

*д. т. н., проф. Петрушов С.Н.  
к. т. н., доц. Русанов И.Ф.  
к. ф.-м. н., доц. Русанова Н.И.  
(ДонГТУ, Алчевск, Украина)  
начальник аглоцефа Тренеев Е.Т.  
(ОАО “АМК”, Алчевск, Украина)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА РАСКАЛЕННОГО КОКСА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВОК ДЛЯ АГЛОМЕРАЦИИ**

*Запропоновано використовувати тепло коксу, видаваного з коксових печей, для отримання вапна, що вводиться в агломераційну шихту. Обґрунтована доцільність такого способу отримання вапна і зроблена економічна оцінка застосування запропонованого способу.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Одной из важнейших проблем современности является снижение энергоемкости технологических процессов. В металлургии снижение энергоемкости производства достигается путем использования тепловой энергии, утилизируемой котлами-утилизаторами, установленными за кислородными конвертерами, мартеновскими печами, нагревательными печами и обжиговыми машинами, а также тепла установок испарительного охлаждения.

Тепло выдаваемого из коксовых батарей раскаленного кокса используется лишь при его тушении в установках сухого тушения.

На отечественных предприятиях черной металлургии утилизируемое тепло используется главным образом для производства пара и бытовых нужд. Между тем, опыт работы зарубежных предприятий доказывает эффективность использования вторичного тепла для технологических целей и получения дополнительных продуктов, используемых затем в металлургических процессах. Одним из таких продуктов является известь, используемая при агломерации железорудного сырья.

Производство извести требует больших затрат и специального оборудования. Снижение их является актуальной задачей.

### **Анализ исследований и публикаций.**

Источниками вторичного тепла в черной металлургии являются отходящие из агрегатов газы и воздух или вода, используемые для охлаждения получаемых продуктов (агломерата, шлака, металла). Температура теплоносителей при этом низкая (300-500 °С). Так как разложе-

ние карбонатов происходит при более высоких температурах (700-900 °С), утилизированное тепло для получения извести практически использоваться не может.

Разложение карбонатов возможно при непосредственном контакте их с источником вторичного тепла.

Так в Японии предложено получать известь попутно с производством агломерата на агломашине. При этом поверх уложенного ранее слоя постели укладывается гранулированная смесь измельченного известняка и кокса в соотношении 96-99 % к 4-1 % . Грануляция смеси производится с добавкой воды в количестве, соответствующем ее содержанию в гранулах 3-9 %. Полученные гранулы загружаются на спекательные тележки агломашины слоем 1-4 см. Сверху на гранулы укладывается слой обычной аглошихты. В процессе агломерации известняк в гранулах обжигается, гранулы разрушаются и практически полностью попадают в возврат. Расчет показывает, что в обычных условиях получения извести расход твердого топлива составляет 8-9% от массы известняка. По предложенному в Японии способу расход топлива снижается в среднем в 4 раза в результате утилизации тепла агломерации основной аглошихты.

Несмотря на привлекательность такого способа агломерации и его эффективность, он не может быть использован на аглофабриках Украины, как по конструктивным, так и по технологическим причинам.

#### **Постановка задачи.**

Основной задачей, решаемой в данной работе, является обоснование возможности использования тепла выдаваемого из коксовых батарей раскаленного кокса для получения извести с последующим ее использованием для интенсификации агломерационного процесса.

#### **Изложение материала и его результаты.**

Учитывая, что металлургические предприятия работают в едином комплексе с коксохимическими заводами, утилизация тепла продуктов коксования также оказывает существенное влияние на топливно-энергетический баланс черной металлургии.

Как известно, производство кокса является энергоемким процессом. Расход тепла на коксование составляет в среднем 3,0-3,5 ГДж/т кокса, что на 10-15 % выше, чем на 1 тонну чугуна.

Работы по снижению расхода тепла в коксохимическом производстве проводят в двух основных направлениях: совершенствование технологического процесса и использование выделяющегося при коксовании тепла, с целью снижения расхода топлива, на энергетические и технологические нужды. Более половины выделяющегося при коксовании тепла уносится раскаленным коксом, поэтому использование его имеет первостепенное значение.

Технологически утилизация тепла раскаленного кокса не имеет трудностей и в ряде стран получила широкое распространение. Тепло кокса используется с высоким тепловым КПД, достигающим 80-85%. При таком КПД экономия составляет, в эквивалентном пересчете, около 50 кг условного топлива на 1 т кокса.

Тепло раскаленного кокса используется при его сухом тушении инертным газом, а также при тушении в закрытой емкости водой. Утилизированное тепло идет или для производства пара, или подогрева угольной шихты перед коксованием.

Сухое тушение кокса осуществляется по различным схемам с использованием установок сухого тушения кокса, различающихся конструктивно. Принципиально же технологический процесс тушения существенно не зависит от конструктивного выполнения и протекает в следующей последовательности.

Раскаленный кокс выдается из коксовых печей и транспортируется к установке тушения. Здесь кокс выгружается в специальную камеру или бункер и охлаждается путем продувки (прососа) его инертным по отношению к коксу газом. Нагретые газы направляются в теплообменник (рекуператор). Здесь они охлаждаются и затем вновь подаются на охлаждение кокса.

В установках сухого тушения кокса температура кокса понижается в 5-6 раз (с  $1000 - 1500^{\circ}\text{C}$  до  $150 - 200^{\circ}\text{C}$ ), а температура охлаждающего газа возрастает со  $100 - 150^{\circ}\text{C}$  до  $700 - 800^{\circ}\text{C}$ . Уловленного тепла достаточно для получения  $450 - 550$  кг пара на тонну кокса с температурой  $400 - 450^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность охлаждения составляет обычно 1-2 часа.

В США и Германии построены установки для тушения кокса водой под давлением в закрытом контейнере. При тушении кокса водой в закрытом контейнере образуется перегретый пар, содержащий значительное количество влаги. Температура пара на выходе из контейнера составляет  $700^{\circ}\text{C}$ . В контейнере при контакте воды или водяного пара с раскаленным коксом образуется водяной газ, содержащий в среднем: 57,2%  $\text{H}_2$ ; 28,6%  $\text{CO}$  и 14,2%  $\text{CO}_2$ . В ходе процесса газифицируется около 1% кокса. Продолжительность охлаждения кокса до  $200^{\circ}\text{C}$  составляет несколько минут.

В последние годы при производстве кокса расширяется термическая подготовка угольной шихты. В качестве теплоносителя для установок термической подготовки шихты используют продукты ценного технологического топлива – природного или коксового газа. С целью экономии этого топлива предложено комбинированное использование тепла раскаленного кокса для производства пара и термической подготовки

угольной шихты. При таком процессе расход тепла на коксование уменьшится в несколько раз.

Наряду с явным преимуществом известных способов утилизации тепла раскаленного кокса широкое внедрение установок сдерживается в основном по двум основным причинам: установки имеют высокую стоимость и требуют больших площадей для их размещения, что трудно осуществимо, особенно на действующих заводах. Последнее особенно существенно для Украины, поскольку большинство отечественных коксохимических заводов спроектировано с использованием мокрого способа тушения кокса и не располагают площадями для размещения установок сухого тушения. Перестройка же существующих заводов (по капитальным затратам) без больших инвестиций не возможна.

Альтернативой известным способам утилизации тепла раскаленного кокса может быть его использование для производства интенсифицирующих добавок в аглошихту. При этом процесс тушения кокса изменяется принципиально.

Тушение кокса предлагается производить в две стадии: на первой стадии тушение происходит до температуры ниже температуры воспламенения кокса ( $500-600^{\circ}\text{C}$ ) твердым потребителем тепла (известняком или другим карбонатом), а на второй – обычным холодным воздухом или холодным газом, инертным к коксу при указанных температурах.

В агломерационную шихту из карбонатов вводят сидерит  $\text{FeCO}_3$ , кальцит  $\text{CaCO}_3$ , магнезит  $\text{MgCO}_3$  или доломит  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Температура начала разложения всех этих карбонатов находится в пределах  $300-550^{\circ}\text{C}$ , что ниже температуры воспламенения кокса. Это обстоятельство и позволяет использовать карбонаты для тушения кокса на первой стадии.

Наиболее прочным из используемых в агломерации карбонатов является кальцит. Поэтому оценим возможность и эффективность его использования для производства извести для агломерации железорудных материалов за счет тепла раскаленного кокса.

При охлаждении 1 кг кокса с начальной температурой  $1000^{\circ}\text{C}$  до температуры  $550^{\circ}\text{C}$  выделяется тепла:

$$Q_r = C_n \cdot T_n - C_k \cdot T_k = 1,432 \cdot 1273 - 1,201 \cdot 823 = 834,5 \text{ кДж/кг},$$

где  $C_n$  и  $C_k$  – теплоемкости кокса при температурах  $T_n$  и  $T_k$ .

Для нагрева 1 кг известняка до  $800^{\circ}\text{C}$  и его разложения потребуется:

$$Q_u = C_u \cdot T_u + Q = 1,10 \cdot 1073 + 1780 = 2960,3 \text{ кДж/кг};$$

Здесь:  $C_u$  – теплоемкость известняка при температуре  $T_u$ ,

$T_u$  – средняя температура нагрева известняка, К

Q – теплота разложения известняка, кДж/кг

Выделяющегося при охлаждении 1 кг кокса тепла достаточно для разложения

$$m = \frac{834,5}{2960,3} = 0,28 \text{ кг известняка.}$$

Одна современная коксовая камера выдает за один период коксования около 16 тонн кокса. Для его тушения, согласно приведенным выше расчетам, потребуется около 4,5 тонн известняка. С учетом тепловых потерь и полноты разложения известняка его расход, очевидно, понизится до 3,5 – 4 тонн. При степени разложения равной 75 % количество полученной извести составит порядка 3,0 тонн.

При использовании такой технологии получения извести экономия составит около 75 кг условного топлива в расчете на 1 т полученной извести.

Указанный способ [1] получения кокса технологически может быть осуществлен следующим образом.

В процессе выдачи кокса из коксовой печи раскаленный кокс смешивается с мелким известняком (< 10мм) в специальном смесительном устройстве. С целью ускорения процесса разложения известняка целесообразно во время протекания процесса осуществлять непрерывное перемешивание кокса и известняка. В этот период необходимо отсасывать из зоны реакции выделяющийся при разложении диоксид углерода и другие выделяющиеся газы. Очевидно, наиболее подходящим для этой цели является смесительный барабан. Для качественного перемешивания объем барабана должен быть около 200 м<sup>3</sup>. При диаметре барабана 4 – 5 м и его длине 10 – 15 м, смесительный барабан может быть смонтирован непосредственно на платформе тушильного вагона.

После окончания первой стадии охлаждения, через слой кокса, охлажденного до температуры ниже температуры его воспламенения, продувается холодный воздух с последующим его охлаждением в теплообменнике или же подачей в регенераторы коксовой батареи.

Охлажденный до температуры ниже 100<sup>0</sup>С кокс подается на грохочение. Во время грохочения полученная в ходе охлаждения известь отделяется от основной массы кокса совместно с мелкой фракцией (<10 мм). При выходе фракции крупностью <10 мм 4 – 6% от общей массы полученного кокса, выделяемая смесь будет содержать 80% извести и 20% коксика. Использование такой смеси при агломерации железосодержащих материалов позволит практически полностью ис-

ключить из шихты сырой известняк и повысить производительность агломашин на 15 – 20%.

Предложенный способ тушения кокса известняком опробован в лабораторных условиях. При этом кокс крупностью 10 – 15 мм массой 2 кг был нагрет в трубчатой печи до температуры 950<sup>0</sup>С. Затем его перемешали с известняком крупностью <3 мм и выдержали в смеси в течение 20 минут. Соотношение кокс – известняк составило 1:3. В результате опыта степень разложения известняка составила около 50%. Низкая степень разложения известняка получена в результате того, что во время опытов при малой массе кокса не удалось обеспечить полное использование тепла из-за высоких потерь тепла в окружающую среду.

#### **Выводы и направление дальнейших исследований.**

Проведенные расчеты и результаты проведенных опытов позволяют сделать вывод о возможности и целесообразности использования тепла раскаленного кокса для получения извести для агломерации. Используя для тушения кокса другие карбонаты, можно также получить добавки в аглошихту, содержащие железо или оксид магния.

*Предложено использовать тепло кокса, выдаваемого из коксовых печей, для получения извести, вводимой в агломерационную шихту. Обоснована целесообразность такого способа получения извести, и сделана экономическая оценка применения предложенного способа.*

*It is suggested to use the heat of coke given out from coke stoves for a production of lime for the sinter charge. Expedience of such method of receipt is grounded inform, and the economic evaluation of application of the offered method is done.*

#### **Библиографический список**

1. Патент Украины: 34776А, МКІ С10В39/02 Спосіб сухого гасіння коксу / І.Ф.Русанов, Р.І.Русанов, С.М.Петрушов, І.І.Ровенський, Д.С.Петрушов № 99073824; Заявл. 06.07.1999; Опубл. 15.03.2001. Бюл. № 2.-3с.