu., Myagkov B.I., Rusanov A.A. Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniyu [Handbook of dust and ash collection]. 2-e izd., pererab. i dop.M.: Energoatomizdat, 1983. 312 p.

Дата поступления: 3.11.2024

Дата публикации: 13.12.2024
