

С. В. Свергузова, Л. А. Порожник, И. Г. Шайхиев,  
Д. Ю. Ипанов, В. Д. Мухачева

## АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ключевые слова: адсорбция, пыль электросталеплавильного производства, сорбционная емкость, эффективность очистки.

Приведены результаты экспериментов по исследованию адсорбционных свойств пыли электросталеплавильного производства. Показано, что частицы тонкодисперсной пыли имеют значительные структурные дефекты поверхности. Установлено, что пыль ЭДСП обладает значительными сорбционными свойствами по отношению к ионам железа, метиленовому голубому, фосфат-ионам. Природа адсорбции близка к химической.

Keywords: adsorption, electric furnace steelmaking dust, sorption capacity, treatment efficiency

The results of experimental studies of adsorption properties of the electric furnace steelmaking dust are shown. It is demonstrated that fine dust particles have significant structural defects on the surface. Found that the dust has great absorption properties in relation to iron ions, methylene blue, phosphate ions. Adsorption nature is similar to the chemical.

В многокомпонентной системе наличие резкого выраженного силового поля поверхности раздела фаз может вызывать изменение состава поверхностного слоя: различные вещества в зависимости от их природы могут концентрироваться на поверхности (или, наоборот, уходить в объем фаз) [1]. Данное явление называется адсорбцией и широко используется в различных промышленных процессах, в частности, при очистке сточных вод. Это, прежде всего, применение адсорбции из раствора на высокодисперсных порошках и пористых адсорбентах для очистки различных растворов от вредных примесей либо для улавливания и концентрирования ценных веществ из разбавленных растворов.

Для очистки водных сред от загрязняющих веществ широко используют активные угли [2]. Последние являются общепризнанными эффективными сорбентами, позволяющими извлекать из растворов широкий спектр загрязняющих веществ. Однако они довольно дорогие, кроме того, после использования адсорбенты должны быть либо регенерированы, либо подвергнуты захоронению, что также удорожает процесс очистки. В то же время многие промышленные отходы по своим физико-химическим свойствам могут быть использованы как сорбционные материалы [3-14]. К таким отходам относится пыль электродугового сталеплавильных печей (ЭДСП) Оскольского электрометаллургического комбината. В состав пыли входят оксиды и силикаты различных металлов (табл. 1).

Таблица 1 - Химический состав пыли ЭДСП

Компоненты	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	CaO	Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	ZnO	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	SO <sub>3</sub>	Cl <sup>-</sup>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Содержание, масс %	49,5	13,48	9,7	5,9	5,8	5,6	3,9	2,1	1,3	0,8	0,6
Компоненты	PbO	Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CuO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	SrO	CdO	NiO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Br
Содержание, масс %	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01

Пыль ЭДСП состоит из тонкодисперсных частиц размерами от 0,5 до 2,0 мкм. Удельная поверхность пыли ( $S_{уд}$ ), измеренная с помощью многоточечного метода БЭТ с помощью прибора марки «SoftSorb» составляет  $64,6 \pm 4,5$  м<sup>2</sup>/г. На микрофотографиях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа марки «TESCAN MIRA-3» (рис. 1)

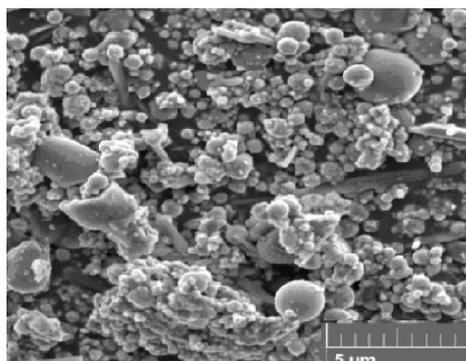


Рис. 1 - Пыль ЭДСП

видны скопления тонкодисперсных частиц пыли размером менее 5 мкм с округлыми очертаниями, имеющими неровные края. Наблюдаются вкрапления частиц овальной формы с четко очерченными краями, вероятно, SiO<sub>2</sub>. Просматриваются редкие продолговатые кристаллы гипса длиной до 7-10 мкм. При данном увеличении видны неровности поверхности частиц пыли, углубления, впадины, шероховатости и другие дефекты поверхности.

Как известно [1], одна из особенностей адсорбции из растворов на поверхности твердых тел заключается в том, что заметную роль в адсорбционных процессах может играть неоднородность строения поверхности и особенно различные дефекты структуры поверхности.

Значение величины удельной поверхности в совокупности с описанной структурой поверхности частиц свидетельствует о вероятных высоких сорбционных свойствах пыли.

Адсорбция из растворов на границе между жидкостью и твердым адсорбентом играет важное практическое значение в самых различных областях промышленности и природных процессах [1], поэтому целью данной работы являлось исследование сорбционных свойств пыли ЭДСП.

Особенностью химического состава последней является то, что она содержит различные по свойствам химические компоненты. Это, в первую очередь, активный оксид кальция CaO, кварц  $\beta$ -SiO<sub>2</sub>, силикаты кальция, оксиды железа и других металлов. Поэтому экспериментальные исследования по определению адсорбционных характеристик затруднены, так как в результате гидратации частиц ЭДСП состав дисперсной фазы и дисперсионной среды непрерывно изменяется в результате взаимодействия оксидов щелочных и щелочноземельных металлов с водной средой. При повышении pH среды происходит образование малорастворимых гидроксидов металлов, которые могут сорбироваться на поверхности частиц силикатов, вступать в реакции ионного обмена с образованием различных по составу и зарядности коллоидных частиц, а следовательно, искажать картину сорбционных процессов. В этой связи для исследования сорбционных свойств пыли ЭДСП вначале отмывали 0,1 н раствором серной кислоты от растворимой компоненты.

Как видно из рисунка 2, отмывая часть пыли

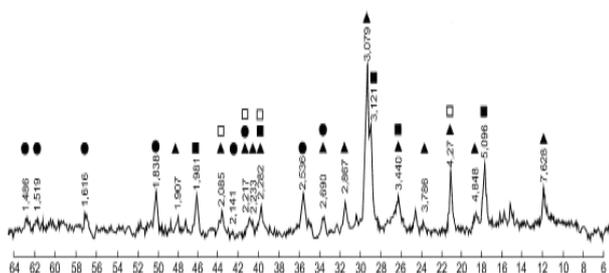


Рис. 2 - Рентгенограмма пыли ЭДСП, отмывтой 0,1 н H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: □ - SiO<sub>2</sub>; ● - Fe<sup>2+</sup>; ■ - 2(2CaO·SiO<sub>2</sub>)·CaSO<sub>4</sub>; ▲ - CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O

ЭДСП представлена соединениями, которые не вызывают изменения pH и химического состава среды.

Для исследования сорбционных характеристик отмывтой пыли (ОП) по извлечению ионов PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, красителя "метиленовый голубой" (МГ) готовились модельные растворы в диапазоне концентраций от 20 до 90 мг/л. Масса навески ОП составляла 0,5 г на 1 л раствора. Величину сорбции вычисляли по уравнению:

$$A = (C_0 - C_k)V / m,$$

где C<sub>0</sub>, C<sub>k</sub> – начальная и конечная концентрации анализируемых компонентов, мг/л; V – объем рабочего раствора, мл; m – масса добавленной пыли, г.

По экспериментальным данным построены изотермы адсорбции и десорбции, представленные на рисунке 3.

По полученным кривым адсорбции и десорбции можно сделать вывод, что во всех исследуемых случаях имеют место сорбционные процессы.

Как видно из результатов исследований, сорбционная емкость ОП для ионов Fe<sup>3+</sup> составляет 7,8 мг/г, для ионов Fe<sup>2+</sup> - 7,4 мг/г. Большую сорбционную емкость для ионов Fe<sup>3+</sup> по сравнению с ионами Fe<sup>2+</sup>, по-видимому, можно объяснить большей величиной заряда иона Fe<sup>3+</sup>.

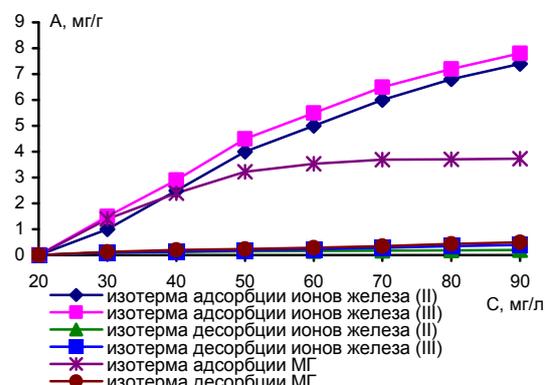


Рис. 3 - Изотермы адсорбции и десорбции ионов железа и МГ

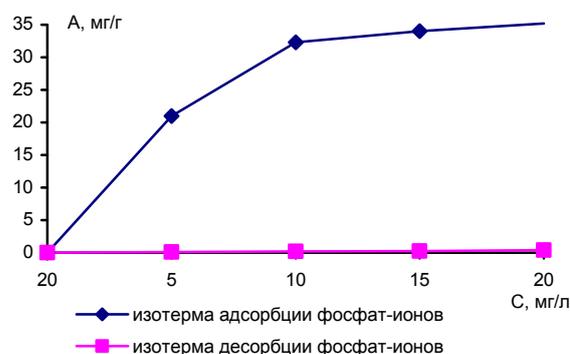
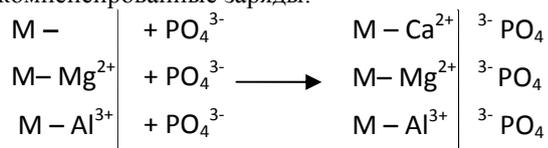


Рис. 4 - Изотермы адсорбции и десорбции фосфат-ионов

Так, размер иона Fe<sup>3+</sup> составляет 0,067 нм, а Fe<sup>2+</sup> - 0,08 нм, что свидетельствует о возможности иона Fe<sup>3+</sup> более близко подходить к сорбционной поверхности. Однако Fe(OH)<sub>3</sub> – более слабое основание, чем Fe(OH)<sub>2</sub>. А катионы более слабых оснований сильнее подвергаются гидролизу, чем катионы более сильных оснований. Таким образом, большая часть катионов Fe<sup>3+</sup> будет находиться в воде в гидролизованном виде – как FeOH<sup>2+</sup> или [Fe(OH)<sub>2</sub>]<sup>+</sup>. Так как гидролизованные ионы металлов имеют большие размеры по сравнению с негидролизованными, то при увеличении степени гидролиза около сорбционной поверхности будет удерживаться больше ионов Fe<sup>2+</sup>, чем Fe<sup>3+</sup>. Сорбционная емкость ОП по МГ составляет 7,73 мг/г, а по ионам PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> - 35,2 мг/г.

После кислотной обработки пыли ЭДСП на краях диспергированных частиц ОП в результате потери координационной насыщенности минералов могут разрушаться ионные связи и появляться как некоординированные кислородные атомы (участки с отрицательным зарядом), так и некоординированный кремний или ионы металлов (участки с частичным положительным зарядом). Такие поверхностные заряды компенсируются электростатической адсорбцией анионов PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> из очищаемого раствора по пред-

ставленной ниже схеме, где М – матрица, имеющая некомпенсированные заряды:



Этим объясняется высокая сорбционная емкость ОП по отношению к ионам  $\text{PO}_4^{3-}$  по сравнению с другими ионами.

Таким образом, в ходе данных исследований установлены сорбционные свойства пыли ЭДСП. Исходя из характера изотерм адсорбции-десорбции, природа сорбционного взаимодействия исследуемых веществ с ОП не является физической, а близка к химической адсорбции.

### Литература

1. *Шукин, Е.Д.* Коллоидная химия / Е.Д. Шукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина. – М.: Высш. шк., 2004. – 445 с.
2. *Смирнов, А.Д.* Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л.: Химия, 1982. – 168 с.
3. *Свергузова С.В.* Шлаковые отходы в водоочистке / С.В. Свергузова, Н.Ю. Кирюшина, Г.И. Тарасова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. - № 4. – С. 140-145.
4. *Свергузова, С.В.* Очистка железо- и цинксодержащих вод шлаком / С.В. Свергузова, М.Г. Григорян // Экология и промышленность России. – 2010. – № 9. - С. 45-47.
5. *Свергузова, С.В.* Альтернативный реагент для очистки растворов от ионов металлов / С.В. Свергузова, Ю.Н. Малахатка, И.Г. Шайхиев, А.В. Шамшууров // Вестник казанского технологического университета. – 2012. - № 12. – С. 137-139.
6. *Свергузова, С.В.* О возможности использования пыли производства строительных материалов для очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов / С.В. Свергузова, Ю.Н. Малахатка, Г.И. Тарасова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2012. - № 4. – С. 169-172.
7. *Свергузова, С.В.* О возможности использования отхода сахарной промышленности для очистки сточных вод / С.В. Свергузова, Д.А. Ельников, Ж.А. Свергузова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2011.– № 3. – С. 128-133.
8. *Шайхиев, И.Г.* Изучение областей применения осадков, образующихся при коагуляции примесей щелочных и сточных вод производства тиокола. Изучение состава осадков и их свойств / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, Д.Ю. Морозов, М.В. Шулаев // Химическая промышленность.- 2004.– т. 81. - № 9. – С. 480-484.
9. *Шайхиев, И.Г.* Использование отходов сельского хозяйства для очистки сточных вод гальванических производств / И.Г. Шайхиев // Вестник машиностроения. - 2006. - № 4. – С. 73-77.
10. *Шайхиев, И.Г.* Рекуперация отходов промышленного производства в реагенты для очистки сточных вод / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова // Рециклинг отходов. – 2006. - № 5. – С. 21-22.
11. *Шайхиев И.Г.* Очистка сточных вод производства соевого молока алумосодержащими коагулянтами из отходов производства / И.Г. Шайхиев, Ф.Ф. Шакиров, С.В. Фридланд //Безопасность в техносфере. – 2006. - № 3. – С. 102-104.
12. *Шайхиев И.Г.* Использование отходов растительного происхождения в качестве сорбентов нефти / И.Г. Шайхиев, С.В. Степанова, Р.Х. Низамов, С.В. Фридланд // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. - № 4. – С. 28-31.
13. *Шайхиев, И.Г.* Исследование возможности удаления ионов тяжелых металлов из водных сред отходами переработки бобовых культур / И.Г. Шайхиев, Т.А. Прокопенко, С.В. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. - № 8. – С. 60-64.
14. *Шайхиев, И.Г.* Влияние обработки ВЧ-плазмой пониженного давления на эффективность удаления с водной поверхности масла КС-19 отходом валяльно-войлочного производства / И.Г. Шайхиев, З.Т. Фазуллина, И.Ш. Абдуллин, И.Г. Гафаров // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. - № 4. – С. 126-128.

© **С. В. Свергузова** - д.т.н., проф., зав. каф. промышленной экологии Белгородского госуд. технол. ун-та им. В.Г. Шухова, re@intbel.ru; **Л. А. Порожнюк** - к.т.н., доцент той же кафедры; **И. Г. Шайхиев** - д.т.н., проф., зав. каф. инженерной экологии КНИТУ; **Д. Ю. Ипанов** – асп. каф. промышленной экологии Белгородского госуд. технол. ун-та им. В.Г. Шухова; **В. Д. Мучачева** - доц. каф. неорганической химии Белгородского госуд. технол. ун-та им. В.Г. Шухова.