

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.005

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ФАКЕЛУ ДОГОРЯННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ,
ЯК ЗАСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРЕБІГУ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ
В ПРОЦЕСАХ ВИПЛАВКИ СТАЛІ**

Голуб Т.С., Молчанов Л.С., Семикін С.І.

Інститут чорної металургії ім.З.І. Некрасова НАНУ

Киснево-конвертерний процес заснований на тісній взаємодії рідкої і газової фаз й супроводжується вдуванням й виділенням значного об'єму газів, які при температурних і хімічних умовах конвертування утворюють факел над горловиною конвертера. Зміна характеру факелу тісно взаємопов'язана з процесом конвертування, отже, його дослідження й контроль за ходом продувки в умовах реальних високотемпературних процесів, є актуальним [1-3]. Проте, зареєструвати та проаналізувати факел важко через значну температуру над горловиною агрегату та велику кількість пилу, що виділяється під час продувки.

В ході дослідження були проаналізовані та досліджені на лабораторних установках, які імітували одиничний газовий факел допалювання, різні методи вимірювання фізичних показників його стану [4-6], у тому числі в умовах запилення різного характеру: теплопередачі; світимості у ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному спектрах; електричні характеристики. Встановлено, що через природний коливальний характер полум'я необхідно інтегрувати значення фізичних характеристик полум'я, отримані за допомогою спеціальних датчиків. Також встановлено, що вплив високих температур та наявності частинок пилу створює додаткову похибку у отриманні результатів сенсорами, які реєструють тепловіддачу та світимість факелу.

По тепловіддачі від палаючого факелу встановлено:

- подача будь-якого твердого матеріалу з температурою значно нижчою за температуру факела негативно відбивається на теплопередачі від факела навіть при візуальному збільшенні яскравості, окрім компонентів, що здатні окислюватися з виділенням тепла;

- не залежно від ступеня чорноти факела за реальних температур процесу конвертування частинки фракцією 5-200 мкм при потраплянні в нього можуть нагріватися до температур, що наближується до температури світіння;

По яскравості факелу встановлено:

- при появі у палаючому факелі твердих дрібних (фракція порядку 100-200 мкм) часток його яскравість підвищується, а більших за фракцією – знижується. При цьому найменший зворотній вплив мав показник УФ спектру, а найбільший – денного спектру;

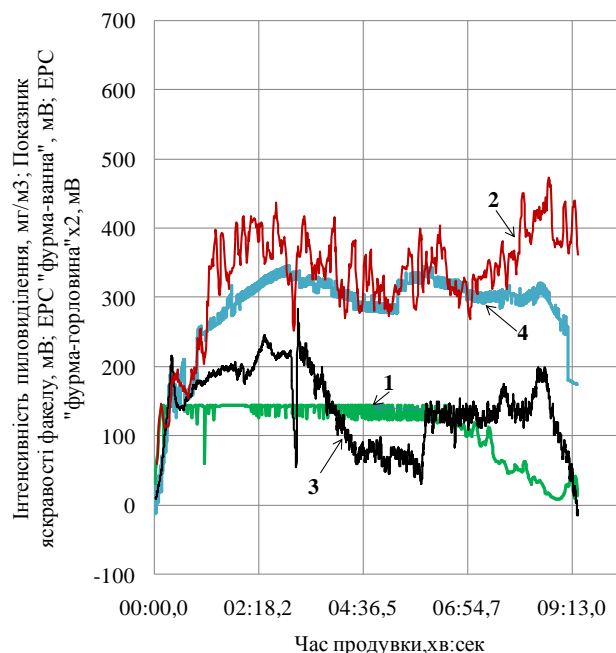
По електричним характеристикам факелу встановлено:

- вимірювання різниці потенціалів, що формується у факелі, має перевагу перед вимірюванням електропровідності через отримання більш відтворених показників достатнього рівня значення;

- знаючи необхідний рівень кисню, що стехіометрично необхідний для проведення повного окислення газової суміші, можливо за рівнем електричних характеристик стверджувати про повноту окислення газової суміші.

Загальний висновок: найбільш точним, швидкісним та стабільним методом отримання характеристики стану газового факелу при роботі в жорстких умовах сталеплавильного агрегату може бути обрано метод вимірювання різниці створюваних природно потенціалів. При цьому можливі декілька варіантів застосування цього методу з реєстрацією різних показників: між продувною фурмою, як одним з електродів, та між іншим електродом, встановленим на горловині конвертера та між фурмою та рідкою ванною. Наведені варіанти вимірювання електричних показників були випробувані на лабораторній високотемпературній моделі кисневого конвертера, виготовленій у масштабі 1:30 відносно до промислового 160-т конвертера. Під час продувки проводили реєстрацію не тільки природно сформованої різниці потенціалів, а й ряду технологічних показників процесу. На рис. 1 наведено характерні діаграми отриманих зареєстрованих показників. Відзначено, що зареєстровані електричні показники не залежно від місця реєстрації мають достатній для аналізу рівень, проте через наявні флуктуації, що обумовлені постійним активним рухом всіх середовищ в межах робочого простору агрегату, необхідно проводити усереднення зареєстрованих показників впродовж певного часу (30-60 сек.). Встановлено, що зміна у часі за ходом продувки різниці природного потенціалу у ланцюзі «фурма - ванна» може якісно характеризувати рівень спінення шлако-металевої ванни. Доказом цього свідчить факт зростання цього показника у другій половині продувки, що відповідає зниженню рівня інтенсивності виділення пилу (за рахунок фільтрації сформованим шлаком). Щодо показника різниці природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина»: показник добре кореспондується з показником яскравості факелу у підфурменій області (реєстрація якого у дослідженні була можливою завдяки примусовому видаленню пилу з цієї зони): зростання рівня показника

відповідає зростанню рівня показника яскравості факелу і навпаки. Відомо, що підвищення яскравості світіння факелу відбувається у разі протікання процесу допалювання газів CO, що відходять з агрегату, до CO₂. Отже зростання рівня різниці природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина» за ходом продувки може характеризувати якісно процес допалювання CO до CO₂.



- 1 – інтенсивність пилovidілення, мг/м³; 2 – показник яскравості факелу, мВ;
 3 – різниця природних потенціалів у ланцюзі «фурма – металева ванна», мВ;
 4 – різниця природних потенціалів у ланцюзі «фурма - горловина», мВ

Рисунок 1 – Типові діаграми зміни зареєстрованих параметрів за часом продувки

Таким чином проведене дослідження методів реєстрації фізичних показників полум'я, що імітувало одиничний факел допалювання, вказало на доцільність використання виміру електричних характеристик факелу догорання газів у якості параметру для контролю процесу (а саме різниці природних потенціалів), наприклад, допалювання, завдяки оперативності визначення, відсутності суттєвого впливу на точність виміру надлишкової температури і ступеня запиленості. Випробування зазначеного методу на високотемпературній моделі показало відповідність зареєстрованих електричних характеристик системи «продувна фурма – металева ванна-корпус агрегату» ряду процесів, які відбуваються за ходом продувки в об'ємі агрегату. Шляхом зіставлення отриманих вимірюваних показників із встановленими дослідним шляхом показниками згідно заданих за технологією параметрів ведення продувки та граничними значеннями можна робити висновки, в залежності від їх відхилення, про необхідність, наприклад, зміни

положення фурми для досягнення необхідного результату за показниками або проведення інших корегуючих операцій (наприклад, подачі сипучих в конвертер для коригування стану шлаку) й досягати кращих технологічних результатів ведення продувки металевого розплаву.

Література

1. A temperature prediction model of converters based on gas analysis/ Wu Ling, Yang Ningchuan, You Xiangmi, Xing Kaixin , Hu Yan// *Procedia Earth and Planetary Science*. 2011. 2(1), P. 14 – 19
2. M. K. Shin, S. D. Lee, S. H. Joo, J. K. Yoon. A Numerical Study on the Combustion Phenomena Occurring at the Post Combustion Stage in Bath type Smelting Reduction Furnace. *ISIJ International*. 1993. Vol. 33, No. 3. P.369 - 375.
3. Bogushevskiy V, Sharbatian M, Sukhenko V. System for the BOF process control. *The advanced Science open access Journal*. Vol.5. P. 23-27
4. Specific features of the diffusion flame in the transition from the laminar to turbulent regime of combustion/ V. S. Kozulin, V. L. Krainev, V. L. Krainev, P. K. Tretyakov, A. V. Tupikin. *Combustion Explosion and Shock Waves*. 2014. 50(6). P.742-744
5. Golub V. V., Volodin V. V. and Krivokorytov M. S. Acoustic control of the structure of the gas torch. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol.774. P.1-8
6. Masataka Arai, Hiroyuki Sato, Kenji Amagai. Gravity effects on stability and flickering motion of diffusion flames. *Combustion and Flame*. 2009. Vol.118(1-2). P. 293-300

RESEARCH OF METHODS OF MEASURING PHYSICAL INDICATORS OF FLUE GAS POSTCOMBUSTION TORCH AS A MEANS OF PREDICTING THE COURSE OF PHYSICOCHEMICAL TRANSFORMATIONS IN STEEL SMELTING PROCESSES

Golub Tetiana, Molchanov Lavr, Semykin Serhii

Abstract. The oxygen-converter process is accompanied by the release of a significant amount of off-gases, that under the conditions of postcombustion form a torch over the neck of the converter. Change the torch nature corresponds the peculiarities of the heat blowing. However, it is difficult to register and analyze the torch due to the significant temperature above the neck of the unit and the large amount of dust released during the blowing. The paper presents the results of physical modeling of methods of registration of physical indicators of flame, simulating a single flare, such as heat transfer from a gas torch, luminosity (brightness) in the ultraviolet, visible and infrared spectra and electrical characteristics of the torch. It was indicated the feasibility of using the measurement of electrical characteristics of the gas flare as a parameter to control the process (namely the difference of natural potentials), such as postcombustion, due to

efficiency determination, the lack of significant impact on the accuracy of measurement of excess temperature and the degree of dust.

Testing of this method on a high-temperature model showed compliance with the registered electrical characteristics of the system “blowing lance - metal bath-body of the unit” of a number of processes that occur during the blowing in the volume of the unit. By comparing the obtained measured indicators with the experimentally established indicators according to the parameters of technology and limit values, it is possible to draw conclusions, depending on their deviation, about the necessity, for example, change the position of the lance to achieve the desired result or perform other corrective operations and achieve the best technological results of the metal smelting.

Keywords: physical modeling, oxygen converting, off-gas afterburning flame, physical characteristics of the flame, natural electric potential difference in the oxygen converter.

References

1. A temperature prediction model of converters based on gas analysis/ Wu Ling, Yang Ningchuan, You Xiangmi, Xing Kaixin , Hu Yan. *Procedia Earth and Planetary Science*. 2011. 2(1), P. 14 – 19
2. M. K. Shin, S. D. Lee, S. H. Joo, J. K. Yoon. A Numerical Study on the Combustion Phenomena Occurring at the Post Combustion Stage in Bath type Smelting Reduction Furnace. *ISIJ International*. 1993. Vol. 33, No. 3. P.369 - 375.
3. Bogushevskiy V, Sharbatian M, Sukhenko V. System for the BOF process control. The advanced Science open access Journal. Vol.5. P. 23-27
4. Specific features of the diffusion flame in the transition from the laminar to turbulent regime of combustion/ V. S. Kozulin, V. L. Krainev, V. L. Krainev, P. K. Tretyakov, A. V. Tupikin. *Combustion Explosion and Shock Waves*. 2014. 50(6). P.742-744
5. Golub V. V., Volodin V. V. and Krivokorytov M. S. Acoustic control of the structure of the gas torch. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. Vol.774. P.1-8
6. Masataka Arai, Hiroyuki Sato, Kenji Amagai. Gravity effects on stability and flickering motion of diffusion flames. *Combustion and Flame*. 2009. Vol.118(1-2). P. 293-300