



УДК 691.5

С.В. СВЕРГУЗОВА, докт. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой,

Д.Ю. ИПАНОВ, аспирант, Е.В. СУХАНОВ, аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова), РФ

## АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Представлены результаты исследований адсорбционных свойств отхода сталеплавильного производства – пыли электродуговых сталеплавильных печей. Установлена высокая эффективность очистки растворов от органического красителя метиленового голубого с помощью пыли Оскольского электрометаллургического комбината. Методом адсорбции определена величина удельной поверхности пыли.

**Ключевые слова:** отход электросталеплавильного производства, адсорбция, десорбция, метиленовый голубой, очистка воды.

Явление адсорбции широко распространено в природе и используется в технологических процессах. С помощью сорбционных методов можно селективно очищать сточные воды от многих загрязняющих веществ практически до любого уровня конечных концентраций.

В последнее время исследователи рекомендуют применять для очистки сточных вод сорбционные материалы на основе отходов производств. Авторы изучили адсорбционные свойства пыли электродуговых сталеплавильных печей (ЭДСП) – отхода Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК) Белгородской области.

Согласно работам [1, 2] для определения удельной поверхности и адсорбционных свойств порошковых материалов можно использовать метод адсорбции красителей из растворов. Адсорбционные свойства пыли

ЭДСП изучались с помощью органического красителя метиленового голубого (МГ). Расчетные данные по определению удельной поверхности пыли приведены в табл. 1.

Расчетные значения  $S_{уд}$  для пыли удовлетворительно согласуются со значением  $S_{уд}$ , полученным методом Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ) по многослойной адсорбции азота.

Изотерму адсорбции строили путем измерения адсорбции (при температуре  $t = 18 \pm 2$  °С) красителя МГ на исходной пыли. Этот краситель имеет относительно большие линейные размеры молекулы (1,5 нм). По данным Х. Кинле и Э. Бадера, МГ адсорбируется в виде плоской пластины [3].

Адсорбцию МГ на поверхности пыли (а) рассчитывали по формуле

Таблица 1 – Результаты определения удельной поверхности пыли методом адсорбции

Параметр				
Адсорбция	Емкость монослоя	Предельная адсорбция	Удельная поверхность расчетная	Удельная поверхность, определ. эксперим.
а, кг/кг	Е, кмоль/кг	$A_{max}$ , кмоль/м <sup>2</sup>	$S_{уд}$ , кг/м <sup>2</sup>	$S_{уд.экспер}$ , кг/м <sup>2</sup>
$6,8 \cdot 10^{-3}$	$13,35 \cdot 10^{-5}$	$0,29 \cdot 10^{-3}$	46,03	$64,6 \pm 4,5$

Примечание:

- адсорбция – явление поглощения вещества из газообразной или жидкой среды поверхностью твердого тела (или процесс концентрирования вещества из объема фаз на границе их раздела) [1];
- емкость монослоя – количество вещества, которое может быть адсорбировано единицей поверхности раздела фаз при условии плотной упаковки сорбированных атомов или молекул, т.е. предельное заполнение молекулами адсорбируемого вещества [2, 3];
- предельная адсорбция – количество вещества, адсорбированного на границе раздела при полном (предельном) насыщении тонкого граничного слоя;
- удельная поверхность – усредненная характеристика размеров внутренних полостей (каналов, пор) пористого тела или частиц раздробленной фазы дисперсной системы [4];
- удельная поверхность расчетная –  $S_{уд}$ , вычисленная по величине максимальной адсорбции ( $A_{max}$ ) метиленового голубого (химическая формула  $C_{16}H_{18}ClN_3S$  на поверхности пыли);
- удельная поверхность, определенная экспериментально, –  $S_{уд.экспер}$  найденная авторами по многослойной адсорбции азота на установке TriStar (США).

$$a = (C_n - C_k) \cdot V/m, \text{ мг/г}, \quad (1)$$

где  $C_n$  и  $C_k$  – соответственно начальная и конечная концентрации МГ в растворе, мг/л;  $V$  – объем раствора, л;  $m$  – масса навески, г.

Количество вещества, находящееся в растворе после десорбции ( $a_{\text{дес}}$ ), рассчитывали по формуле

$$a_{\text{дес}} = C_p \cdot V/m, \text{ мг/г}, \quad (2)$$

где  $C_p$  – равновесная концентрация вещества в растворе, мг/л.

Были исследованы изотермы при соотношении фаз  $T : Ж = 1 : 100$ .

Адсорбцию метиленового голубого проводили из модельных растворов с его исходным содержанием в диапазоне от 0,5 до 10 мг/л. Время достижения равновесия при температуре  $18 \pm 2$  °С составило 24 часа. Твердую фазу отделяли от жидкой путем центрифугирования при 6000 об/мин в течение 15 мин. После высушивания в естественных условиях ее подвергали десорбции в 100 мл дистиллированной воды (время установления равновесия – 24 часа).

Изотермы адсорбции и десорбции МГ на поверхности пыли представлены на рис. 1.

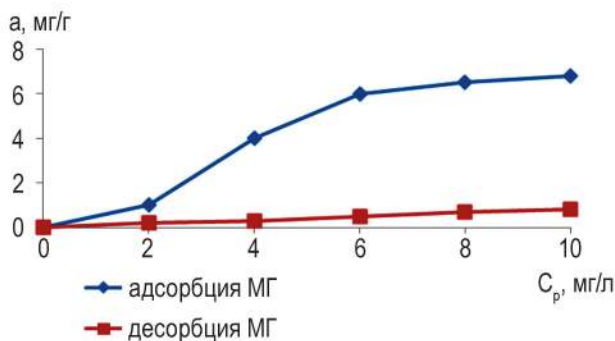


Рисунок 1 – Изотермы адсорбции и десорбции МГ на поверхности пыли ЭДСП

Анализ изотермы адсорбции МГ исходной пылью позволяет судить об образовании гемимицелл в приповерхностном слое, адсорбция которых приводит к резкому перегибу изотермы. Как показывают расчеты [1], красители адсорбируются в форме мицелл, в которых молекулы располагаются в кубической зависимости от массы красящего иона в молекуле красителя. Так, у используемого красителя МГ число молекул в агрегате равно двум, следовательно, этот краситель адсорбируется в виде димеров.

Согласно классификации изотерм сорбции по БЭТ изотерма МГ на исходной пыли описывает межмоле-

кулярное взаимодействие в веществе сорбента. Плато соответствует образованию конденсированного мономолекулярного покрытия поверхности исходной пыли ( $a = 0,35$  мг/г), далее происходит достройка к ранее сорбированным молекулам МГ до диаметра. Завершению формирования монослоя соответствует  $a = 4,8$  мг/л.

Расчетные данные показывают, что на поверхности пыли после десорбции остается краситель. Таким образом, между поверхностью пыли и МГ существует не только физическое, но и химическое взаимодействие. Если поверхность материала энергетически неоднородна, каждая ступень адсорбции должна быть заменена набором ступенек, соответствующих образованию монослоев на однородных участках поверхности. Схематичная модель неоднородной поверхности представлена на рис. 2. При достаточно большом количестве ступенек изотерма становится плавной (на пыли образуется полимолекулярный слой МГ). Такая изотерма свидетельствует о высокой неоднородности поверхности.

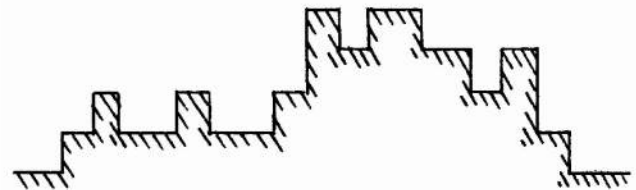


Рисунок 2 – Профиль скола грани энергетически неоднородной поверхности

Согласно классической интерпретации С. Грега и К. Синга [4] ступенчатая изотерма адсорбции характерна для поверхности непористого либо совершенно однородного материала. В каждом слое адсорбция возрастает ступенчато таким образом, что крутой подъем каждой ступени соответствует кооперативным взаимодействиям, формирующим слой, а ее площадка – переходу от рассматриваемого слоя к последующему, лежащему выше. Размеры пор настолько малы, что на их стенках может образоваться не более одного слоя молекул, при этом точка, соответствующая завершению образования монослоя, лежит на площадке первой ступени. Высота ступени соответствует емкости монослоя, которая измеряется у точки перегиба пологого участка ступени. Для определения удельной поверхности пыли с использованием метода адсорбции сначала определяется предельная адсорбция ( $A_{\text{max}}$ ) по формуле

$$A_{\text{max}} = \frac{1}{S_0 \cdot N_A}, \text{ кмоль/м}^2, \quad (3)$$



где  $S_0$  – сечение молекулы МГ («посадочная площадка», равная  $0,57 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2$ );

$N_A$  – число Авогадро ( $6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ ).

Удельная поверхность  $S_{уд}$  может быть найдена из соотношения

$$S_{уд} = \frac{E}{A_{max}}, \text{ м}^2/\text{кг}, \quad (4)$$

где  $E$  – емкость монослоя, кмоль/кг.

Авторами экспериментально установлено, что при исходной концентрации МГ в растворе 10 мг/л и добавке 2 г пыли на 1 л раствора эффективность очистки растворов МГ достигает 89,5 %, что является подтверждением высоких адсорбционных свойств пыли ЭДСП.

Таким образом, пыль ЭДСП может быть использована в качестве сорбционного материала для очистки окрашенных растворов от МГ.

### ВЫВОДЫ

Результаты исследований адсорбционных свойств отхода сталеплавильного производства – пыли электродуговых сталеплавильных печей – показали высокую эффективность очистки с помощью такой пыли растворов, окрашенных органическим веществом (метиленовым голубым). Это свидетельствует о возможности применения данного отхода в качестве сорбционного материала.

Надано результати досліджень адсорбційних властивостей відходу сталеплавильного виробництва – пилу електродугових сталеплавильних печей. Встановлено високу ефективність очистки розчинів від органічного барвника метиленового блакитного за допомогою пилу Оскольського електрометалургійного комбінату. Методом адсорбції визначено величину питомої поверхні пилу.

тродуговых сталеплавильных печей – показали высокую эффективность очистки с помощью такой пыли растворов, окрашенных органическим веществом (метиленовым голубым). Это свидетельствует о возможности применения данного отхода в качестве сорбционного материала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Щукин Е. Д.** Коллоидная химия / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – М. : Высшая школа, 2004. – 445 с.
2. **Парфит Г.** Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Г. Парфит, К. Рочестер. – М. : Мир, 1986. – 488 с.
3. **Кинле Х.** Активные угли и их промышленное применение / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л. : Химия, 1984. – 216 с.
4. **Грег С.** Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. – М. : Мир, 1970. – 407 с.

*Поступила в редакцию 04.08.2014*

The results of research on the absorption properties of waste from steel production – electric arc furnaces' dust – are presented. The high efficiency of treating organic dye (methylene blue) solutions with the dust obtained from Oskolskiy metallurgical plant is confirmed. The value of specific surface area of dust is determined by absorption method.