слитков без осадки с использованием клиновых выпуклых бойков. В результате примерно на 30 % повысилась производительность процесса ковки крупных валов, количество нагревов снизилось с семи до пяти. Полученные поковки соответствуют требованиям по механическим свойствам и ультразвуковому контролю.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алиев И.С., Марков О.Е, Олешко М.В., Злыгорев В.Н. – В кн.: Обработка материалов давлением: сб. научн. трудов. – Краматорск: изд. ДГМА, 2010. № 2 (23). С. 94 – 98.
2. Дурынин В.А., Солнцев Ю.П. Исследование и совершенствование технологии производства с целью повышения ресурса стальных изделий из крупных поковок ответственного назначения. – С-Пб.: Химиздат, 2006. – 272 с.
3. Дубков А.Н. // Кузнечно-штамповочное производство. 1977. № 4. С. 20 – 22.
4. Белова Л.П., Дубков А.Н., Делягина Н.Ф., Горовая Е.К. // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. № 1. С. 5 – 7.
5. Белова Л.П., Рыбин Ю.И., Дубков А.Н., Баушева Е.О. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1986. № 3. С. 81 – 85.
6. Белова Л.П., Тюрин В.А., Дубков А.Н. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1982. № 5. С. 70 – 74.
7. Белкин М.Я., Кривошеев В.П., Пименов Г.А. // Кузнечно-штамповочное производство. 1988. № 1. С. 5 – 7.
8. Охрименко Я.М., Тюрин В.А., Лебедев В.Н., Гринюк А.И. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1971. № 4. С. 96 – 99.
9. Пат. 7481 Україна. Спосіб виготовлення поковок типу плит та пластин / Роганов Л.Л., Соколов Л.М., Роганов М.Л., Корчак О.С., Марков О.Є. Заявник та власник ДДМА. Бюл. № 6. Заявл. 27.12.04.; опубл. 15.06.05.

© 2012 г. *О.Е. Марков*
Поступила 13 февраля 2012 г.

УДК 669.1:504.06:662.75

А.Б. Юрьев[1], М.Б. Школлер[2], Е.В. Протопопов[2], Л.А. Ганзер[2]

[1] ОАО «Евраз – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»
[2] Сибирский государственный индустриальный университет

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКИХ ТОПЛИВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ КОКС – ЧУГУН – СТАЛЬ. СООБЩЕНИЕ 2*

Теоретическое обоснование получения синтез-газа для производства синтетического жидкого топлива при парокислородной газификации угля в доменной печи свидетельствует о достаточно высокой рентабельности процесса [1]. В то же время более эффективным представляется развитие направления использования высокопотенциальных вторичных энергоресурсов (ВЭР), образующихся при реализации различных технологий на интегрированных металлургических предприятиях с полным циклом. Вторичные энергоресурсы представлены газовыми средами с определенным содержанием горючих компонентов (CO, H_2, CH_4, C_mH_n и др.), их тепловая ценность и выход на единицу продукции, как правило, определяются составом исходной шихты, физико-химическими процессами, свойственными той или иной технологии, причем в общем энергетическом балансе металлургического предприятия ВЭР составляют около 50 % [2 – 4]. Безусловно, при традиционной схеме производства металлопродукции на основе аглодоменного комплекса с развитой инфраструктурой (коксохимическим, аглодоменным, сталеплавильным и другими производствами) источники ВЭР, как правило, разобщены территориально, функционируют в разных временных режимах, а сами носители энергии сильно различаются по термодинамическим параметрам (температуре, давлению, составу и т.д.). Все это значительно усложняет создание замкнутой системы, обеспечивающей экономию энергии и улучшение экологической обстановки металлопроизводящих регионов. Однако совмещение даже нескольких технологических процессов (например, выплавки стали в кислородных конвертерах и коксохимического производства) с позиций накопления и использования ВЭР и дальнейшего получения синтез-газа с применением химической энергии коксового и конвертерного газов позволит значительно повысить энергоэффективность черной металлургии.

Так, например, обратный коксовый газ поступает в газовые сети металлургического предприятия после отделения смолы коксования, сырого бензола и пиридиновых оснований в химическом цехе коксохимического предприятия и используется обычно как топливо в различных переделах.

Конвертерный газ из-за значительных колебаний его количества по выходу в течение плавки (в среднем 70 – 90 м^3/т), а также в силу периодичности процесса в агрегате, к сожалению, для производственных целей в отечественной металлургии практически не используется. В то же время существуют различные конструктивные решения по применению отходящих

* Работа выполнена в рамках государственного задания вузу № 7.4828.2011.

конвертерных газов, например, для подогрева металлического лома, руды или окатышей, а также для обжига извести [2]. Определенные достижения в энергосбережении связаны с использованием конвертерного газа для получения пара высокого давления. В то же время конвертерный газ, как правило, дожигают «на свече» и выбрасывают в атмосферу, увеличивая количество парникового газа в окружающей среде [5, 6].

В соответствии с требованиями к исходному синтез-газу для получения синтетических топлив его состав регламентируется объемным соотношением $f = (H_2 - CO_2)/(CO + CO_2)$ и содержанием инертных компонентов ($N_2 + CH_4$), которое не должно превышать 6 % [7]. При этом не существует жестких ограничений по содержанию диоксида углерода CO_2 (1 – 10 %), значение f должно находиться в пределах 1,5 – 2,4 (предпочтительно 1,8 – 2,2).

Следует выделить особые требования к наличию в синтез-газе соединений серы и азота, суммарное содержание которых в пересчете на элементы не должно превышать 20 мг/м^3 (предпочтительно 2 мг/м^3). Кроме перечисленных соединений в синтез-газе не должны присутствовать свободный кислород (не более 0,1 %), а также пары воды, масла и химические примеси [7, 8].

В предлагаемой технологической схеме получения синтез-газа необходима дополнительная организация подготовки и очистки ВЭР, поэтому на некоторых элементах технологии следует остановиться более детально.

Химический состав конвертерного газа при работе агрегатов с верхней продувкой обычно находится в пределах: 85 – 90 % CO; 8 – 14 % CO_2; 1,5 – 3,5 % O_2. Теплота сгорания такого газа составляет 8,4 – 9,2 МДж/м^3 при температуре 1300 – 1700 °С, при этом в отходящих конвертерных газах содержится некоторое количество азота, водорода и серы [9].

Наличие оксидов азота в конвертерных газах из-за незначительного (около 0,5 %) количества азота в технически чистом кислороде маловероятно. Однако при дожигании оксида углерода в котле-охладителе тракта выход оксидов азота составляет около 100 мг/м^3 (50 г/т стали). Оксиды азота образуются также при дожигании конвертерного газа на «свече» в количестве до 30 г/т стали.

Поступление в рабочее пространство конвертера водорода возможно с металлическим ломом, известью, а также с другими шихтовыми материалами. При работе конвертеров с полным дожиганием отходящих газов водород обычно полностью сгорает в процессе образования и движения газов по тракту. В случае отвода конвертерных газов без дожигания или с частичным дожиганием в тракте содержание водорода может увеличиваться до 8 %, в отдельных случаях до 10 – 15 %, например, при использовании углеродсодержащего топлива или поступлении воды в рабочее пространство агрегата при прогаре фурмы, что безусловно требует изменения режима работы. Однако широкое распространение технологии продувки металла в режиме отвода газов без дожигания оксида углерода свидетельствует, что при соблюдении всех правил технической эксплуатации работа установок вполне надежна и безопасна.

С конвертерными газами уносится до 14 % серы, содержащейся в шихте, причем основное количество с пылью и в виде SO_2. Количество плавильной пыли в отходящих конвертерных газах в отдельные периоды плавки при утрате способности шлака вспениваться достигает 250 г/м^3. Химический состав пыли: 60 – 70 % FeO и Fe_2O_3; 5 – 7 % CaO; 0,7 – 3,0 % SiO_2; 0,10 – 0,25 % S. Современная газоочистка с применением труб Вентури и/или «скрубберов» для улавливания пыли и электрофильтров мокрого типа на второй ступени обеспечивает снижение концентрации пыли в отходящих конвертерных газах вплоть до 10 мг/м^3 [10]. Такая компоновка газоотводящего тракта позволяет использовать очищенный газ как источник оксида углерода для получения синтез-газа при накоплении и усреднении его в специальных емкостях (газгольдерах) в соответствии с технологическим процессом выплавки стали в конвертерах.

На рисунке показана принципиальная схема производства синтетического жидкого топлива с использованием вторичных энергетических ресурсов[1].

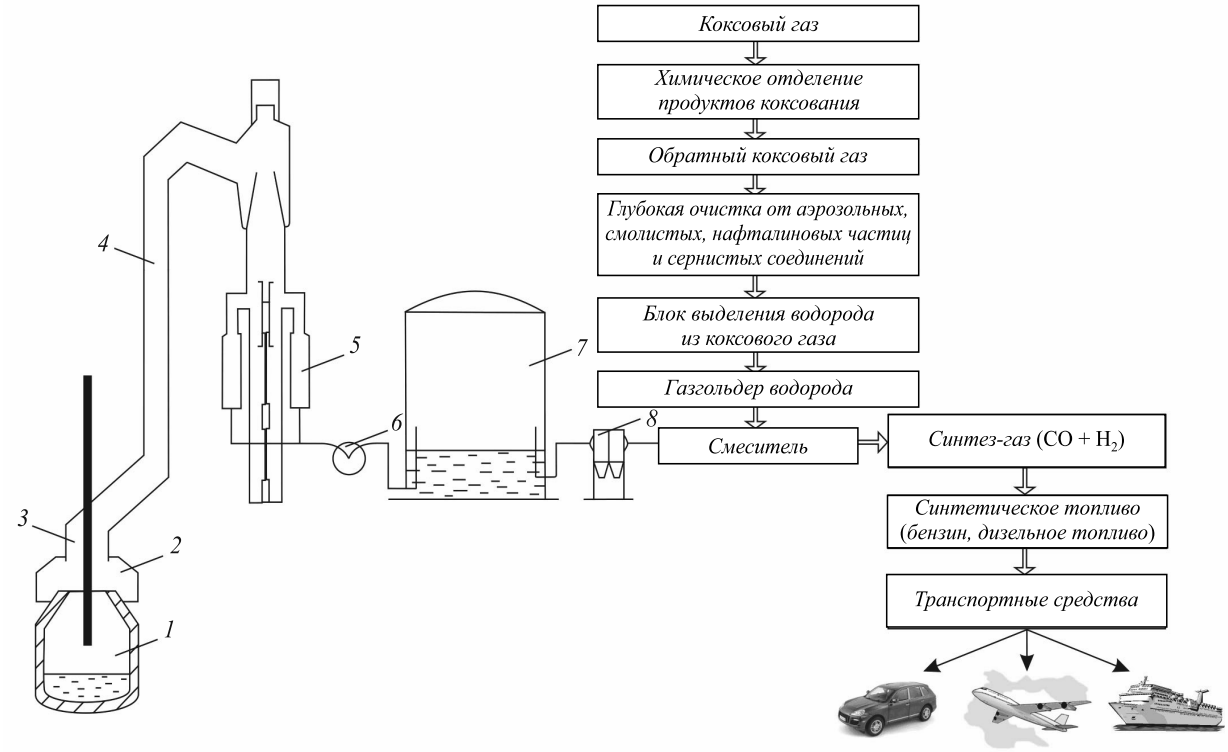
Водород для получения синтез-газа предлагается выделять из обратного коксового газа, который имеет усредненный химический состав: 55 – 60 % H_2; 20 – 30 % CH_4; 5 – 7 % CO; 2 – 3 % CO_2; 4 % N_2; 2 – 3 % C_mH_n. Этот газ имеет высокую (свыше 17 МДж/м^3) теплоту сгорания. Дополнительно требуется предварительная глубокая очистка обратного коксового газа от аэрозольных смолистых и нафталиновых частиц, а также сернистых соединений [11 – 14].

Возможным вариантом может быть предварительная обработка газа распыленной водой, например, в установках типа труб Вентури, обеспечивающих улавливание частиц пыли размером 0,01 – 0,35 мкм на 50 – 85 %, а более крупных (размером 0,5 – 2,0 мкм) – на 97 % [11, 15].

Очистку обратного коксового газа от смолистых аэрозолей предполагается выполнять в низконапорных скрубберах с трубами Вентури. Например, технология, разработанная Всероссийским углехимическим институтом (ВУХИН) и, в частности, внедренная на предприятии ОАО «Губахинский кокс», характеризуется следующими показателями: производительность по газу 50 – 100 тыс. м^3/ч, остаточное содержание аэрозолей смолы в газе 20 – 50 мг/м^3 газа, эффективность очистки 98 – 99 %, гидравлическое сопротивление 60 – 80 мм вод. ст. [13].

В дальнейшем для контрольной очистки обратного коксового газа от аэрозолей возможно использование электрофильтров.

[1] Заявка на изобретение № 2012130546 от 17.07.2012 г.



Принципиальная схема производства синтетического жидкого топлива с использованием вторичных энергоресурсов интегрированного металлургического предприятия:
1 – кислородный конвертер; *2* – уплотнительное устройство; *3* – кессон; *4* – котел-утилизатор; *5* – скруббер для охлаждения и очистки газа; *6* – эксгаустер; *7* – газгольдер конвертерного газа; *8* – электрофильтр для очистки конвертерного газа

При очистке сухих газов от пыли электрофильтры могут работать в широком диапазоне температур и давлений, при этом гидравлическое сопротивление этих фильтров составляет 100 – 150 Па. Степень очистки от аэрозолей на многопольных электрофильтрах при размере частиц более 1 мкм выше 90 % (до 99,9 %). Расход электроэнергии на электростатическую очистку составляет 0,1 – 0,5 кВт/1000 м^3 газа.

Следующим технологическим этапом подготовки обратного коксового газа к разделению является очистка от сернистых соединений, в основном сероводорода. При выделении сероводорода (H_2S) из газа необходимо учитывать присутствие в неочищенном газе цианистого водорода (HCN), который поглощается вместе с сероводородом и способен образовывать тиоцианаты (HSCN). Количество цианистого водорода в коксовом газе на предприятиях, перерабатывающих низкосернистые угли Кузбасса, сопоставимо с содержанием сероводорода (2 – 4 г/м^3), поэтому требуется комплексная очистка коксового газа от сероводорода и цианистого водорода, после чего газ можно направлять в технологический блок по выделению водорода (см. рисунок).

Оптимальным вариантом технологии разделения газовых смесей является метод короткоцикловой адсорбции под переменным давлением (КЦА-PSA), которая получила значительное распространение в мире. Предлагаемая технология с получением водорода высокой (95,0 – 99,9 %) концентрации основана на поглощении при высоком давлении твердым адсорбентом «примесей», содержащихся в исходном водородсодержащем газе, при прохождении через слой адсорбента с последующей десорбцией поглощенных примесей при сбросе давления и продувке противотоком чистым водородом [15, 16]. Что касается известной технологии использования полимерных мембран для разделения газовых смесей, то такие установки имеют ряд существенных недостатков по сравнению с короткоцикловой адсорбцией. К ним можно отнести прежде всего высокую энергоемкость, недостаточную надежность и ограниченный (3 – 5 лет) срок службы. Поэтому технология КЦА-PSA в рассматриваемом случае является более предпочтительной.

Таким образом, предлагается технологическая схема получения синтез-газа с использованием охлажденного и очищенного конвертерного газа, который смешивают в определенном количестве с водородом, выделенным из обратного коксового газа, до необходимого объемного соотношения количества водорода и оксида углерода, и его последующая каталитическая переработка в жидкое топливо.

Внедрение на металлургическом предприятии технологии использования вторичных энергетических ресурсов для производства синтетического топлива позволяет снизить энергоемкость металлопродукции и экологическую нагрузку на атмосферу региона. При существующем, например, в ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» объеме

производства кокса и стали может быть получено более 1,3 млрд. м^3/год синтез-газа, что соответствует возможности и высокой рентабельности катализа высокооктанового синтетического жидкого топлива с объемом продаж до 2,6 млрд. руб./год.

Выводы. Рассмотрена технологическая схема получения синтез-газа для производства синтетического жидкого топлива с использованием вторичных энергетических ресурсов металлургического предприятия, в частности, конвертерного и коксового газов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юрьев А.Б., Школлер М.Б., Протопопов Е.В., Ганзер Л.А. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 4. С. 37 – 40.
2. Ярошенко Ю.Г. // Металлургическая теплотехника. 2011. Вып. 3 (18). С. 164 – 176.
3. Лисин В.С. Стратегические ориентиры экономического развития черной металлургии в современных условиях. – М.: Экономика, 2005. – 404 с.
4. Лякишев Н.П., Николаев А.В. // Металлы. 2001. № 5. С. 8 – 18.
5. Шевелев Л.Н. Мировая черная металлургия 1950 – 2000 гг. – М.: Машиностроение, 1999. – 216 с.
6. Николаев А.В. // Сталь. 1993. № 11. С. 14 – 18.
7. Гнездилов Е.А., Жуков А.В., Яковлев А.Д. // Фундаментальные исследования. 2007. № 12. С. 342 – 344.
8. Ионе К.Г. Полифункциональный катализ на цеолитах. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. – 271 с.
9. Кудрин В.А. Теория и технология производства стали: учебник для вузов. – М.: Мир, 2003. – 528 с.
10. Использование конвертерного газа в качестве топлива. ЭСКО // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2005. № 12. Режим доступа: http: //esco-ecosys.narod.ru/journal/journal48.htm
11. Назаров В.Г. // Кокс и химия. 2011. № 3. С. 54 – 56.
12. Стефаненко В.Т. // Кокс и химия. 2011. № 3. С. 62 – 65.
13. Ахметов С.А., Ишмияров М.Х., Кауфман А.А. Технология переработки нефти, газа и твердых горючих ископаемых. – С-Пб.: Недра, 2009. – 832 с.
14. Швидкий В.С., Ладыгичев М.С. Очистка газов. Справочник. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 450 с.
15. Хейфец Л.И., Зеленко В.П., Павлов Ю.В. Элементы теории процессов адсорбционного разделения газовых смесей. – М.: изд. МГУ им. Ломоносова, 2004. – 68 с.
16. Баранов Д.А., Кутепов А.М. Процессы и аппараты. – М.: Академа, 2004. – 304 с.

© 2012 г. *А.Б. Юрьев, М.Б. Школлер, Е.В. Протопопов, Л.А. Ганзер*
Поступила 31 августа 2012 г.

УДК 621.331+621.771

В.И. Мурко, А.А. Уманский, В.И. Карпенок, В.И. Федяев, Н.А. Чернышева

Сибирский государственный индустриальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА В НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ПЕЧАХ*

В связи с имеющейся тенденцией к росту цен на традиционные энергоносители и в дальнейшем к их возрастающему дефициту в настоящее время все большую остроту приобретает проблема использования альтернативных источников получения энергии. Одним из перспективных направлений повышения энергоэффективности является применение новых видов топлива, в частности водоугольного топлива (ВУТ). Это представляет собой дисперсную систему, состоящую из тонкоизмельченного угля (59 – 70 %), воды (20 – 40 %) и реагента-пластификатора (1 %). В зависимости от марки исходного угля состав и теплофизические характеристики такого топлива могут разниться в довольно широких пределах. Теплофизические характеристики ВУТ следующие: температура воспламенения 450 – 650 °С; температура горения 950 – 1050 °С; низшая теплота сгорания 3000 – 4800 ккал/кг.

В настоящее время в России существует положительный опыт перевода котельных агрегатов с традиционных видов топлив (угля, мазута, газообразного топлива) на водоугольное топлива [1 – 3]. Имеющиеся практические данные позволяют говорить о существенном улучшении технико-экономических и экологических показателей при таком переводе:

– стоимость 1 т условного топлива снижается в 1,5 – 5,0 раз;

– эксплуатационные затраты при хранении, транспортировке и сжигании уменьшаются на 20 – 30 %;

– себестоимость вырабатываемой тепловой энергии снижается в 1,3 – 5,0 раз;

– вредные (пыль, оксиды азота, диоксид серы) выбросы в атмосферу уменьшаются в 1,5 – 3,5 раза.

Несмотря на перечисленные очевидные преимущества ВУТ, область его применения в России на сегодняшний день ограничена только котельными установками. Между тем в странах азиатского региона (например, Ки-

* Материалы статьи подготовлены в процессе реализации проекта в рамках частно-государственного партнерства в сфере реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства при финансовой поддержке правительства Российской Федерации «Разработка технологии и создание пилотного образца автоматизированного энергогенерирующего комплекса, работающего на отходах углеобогащения» (шифр 2010-218-02-174).