

Согласно табл. 7 с уменьшением крупности кокса в нем увеличивается содержание золы и летучих, повышается влажность, уменьшается содержание углерода.

Кокс класса 10–25 мм по сравнению с металлургическим коксом имеет пониженное содержание углерода, повышенное – влаги, золы и летучих. Орешек сухого тушения по сравнению с орешком мокрого тушения обладает меньшим содержанием золы, летучих, серы и большим – углерода.

#### Заключение

Коксовый орешек сухого тушения имеет более высокую холодную и горячую прочность, повышенное содержание углерода, пониженную реакционную способность по сравнению с орешком мокрого тушения.

Орешек, выделенный из вновь испеченного кокса, содержит на 20% больше фракции 19–25 мм по сравнению с полученным путем отсева у доменной печи.

Кокс класса 10–25 мм по сравнению с металлургическим коксом обладает более высокой холодной прочностью, повышенной реакционной способностью и пониженной горячей прочностью.

#### Список литературы

1. Результаты использования в доменной печи коксового орешка с одновременным улучшением качества скипового кокса / Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Полинов А.А., Семенов М.А., Бегинюк В.А. // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. № 2. С. 24–27.
2. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи / А.С. Харченко, Е.О. Теплых, А.А. Полинов, С.А. Гришечкин, М.А. Семенов, В.Л. Терентьев // Теория и технология металлургического производства : межрегион. сб. науч. трудов. № 10. Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 26–30.
3. Кузин А.В. Коксовый орешек – компенсирующее мероприятие для улучшения газопроницаемости «сухой» зоны доменной печи. Донецк : Наука Праці Донецк. нац. ун-та, 2007. № 9. С. 31–41.

#### Bibliography

1. The results of the use of coke nut with the simultaneous improvement of the skip coke quality in a blast furnace / Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Polinov A.A., Semenyuk M.A., Beginyuk V.A. // Vestnik MSTU named after G.I. Nosov. 2010. № 2. P. 24–27.
2. Kharchenko A.S., Teplykh E.O., Polinov A.A. and others. About conditions needed for the efficient use of coke nut in the burden of a blast furnace. Interregional collection of scientific papers. Theory and technology of metallurgical production № 10. Magnitogorsk MSTU named after G.I. Nosov, 2010. P. 26–30.
3. Kuzin A.V. Coke nut – the compensating event to improve the gas permeability of the «dry» zone of a blast furnace. Science Pratsi. Donetsk: National University, 2007. № 9. P. 31–41.

УДК 541.12.036:628.74

Черчинцев В.Д., Савина Ю.Е.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АБСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ УЛАВЛИВАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ ИЗ ГАЗОВ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Абсорбционные методы очистки отходящих газов от сернистых соединений в современной металлургии получили широкое распространение. В чёрной металлургии, а особенно в агломерационном производстве, важной проблемой является очистка отходящих газов от диоксида серы. В течение последних десятилетий ведётся поиск эффективных методов очистки газов. Полый форсуночный абсорбер, орошаемый известковым раствором, является наиболее перспективным. Однако такие проблемы, как зарастание оборудования, коррозионный и эрозийный износ форсунок, где в качестве поглотителя используется известковая суспензия, не были решены до конца. При решении проблемы зарастания стенок скруббера и форсунок необходимо использовать добавки в поглотительный раствор – природные и аминовые кислоты, адипиновую кислоту, тиосульфат натрия, оксид магния и другие.

**Ключевые слова:** загрязнение, очистка газов, диоксид серы, абсорбер, абсорбция, форсунок.

Absorption methods of the off-gases purification from sulfur compounds are widespread in modern metallurgy. The cleaning of the off-gases from sulfur dioxide is an important problem in the siderurgy, especially in the agglomeration production. In recent decades we have been searching for the effective methods of gases purification. The hollow spray absorber, irrigated with lime mortar is the most promising one, but there is still no solution for such problems as the overgrowing of the equipment, and corrosive and erosive wear of nozzles, where the lime slurry is used as the absorber. To solve the problem of the overgrowing of the walls of the scrubber and nozzles it is necessary to use additives in absorption solution - the natural and amino acids, adipic acid, sodium thiosulfate, magnesium oxide, and others.

**Key words:** pollution, gas cleaning, sulfur dioxide, scrubber, absorption, nozzles.

В чёрной металлургии, а особенно в агломерационном производстве, важной проблемой является очистка отходящих газов от диоксида серы. При превышении концентрации диоксида серы в воздухе выше нормы возрастает число смертельных случаев, в первую очередь среди людей старшего поколения и лиц, страдающих заболеваниями дыхательных путей. Кроме того, диоксид серы в присутствии 3-4 бенз(а)пирена вызывает раковые опухоли. Таким образом, диоксид серы является ко-канцерогеном (т.е. веществом, усиливающим действие канцерогена).

В течение последних десятилетий ведётся поиск

эффективных методов очистки газов. Существует множество различных методов и способов очистки: в качестве сорбента используется известняк, обожжённый магнит, кальцинированная сода, окись магния, окись цинка, водный раствор сульфата и бисульфата аммония и другие. На различных установках проводились испытания таких абсорберов, как аппарат распыливающего типа (АРТ), горизонтальная труба Вентури, аппарат с шаровой насадкой и полый форсуночный абсорбер, двухконтактный скруббер потока фирмы Mitsubishi и др. [1].

В настоящее время применяемые методы очистки

газов от диоксида серы (аммиачный, содовый, магнетитовый и др.) позволяют получать ценные попутные продукты (серную кислоту, жидкий SO<sub>2</sub>, удобрения). Однако эти методы экономически целесообразно использовать только при относительно высоких концентрациях SO<sub>2</sub> в очищаемых газах. При низких концентрациях улавливание SO<sub>2</sub> более целесообразно производить с применением известняка – доступного и дешевого реагента.

Наиболее подходящими аппаратами для очистки агломерационных газов являются полые форсуночные скрубберы, имеющие небольшое гидравлическое сопротивление, что позволяет очищать газы от SO<sub>2</sub> без установки дополнительных тягодутьевых средств. Кроме того, полые форсуночные скрубберы отличаются простотой конструкции и надежностью в работе.

Основными факторами, определяющими эффективность и технико-экономические показатели работы полых форсуночных скрубберов, являются скорость потока газа в скруббере, плотность орошения, дисперсный состав диспергируемой поглощающей жидкости, высота активной (орошаемой) зоны аппарата [2].

Наибольшее влияние на степень очистки газа оказывает плотность орошения, наименьшее – давление жидкости перед форсунками, поэтому для улучшения очистки газа целесообразнее увеличивать расход жидкости, а не ее давление, которое должно составлять 1,5–2 ати, что обеспечивает нормальную работу центробежных форсунок.

Таким образом, в полых форсуночных скрубберах можно обеспечить очистку газов от SO<sub>2</sub> на 90 % и более путем применения суспензии известняка, однако для этого требуется значительный расход воды, используемой для приготовления этой суспензии.

Массовый расход абсорбента (L) находится по уравнению [1]:

$$L = Q \cdot \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}, \quad (1)$$

где Q – расход газовой смеси, м<sup>3</sup>/с; Y<sub>1</sub>, Y<sub>2</sub> – соответственно начальная и конечная концентрация загрязняющего вещества в газовой смеси, кг/м<sup>3</sup> газа; X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub> – соответственно начальная и конечная концентрация загрязняющего вещества в абсорбенте, кг/м<sup>3</sup> абсорбента, X<sub>1</sub> = 0.

С целью оптимизации работы сероулавливающих установок были проведены исследования по определению закономерности движения капель раствора известкового молока в скруббере при абсорбции диоксида серы.

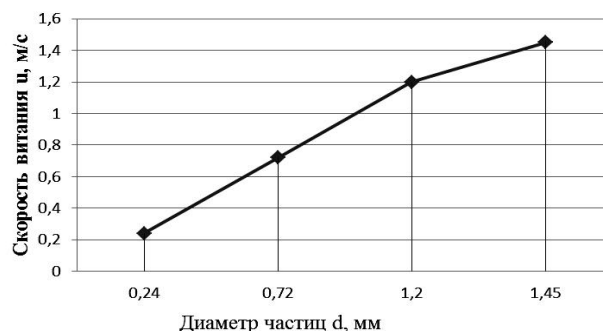
Образующиеся при распылении жидкости капли имеют значительную начальную скорость, соответствующую скорости струи, из которой они образовались. Постоянная скорость падения капли (скорость витания):

$$u = \sqrt{\frac{4gd(\rho_{ж} - \rho_{г})}{3\varepsilon\rho_{г}}}, \quad (2)$$

где d – диаметр капли; ρ<sub>ж</sub> и ρ<sub>г</sub> – плотности жидкости и газа, кг/м<sup>3</sup>; ε – коэффициент сопротивления.

По литературным данным при плотности орошения в абсорбере 3–6 л/м<sup>3</sup>, что соответствует расходу орошающей жидкости 20–40 м/ч, можно принимать ε = 1,5–1,65. Тогда скорость витания частиц будет колебаться в пределах от 0,25 до 1,45 м/с.

При использовании форсунок грубого распыла образуются капли диаметром 0,1–1,0 мм. Зависимость скорости витания частиц от их диаметра показана на графике.



С увеличением диаметра капель скорость их осаждения возрастает, но при этом уменьшается коэффициент массопередачи.

При этом скорость подачи газа не должна превышать скорость движения жидкости, т.к. при этом будет меняться направление движения капель на обратное, что увеличит каплеунос. Поэтому скорость газа не должна превышать 1,45 м/с.

Аппарат для очистки газов от диоксида серы, орошаемый известковым раствором, является наиболее перспективным. Однако возникают такие проблемы, как отложение продуктов реакции на рабочих поверхностях скруббера.

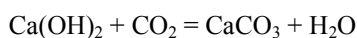
При решении этих проблем можно использовать добавки в поглощающий раствор. В качестве добавок могут выступать природные и аминовые кислоты, такие как триэтанолламин, винная и щавелевая кислота.

Имеются две важные модификации процесса улавливания диоксида серы с использованием соединений кальция. В одной из них применяют смесь известки со щелочной летучей золой, а в другой – смесь известняка со щелочной летучей золой. В рассматриваемых модификациях известь или известняк используют как добавки для поддержания рН шлама на необходимом уровне. Физико-химические и химические процессы, протекающие при этом, идентичны.

В известковых и известняковых системах были испытаны две важные добавки: адипиновая кислота и тиосульфат натрия. Было доказано, что эти добавки уменьшают образование отложений, повышают эффективность удаления диоксида серы и минимизируют колебания рН при изменении концентрации сернистого ангидрида. Ещё она важная добавка – оксид магния. Известь с оксидом магния оказалась отличным абсорбентом диоксида серы. Она даёт наименьшее образование сульфосодержащих отложений при высокой эффективности улавливания сернистого ангидрида.

Эти технические жидкости обладают большой буферностью, что объясняет минимальное образование отложений [3].

Так, при очистке аглогазов от диоксида серы в полых форсуночных скрубберах сероулавливающих установок ОАО «ММК» концентрация взвешенных веществ в газе колеблется в пределах от 0,8 до 0,22 г/м<sup>3</sup>, а рН – от 8,6 до 9,0. При введении мочевины в известковое молоко протекают реакции:



Согласно этим реакциям при концентрации извести в известковом молоке 40 г/л концентрация мочевины в поглощающей жидкости должна быть не менее 34,42 г/л.

При уменьшении концентрации известкового молока снижается образование карбонатов. В этом случае используется коэффициент, который был определен из соотношения концентрации мочевины к концентрации известкового молока, равный 0,8105.

Для защиты внутренней поверхности абсорбера от

коррозионного воздействия среды рекомендуется гуммировать эти поверхности антикоррозийными составами на основе резины, а скруббера, циркуляционные сборники, шламовые сборники, сборники известкового молока, каплеуловители, газоходы чистого газа должны быть из химически стойкого слоистого пластика.

#### Список литературы

1. Касаткин А.Г. Процессы и аппараты химической технологии. М.: ГХИ, 1961. С. 830.
2. Крыленко В.И., Белоконов С.М. Очистка агломерационных газов от сернистого ангидрида. М., 1971. С. 1–6.
3. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: справочник: пер. с англ.: в 2 т. / под ред. С. Калверта и Г.М. Инглунда. М.: Metallurgia, 1988. С. 530–531.

#### Bibliography

1. Kasatkin A.G. Processes and Equipment in Chemical Technology. M.: CTI, 1961, P. 830
2. Krylenko V.I., Belokon S.M. Waste Gas Cleaning from sulfur dioxide. M., 1971. P. 1–6.
3. Calvert S., Harold M. Englund. Handbook of air pollution technology. M.: Metallurgy, 1988. P. 530–531.