

УДК 662.732

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС ПОЛУКОКСОВАНИЯ БУРОГО УГЛЯ

© 2021 г. Д. А. Логинов^{1,*}, А. П. Черных^{1,**}, С. Р. Исламов^{1,***}

¹ ООО «Сибниуглеобогащение», 660060 г. Красноярск, Россия

*e-mail: LoginovDA@suek.ru

**e-mail: ChernykhAP@suek.ru

***e-mail: IslamovSR@suek.ru

Поступила в редакцию 31.07.2020 г.

После доработки 11.08.2020 г.

Принята к публикации 09.12.2020 г.

Исследован процесс полукоксования бурого угля марки 2Б под внешним избыточным давлением газов в диапазоне 0–30 бар. Установлены зависимости основных характеристик получаемого продукта от давления процесса, температуры и времени нагрева. Представлены характеристики бурого угольного полукокса, полученного термической обработкой под давлением.

Ключевые слова: уголь, буроугольный полукокс, давление, термообработка, влага, зольность, выход летучих веществ, прочность, водопоглощение, пористость, теплота сгорания

DOI: 10.31857/S0023117721020043

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день возможности по добыче бурых углей сильно ограничены возможностями сбыта — из-за низкой теплоты сгорания и, как следствие, низкой стоимости, транспортировка на дальние расстояния нерентабельна. В то же время существующие технологии переработки бурых углей в полукокс обладают рядом недостатков [1].

Основной недостаток существующих технологий получения полукокса из бурого угля — это мелкий размер частиц получаемого продукта, затрудняющий его транспортировку, а использование полукокса в кусковом виде требует брикетирования, что неизбежно приводит к его удорожанию.

В настоящее время полукокс применяют в качестве углеродистого восстановителя [2] в металлургических процессах производства ферросплавов, высокотемпературного обжига руд и нерудных материалов, а также в других приложениях, требующих использования твердого топлива с высокой теплотой сгорания [3].

В работе исследован технологический процесс производства кускового полукокса из бурого угля, который заключается в термообработке исходного угля в закрытом реакторе под избыточным давлением газовой фазы. В процессе нагрева угля угольная матрица размягчается и под воздействием внешнего давления газа сжимается, в ре-

зультате чего снижается общий объем пор кусков угля, что позволяет получить кусковой продукт, обладающий механической прочностью, сопоставимой с прочностью исходного угля, повышенной низшей теплотой сгорания, сниженным водопоглощением, высокой реакционной способностью и большим удельным электросопротивлением.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью выявления влияния режимных параметров процесса на технические характеристики полукокса была проведена серия экспериментов на лабораторной установке, которая включает в себя реактор из нержавеющей стали, рассчитанный на давление до 50 бар, оснащенный системой автоматического поддержания необходимого давления, отводчиком конденсата и термодатчиками, с возможностью визуализации процесса нагрева на персональном компьютере. Эксперименты проводили следующим образом: в реактор загружали уголь, помещали реактор в электропечь, при помощи присоединенного баллона с инертным газом повышали давление внутри реактора и затем нагревали печь до необходимой температуры, значение которой в засыпке угля определяли встроенной в реактор термопарой типа ТХА.

Таблица 1. Технический и элементный состав исходного угля, %

W_t^r	A^d	V^{daf}	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	O^{daf}	S_t^d	Q_t^r , МДж/кг
31.3	4.0	48.0	74.8	5.1	1.0	19.1	0.3	17.6

На установке были выполнены поисковые работы на угле класса крупности 20–25 мм в диапазоне давлений 0–40 бар, различных температурах и временах нагрева. В качестве сырья был использован уголь марки 2Б АО “СУЭК-Красноярск” (Разрез Бородинский им. М.И. Щадова), являющийся перспективным сырьем для получения углеродистого восстановителя ввиду его низкой зольности и малого содержания серы и фосфора.

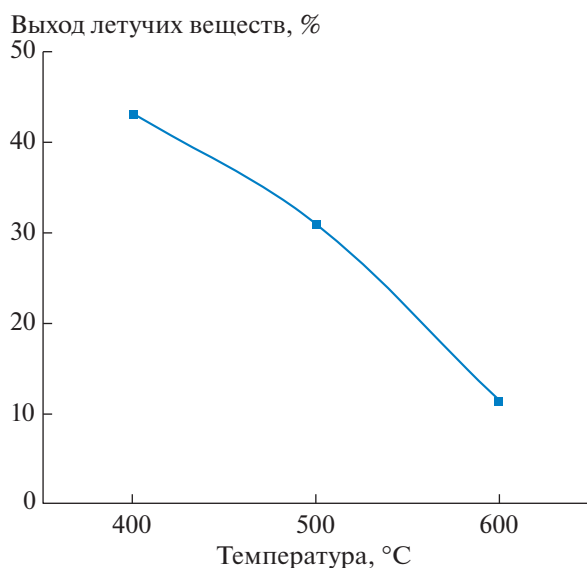
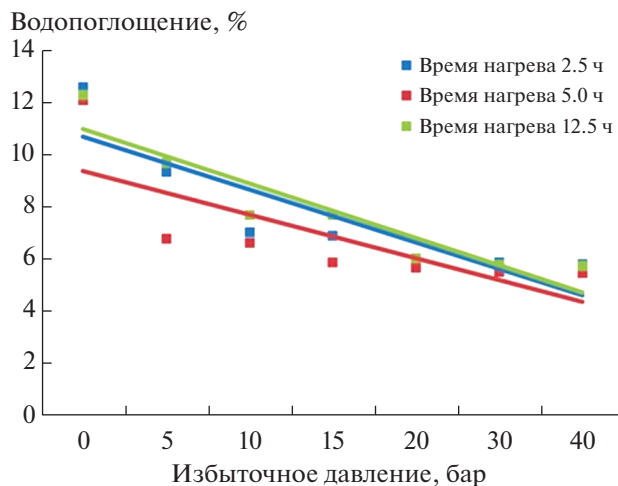
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью определения необходимой температуры нагрева для получения продукта с содержанием летучих веществ V^{daf} не более 15%, что характерно для углеродистых восстановителей, используемых в качестве заменителей древесного угля, были проведены эксперименты с нагревом до различных температур в диапазоне до 600°C. Типичные характеристики использованного в экспериментах угля приведены в табл. 1. Как отмечается в [4], использование углеродистого восстановителя с содержанием остаточных летучих веществ в указанном диапазоне будет сопровождаться снижением склонности колошникового слоя шихты к спеканию и, как следствие, повышением его газопроницаемости и снижением

удельного расхода электроэнергии. Его применение в составе шихты улучшает механические свойства верхнего колошникового слоя шихтовой композиции, разрыхляя его в результате выделения из восстановителя летучих веществ в диапазоне температур слипания размягчаемых частиц рудного сырья. Как показано на рис. 1, исходная температура составляет 570°C и дальнейшие исследования проводились при указанной температуре.

Затем были исследованы зависимости водопоглощения (ГОСТ 21290-70) и объема пор по воде (ГОСТ 17219-71) от давления процесса и времени нагрева, так как скорость нагрева влияет на протекание пиролиза в массе угольных частиц [5]. При коксовании угля вследствие термической усадки за счет высыхания и пиролиза происходит растрескивание угольных частиц, что, в свою очередь, приводит к увеличению водопоглощения и общего объема пор. Как показано на рис. 2, 3, увеличение времени нагрева при атмосферном давлении с 2.5 до 12.5 ч сопровождается незначительным снижением объема пор и водопоглощения. При этом указанные показатели для каждого отдельного эксперимента с заданным давлением также практически не отличаются. Однако увеличение внешнего давления позволяет достичь снижения этих показателей: двукратного для водопоглощения (с 12% при атмосферном давлении до 6% при давлении 20–40 бар) и полторакаратного для общего объема пор (с 0.3 до 0.19 см³/г).

Относительный выход и насыпная плотность полученного продукта не зависят от давления процесса и времени нагрева и составляют: относительный выход 50%, насыпная плотность 500 кг/м³.

**Рис. 1.** Зависимость выхода летучих веществ от температуры.**Рис. 2.** Зависимость водопоглощения от давления и времени нагрева до 570°C.

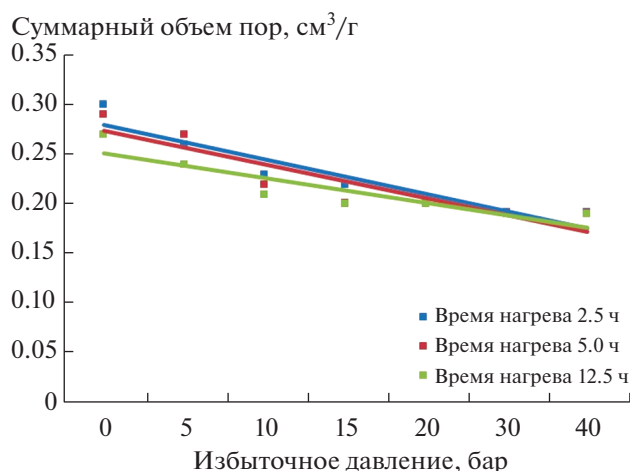


Рис. 3. Зависимость объема пор от давления и времени нагрева до 570°C.

Определение прочности на истирание полученных при различном давлении образцов угля проводилось на основе ГОСТ 15490-70. Показатель M_{10} — это отношение массы остатка на сите 10 мм после рассеивания на ситах к общей массе пробы (рис. 4).

На рис. 2–4 показано, что исследованные характеристики практически не зависят от времени нагрева, а зависят от избыточного давления и прочность полукокса перестает зависеть от времени нагрева при увеличении давления процесса до 10 бар. Прочность полукокса, полученного при избыточном давлении 20 бар, соответствует проч-

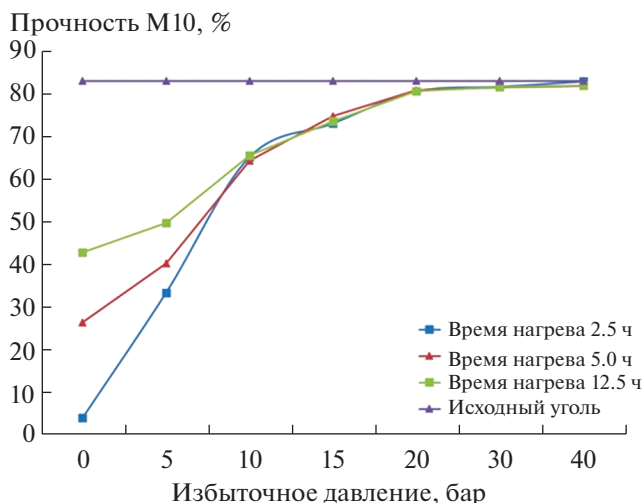


Рис. 4. Зависимость прочности M_{10} полученного продукта от давления при нагреве до 570°C.

ности исходного угля и при дальнейшем увеличении давления почти не растет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из представленных результатов, водопоглощение и объем пор полукокса практически не зависят от времени нагрева, а зависят от избыточного давления процесса. Прочность полукокса при атмосферном давлении вследствие интенсивного возникновения трещин в угольных частицах при быстром нагреве сильно зависит от

Таблица 2. Характеристики полукокса, полученного при температуре 570°C

Показатель	Нормативный документ	Единица измерения	Значение показателя
Влага общая	ГОСТ Р 53357-2013	%	1.1
Зольность (на сухое состояние)		%	7.0
Выход летучих веществ (на сухое беззольное состояние)		%	11.9
Содержание углерода (на сухое беззольное состояние)	ГОСТ 2408.1-95	%	90.7
Содержание водорода (на сухое беззольное состояние)		%	5.0
Содержание кислорода (на сухое беззольное состояние)	ГОСТ 2408.3-95	%	2.83
Содержание азота (на сухое беззольное состояние)	ГОСТ 28743-93	%	1.31
Содержание серы (на сухое состояние)	ГОСТ 8606-2015	%	0.19
Низшая удельная теплота сгорания	ГОСТ 147-2013	МДж/кг	31.3
Насыпная плотность	ГОСТ 32558-2013	кг/м³	500
Водопоглощение	ГОСТ 21290-70	%	6.0
Объем пор по воде	ГОСТ 17219-71	%	0.19
Прочность M_{10}	ГОСТ 15490-70	%	80
Удельное электросопротивление	ГОСТ 4668-75	Ом · см	41.0
Реакционная способность	ГОСТ Р 54250-2010	%	89.6

скорости нагрева. Однако под воздействием внешнего давления среды угольная матрица, размягченная за счет нагрева угля, сжимается, уменьшая количество возникающих трещин и увеличивая механическую прочность даже при большой скорости нагрева. Прочность полукокса резко возрастает при увеличении давления до 20 бар, при дальнейшем повышении давления рост незначительный. Таким образом, нагрев угля под давлением позволяет получить прочный полукокс при гораздо большей скорости нагрева, чем при атмосферном давлении.

В качестве оптимального режима для получения углеродистого восстановителя был выбран режим со следующими характеристиками: температура нагрева засыпки 570°C, избыточное давление процесса 20 бар, время нагрева 2.5 ч. При указанных параметрах был получен полукокс, характеристики которого представлены в табл. 2.

ВЫВОДЫ

В ходе исследований процесса полукоксования бурого угля марки 2Б под внешним избыточным давлением газов были установлены зависимости характеристик получаемого продукта от давления процесса, температуры и времени нагрева. Термическая обработка угля под давлением позволяет получить полукокс из бурого угля при более высокой скорости нагрева угольной засып-

ки, чем при атмосферном давлении, что позволяет в разы увеличить производительность процесса.

Получаемый полукокс может использоваться в качестве углеродистого восстановителя в металлургических процессах производства ферросплавов, высокотемпературного обжига руд и нерудных материалов, бездымного бытового топлива, а также использован в качестве высококалорийного топлива в современных энергоустановках по получению пара с суперкритическими параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галевский Г.В., Аникин А.Е., Руднева В.В., Галевский С.Г. // СПб: Научно-технические ведомости СПбПУ. 2016. № 2. С. 114.
2. Исламов С.Р. Частичная газификация угля. М.: Горное дело ООО "Киммерийский центр", 2017. 384 с.
3. Мизин В.Г., Серов Г.В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. М.: Металлургия, 1976. 272 с.
4. Ким В.А. // М.: Сталь ООО "Интермет инжиниринг", 2017. № 2. С. 25.
5. Грязнов Н.С. Пиролиз углей в процессе коксования. М.: Металлургия, 1983. 184 с.
6. Исламов С.Р., Логинов Д.А., Черных А.П., Способ получения кускового карбонизата. Патент 2725792 РФ // Б.И. 2020. № 19. 3 с.