

Потапов Б.Б., Пинчук В.А.

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ  
УГЛЕЙ И ПРОДУКТОВ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ**

Металлургия Украины потребляет более одной трети общепромышленного расхода топлива. Поэтому решение проблемы рационализации топливно-энергетического баланса государства во многом определяется структурой энергетического баланса металлургических предприятий. Сегодня предприятия черной металлургии традиционно сориентированы на использование кокса и природного газа. Управление структурой потребления первичных энергоносителей позволяет уменьшить расход дефицитных видов топлива и использовать в металлургических технологиях отечественные нетрадиционные для металлургии Украины виды углей: длиннопламенные, газовые, тощие и энергетические, а также продукты их газификации. Степень изменения структуры энергетического баланса Украины в сторону нетрадиционных для металлургии первичных энергоносителей зависит от запасов этих видов углей. Качество этих запасов зависит от технологических свойств этих углей: количества углерода, содержания летучих, влаги, золы, содержания серы.

В металлургическом производстве имеют место три основных направления использования угля: в качестве первичного топлива при восстановлении железорудного сырья, вдувание пылеугольного топлива (ПУТ) в доменные печи, газификация для дальнейшего использования в качестве восстановительного и топливного газа.

По-видимому, процессы прямого восстановления, базирующиеся на использовании угля в качестве первичного топлива, будут выдвигаться на первый план. Отечественные разработки такой технологии, к сожалению, не могут составить основу для ближайшей реализации. Из зарубежных способов предпочтительным является процесс COREX, в котором качество производимого металла близко чугуна, а для его получения используются различные типы углей и железосодержащих материалов. Важным преимуществом этого процесса является сопутствующая выработка газа средней калорийности.

Вдувание пылеугольного топлива в доменные печи, реализованное впервые в Украине на Донецком металлургическом заводе, в настоящее время внедряется на ряде металлургических предприятий. По прогнозным оценкам к 2010 году черной металлургии для этих целей потребуется в год 1...1,2 млн. тонн угля, не представляющего ценности для коксования. Однако количество угля, вдуваемого через фурмы, ограничено неполнотой его сжигания, а также размягчения и ожижения зольного остатка угля в дутьевом потоке и фурменном очаге.

Основным преимуществом вдувания горячих восстановительных газов в фурмы доменной печи, по сравнению с использованием сырых топливных добавок, является возможность подачи в доменную печь большего количества восстановителей, вследствие чего сокращается удельный расход кокса за счет снижения степени прямого восстановления и тепла, вносимого газом. Подача в горн доменной печи горячих восстановительных газов, являющихся, по существу, готовым горновым газом, позволит заменить газ, образующийся из кокса. Получение горячих восстановительных газов из низкосортных углей позволяет одновременно решить проблему расширения топливной базы металлургии. При вдувании в фурменные очаги горячих продуктов газификации угля

возможно снижение расхода кокса до 300 кг/т на большинстве доменных печей в разных условиях и, по меньшей мере, до 200 кг/т на печах с низкой теплопотребностью [1].

Особый интерес представляет переработка рядовых марок угля в газ для его использования в металлургических технологиях и энергетике. Газовое топливо имеет целый ряд преимуществ по сравнению с углем. Это, прежде всего, технологическая универсальность его применения и высокая эффективность использования. Сложившаяся структура и технологии металлургического производства, а также пропускная возможность существующих газопроводов определяют минимальную теплоту сгорания генераторного газа на уровне 8–10 МДж/м<sup>3</sup>. В связи с этим варианты воздушной и паровоздушной газификации, не позволяющие получить газ с такой теплотой сгорания, неприемлемы, и необходимо использовать кислород.

Для практического применения особое значение имеет организация автотермической газификации угля. В случае газификации топлив с высокой зольностью газ предпочтительно получать в газогенераторах с жидким шлакоудалением. Для плавления минеральных компонентов топлива и организации хорошего жидкого шлакоудаления необходимо поддерживать температуру в реакторе газификации на уровне 1973–2073 К. Принимая в качестве основных управляющих воздействий содержание кислорода в окислителе и температуру процесса, можно поддерживать такой коэффициент расхода окислителя, который установит необходимое соотношение восстановительных и окислительных компонентов в газе.

На основе всестороннего сравнения способов газификации угля с зольностью 40–45 % показана целесообразность процесса парокислородной газификации при температуре 1973–2073 К при расходе кислорода – 0,36–0,38 м<sup>3</sup>/кг угля и расходе пара 0,05–0,1 кг/кг угля. При этом доля горючих компонентов генераторного газа (СО+Н<sub>2</sub>) составит 75–80 %, теплота сгорания 9,5–9,8 МДж/м<sup>3</sup>, а выход газа 1,2–1,3 м<sup>3</sup>/кг угля [2].

С экологической точки зрения преимуществом обладают высокотемпературные процессы газификации, обеспечивающие отсутствие в газе смол и фенолов; связывание серы в сульфиды, а не в диоксид серы, как это имеет место при сжигании угля; низкие щелочные характеристики тяжелых металлов в золе. Комплексно анализируя преимущества и недостатки различных способов получения генераторного газа, а также учитывая отечественный и зарубежный опыт, приоритетным направлением для металлургии следует считать парокислородную газификацию пылеугольного топлива в закрученном потоке с отделением зольной части в виде расплава. Проведенная экологическая оценка процесса в температурном диапазоне 1073–2273 К показала, что при газификации в газовую фазу переходят соединения серы, 95–98 % которых составляет сероводород. Максимальное количество сероводорода образуется при высокотемпературной поточной газификации (1973–2173 К) и его выход составляет до 0,49 %, а очистка газа с конверсией сероводорода в товарную серу не вызывает технологических затруднений [3].

Экономическая эффективность производства генераторного газа должна учитывать не только его характеристики и связанные с его получением затраты, но и значительное количество утилизированной энергии, а также ценность побочных продуктов (сера, зола).

В процессе высокотемпературной газификации низкосортного угля образуется значительное количество расплавленной золы, обладающей высоким температурным потенциалом. Перспективными с точки зрения эффективного использования физического тепла расплава, защиты окружающей среды и энергетических затрат являются способы сухого охлаждения расплава в валковых охладителях с получением гранули-

рованного шлака, который используется в качестве строительного материала, а также как добавки при производстве цемента.

В угле содержится в значительных количествах кремний, алюминий, железо кальций и (в виде микроэлементов) около 70 ценных элементов (цинк, германий, ванадий, свинец и т.д.). Установлено, что при высокотемпературной газификации угля зольные уносы являются концентратом редких элементов. Так концентрация германия в зольном уносе в 43 раза превышает его содержание в исходном угле, молибдена в 35 раз, а концентрация ванадия в 5 раз [4]. Учет затрат на получение такого концентрата при технико-экономической оценке комплекса по переработке угля может значительно повысить его эффективность.

Существенную роль в оценке эффективности играет потребитель генераторного газа и технология его использования для производства конечного материального или энергетического продукта. Например, исследованиями, выполненными в металлургической академии, показано, что минимальные суммарные энергетические затраты в системе доменная печь-газификатор достигаются при содержании в горячем восстановительном газе до  $70 \text{ г/м}^3$  твердого углерода, что соответствует степени конверсии углерода в газификаторе 0,74.

Комплексный учет всех факторов возможен при конкретном рассмотрении новых технологий и обслуживающего их оборудования. Пока можно лишь грубо охарактеризовать структуру расходов и ориентировочную стоимость генераторного газа для возможности сопоставления затрат с соответствующими зарубежными показателями, (результаты расчетов даны в долларах США).

В газогенераторе поточного типа, работающем по способу парокислородной газификации пыли из углей марки АШ с теплотой сгорания  $19,0 \text{ МДж/кг}$  и зольностью 35 %, может быть получен газ с теплотой сгорания  $10,0 \text{ МДж/м}^3$ . При этом расчетная цена генераторного газа составит 26 долларов США за  $1000 \text{ м}^3$  газа, в том числе доля угля 42 %, остальных затрат 22 %, капитальных вложений 36%.

Структура капитальных вложений в процентах представляется следующим рядом: топливоподготовка – 11,4; производство кислорода – 27,5; газификация – 40,9; переработка кислых газов в серу – 7,1; очистка хвостовых газов – 3,4; очистка стоков – 0,54; водоподготовка – 1,1; химреагенты – 2,1; общестанционные системы – 0,6.

Учитывая сравнительно высокую стоимость генераторного газа, при планировании газогенераторных технологий и установок в производство следует поступать весьма осмотрительно. Не вызывает сомнения эффективность использования высокотемпературного неочищенного газа, если такое допускает технология.

В перспективе экономическая эффективность использования продуктов газификации углей может оказаться выше в результате:

- повышения цен на природный газ и нефтепродукты;
- вовлечения в переработку дешевых углей;
- ужесточения экологических требований;
- развития эффективных процессов газификации.

Металлургическая академия Украины проблемой использования отечественных углей для производства генераторного газа и его использования занимается около 15 лет. Создан опытно-промышленный агрегат для парокислородной газификации пылевидного угля высокой зольности (до 40 %) с отделением зольной части в виде расплава. В результате испытаний получен газ теплотой сгорания  $8\text{--}10 \text{ МДж/м}^3$ , содержащий 40...50 %  $\text{CO}$ , 20...25 %  $\text{H}_2$ , 5...7 % ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ), 15...20 %  $\text{N}_2$ , 0,4...0,45 %  $\text{H}_2\text{S}$ . Достигнута степень конверсии углерода 90 % и КПД газификации 0,85 при удельном рас-

ходе кислорода 0,4 м<sup>3</sup>/кг и пара 0,1 кг/кг, выход газа на одну тонну угля составил 1800...2000 м<sup>3</sup>.

В решении проблемы вовлечения в топливно-энергетический баланс предприятий газообразного топлива из углей следует различать задачи тактики и стратегии. В тактическом плане дефицит природного газа и нефтепродуктов в настоящем требует скорейшей реализации газификационных технологий в промышленности. Однако состояние отечественных разработок таково, что для их внедрения потребуется как минимум десятилетие. Решением проблемы может быть закупка современной зарубежной промышленной технологии и оборудования и на их основе создание опытного производства генераторного газа на одном из металлургических предприятий. Результаты исследований и испытаний этого производства, оценка технико-экономических показателей и экологических воздействий послужат основанием для решения вопроса его быстрого распространения.

В плане стратегии следует всесторонне поддержать отечественных разработчиков новых технологий и оборудования, которые могут в будущем составить конкуренцию на мировом рынке газификационных комплексов.

#### Литература

1. Товаровский И.Г., Севернюк В.В., Лялюк В.П. Анализ показателей доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 420 с.

2. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Исследование и разработка режимов поточной газификации углей украинских месторождений // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2000. – С. 106–112.

3. Потапов Б.Б., Пинчук В.А. Экологические аспекты термохимической переработки низкосортных углей Приднепровского региона // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – №3. – С. 121–124.

4. Потапов Б.Б., Пинчук В.А., Порядин М.Б. Извлечение микроэлементов при высокотемпературной газификации углей // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск: НМетАУ. – 2003. – Том 9. – С. 59–63.

УДК 662.747

Потапов Б.Б., Пинчук В.О.

### **ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ В МЕТАЛУРГІЇ ВУГІЛЬ І ПРОДУКТІВ ЇХНЬОЇ ПЕРЕРОБКИ**

Розглянуто напрямки використання вугілля в металургії: як первинне паливо при відновленні залізорудної сировини, при вдуванні вугільного пилу в доменні печі, газифікація вугілля для подальшого використання в якості паливного і відбудовного газу. Обґрунтовано енергетичну й екологічну ефективність паракисневої газифікації низькосортних вугілля з відділенням зольної частини у виді розплаву. Показано, що економічна доцільність реалізації такого процесу може бути досягнута шляхом утилізації фізичної теплоти продуктів процесу, а також побічним виробництвом гранульованої золи і концентрату рідких мікроелементів.