

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Российская академия естественных наук

**ВЕСТНИК
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

Сборник научных трудов

Издается с 1994 г. ежегодно

Выпуск 40

Москва
Новокузнецк
2018

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сборник научных трудов. Вып. 40 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянецв (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2018 – 178 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 57, табл. 16, библиогр. назв. 244.

Редакционная коллегия: Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянецв М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., ИрНИТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спиринов Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., АО «Евраз – ЗСМК», г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

- Галевский Г.В. д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Деев В.Б. д-р техн. наук, проф., НИТУ «МИСиС», г. Москва
- Исмагилов З.Р. д-р хим. наук, проф., чл.-кор. РАН, ФИЦ УУХ СО
РАН, г. Кемерово
- Козырев Н.А. д-р техн. наук, проф., чл.-кор. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Немчинова Н.В. д-р техн. наук, проф., ИрНИТУ, г. Иркутск
- Руднева В.В. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Соколов А.К. д-р техн. наук, проф., ИГЭУ, г. Иваново
- Темлянцев М.В. д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ,
г. Новокузнецк
- Феоктистов А.В. д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
- Шур Е.А. д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», г. Москва

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....	7
<i>А.М. Достаева, Д.У. Смагулов, Н.В. Немчинова</i>	
Исследование фазовых превращений в системе Al-Zr-Fe-Si.....	8
<i>И.Н. Кель, В.И. Жучков</i>	
Эффективное применение борсодержащих материалов в современных металлургических технологиях.....	15
<i>А.В. Настюшкина, Е.А. Шевченко, А.А. Шевченко</i>	
Анализ технологии дефосфорации стали в условиях АО «Уральская сталь».....	22
<i>С.Н. Анучкин</i>	
Взаимодействие наночастиц ZrO ₂ с расплавом никель-олово.....	25
<i>В.Б. Деев, А.И. Куценко, Е.С. Прусов, С.В. Сметанюк, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева, А.А. Сокорев</i>	
Определение доли твердой фазы по данным компьютерного термического анализа процесса кристаллизации расплава.....	34
<i>Г.Е. Левшин</i>	
Многовариантный подход к расчету параметров магнитопроводов индукционных тигельных печей.....	40
<i>О.В. Кузнецова, М.В. Темлянец, Е.Н. Темлянцева</i>	
К вопросу об учете неравномерности перемещения заготовок при математическом моделировании процессов нагрева металла в методических печах.....	49
<i>С.А. Кондрашов, Э.М. Голубчик, Т.Ю. Мартынова</i>	
Новая технология производства холоднокатанного металла в условиях стана 2500.....	53
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.А. Усольцев, Р.Е. Крюков</i>	
Совершенствование технологии электроконтактной сварки и термообработки железнодорожных рельсов.....	63
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	69
<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, И.В. Ноздрин</i>	
Физико-химическая аттестация железосодержащего техногенного сырья.....	70
<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Н.М. Кулагин, В.В. Васильев, Г.Н. Черновский</i>	
Природные твердые углеродистые материалы в современной металлургии: виды, свойства, применение.....	78

<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Н.М. Кулагин, В.В. Васильев, Г.Н. Черновский</i>	
Искусственные твердые углеродистые материалы в современной металлургии.....	89
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ.....	98
<i>А.А. Иванов, Т.Н. Осколкова</i>	
Вакуумная термическая обработка стали 30ХГСА.....	99
<i>Е.С. Прусов, Д.А. Ткач, В.Б. Деев, Е.М. Рахуба</i>	
Количественный анализ структуры композиционных сплавов с применением программы ImageJ	106
<i>В.А. Кузнецов, Р.А. Шевченко, А.А. Усольцев, Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков</i>	
Методика определения электрического сопротивления рельсовой стали....	111
<i>Е.А. Шур, В.Н. Цвигун, Р.С. Койнов</i>	
Модели образования фрактографических рельефов на усталостных трещинах.....	118
ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ..	136
<i>А.В. Феоктистов, О.Г. Приходько, К.В. Пономарева, С.В. Морин, О.В. Гордеева</i>	
Применение подходов проектного менеджмента при производстве рельсовой продукции на АО «ЕВРАЗ ЗСМК»	137
<i>Л.Б. Павлович, З.Р.Исмагилов, К.А. Дятлова</i>	
Оценка каталитических свойств отвального силикомарганцевого шлака Кузбасса.....	139
<i>А.К. Соколов</i>	
Повышение эффективности энергосбережения при эксплуатации многозонных проходных печей.....	147
<i>А.И. Куценко, Е.Г. Лашкова</i>	
Корпоративная идентификация бизнеса как составляющая стратегического репутационного развития организации	154
ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	169
<i>Ю.К. Осипов, О.В. Матехина</i>	
Архитектурное проектирование как образовательный процесс.....	170
К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ.....	176

24. Рудыка, В. И. Сталь, уголь, кокс – 2014 и перспектива (Аналитический обзор материалов саммита «Европейский кокс 2014») / В. И. Рудыка, В. П. Малина // Кокс и химия. – 2014. – № 7. – С. 15–25.
25. Новое поколение печей с вращающимся подом для производства губчатого железа на основе угля / Р. Дегель [и др.] // Черные металлы. – 2000. – № 7. – С. 31–39.
26. Люнген, Х. Б. Производство чугуна / Х. Б. Люнген, М. Петерс, П. Шмеле // Черные металлы. – 2010. – № 9. – С. 52–66.
27. Близнюков, А. С. Прямое восстановление железной руды углем / А. С. Близнюков // Новости черной металлургии за рубежом. – 2010. – № 6. – С. 20–25.
28. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография : в 3 т. Т. 1. Полях О. А. Микрокремнезем в производстве карбида кремния / О. А. Полях, В. В. Руднева ; под ред. Г. В. Галевского. – М. : Флинта : Наука, 2007. – 248 с.
29. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве карбида кремния : монография : в 3 т. Дополнительный том. Руднева В. В. Плазмометаллургическое производство карбида кремния: развитие теории и совершенствование технологии / В. В. Руднева ; под ред. Г. В. Галевского. – М. : Флинта : Наука, 2008. – 387 с.

УДК 66.094.2

А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Н.М. Кулагин, В.В. Васильев, Г.Н. Черновский

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия

ИСКУССТВЕННЫЕ ТВЕРДЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ В СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрены виды, свойства и применение в современной металлургии искусственных твердых углеродистых материалов: бурого угольных и каменноугольных полукокс, каменноугольного, нефтяного и пекового коксов.

Types, properties and application in modern metallurgy of artificial solid carbonaceous materials are considered: brown-coal and coal semi-coke, coal, oil and peak coke.

Целью настоящей работы является рассмотрение видов, свойств и анализ применения в современной металлургии искусственных твердых углеродистых материалов (буроугольных и каменноугольных полукоксов, каменноугольного, нефтяного и пекового коксов) и выявление доминирующих тенденций, характерных для отечественного и мирового рынков этих материалов.

Буроугольные полукоксы.

Буроугольный полукокс (БПК) – это продукт полукоксования бурых углей. Полукоксование – это нагревание твердых горючих ископаемых до температуры 500-600 °С без доступа воздуха. Полукокс – это пористое, более обуглероженное, по сравнению с исходным углем, синтетическое твердое топливо с выходом летучих веществ от 9 до 23 % и теплотой сгорания 29,3-34,7 МДж/кг. Он характеризуется высокой реакционной способностью, легко загорается, горит без копоти, имеет высокую температуру горения. В зависимости от исходного угля и условий полукоксования, он может быть в кусковом или порошкообразном виде. Выход полукокса составляет обычно 55-75 % от исходного угля [1].

Известны различные технологические варианты производства полукоксов из низкометаморфизованных углей [1, 4, 30, 31].

На ОАО «Металлургический завод «Сибэлектросталь» (Сибэлектросталь) (г. Красноярск) [1, 4] в конце 60-х гг. применялся энерготехнологический способ полукоксования бурого угля. В Югославии [4] в 60-е гг. применялся способ полукоксования на установке Лурги-Рургаз в реакторе с кипящим слоем. На ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» (АНХК), ООО «Завод полукоксования» (г. Ленинск-Кузнецкий), а также в Германии в 60-70-е гг. получил распространение процесс полукоксования в вертикальных шахтных печах системы Лурги с внутренним обогревом. На сланцеперерабатывающем заводе VKG Oil AS (Эстония) [30] совместно с ВУХИНОм в 1997 г. было проведено коксование длиннопламенного угля Новой Зеландии в камерных печах с внешним обогревом. Также опробован и отработан процесс полукоксования углей марок Д, ДГ и СС в газогенераторах. В 2000-х гг. в газогенераторах данного завода были проведены полукоксования углей марки Д Шубаркольского разреза (Казахстан). Известна технология термоокислительного полукоксования на цепных колосниковых решетках (ЦКР). Пиролиз угля осуществляется в окислительном режиме за счет сгорания над слоем топлива выделяющихся летучих веществ. В России данную технологию разрабатывали в МХТИ им. Д. И. Менделеева, затем в ВУХИНе. Процесс внедрен в условиях Казахстана для получения углеродистых материалов из углей марки Д Шубаркольского разреза. В России в промышленном масштабе не применяется. За рубежом данный способ широко используют в Канаде, США, Германии, ЮАР и Индии. Для получения полукокса могут применяться кольцевые

печи. Сущность метода заключается в нагревании тонкого слоя свободно лежащей угольной загрузки на движущемся поде. Наибольший опыт накоплен в Германии и США. В бывшем СССР технология коксования в кольцевых печах отработывалась на Нижнетагильском металлургическом комбинате и Московском коксогазовом заводе. В настоящее время эти установки не работают. В Китае [31] в провинции Шаньси эксплуатируются две вертикальные печи типа SJ производительностью около 100 тыс./т год полукокса из углей Шеньму марки Д. Газ для нагрева угля вдувается через фурмы, установленные в стенах печи. Сгорая и частично сжигая выделяющиеся при нагреве летучие компоненты угля, образующиеся внутри печи, газ равномерно нагревает загрузку угля. Данная технология также используется в Казахстане – на борту Шубаркольского разреза в 2006 г. построено шесть печей с общим производством полукокса 300 тыс. т/год.

В настоящее время одним из самых перспективных способов получения БПК считается технология «ТЕРМОКОКС» [32]. Суть технологической концепции состоит в разделении углей с высоким выходом летучих веществ на два продукта – газовое топливо и коксовый остаток (полукокс). В рамках указанной технологии реализуются следующие способы: «ТЕРМОКОКС-С», «ТЕРМОКОКС-КС», «ТЕРМОКОКС-О₂». Технология «ТЕРМОКОКС-С» предусматривает частичную газификацию углей в слоевых аппаратах. В 1996 г. процесс реализован в г. Красноярске. Технология «ТЕРМОКОКС-КС» заключается в частичной газификации углей с использованием технологии кипящего слоя. В 2007 г. процесс реализован на Березовском разрезе (Красноярский край). Технология «ТЕРМОКОКС-О₂» предусматривает частичную газификацию угля в слоевых реакторах с использованием кислородного дутья. Таким образом, исходя из географии применения, по технологии «ТЕРМОКОКС» перерабатываются, в первую очередь, бурые угли Березовского месторождения КАБ. Однако данная технология позволяет перерабатывать бурые, а также каменные угли марок Д и Г других месторождений.

Буроугольные полукокссы широко применяются в металлургии и электротермии неорганических веществ в качестве топлива и восстановителей. Так, на ОАО «Ачинский глиноземный комбинат» (АГК) предлагают использовать БПК из углей КАБ в качестве технологического топлива для производств глинозема [33].

В 1960-70-х гг. БПК, произведенный на опытно-промышленных установках ЭТХ (г. Калинин и г. Красноярск) и ТККУ (г. Свердловск), был успешно опробован в качестве ПУТ в доменном производстве, как компонент шихты для коксования и как восстановитель в металлургии [33].

На ОАО «Кокс» (г. Кемерово) была получена партия (1700 т) кокса из шихты, в которую входило 25 % БПК как отошающей добавки [4]. Опытный кокс отличался от обычного повышенной реакционной способностью и большим электросопротивлением. В работе [34] исследовали

возможность добавки БПК из углей Бородинского и Березовского месторождений КАБ в шихту на коксование. Добавка БПК из углей Бородинского разреза приводила к увеличению насыпной массы шихты на 15 %. Кокс, полученный с добавлением БПК, имел повышенную реакционную способность. Опыты проводились на ОАО «Кокс». На ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (ЗСМК) в шихту добавляли 5 % БПК из углей Березовского месторождения. Полученный кокс имел повышенную реакционную способность, при этом его структурная прочность была выше, чем у обычного кокса.

В работе [35] приведены результаты использования БПК из углей КАБ в процессе прямого получения железа. Опыты проводились в вертикальной трубчатой электропечи. Получены прочные окатыши со степенью металлизации ~ 40 % и окатыши пониженной прочности, металлизированные на 85-90 %.

БПК может применяться в качестве карбюризатора в процессе цементации – науглероживания поверхности стали. В работе [36] приведены результаты использования БПК из углей Ирша-Бородинского разреза КАБ в качестве карбюризатора для цементации четырех марок стали: двух малоуглеродистых (Ст.10, Ст.20) и двух легированных (20Х, 12ХН3А). Карбюризатор, полученный на основе БПК, несколько уступает по своей цементирующей способности древесно-угольному, но превосходит промышленный полукоксый карбюризатор ООО «Завод полукоксования» (г. Ленинск-Кузнецкий).

В работе [5] представлены результаты опытов по использованию БПК из углей Березовского разреза КАБ в процессе агломерации железных руд. Авторами рекомендовано для улучшения показателей аглопроцесса и сохранения качества агломерата на производственном уровне использование БПК крупностью 1-5 мм и замена им коксовой мелочи в количестве 40-50 %.

В работе [34] приведены результаты исследований вдувания БПК из углей Бородинского разреза КАБ в горн доменной печи объемом 2000 м³. Исследования были проведены на ЗСМК совместно с ФГУП «ЦНИИчермет им. И. П. Бардина» (ЦНИИчермет) и Институтом черной металлургии им. З. И. Некрасова Национальной академии наук Украины (ИЧМ). Отмечалось повышение теоретической температуры горения топлива, увеличение восстановительной способности СО и Н₂, повышение основности шлака, снижение содержания серы в чугунах, увеличение выпуска чугуна. В целом, опыты показали, что ПУТ из БПК может частично заменить кокс в доменной плавке. Кроме того, авторы [37, 38] называют БПК лучшим топливом для вдувания в горн доменных печей.

Полукокс из бурых углей, полученный в США в кольцевых печах диаметром 5 и 8 м с производительностью последней по БПК 28 т/ч, используют в электротермических производствах ферросплавов и фосфора [30].

Полукокс, полученный из бурых углей на агрегате высокоскоростного пиролиза на заводе «Сибэлектросталь», использовался в качестве мелкозернистого восстановителя в бескоксовой металлургии [37]. Также мелкозернистый БПК может применяться в металлургии для получения различных сортов кокса, агломерата, чугуна. Полукокс, полученный из бурых углей КАБ по технологии термоокислительного полукоксования (газификации) в реакторах шахтного типа с плотным слоем на ЗАО «Карбоника-Ф» (г. Красноярск), может использоваться в качестве технологического топлива при производстве агломератов минерального сырья, в различных металлургических и обжиговых процессах взамен коксовой мелочи и высококалорийных топлив.

БПК, полученный из углей КАБ, применялся в полупромышленном масштабе для металлизации рудугольных окатышей на конвейерной машине площадью 10 м² на заводе «Сибэлектросталь». Также БПК может применяться для получения жидкого металла (чугуна) непосредственно из ЖРС, минуя доменный передел [16]. БПК, полученный из углей КАБ, применялся для металлизации железорудных окатышей в трубчатой вращающейся печи [12, 14, 16] и в конвейерной печи [14].

БПК из углей КАБ может использоваться для получения рудугольных окатышей, используемых в ферросплавном производстве. БПК в этом случае используется в качестве высокорекреационного восстановителя. БПК из углей Ирша-Бородинского разреза использовался в процессе восстановления марганцево-угольной шихты и плавки из нее низкофосфористого шлака [12]. Процесс восстановления рудо-флюсо-угольных окатышей с помощью БПК в присутствии известняка в количестве 10 % изучался в работе [15].

Каменноугольный кокс и полукокс.

Каменноугольный кокс – это продукт коксования каменного угля. Коксованием называется процесс переработки углей (угольных смесей) путем их нагрева без доступа воздуха до 900-1100 °С с получением твердого углеродистого остатка, называемого коксом [2].

Полукоксы из каменных углей в настоящее время широко применяются в качестве восстановителей и топлива в металлургии и электротермии неорганических веществ. Так, полукокс из угля марки Д Шубаркольского месторождения (Казахстан) в смеси с коксовым орешком ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (НТМК) применялся для выплавки высокоуглеродистого феррохрома [20]. Испытания, проведенные на СЗФ, показали, что с увеличением доли спецкокса в шихте увеличилось извлечение хрома, снизилось содержание оксида хрома в шлаке. Полученный высокоуглеродистый феррохром имел пониженное содержание фосфора.

В работах [4, 12, 19, 30] признают полукокс, произведенный на АНХК (ангарский полукокс) высококачественным восстановителем для кремнистых сплавов. При испытании полукокса, произведенного на

ООО «Завод полукоксования» (ленинск-кузнецкого полукокса), с заменой им до 50 % коксового орешка, было установлено, что при выплавке 75 %-ного ферросилиция имело место расстройство хода печи: спекание колошника, частые обвалы шихты [19]. Однако при выплавке других марок ферросплавов он используется [30].

Полукокк из углей марки ДГ Колумбии испытали на ферросплавных заводах России (ЧЭМК), Казахстана (АЗФ) и Норвегии (заводы фирмы «Элкем АС») при производстве соответственно феррохрома, ферросилиция взамен 30-40 % металлургического кокса и в производстве кристаллического кремния с полной заменой им древесного угля. Испытания показали высокую техническую эффективность его применения [39].

Полукокк, полученный из длиннопламенных углей Кузбасса и Шубаркольского месторождения Казахстана по технологии ЗАО «Карбоника-Ф», соответствует лучшим образцам углеродистых восстановителей для электротермических производств [8, 30, 37].

Полукокк, полученный из углей марки Д Шубаркольского месторождения (Казахстан) в газогенераторах сланцеперерабатывающего завода VKG Oil AS (Эстония), отвечает требованиям, предъявляемым к углеродистым восстановителям для электротермических процессов производства ферросплавов [40].

Полукокк, полученный из углей марки Д месторождения Шеньму (Китай) в вертикальных печах типа SJ, находит широкое применение в электротермических производствах: ферросплавов – ферросилиция и ферромарганца, фосфора и карбида кальция [31].

Каменноугольный кокс является неотъемлемым сырьем для доменного процесса, процессов агломерации и производства окатышей. Коксовый орешек является основным восстановителем для электротермических производств. Коксовая мелочь может использоваться в процессах прямого восстановления ЖРС и ЖСО. Так, в 1989 г. фирмами «Искор» (ЮАР) и «Фест-Альпине» (Австрия) была запущена установка по выплавке чугуна по технологии «Корекс». В качестве топлива использовали 15 % коксовой мелочи и 85 % энергетического угля [12]. Коксовая мелочь применяется для получения губчатого железа во вращающейся трубчатой печи, металлизированных окатышей на конвейерной обжиговой машине, чугуна во вращающемся конвертере по способу «Доред-процесс», жидкого металла в качающейся отражательной регенеративной печи по способу «КШС-процесс» [13]. Кузнецкий кокс и ангарский полукокк использовались в процессе металлизации окатышей в трубчатой печи [12].

Нефтяной и пековый коксы.

Нефтяной и пековый кокс представляет собой высокоуглеродистый остаток, получаемый из нефтяных остатков в процессе коксования – термической обработки без доступа воздуха при 400-500 °С [2]. Сырьем для производства нефтяного кокса являются тяжелые остатки атмосферной и

вакуумной переработки нефти (мазут и гудроны), крекинг-остатки от термического крекинга мазутов и гудронов, тяжелые газойли каталитического крекинга, остатки производства масел. Для производства кокса наряду с нефтяными остатками используют также высокотемпературный пек каменноугольного происхождения, который коксуют при температуре 1000 °С.

Нефтяной и пековый кокс используется для производства анодной массы, применяемой для выплавки алюминия, в качестве сырья для производства электродов, в производстве ферросплавов, карбида кальция, различных углеродных изделий [2].

Так, слоистый нефтяной кокс использовали как упрочняющий агент в производстве углеродистого восстановителя [6]. Установлено, что оптимальное содержание слоистого нефтяного кокса составляет 1 % и обеспечивает высокую механическую прочность при испытании окатышей на сжатие и истирание, а также увеличение степени восстановления железа из руды. Вместе с тем, при применении пористого нефтяного кокса положительный эффект отсутствовал.

Кокс замедленного коксования нефти в смеси с гидролизным лигнином брикетировали и получали углеродистый восстановитель для электротермического производства кремния [6]. Установлено, что извлечение кремния на уровне $\geq 73,4$ % обеспечивается при следующих оптимальных условиях: массовое содержание гидролизного лигнина и нефтяного кокса 90:10, крупность нефтяного кокса ≤ 6 мм.

Низкоактивный, обладающий высокой электропроводностью нефтяной кокс и высокорекреационный ванадий- и никельсодержащий кокс низкотемпературного термоконтактного крекинга нефти (ТККН) использовали в качестве малозольных восстановителей в электротермии силикоалюминия [20, 22]. Эффективность кокса ТККН подтверждена результатами опытных плавов – производительность печи возросла на 22 %, удельный расход электроэнергии и минеральной части шихты снизился соответственно на 11 и 17 %.

В работе [20] изложен промышленный способ использования нефтяного кокса в производстве ферросилиция. Разработанный на ООО «Братский завод ферросплавов» (БЗФ) способ ведения плавки позволил выплавлять ферросилиций при замене нефтяным коксом 15 % углерода без снижения технико-экономических показателей (ТЭП) и с получением ферросилиция ФС75. При замене до 35-40 % углерода нефтяным коксом снижение показателей плавки происходило на 3-5 %, однако экономически это компенсировалось высоким качеством получаемого сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минерально-сырьевая база угольной промышленности России : в 2 т. Т. 1. Состояние, динамика, развитие / Н. Н. Балмасов [и др.] ; под ред. А. Е. Евтушенко, Ю. Н. Малышева. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 1999. – 648 с.
2. Глущенко, И. М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых : учеб. для вузов / И. М. Глущенко. – М. : Metallurgia, 1990. – 296 с.
3. Мизин, В. Г. Углеродистые восстановители для ферросплавов / В. Г. Мизин, Г. В. Серов. – М. : Metallurgia, 1976. – 272 с. : ил.
4. Буроугольный полукокс. Возможности его использования как топлива в агломерации железных руд / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2007. – № 8. – С. 20–26.
5. Формирование заданных свойств углеродистого восстановителя для электротермических процессов (Обзор) / М. Л. Улановский [и др.] // Кокс и химия. – 2000. – № 4. – С. 14–20.
6. Анализ качества и перспективы использования малозольных углеродистых восстановителей для электротермического производства технического кремния / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2012. – № 5. – С. 18–21.
7. Дроздник, И. Д. Использование пылеугольного топлива при выплавке чугуна и стали в доменном и недоменных процессах (Обзор) / И. Д. Дроздник, Ю. С. Кафтан, Ю. Б. Должанская // Кокс и химия. – 2002. – № 2. – С. 32–39.
8. Кудрявцев, В. С. Использование некоксующихся углей в черной металлургии / В. С. Кудрявцев, С.А. Пчелкин. – М. : Metallurgia, 1981. – 168 с.
9. Юсфин, Ю. С. Новые процессы получения металла (металлургия железа) : учеб. для вузов / Ю. С. Юсфин, А. А. Гиммельфарб, Н. Ф. Пашков. – М. : Metallurgia, 1994. – 320 с.
10. Кудрявцев, В. С. Металлизированные окатыши / В. С. Кудрявцев, С. А. Пчелкин. – М. : Metallurgia, 1974. – 136 с.
11. Юсфин, Ю. С. Обжиг железорудных окатышей / Ю. С. Юсфин, Т. Н. Базилевич. – М. : Metallurgia, 1973. – 272 с.
12. Теория металлизации железорудного сырья / Ю. С. Юсфин [и др.]. – М. : Metallurgia, 1982. – 256 с.
13. Нефедов, П. Я. О требованиях к качеству углеродистых восстановителей для процессов рудной электротермии / П. Я. Нефедов // Кокс и химия. – 2000. – № 8. – С. 24–32.
14. Страхов, В. М. Альтернативные углеродистые восстановители для ферросплавных производств / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2009. – № 1. – С. 20–25.

15. Страхов, В. М. Проблемы с углеродистыми материалами для рудной и химической электротермии и пути их решения / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2010. – № 8. – С. 29–33.
16. Страхов, В. М. Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса для электротермических производств / В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2008. – № 9. – С. 44–49.
17. Технология производства и качество полукокса из вертикальных печей типа SJ Китая / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2007. – № 5. – С. 17–24.
18. Исламов, С. Р. Энергоэффективное использование бурых углей на основе концепции «ТЕРМОКОКС»: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук : 05.14.04 / Исламов Сергей Романович. – Красноярск, 2010. – 37 с.
19. Энерготехнологическое использование канско-ачинских углей / С. Г. Степанов [и др.] // Уголь. – 2003. – № 7. – С. 50–54.
20. Школлер, М. Б. Буроугольный полукокс – модификатор свойств кокса и угольных смесей / М. Б. Школлер // Кокс и химия. – 2007. – № 12. – С. 18–24.
21. О возможности использования полукокса из бурых углей Канско-Ачинского месторождения в черной металлургии / В. Е. Тихомиров [и др.] // Кокс и химия. – 1983. – № 12. – С. 14–16.
22. Старке, Э. П. Карбюризатор на основе буроугольного кокса для химико-термической обработки стали / Э. П. Старке, В. М. Страхов // Кокс и химия. – 2003. – № 9. – С. 43–45.
23. Современные энерготехнологические процессы глубокой переработки твердых топлив : учеб. пособие. – Новокузнецк : НИУ РЭТ-ТПУ, 2010. – 220 с.
24. Использование буроугольного полукокса в качестве пылеугольного топлива в доменной плавке / С. Р. Исламов [и др.]. – Донецк : УНИТЕХ, 2008. – 68 с.
25. Кокс Китая как углеродистый восстановитель для производства ферросплавов / В. М. Страхов [и др.] // Кокс и химия. – 2005. – № 11. – С. 16–21.
26. Полукоксование длиннопламенных углей Шубаркольского месторождения в газогенераторах / И. Л. Глезин [и др.] // Кокс и химия. – 2009. – № 8. – С. 25–29.