

ОБСУЖДАЕМ СТАТЬЮ: А.С. КОВЕРЯ «ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ ВУГІЛЬНОЇ ПЛАСТИЧНОЇ МАСИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИСКОРЕНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ РОЗПИРАННЯ» (УГЛЕХІМІЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ. – 2016. – № 6. – С. 8-15)

© *В.М. Кузниченко¹, И.В. Шульга², А.В. Сытник³

Государственное предприятие «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)» 61023, г. Харьков, ул. Весна, 7, Украина

¹ Кузниченко Вячеслав Михайлович, канд. техн. наук, с.н.с., ведущий научный сотрудник коксового отдела, e-mail: ko@ukhin.com.ua

² Шульга Игорь Владимирович, канд. техн. наук, доц., с.н.с., начальник коксового отдела, e-mail: ko@ukhin.org.ua

³ Сытник Алексей Владимирович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник коксового отдела, e-mail: ko@ukhin.org.ua

Анализ условий коксования угольной микронавески (2 г) в модернизированном аппарате на основе аппарата ИПИ-ДМетИ позволил вскрыть причины получения сверхвысоких значений (несколько тысяч кПа) давления растрепания углей, а также объяснить несоответствие соотношений давлений растрепания между различными марками углей, полученных в данном аппарате и на крупных лабораторных установках и полупромышленных печах.

Ключевые слова: угольный концентрат, давление растрепания, метод ускоренного определения, условия коксования, динамика давления растрепания, интерпретация показателей, причины развития.

Кобсуждению данной статьи нас побудил ряд изложенных в ней спорных результатов исследований и трактовка автором этих результатов.

Для определения давления растрепания различных углей автор использовал аппарат [1], модернизированный с его участием на основе аппарата для ускоренного определения давления растрепания углей и шихт для коксования [2], который, в свою очередь, был ранее реконструирован на основе аппарата ИПИ – ДМетИ для определения dilatометрических показателей углей и шихт [3, 4].

При анализе данных, изложенных в статье, обращают на себя внимание очень высокие значения давления растрепания угольных концентратов – порядка нескольких тысяч кПа. При этом автор не дает объяснений, как интерпретировать эти данные применительно к промышленному процессу коксования. Полученные значения давления растрепания в сотни раз превышают реально допустимые давления коксующей угольной загрузки на стены камер коксования.

При расчете конструкций коксовых печей на прочность поперечная нагрузка на стены камер коксования Гипрококсом принимается равной 7 кПа. Британской исследовательской ассоциацией по углю (BCRA) для коксовых батарей с камерами высотой 6 м рекомендуются шихты, развивающие давление растрепания ≤ 7 кПа [5, 6].

В США предельно допустимая величина давления растрепания шихт для действующих и проектируемых коксовых печей высотой 6 м и более была снижена с 13,8 до 6,9 кПа, т.е. вдвое [7]. Во Франции безопасным считается давление растрепания $\leq 10,0$ кПа [8]. Для коксовых печей, эксплуатировавшихся в СССР в 40-х годах прошлого столетия, безопасным для кладки обогревательных простенков считалось давление 13-14 кПа [9]. Предельная нагрузка на обогревательный простенок печи, принятая Ф.Вакербартом при расчете размеров печей, составляет 9,0 кПа [10].

Копелиович Л.В. и Сухоруков В.И., базируясь на данных [11], указывают, что при ядерном взрыве сооружения антисейсмической конструкции разрушаются при давлении ударной волны 50-80 кПа. Такое давление неминуемо привело бы к разрушению кладки коксовых печей [12]. При давлениях растрепания, полученных автором обсуждаемой статьи, обогревательные простенки печей были бы моментально разрушены, однако на практике этого не происходит – коксовые батареи эксплуатируются 20-40 лет.

Подавляющим большинством исследователей, проводившим определение давления растрепания на лабораторных установках и полупромышленных печах с подвижной стенкой, получены значения давления растрепания углей при насыпной загрузке от 1,0 до ~90,0 кПа. Так, давления растрепания, полученные Фоменко О.С. [13] в лабораторной печи с подвижной стенкой с загрузкой 2,1 кг угля при коксовании семи донецких углей марок Г, ПЖ, К и ПС, составили соответственно 7,2; 14,7; 47,5 и 42,1 кПа.

* Автор для переписки

Н.Р. Кушниревичем [9], проводившим обширные коксования донецких углей в лабораторной печи с подвижной стенкой с загрузкой 4,5-5,0 кг угля, средние значения давления расприраия углей марок Г, Ж, К, ОС, КС соответственно составили, кПа: 3,8; 10,7; 20,5; 26,5 и 5,1.

Болгарские исследователи [14] приводят результаты определения давления расприраия углей, полученные при использовании стального стакана емкостью на 100 г угля. При влажности угольной загрузки 6 % давление расприраия кузнецкого угля марки Г₆, донецких Ж и К, балканского (типа ОС) составило соответственно, кПа: 0,0; 6,6; 8,8 и 4,9.

Авторы [15], использовавшие для изучения давления расприраия углей печь Н.Р. Кушниревича, для восьми концентратов углей газовой группы получили среднее значение 3,6 кПа, для углей марок Ж 21, К 14 и ОС 6 – соответственно 21,9; 35,2 и 0,0 кПа.

Еркин Л.И. и Лацкая М.П. [16], проводившие обширные исследования углей восточных районов СССР в полупромышленной печи с подвижной стенкой, получили совсем невысокие значения давления расприраия, кПа: угли Кузнецкого бассейна марок Г17; 2Ж26; К13 и К2 – соответственно 1,8; 4,2; 1,9 и 1,5; угли Северо-Сахалинского месторождения марок Г и Ж – соответственно 2,5; 2,4 и лишь сахалинский коксовый уголь – 21,9.

Во Франции на полупромышленной печи с подвижной стенкой экспериментальной станции «Мариено» было проведено 36 коксований различных углей из Франции, ФРГ и США с определением давления расприраия. При этом давления расприраия французских углей составили от 2,5 до 56,0 кПа, немецких – от 4,5 до 73,0 кПа (один уголь при среднем значении из двух определений показал давление 110 кПа), американских – от 6,5 до 86,0 кПа [7].

Васильев Ю.С. и Кузниченко В.М. изучали давление расприраия углей на полупромышленной печи с подвижным вкладышем в обогревательном простенке [17]. Полученные данные для углей марок Г, Ж, К и ОС соответственно составили, кПа: 3,0; 3,7; 10,7 и 4,0.

На лабораторной унифицированной установке [18] для определения давления расприраия авторы [19] получили следующие средние значения этого показателя для углей марок Г, Ж, К, ОС, КС, кПа: 2,7; 4,7; 13,1; 14,8 и 3,7. На этой же установке авторами [20] для тех же марок углей получены такие средние значения, кПа: 3,1; 5,5; 12,6; 21,5 и 1,7, а авторами [21] – соответственно 3,0; 4,4; 12,7; 15,8 и 3,7 кПа.

В Справочнике Коксохимика [22] приводятся следующие данные по давлению расприраия углей марок Г, Ж, К и ОС, соответственно, кПа: 1,5-5,5; 4,0-8,0; 9,0-17,0; 4,5-21,0.

Таким образом, наибольшие значения давления расприраия углей донецкого бассейна, а также восточных угольных месторождений РФ, полученные различными авторами, не превышают 50,0 кПа. Наибольшее давления расприраия немецких углей в 1,5 раза выше указанных, американских – в 1,7 раза выше, однако это в десятки раз меньше, чем результаты, полученные автором обсуждаемой статьи. При этом

наименьшее давление расприраия присуще газовым углям и углям марки КС. Примерно в два раза выше давление расприраия углей марки Ж и в 5-6 раз выше давление расприраия марок К и ОС.

В своей статье автор приводит давление расприраия 13-ти углей газовой группы, два из которых нетипичны, а один из них не укладывается в ДСТУ 3472-2015, как газовый уголь ($y < 6$ мм). Среднеарифметическое значение без этих двух углей составило 2732 кПа, что почти на уровне среднего (из восьми) значения давления расприраия коксовых углей – 2997 кПа. Среднее значение давления расприраия жирных (7 углей) составило 1860 кПа, что меньше, чем газовых в ~ 1,5 раза. Среднее значение этого показателя углей марки ПС составило 3740 кПа, а марки КС – 3360 кПа, что лишь в 1,1 раза больше, чем марки КС. При этом вызывают сомнения полученные значения давления расприраия углей КС1 и КС2 – соответственно 3506 и 3210 кПа, толщина пластического слоя первого из которых составляет 10 мм, а второго < 6 мм. Давление расприраия практически неспекающегося угля ($y < 6$ мм) при обычных условиях коксования должно быть в несколько раз меньше.

По нашему мнению, чрезвычайно высокие значения давления расприраия углей, полученные автором обсуждаемой статьи, объясняются следующим. Во-первых, незначительна величина зазора между штемелем и трубкой, в которой находится испытуемая навеска угля. При внутреннем диаметре трубки 12,0 мм и диаметре штемеля 11,5 мм [4] величина зазора между ними составляет 0,25 мм. Крупность зерен испытуемого угля равна величине указанного зазора. При нагреве угольные зерна, вспучиваясь, полностью перекрывают зазор в местах их нахождения и тем самым уменьшают круговой канал для эвакуации паровых продуктов, который и так достаточно мал. Кроме того, все угольные зерна, находящиеся в этом канале, образуют пластическую массу, которая, отверждаясь, также создает препятствие выходу летучих продуктов. Поскольку на угольную навеску воздействует исходное давление в 2 МПа, создаваемое штемелем, то образующаяся пластическая масса может частично выдавливаться из под него в круговой канал, тем самым уплотняя периферийную часть угольной навески, что еще больше затрудняет выход летучих продуктов из нее.

Во-вторых, причиной высоких значений давления расприраия, полученных в данном аппарате, является весьма значительная плотность угольной загрузки, которую предварительно прессуют под очень высоким давлением – 218 МПа. Для подсчета плотности навески массой 2 г необходимо знать ее объем после прессования. Диаметр навески составляет 12 мм. Сведения о высоте навески после прессования в публикациях автора отсутствуют. Поэтому мы обратились к публикации [23], в которой описывается конструкция прибора для определения вспучивания углей, являющегося практически прототипом прибора ИГИ-ДМетИ. По методике авторов [23] масса сухой навески угля также составляет 2 г, но крупность измельчения навески составляет 100 % кл. $< 1,5$ мм. После прессова-

ния высота навески составляет 13 мм. Не будет существенной ошибки, если мы примем эту высоту для расчета объема навески, ведь при таком огромном давлении пресса (218 МПа) не имеет значения, помол навески составляет 0,2 или 1,5 мм – все равно зерна раздробятся до одинакового уровня. При высоте навески 13 мм ее объем составляет:

$$V = 3,14 \times 36 \times 13 = 1470 \text{ мм}^3, \text{ или } 1,47 \text{ см}^3 \quad (1).$$

Плотность навески составляет:

$$\gamma = \frac{2,0}{1,47} = 1,36 \text{ г/см}^3 \quad (2).$$

Т.е., навеска представляет собой практически целый уголь в виде таблетки. Известно, что плотность угольной загрузки является фактором, в наибольшей степени влияющим на давление расприания. А учитывая то, что коксование происходит еще и под внешним механическим давлением 2 МПа при почти полностью закрытой штоком поверхности навески, то это еще более способствует повышению давления расприания.

Еще одной причиной развития высокого давления расприания углей является очень высокая скорость нагрева малой (2 г) навески угля в круговом, а не в плоском, как при классическом коксовании, температурном поле. Как следует из данных табл. 2 статьи, скорость нагрева углей в аппарате составляет в среднем 40 °С/мин, т.е. в ~ 13 раз выше, чем при промышленном коксовании. При такой скорости нагрева угольная «таблетка» может быстро полностью перейти в пластическое состояние.

Для адаптации данных табл. 2 обсуждаемой статьи к макропроцессу коксования мы воспользовались кривой, изображенной на рис. 2 авторов [2] и их комментариями относительно различных участков этой кривой. На участке «в» в течение 1,5-2,0 мин происходит падение давления от исходного значения 2000 кПа до 800-1300 кПа для марки Г, до 1100-1500 кПа для марки Ж, до 1400-1800 кПа для марки К, 1300-1500 кПа для марки КС и до 1700-2000 кПа для ПС. Это падение давления авторы [2] называют «усилием декомпрессии размягчения или первичной усадки угля», с чем можно согласиться. Однако первичная усадка здесь происходит не так, как в промышленном процессе коксования – за счет уменьшения межзернового пространства в угольной загрузке, а скорее всего за счет выдавливания некоторой части перешедшей в жидкоподвижное состояние угольной загрузки в круговой зазор между штемпелем и стенкой трубки. Участок кривой «с» авторы [2] характеризуют как «период максимальной пластичности». Данные табл. 2 обсуждаемой статьи показывают, что он является весьма кратковременным и практически одинаковым для всех испытанных углей – 10-15 с; температурный интервал минимальной пластичности составляет 2-4 °С. Температурный интервал пластичности углей согласно табл. 2 состоит из суммы участков кривой с+d+e, который можно идентифицировать применительно к макропроцессу коксования как область газонасыщенной пенной зоны. Как известно, она граничит с полукоксом. Участок «б» авторы [2] трактуют, как «период смятия твердого остатка». Поэтому общий интервал пластичности должен составить: $(t_c - t_b)$, °С. Средние температурные интервалы пластичности составили для углей марок Г, Ж, К,

КС и ПС соответственно 127; 114; 84; 100 и 69 °С. Т.е., в данном приборе температурный интервал пластичности газовых углей больше, чем жирных и коксовых, а углей марки КС больше, чем углей марки ПС. Это не вяжется с общепринятыми представлениями о пластическом состоянии углей разной степени метаморфизма. По данным [24] температурный интервал пластичности, определяемый в аппарате Гизелера, для газовых углей составляет 67, жирных – 121, коксовых – 99 и ОС – 45 °С. По данным авторов [25], определявших в аппарате НР. Кушниревича вязкость пластической массы углей марок Г, К и ОС, температурный интервал пластичности составил соответственно 41; 73 и 23 °С. Т.е. температурный интервал пластичности углей марок Ж и К значительно выше, чем марок Г, ОС и КС. Это также указывает на невозможность получения в данном аппарате правильных характеристик пластического состояния углей.

По поводу других утверждений автора. В начале статьи он пишет: «Однією з важливих характеристик вугільної пластичної маси є її в'язкість. Цей показник узагальнює всі властивості пластичної маси і має найбільший вплив на процес коксування». Что вязкость пластической массы является одной из важных ее характеристик – это верно. Однако то, что этот показатель обобщает все свойства пластической массы – это некорректное утверждение, ведь есть еще такие важные показатели, как температурный и временной интервал пластичности, определяющие толщину пластического слоя, однородность и газопроницаемость. На стр. 14 автор вводит термин «...спійкості рідкої частини продуктів термічної деструкції вугілля в період пластичного стану». Под термином «спійкість», по-видимому, следует понимать время существования пластической массы или, что то же самое, – временной интервал пластичности, т.е. автор сам себе противоречит, указывая выше, что вязкость пластической массы обобщает все ее свойства.

Следует также остановиться на вводимом автором показателе $P_3 f / 100$. Он пишет: «Показник $P_3 f / 100$ характеризує в'язкість по відношенню до проникнення чохла термопари в пластичну масу. Період f – це тривалість продавлення чохла пластичної маси після досягнення максимального тиску розпирання». Однако никакого «продавления чохла» в этом аппарате не может быть, так как коксуемая таблетка угля в это время, как указывают авторы [2], представляет собой твердую субстанцию – полукокс. Да и в аппарате нет датчика линейного расширения – усадки, ведь этот аппарат уже является не dilatометром, а аппаратом для определения давления – коксование происходит в замкнутом объеме. Падение же давления связано с переходом пластического состояния угля в полукокс, в котором уже появляются поры и микротрещины, через которые парогазовые продукты коксования эвакуируются в зазоры и далее. Представленные же автором графические зависимости показателя $P_3 f / 100$ углей от индекса вступивания и периода вступивания в ситу сказанного выше не информативны.

По нашему мнению, возможности обсуждаемой методики значительно уже, чем полагает автор статьи. Для решения

практических вопросов, связанных с производством кокса, незаменимой остается информация, получаемая в крупнолабораторных установках, условия коксования в которых максимально приближены к промышленным.

Библиографический список

1. Старовойт А.Г. Модернизированный аппарат для определения динамики давления расширения и пластических свойств угля и шихты / А.Г. Старовойт, А.С. Коверя // *Кокс и химия*. – 2008. – № 2. – С. 15-23.
2. Шейхет А.М. Ускоренный способ определения давления расширения угля и шихты для коксования / А.М. Шейхет, В.Ф. Гончаров, А.Г. Старовойт и др. // *Кокс и химия*. – 1988. – № 4. – С. 13-16.
3. Глейбман В.Б. Модернизация метода и аппарата ИПИ-ДМетИ / В.Б. Глейбман, Л.Ю. Гальперин и М.Я. Крисс // *Кокс и химия*. – 1985. – № 10. – С. 9-10.
4. ГОСТ 14056-77 Угли каменные. Ускоренный метод определения dilatометрических показателей в приборе ИПИ-ДМетИ. – М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при СМ СССР. – 8 с.
5. Tucker I. / I. Tucker, G. Everitt // 2-nd Int. Coking Cong., London. – 1992. – V. 2. – P. 40-61.
6. Golecka I. CRE studies of coking pressure and coke discharge problems / I. Golecka, G. Everitt // 1-st International Coking Congress Preprints. V. 3. Paper 2. Essen. – 1987. – P. 1-26.
7. Ухмылова Г.С. Предупреждение преждевременного разрывания коксовых батерей / Галина Сергеевна Ухмылова // *Обзор информ. Черметинформация. Серия Коксохимическое производство*. – 1989. – Вып. 1. – С. 31 с.
8. Луазон Р. Кокс / Р. Луазон, П. Фои, А. Буайе. – М.: Металлургия. – 1978. – 520 с.
9. Кузнецов Н.Р. Изменение величины давления расширения при коксовании в генетическом ряду донецких углей / Николлай Романович Кузнецов // В сб. *Труды УХИИ*. – М.: Металлургия. – 1948. – С. 43-58.
10. Wackerbarth F. // *Gluckauf – Forschungshefte*. – 1974. – Bd. 35. – Heft 4. – S. 163-165.
11. Егоров П.Т. Гражданская оборона / П.Т. Егоров, И.А. Шляхов, Н.И. Алабин. – М.: Высшая школа, 1977. – 304 с.
12. Коптевич Л.В. Об измерении давления коксования в промышленных коксовых печах / Л.В. Коптевич, В.И. Сухоруков // *Кокс и химия*. – 1996. – № 3. – С. 20-21.
13. Фоменко О.С. Давление шихты на кладку коксовых печей / О.С. Фоменко // *Кокс и химия*. – 1940. – № 11-12. – С. 29-32.
14. Траянов Б. Влияние сушки и термической обработки углей на давление расширения / Б. Траянов, М. Герасимов, Т. Благоев // *Кокс и химия*. – 1981. – № 6. – С. 6-7.
15. Обуховский Я.М. Изучение давления расширения угля с целью составления угольных шихт для коксования / Я.М. Обуховский, Ю.В. Пысов, А.М. Шейхет // *Кокс и химия*. – 1963. – № 7. – С. 14-17.
16. Еркин Л.И. Давление расширения при коксовании углей восточных районов СССР / Л.И. Еркин, М.П. Лацкая // *Подготовка и коксование углей*. – Вып. 9. – Свердловск: Полиграфист, 1971. – С. 112-125.
17. Васильев Ю.С. Способ измерения давления расширения коксующей загрузкой в патуриномысленной печи / Ю.С. Васильев, В.М. Кузнецов // *Кокс и химия*. – 1999. – № 6. – С. 16-21.
18. Кузнецов В.М. Лабораторный способ определения давления расширения коксующей угольной загрузкой реальной насыпной плотности / В.М. Кузнецов, И.В. Шульга, А.В. Сытник // *УглеХимический журнал*. – 2007. – № 3-4. – С. 29-33.
19. Сытник А.В. Давление расширения при коксовании бинарных смесей углей насыпным методом / А.В. Сытник, В.М. Кузнецов, И.В. Шульга // *УглеХимический журнал*. – 2011. – № 1-2. – С. 41-48.
20. Кузнецов В.М. Разработка марочных составов шихты ПАО «Запорожсталь» с учетом их давления расширения / В.М. Кузнецов, А.В. Сытник, А.С. Гайдаенко и др. // *Кокс и химия*. – 2014. – № 4. – С. 10-15.
21. Сытник А.В. Давление расширения углей различных генетических и технологических свойств / А.В. Сытник, В.М. Кузнецов, Д.В. Мирошниченко // *Кокс и химия*. – 2011. – № 1. – С. 2-5.
22. Строчков В.К. Коксохимия. В 6-и томах. Том 1. Под общ. ред. Л.Н. Борисова, Ю.Г. Шаповала. – Харьков: ИД «ИНЖЭКО», 2010. – 536 с.
23. Тайн Е.М. О методике разделения обогащенных углей по селективности / Е.М. Тайн, В.К. Лепова, З.С. Тябина // *Заводская лаборатория*. – 1948. – Т. XIV. – № 10. – С. 1229-1232.
24. Заикин В.Г. Определение пластических свойств донецких углей с помощью пластометра Гизелера / В.Г. Заикин, В.М. Семислатова и Э.И. Черкасская // *Кокс и химия*. – 1965. – № 6. – С. 13-16.
25. Кузнецов В.М. О реологических свойствах пластической массы уплотненной угольной загрузкой / В.М. Кузнецов, А.Ф. Султан // *Нетермические методы подготовки углей и шихты к коксованию. Тематич. сб. науч. трудов УХИИ*. – М.: Металлургия, 1984. – С. 57-59.

Рукопись поступила в редакцию 02.02.2017

THE DISCUSSING OF THE ARTICLE: KOVERIA A.S. "ASSESSMENT OF THE PROPERTIES OF PLASTIC STATE OF COAL WITH THE HELP OF AN EXPRESS METHOD OF DETERMINATION OF SWELLING PRESSURE" (JOURNAL OF COAL CHEMISTRY. – 2016. – № 6. – P. 8-15)

© Kuznichenko V.M., PhD in technical sciences, Shulga I.V., PhD in technical sciences, Sytnik A.V., PhD in technical sciences (SE "UKHIN")

The analysis of the coking conditions for a carbon micro-sample (2 g) in a modernized apparatus based on the IGI-DMetI apparatus made it possible to discover the reasons for obtaining superhigh pressures (several thousand kPa) of coal expansion pressure, and also to explain the discrepancy between the expansion pressure ratios between different grades of coal obtained in this apparatus and with the help of large laboratory installations and semi-industrial furnaces.

Keywords: coal concentrate, expansion pressure, method of accelerated determination, coking conditions, interpretation of expansion pressure dynamics, causes of high level.