

7. Установка для дослідження питомого електричного опору вуглецевих матеріалів / Є.М. Панов, Г.М. Васильченко, Т.В. Чирка // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження: зб. наук. праць. - 2011. - № 1(6). - С. 18-20.

8. Установка для измерения теплопроводности углеродных зернистых и порошковых материалов /

Е.Н. Панов, Г.Н. Васильченко, Т.В. Чирка, В.М. Голчанская // Вісник НТУУ «КПІ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження: зб. наук. праць. - 2011. - № 1(7) додаток. - С. 58-63.

Поступила 05.06.2013

УДК 662.749:067.5

Коверя А.С. /к.т.н./

НМетАУ

Наука

## Взаимосвязь спекающей способности углей и их смесей с внешней удельной поверхностью

*Предложено при составлении угольных шихт для коксования использовать новый показатель, основанный на соотношении внешней удельной поверхности хорошо и плохо спекающихся углей. Установлены и проанализированы взаимосвязи предлагаемого показателя со спекающей способностью угольных смесей. Исследована возможность расчетного определения величины внешней удельной поверхности угольных смесей. Ил. 1. Табл. 6. Библиогр.: 2 назв.*

**Ключевые слова:** угольная шихта, внешняя удельная поверхность, воздухопроницаемость, аддитивные свойства, спекающая способность, метод Рога

*It is suggested to use new index based on the ratio of external specific surface of well and bad caking coals while making up coal charge for coking. The relations of proposed index with coal caking power and both coal mixtures have been defined and analyzed. The possibility of calculating the size of external specific surface of coal mixtures has been examined.*

**Keywords:** coal charge, external specific surface, air permeability, addition properties, caking power, method Roga

### Введение

Удельная поверхность (УП) характеризует уровень дисперсности материалов и имеет большое значение в технологических процессах их переработки. Так, при термической деструкции углей без доступа воздуха их спекание происходит по поверхности, величина которой имеет большое значение при физических и химических процессах взаимодействия компонентов угольной загрузки и как следствие, при формировании свойств кокса. Известно, что при чрезмерном измельчении углей наблюдается эффект «самоотощения», когда для смачивания большой поверхности угольных частичек не хватает жидкой фазы пластической массы. При достаточно крупном измельчении углей ухудшается однородность структуры получаемого кокса в результате того, что процессы термической деструкции углей и образования полукокса и кокса в значительной степени происходят обособленно в угольных частицах.

Современные угольные шихты являются многокомпонентными и при этом включают угли разных месторождений, что требует изучения влияния отдельных компонентов шихты на процесс термической деструкции, а также усложняет прогнозирование качества кокса.

По сути, угольную шихту можно рассматривать как двухкомпонентную смесь, которая состоит из

спекающей и отошающей части. Соотношение этих групп углей в смеси и уровень их измельчения должно обеспечивать хорошее взаимодействие угольных частиц на стадии пластического состояния. Учитывая то, что процесс спекания углей является поверхностным, можно предположить, что для хорошего взаимодействия угольных частиц при их термической деструкции и для получения кокса хорошего качества необходимо выполнение условия, согласно которому угольной пластической массы должно хватить для спекания как основных спекающих компонентов шихты, так и плохо спекающейся и несспекающейся её части. Исходя из этого, соотношение внешней УП хорошо спекающихся углей к плохо спекающимся должно равняться или быть больше единицы.

Различают понятия внешней и внутренней УП углей. Под внешней УП понимают суммарную поверхность всех угольных частиц, приходящуюся на единицу их массы. Внутренней считают поверхность всех пор и микротрещин единицы массы угля.

### Постановка задачи

Целью работы являлось установление возможности использования для составления угольных шихт и прогнозирования качества кокса показателя, который характеризует величину внешней УП компонентов шихты. Для этого необходимо было получить зависимости спекающей способности углей и их смесей, а также качества высокотемпературного кокса от из-

менения величины внешней УП шихт.

**Результаты исследований и их анализ**

Для установления внешней УП использовался метод, сущность которого заключается в воздухопроницаемости слоя угля заданной крупности при атмосферном давлении. В ходе опыта, для определения внешней УП, фиксируют разрежение в приборе, объём воздуха, прошедшего через слой материала и продолжительность опыта. Также после опыта устанавливают массу анализированной пробы и подсчитывают величину порозности слоя угля, для чего предварительно определяют их кажущуюся плотность. Кроме того, для расчета внешней УП необходимо знать вязкость воздуха при температуре опыта и константу прибора.

В качестве предмета исследований были взяты угольные концентраты, характеристика которых представлена в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристика угольных концентратов**

| Наименование ЦОФ | Марка | Технический анализ, % |           |         | Средний показатель отражения витринита, %<br>$R_o$ | Пластометрические показатели, мм |     |
|------------------|-------|-----------------------|-----------|---------|--|----------------------------------|-----|
|                  |       | $A^d$                 | $V^{daf}$ | $S_t^d$ |  | $y$                              | $x$ |
| Кондратьевская   | Г     | 7,5                   | 37,7      | 0,57    | 0,73   | 8                                | 31  |
| Самсоновская     | Ж     | 7,6                   | 34,8      | 2,38    | 0,93   | 18                               | 10  |
| Колосниковская   | К     | 9,5                   | 22,7      | 1,67    | 1,18   | 16                               | 11  |
| Шолоховская      | КС    | 8,8                   | 24,2      | 0,29    | 1,14   | <6                               | 37  |

Уровень измельчения слабо спекающихся концентратов марок Г и КС составлял 100 % содержания класса крупности < 3 мм. Для марок Ж и К класс крупности менее 3 мм составлял 70 %, остальные 30 % имели класс крупности 6-3 мм.

Результаты определения внешней УП угольных концентратов представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Внешняя удельная поверхность угольных концентратов**

| Марка угольного концентрата | Внешняя удельная поверхность ( $S, \text{см}^2/\text{г}$ ) |
|-----------------------------|--|
| Г                           | 1403,2   |
| Ж                           | 1288,5   |
| К                           | 1317,9   |
| КС                          | 1836,3   |

Внешняя УП концентратов возрастает в следующем порядке: Ж, К, Г, КС. Следует отметить, что в ходе исследований наибольшим разрежением, а также массой пробы характеризовались концентраты марок Ж и К, что свидетельствует о прямой зависимости снижения УП с увеличением крупности углей.

Важное значение с точки зрения составления угольных шихт для коксования, имеет оценка аддитивности показателей, характеризующих качество используемых компонентов смеси. Естественно, что применение аддитивных показателей свойств углей позволяет лучше осуществлять оптимизацию состава шихт для коксования.

Исходя из этого, была выполнена оценка возможности расчетного определения величины внешней

УП угольных смесей. Были составлены бинарные смеси в соотношении 1:1, учитывая дисперсность и массу проб, которая была определена при исследовании внешней УП индивидуальных концентратов. Оценку аддитивности внешней УП угольных смесей осуществляли с использованием коэффициента аддитивности, который представляет собой отношение фактического значения показателя к рассчитанному по правилу аддитивности (табл. 3).

**Таблица 3. Коэффициент аддитивности бинарных угольных смесей**

| Наименование пробы | Коэффициент аддитивности |
|--------------------|--------------------------|
| Г+Ж                | 1,4                      |
| Г+К                | 0,7                      |
| Г+КС               | 0,96                     |
| Ж+К                | 0,96                     |
| Ж+КС               | 2,3                      |
| К+КС               | 3,6                      |

Как следует из табл. 3, внешняя УП угольных смесей, которая является физическим свойством, не подчиняется правилу аддитивности. Это связано с практической сложностью получения идентичного размера зерен загрузки при подготовке пробы даже в лабораторных условиях, не говоря уже о промышленных. Тем не менее, достаточно высокой аддитивностью характеризуются бинарные смеси слабо спекающихся и хорошо спекающихся углей Г+КС и Ж+К, т.к. они имеют схожий гранулометрический состав.

Очевидно, что также не следует ожидать выполнения правила аддитивности при изучении многокомпонентных смесей.

Неаддитивность внешней УП угольных смесей также была обнаружена в работе [1].

Следующим этапом работы было установление зависимости спекающей способности углей и их смесей от изменения величины их внешней УП. Для этого были составлены угольные смеси, в которых варьировалось содержание концентратов марок Г, Ж и К, тогда как содержание марки КС в смесях оставалось постоянной величиной – 10 % (табл. 4).

**Таблица 4. Составы угольных смесей и их характеристика**

| № варианта смеси | Содержание угольных концентратов в смеси, % |    |    |    | Технический анализ, % |           |         | Пластометрические показатели, мм |     |
|------------------|---|----|----|----|-----------------------|-----------|---------|----------------------------------|-----|
|                  | Г   | Ж  | К  | КС | $A^d$                 | $V^{daf}$ | $S_t^d$ | $y$                              | $x$ |
| 1                | 60  | 15 | 15 | 10 | 7,9                   | 33,7      | 1,31    | 11                               | 27  |
| 2                | 50  | 15 | 25 | 10 | 8,1                   | 32,2      | 1,41    | 11                               | 25  |
| 3                | 50  | 25 | 15 | 10 | 8,0                   | 33,4      | 1,47    | 12                               | 24  |
| 4                | 40  | 15 | 35 | 10 | 8,3                   | 30,7      | 1,51    | 12                               | 23  |
| 5                | 40  | 25 | 25 | 10 | 8,2                   | 31,9      | 1,57    | 12                               | 22  |
| 6                | 40  | 35 | 15 | 10 | 8,0                   | 33,1      | 1,62    | 13                               | 21  |
| 7                | 30  | 25 | 35 | 10 | 8,4                   | 30,4      | 1,66    | 13                               | 19  |
| 8                | 30  | 35 | 25 | 10 | 8,2                   | 31,6      | 1,72    | 14                               | 18  |

Спекающую способность углей оценивали по методу Рога [2], сущность которого заключается в скоростном нагревании при постоянном давлении смеси угля и отошающей добавки (антрацита) и определении механической прочности углеродистого остатка,

полученного в тигле. Результаты определения спекающей способности угольных концентратов и их смесей представлены в табл. 5.

**Таблица 5. Значения индекса Рога угольных концентратов и их смесей**

| Наименование пробы | Индекс Рога (RI, ед.) |
|--------------------|-----------------------|
| Г                  | 12,8                  |
| Ж                  | 48,8                  |
| К                  | 23,7                  |
| КС                 | 19,9                  |
| Г60+Ж15+К15+КС10   | 15,4                  |
| Г50+Ж15+К25+КС10   | 13,8                  |
| Г50+Ж25+К15+КС10   | 16,1                  |
| Г40+Ж15+К35+КС10   | 15,2                  |
| Г40+Ж25+К25+КС10   | 18,6                  |
| Г40+Ж35+К15+КС10   | 19,9                  |
| Г30+Ж25+К35+КС10   | 20,9                  |
| Г30+Ж35+К25+КС10   | 22,5                  |

Естественно, что наибольшей спекающей способностью обладает концентрат марки Ж. Следует отметить относительно небольшую разницу в индексе Рога хорошо спекающегося концентрата марки К и плохо спекающегося марки КС, имеющего наименьшую толщину пластического слоя (табл. 1), но, по-видимому, обладающего высокой текучестью пластической массы. Что касается угольных смесей, то для них наблюдается четкая закономерность: при снижении содержания доли слабоспекающихся углей в смеси, и соответственно, увеличении содержания хорошо спекающихся углей, индекс Рога возрастает.

Для учета внешней УП компонентов угольной смеси предложен показатель, отражающий их доленое участие, а также соотношение внешних УП хорошо и плохо спекающихся углей – ESSC (от англ. External Specific Surface of Coal). Для угольных концентратов, которые использовались в работе, показатель ESSC определялся по формуле

$$ESSC = \frac{C_{Ж} \cdot S_{Ж} + C_{К} \cdot S_{К}}{C_{Г} \cdot S_{Г} + C_{КС} \cdot S_{КС}}$$

где С – содержание угольного концентрата в смеси в долях единицы; S – внешняя УП угольного концентрата, см<sup>2</sup>/г; Ж, К, Г, КС – марки угольных концентратов.

По предложенной формуле были рассчитаны значения ESSC для всех угольных смесей (табл. 6).

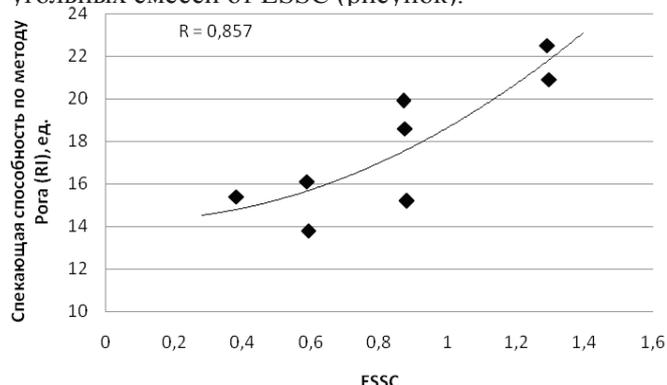
**Таблица 6. Результаты расчета показателя ESSC угольных смесей**

| № смеси по табл. 4 | Значение ESSC |
|--------------------|---------------|
| 1                  | 0,380         |
| 2                  | 0,591         |
| 3                  | 0,587         |
| 4                  | 0,880         |
| 5                  | 0,874         |
| 6                  | 0,870         |
| 7                  | 1,295         |
| 8                  | 1,290         |

Показатель ESSC увеличивается при повышении долевого участия в смесях хорошо спекающихся концентратов марок Ж и К. Наибольшее значение ESSC имеют смеси 7 и 8 – ESSC составляет более единицы. Необходимо отметить, что приблизительно одинако-

вые значения ESSC имеют угольные шихты под номерами 2 и 3, затем 4, 5 и 6, также практически идентичны по величине соотношения УП смеси 7 и 8.

Для того чтобы установить насколько данный показатель характеризует взаимодействие угольных частиц при их термической деструкции была получена зависимость изменения спекающей способности угольных смесей от ESSC (рисунок).



**Рисунок. Изменение спекающей способности угольных смесей по методу Рога (RI) в зависимости от показателя соотношения внешней УП (ESSC)**

График демонстрирует, что при увеличении показателя ESSC спекающая способность угольных смесей возрастает. Следовательно, с целью улучшения взаимодействия разномодальных компонентов в смеси при их термической деструкции и, как следствие, получения более однородной структуры кокса, при составлении угольных шихт для коксования необходимо учитывать показатель, отражающий внешнюю удельную поверхность компонентов смеси.

**Выводы**

1. Предложен новый показатель, который учитывает соотношение внешних УП хорошо и плохо спекающихся углей.
2. Проверена возможность расчетного определения величины внешней УП угольных смесей и установлено, что данная характеристика углей не подчиняется правилу аддитивности.
3. Определено, что показатель ESSC находится в достаточно тесной корреляции со спекающими свойствами угольных смесей, в частности, со спекающей способностью по методу Рога.

Следующим этапом работы являлось проведение высокотемпературных коксований и установление взаимосвязи предлагаемого показателя с качеством кокса. Результаты этих исследований будут опубликованы в следующем сообщении.

**Библиографический список**

1. Беккер Е.Я., Гольдберг П.Я. О методе определения внешней удельной поверхности угольных шихт // Химия твердого топлива. – 1969. – № 5. – С. 15-21.
2. ГОСТ 9318-91. Уголь каменный. Метод определения спекающей способности по Рога. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 9 с.

**Поступила 30.07.2013**