

О возможности радикального снижения себестоимости производства чугуна

Экономические кризисы до предела обострили главную проблему черной металлургии – высокую себестоимость производства чугуна и стали на базе традиционных технологических процессов с применением фракционированного кускового низкорреакционного кокса. В статье обсуждаются преимущества нового углеродного восстановителя – высокорреакционного буроугольного кокса. При его использовании в технологии прямого восстановления железорудного концентрата удельные затраты на кокс и топливо не превышают 700 рублей (~ \$US20) на тонну чугуна, что обеспечивает радикальное снижение себестоимости производства.

Исламов С. Р.*

В СОВРЕМЕННЫХ экономических условиях проблемы черной металлургии в первую очередь обусловлены исчерпанием потенциала существующего традиционного технологического предела, а не внешними факторами в виде темпов развития китайской экономики, как считают многие эксперты.

Сегодня определяющим требованием становится радикальное снижение себестоимости производства чугуна за счет внедрения инновационных технологических решений. Очевидно, что железорудное сырье будет только дорожать, что обусловлено объективной тенденцией истощения запасов и снижения качества руды, ростом затрат, связанных с переносом добычи в удаленные регионы, а также неуклонным повышением транспортных тарифов. Точно так же обстоит дело с коксующимися углями и коксовой продукцией. Однако развитие цивилизации несовместимо с неограниченным удорожанием главного конструкционного материала – стали. Следовательно, с неизбежностью должна произойти смена лидирующей технологической концепции.

В нормальных экономических условиях затраты на кокс и топливо составляют почти половину себестоимости производства чугуна. Подавляющая часть современных металлургических технологий работает на кусковом, низкорреакционном коксе. Если отвлечься от конкретного аппаратного оформления известных металлургических процессов, отмеченные выше свойства кокса не имеют ни экономического, ни технологического обоснования. Согласно основам физхимии гетерогенных процессов для максимизации скорости восстановления окислов железа необходимо использовать высокорреакционный, тонкодисперсный углеродный восстановитель, но в течение целого столетия металлургия развивается, игнорируя фундаментальные принципы гетерогенной химии.

Таким образом, в черной металлургии востребован углеродистый восстановитель, который обладает следующими основными свойствами:

- высокая реакционность;
- большая удельная поверхность;
- низкая стоимость.

Технология Термококс®

Сформулированным выше требованиям углеродистому восстановителю в полной мере отвечает **среднетемпературный кокс (термококс)**, который производится из бурого угля в виде мелкозернистого материала (0–5 мм) и имеет в 20 раз более высокую реакционную способность по сравнению с классическим коксом при содержании фиксированного углерода до 85 %. Себестоимость производства такого термококса примерно равна цене 2,5–3 т бурого угля.

Основу технологии производства термококса составляет частичная газификация угля с высоким содержанием летучих веществ (**рис. 1**). Оптимальным сырьем являются дешевые бурые угли Канско-Ачинского бассейна с низким содержанием золы ($A^d = 5-6\%$) и серы ($S^d = 0,15\%$). Промышленные запасы таких углей составляют сотни млрд тонн. Однако по технологии **ТЕРМОКОКС** можно перерабатывать и молодые каменные угли с высоким содержанием летучих веществ ($V^{daf} > 35-40\%$). Более того, за счет эффекта одновременной гравитационной сепарации возможно использование углей с повышенной зольностью.

Частичная газификация угля осуществляется в типовом энергетическом котле,

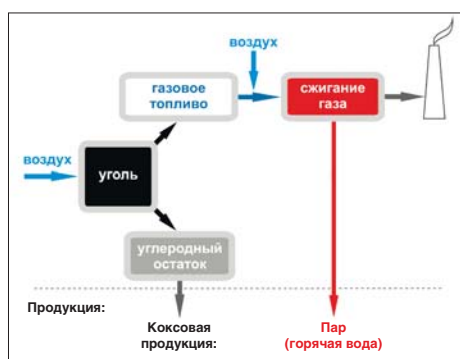


Рис. 1. Принципиальная схема технологии ТЕРМОКОКС®



Д-р т. н. Исламов Сергей Романович

переведенном в режим параллельного производства термококса с сохранением паспортной тепловой мощности. Дробленый уголь, поступающий в котел, подвергается частичной газификации в кипящем слое с температурой 750–800 °С. Твердый остаток далее охлаждается в коксоохладителе. Горячие газовые продукты дожигаются в надслоевом пространстве за счет вторичного воздуха, обеспечивая высокую теплонпряженность топочного объема. Таким образом, в котле сжигается преимущественно газовая компонента угля, а вместо золошлаковых отходов производится второй ценный продукт – буроугольный кокс. Вместо производства пара тепловая энергия продуктов газификации может быть использована для других целей: сушка концентратов после обогащения, агломерация, спекание и обжиг самых разнообразных материалов, используемых в металлургическом производстве.

Очевидно, что масштабы и сфера использования нового углеродистого продукта определяются его основными потребительскими свойствами. В качестве примера в **таблице** приведены характеристики термококса, изготовленного из бурого угля Березовского месторождения.

*Генеральный директор Энерготехнологической компании «Термококс», Россия 660060, г. Красноярск, ул. Лебедевой, д. 66, пом. 219

По материалам доклада на саммите Adam Smith Conferences «Металлы России и СНГ-2014», Москва, 12-13 февраля, 2014

Таблица. Основные характеристики термококса, полученного из буроугольного месторождения

$W_f = 1-5\%$	$S^{daf} < 0,2\%$	$Q_f^f = 28-30$ МДж/кг
$A^{dry} = 8-9\%$	$C^{daf} = 90-94\%$	Реакционность по $CO_2 = 8,0$ см ³ /г·с
$V^{daf} = 7-8\%$	$\rho_{насыт.} = 500$ кг/м ³	HGI = 68,5
$C_{fix} = 82-85\%$	Удельное электросопротивление $1,37 \cdot 10^3$ Ом·см	

При использовании углей с повышенным содержанием золы в кипящем слое происходит гравитационная сепарация и более тяжелая минеральная часть угля (порода) отдельно выводится из нижней части реактора. Так, например, при переработке отсева обогащения угля марки Д с исходной зольностью 20-24 % полученный из него термококк имел зольность 13–15 %.

Экономика и экология процесса

При параллельном производстве кокса и тепловой энергии удельные капитальные затраты в расчете на 1 МДж суммарно производимой продукции существенно меньше, а экономическая эффективность производства в несколько раз выше, чем в проектах классической теплоэнергетики. Так, например, при переработке 4 т буроугольного угля ($Q_f^f \approx 15,5$ МДж/кг) получают 1 т кокса ($Q_f^f \approx 29,3$ МДж/кг) и около 25 ГДж горячей воды или пара. Поскольку все операционные затраты производства компенсируются продажей тепловой энергии, себестоимость получаемого термококса в основном определяется затратами на сырье. Согласно выполненному в 2014 г. ТЭО модернизации действующей угольной ТЭЦ в г. Красноярск себестоимость термококса составляет 1358 руб/т (без НДС), т.е. не превышает \$US40/т. Удельный расход буроугольного угля – 2,3 т/т термококса, а цена угля – 505 руб/т. Срок окупаемости инвестиций в модификацию действующей ТЭЦ не превышает 3 лет.

Поскольку в котле сжигается преимущественно газовое топливо с незначительной примесью термококса (унос из кипящего слоя), обеспечивается радикальное снижение контролируемых выбросов в атмосферу по сравнению с традиционными угольными котлами. Технология, по сути, не имеет золошлаковых отходов, поскольку содержащаяся в угле зола переходит в коксовый продукт. Соответственно исключаются огромные золошлаковые отвалы. Таким образом, экологические показатели котельного агрегата на угольном топливе приближаются к соответствующим показателям котла на газообразном топливе. Поскольку продукты сгорания относятся на производство тепловой энергии, второй получаемый продукт – термококк, имеет нулевые выбросы в окружающую среду.

Углеродистый восстановитель формованный

Современные металлургические технологии в основном ориентированы на использование классического кускового кок-

са, который отличается высокой холодной и горячей прочностью при низкой реакционной способности. В отличие от кускового кокса буроугольный кокс можно брикетировать (экструдировать) с получением формованного продукта любого размера. Прочностные требования можно удовлетворить путем подбора оптимального связующего, при этом реакционная способность формованного термококса снижается незначительно. Исходя из этого, сфера использования такого продукта ограничивается главным образом электрометаллургией и, в первую очередь, производством ферросплавов. К настоящему времени в нашей компании накоплен достаточный опыт изготовления брикетов с высокой прочностью, продолжается совершенствование качества продукции путем тестирования опытно-промышленных партий брикетов на заводах по производству ферросплавов и поликристаллического кремния. Для последнего приложения обеспечивается пониженное содержание железа в брикете за счет предварительной магнитной сепарации термококса.

Углеродистый восстановитель мелкозернистый

Стадия формования термококса является избыточной, как с общих позиций физико-химии пирометаллургии, так и с экономической точки зрения. Наибольший интерес представляет непосредственное использование мелкозернистого углеродистого восстановителя с высокой реакционной способностью. В традиционной металлургии высококреакционный термококк – идеальное топливо для вдувания в доменную печь. Успешные промышленные испытания по вдуванию буроугольного полукокса (существенно пониженного качества по сравнению с термококсом) были проведены еще в 1971 г. на Западно-Сибирском металлургическом комбинате на доменной печи объемом 2000 м³.

В технологиях прямого восстановления железной руды сегодня самым эффективным восстановителем является природный газ. К сожалению, этот вид сырья имеет ограниченную географическую доступность и довольно высокую цену. Альтернативой являются некоторые марки энергетических углей, стоимость которых существенно ниже по сравнению с классическим коксом.

Компания Hares Engineering в 2010 г. по результатам тестирования термококса дала положительное заключение о возможности использования термококса в технологии ITmk3. В России модифицированную версию японской технологии интенсивно развивает иркутская компания ИТЭМ. В 2012 г. специалисты этой компании также успешно протестировали термококк, изготовленный из буроугольного месторождения и отметили целый ряд положительных характеристик этого восстановителя по сравнению с каменным углем. Среди них, в первую оче-



редь, высокое содержание фиксированного углерода, высокая реакционная и дешевизна в пересчете на углерод. Отличительной особенностью этой технологии является снижение требований к содержанию вредных примесей в железорудном концентрате (ЖРК), при которых, тем не менее, обеспечивается высокое качество конечного продукта. Так, например, чугун, полученный из концентрата Ковдорского ГОКа (ОАО «Еврохим») и термококса из березовского буроугольного месторождения, содержит более 95 % Fe и около 3 % углерода и по всем характеристикам удовлетворяет требованиям к передельному чугуну. При этом удельный расход термококса составляет 0,45 т/т чугуна.

Экономика производства чугуна на основе термококса

В 2014 г. совместно с компанией ИТЭМ было выполнено ТЭО строительства промышленного предприятия по производству 1 млн т/год гранулированного чугуна. В качестве восстановителя использовался мелкозернистый термококк, который должен производиться на типовой угольной ТЭЦ после ее незначительной модификации. Удельные капитальные затраты составляют около 8 тыс. руб./т гранулированного чугуна. Удельные затраты на кокс составляют около 700 руб/т чугуна (~20 \$US/т). Для сравнения: в доменной технологии этот показатель достигает 4000 руб/т (~110 \$US/т).

Дополнительный экономический эффект обеспечивается за счет введения в общую технологическую схему блока производства термококса взамен блока газификации. Поскольку термококк производится путем частичной газификации буроугольного угля, то вместо сжигания в котле-утилизаторе генераторный газ можно использовать для отопления восстановительной печи. Это позволит отказаться от использования угля (300 руб/т чугуна) для производства отопительного газа путем газификации угля. Капитальные затраты на сооружения блока газификации угля и блока карбонизации (частичной газификации) примерно сопоставимы.

Заключение

Использование буроугольного кокса в технологиях прямого восстановления железорудного концентрата обеспечивает радикальное снижение себестоимости производства чугуна по сравнению с традиционным доменным производством на базе классического кокса. ■