

ВЫХОД ИЗВЕСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ОБЖИГА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНВЕРТОРНОГО ГАЗА

Аннотация

Обоснование эффективности использования конвертерного газа для обжига известняка требует в первую очередь определения ожидаемого выхода извести, на основе которого можно судить о целесообразности разработки процесса. Оценка выхода извести выполнена для трех вариантов использования конвертерного газа: при использовании физической теплоты конвертерного газа; при использовании химической энергии конвертерного газа и размещении реактора после газоочистки; при совместном использовании физической теплоты и химической энергии газа.

В результате расчета ожидаемого выхода извести установлено, что использование конвертерного газа для производства извести может полностью обеспечить или, по крайней мере, компенсировать дефицит извести в кислородно-конвертерном производстве стали.

Технология обжига известняка конвертерным газом представляется в виде синхронизированного с выплавкой стали цикла, включающего в соответствии с выходом газа из конвертера ряд продувок слоя и чередование их с паузами межпродувочных периодов. Полученные в результате теоретического анализа предварительные технологические характеристики обжига использованы для дальнейших экспериментально-теоретических исследований.

Ключевые слова: конвертерный газ, обжиг известняка, известь, тепловой и материальный балансы.

Abstract

Efficient foundation of using of converter gas for burning limestone requires first determining the expected output of lime, upon which to judge the appropriateness of the development process. Assessment of lime output made for three variants using of converter gas: using sensible heat of converter gas; using chemical energy of converter gas and placing the reactor after gas scrubbing; using sharing physical and chemical heat energy of the gas.

The calculation of the expected outputs of lime found that using of converter gas for lime production can fully satisfy, or at least compensate for the lack of lime in oxygen converter steelmaking.

Technology of roasting limestone with converter gas is represented as a synchronized smelting steel cycle, which includes series of purges layer and alternating them with pauses between the purge periods in accordance with the gas output from the converter.

Obtained as a result of theoretical analysis pre-technological characteristics of burning used for further experimental and theoretical studies.

Keywords: converter gas, burning limestone, lime, heat and material balances.

Использование конвертерного газа для обжига известняка может обеспечить кислородно-конвертерный процесс известью или, по крайней мере, исключить дефицит извести в кислородно-конвертерном производстве стали. Опытно-промышленное опробование обжига известняка конвертерным газом в действующем кислородно-конвертерном цехе с последующим применением продукта обжига непосредственно в цехе для выплавки стали привело к улучшению ряда технологических показателей кислородно-конвертерного процесса.

Анализ процесса, выполненный на основе теплового и материального балансов обжига с учетом интенсивности теплообмена в слое и кинетики диссоциации в куске, показал, что технология обжига известняка конвертерным газом представляется в виде синхронизированного с выплавкой стали цикла, включающего в соответствии с выходом газа из конвертера ряд продувок слоя и чередование их с паузами межпродувочных периодов.

Обжиг известняка конвертерным газом создает предпосылки для совместного решения двух проблем – обеспечения кислородно-конвертерного процесса известью, дефицит которой испытывают предприятия черной металлургии, и более эффективного (по сравнению с существующим состоянием) использования энергетического потенциала конвертерного газа [1].

В задачу данной работы входило: оценка выхода извести и продолжительности обжига при использовании конвертерного газа.

Известь является основным шлакообразующим компонентом в шихте кислородно-конвертерной плавки и оказывает существенное влияние на важнейшие технологические показатели процесса: качество стали, выход годного, продолжительность продувки, расход кислорода и стойкость футеровки конвертера [2; 3].

Известь для выплавки конвертерной стали должна быть свежееобожженной, активной, содержать минимальное количество серы и фосфора (до 0,1 %) и обладать высокой флюсующей способностью ($\text{SiO}_2 < 3\%$). Оптимальные размеры кусков извести для кислородно-конвертерной плавки составляют 10÷30 мм. Более крупные куски медленно растворяются в шлаке, а частицы менее 10 мм во время загрузки извести в конвертер выносятся отходящим газом.

Расход извести при выплавке кислородно-конвертерной стали зависит от качества извести, состава чугуна и других компонентов шихты, а также определяется конкретными технологическими условиями выплавки стали и заданной основностью шлака. Удельный расход извести составляет в пределах 50÷110 кг/т стали, причем, технологически наиболее вероятным интервалом расхода извести является 77÷86 кг/т стали [3].

В Украине производство извести для всех переделов черной металлургии в целом составляет в расчете на 1 т стали около 60–70 кг, причем на долю конвертерной стали приходится не более 45–50 кг, что указывает при сравнении с технологической потребностью в извести на ее дефицит в кислородно-конвертерном производстве. Недостаточным является также и качество получаемой извести, которое в значительной степени зависит от типа применяемых для производства извести обжиговых печей.

Обжиг известняка весьма энергоемкий процесс. На производство 1 т извести в газовых шахтных печах затрачивается 140÷210 кг условного топлива, во вращающихся печах –

220÷320 кг, в печах кипящего слоя – 170÷200 кг, что делает известково-обжиговое производство заметным потребителем топлива в черной металлургии.

В сложившейся ситуации вполне очевидно экономическое значение использования конвертерного газа для обжига известняка. Производство извести непосредственно в конвертерном цехе с использованием теплоты конвертерного газа создает предпосылки для покрытия дефицита извести при существенной экономии топливно-энергетических ресурсов отрасли.

Обоснование эффективности использования конвертерного газа для обжига известняка требует в первую очередь определения ожидаемого выхода извести, на основе которого можно судить о целесообразности разработки процесса. Оценка выхода извести выполнена для трех вариантов использования конвертерного газа:

- при использовании физической теплоты конвертерного газа;
- при использовании химической энергии конвертерного газа и размещении реактора после газоочистки;
- при совместном использовании физической теплоты и химической энергии газа.

Выражение для определения ожидаемого выхода извести (на 1 т стали), полученное из уравнения теплового баланса процесса, имеет следующий вид:

$$m_{из} = \frac{Q_{кг} \eta_{об}}{[c_{изв} t_d + q_d m_{CaCO_3} \varepsilon + (c_{из} t_{об} - c_{из} t_d) \cdot (1 - 0,44 m_{CaCO_3} \varepsilon)] k_{изв}}, \quad (1)$$

где $Q_{кг}$ – теплота конвертерного газа в расчете на 1 т стали; $\eta_{об}$ – тепловой к.п.д. обжига; $c_{изв}$, $c_{из}$ – теплоемкости известняка и извести при соответствующих температурах по данным [4]; t_d – температура диссоциации известняка, вычисленная по формуле, приведенной в [5]; q_d – расход теплоты на диссоциацию 1 кг $CaCO_3$, вычисленный по формуле, приведенной в [6]; m_{CaCO_3} – массовая доля $CaCO_3$ в известняке; ε – степень обжига; $t_{об}$ – температура обжига, принятая в интервале 1000÷1300 °С; 0,44 – доля молекулярной массы CO_2 в реакции диссоциации известняка; $k_{изв}$ – расходный коэффициент известняка для получения 1 кг извести.

Знаменатель в выражении (1) определяет расход теплоты на получение 1 кг извести и учитывает: теплоту нагрева известняка до температуры диссоциации, теплоту диссоциации $CaCO_3$ и теплоту нагрева извести от температуры диссоциации до температуры обжига.

Теплота конвертерного газа $Q_{кг}$ определяется в зависимости от варианта использования газа выражениями:

при использовании физической теплоты газа

$$Q_{кгф} = C_{кг} t_{кг} v_{кг}^{уд}; \quad (2)$$

при использовании химической теплоты газа

$$Q_{кгх} = Q_H^p v_{кг}^{уд}; \quad (3)$$

при совместном использовании физической и химической теплоты газа

$$Q_{\text{КГ}\Sigma} = (Q_{\text{н}}^{\text{р}} + C_{\text{кг}} t_{\text{кг}}) v_{\text{кг}}^{\text{уд}}, \quad (4)$$

где $v_{\text{кг}}^{\text{уд}}$ – выход газа на 1 т выплавляемой стали.

С учетом неизбежных подсосов воздуха при отводе газа без дожигания формулы (2) и (3) соответственно принимают вид:

$$Q_{\text{кгф}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} \alpha_{\text{п}} + c_{\text{кг}} t_{\text{кг}} v_{\text{кг}}^{\text{уд}} k_{\text{п}}, \quad (5)$$

$$Q_{\text{кгх}} = Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \alpha_{\text{п}}) v_{\text{кг}}^{\text{уд}} k_{\text{п}}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{п}}$ – соответствующий величине подсосов коэффициент расхода воздуха ($\alpha_{\text{п}} = 0,1$); $k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий увеличение объема конвертерного газа при частичном его сжигании вследствие подсосов.

Влияющая на выход извести эффективность использования теплоты конвертерного газа при обжиге учитывалась через тепловой КПД обжига, величина которого в зависимости от типа и модификации обжиговой печи изменяется в довольно широких пределах (0,50÷0,75).

Из результатов расчета ожидаемого выхода извести, представленных на рис. 1 и 2, следует, что использование конвертерного газа для производства извести может полностью обеспечить или, по крайней мере, компенсировать дефицит извести в кислородно-конвертерном производстве стали. На рис. 1 и 2 верхние сплошные линии при удельном выходе конвертерного газа 80 м³/т стали; нижние – 50 м³/т стали, штрихпунктирные линии на рисунке 1 – с учетом подсоса воздуха.

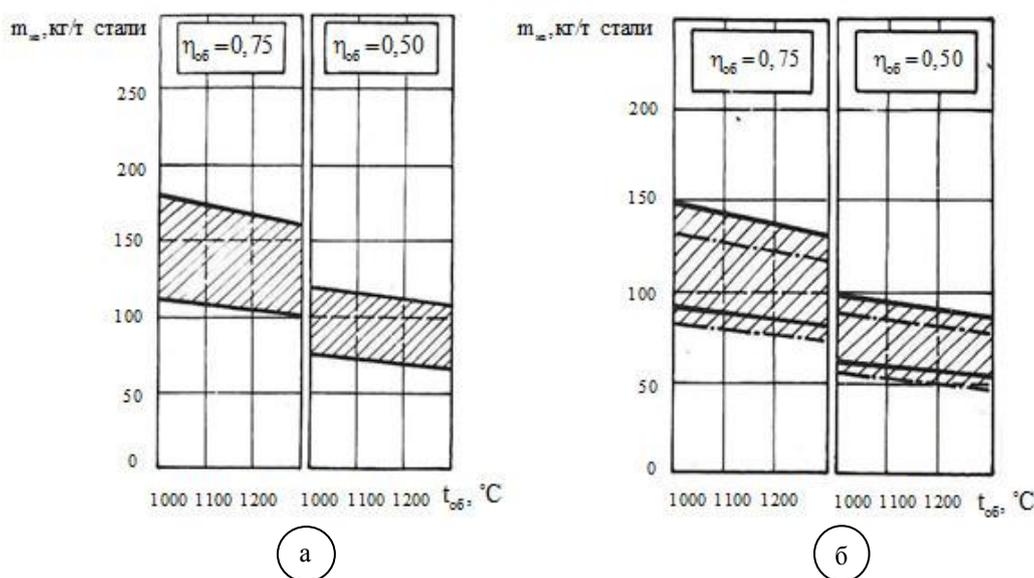


Рис. 1. Выход извести при использовании физической – а и химической – б теплоты конвертерного газа

Подсосы воздуха при отводе конвертерного газа снижают выход извести с использованием химической энергии газа вследствие уменьшения теплоты сгорания газа и увеличивают выход извести при использовании физической теплоты газа за счет дополнительного выделения теплоты от частичного сжигания газа.

Результаты оценки продолжительности обжига, представленные на рис. 3, получены путем использования известных экспериментальных данных и теоретических зависимостей, позволяющих вычислить время обжига при различных температурах и размерах кусков известняка. Время обжига $\tau_{об}$ пересчитано на количество 15-минутных продувок конвертера $\tau_{пр}$.

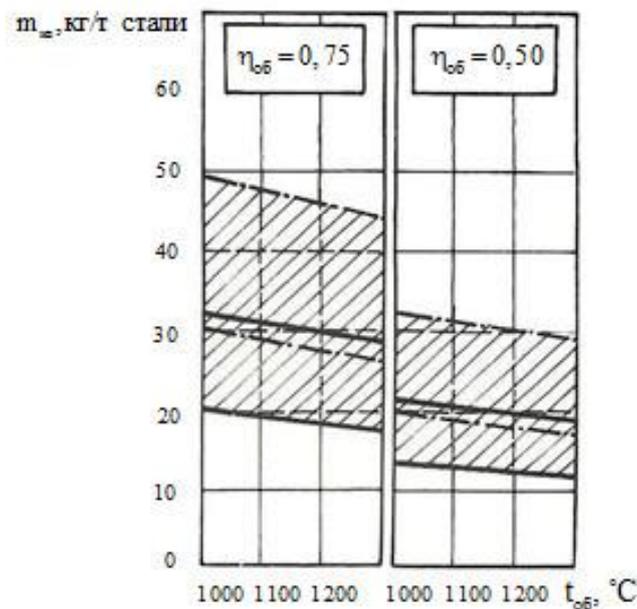


Рис. 2. Выход извести при совместном использовании физической и химической теплоты конвертерного газа

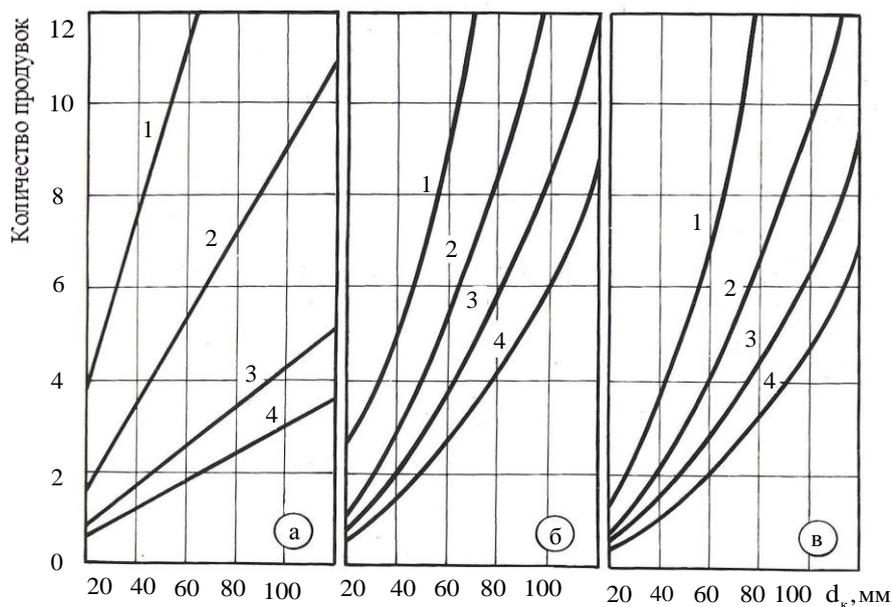


Рис. 3. Зависимость времени обжига (количества продувок) от диаметров кусков известняка и температуры обжига: 1 – температура обжига 1000 °С; 2 – 1100 °С; 3 – 1200 °С; 4 – 1300 °С; а – по данным работ [7]; б – по формуле, приведенной в работе [8]; в – по формуле, приведенной в [5]

$$n = \tau_{об} / \tau_{пр}. \quad (7)$$

Несмотря на расхождение во времени обжига при различных способах его вычисления и большую продолжительность обжига крупных кусков, очевидно, что при обжиге кусков известняка с размерами, обеспечивающими получение извести оптимального для кислородно-конвертерной плавки гранулометрического состава (10÷30 мм), продолжительность обжига достаточно ограничена и вполне допускает организацию циклического процесса. Периодическая подача газа может оказаться позитивным фактором, устраняющим пережег и способствующим получению более активной извести по сравнению с непрерывной подачей [9].

В паузы между подачами газа происходит перераспределение температур в кусках известняка. Более нагретая поверхностная часть кусков передает теплоту путем теплопроводности в центральную их часть. В результате к началу следующей продувки повышается градиент температур между поверхностью кусков и газом за счет снижения температуры поверхности, что увеличивает интенсивность теплообмена во время продувок, и вместе с этим исключается длительная выдержка наружной части кусков в перегретом состоянии, что повышает реакционную способность извести.

Положительной стороной обжига конвертерным газом может оказаться также и присутствие в газе пыли, состоящей в основном из оксидов железа. Известь, покрытая оксидами железа, при прочих одинаковых характеристиках с обычной известью склонна к лучшей ассимиляции в конвертерном шлаке. Положительный результат от применения ожелезненной извести в конвертерном процессе отмечается в ряде работ [10; 11], а именно, указывают на ускорение шлакообразования, сокращение продолжительности продувки, уменьшение расхода кислорода и исключение добавки к шихте дорогостоящего плавикового шпата.

Таким образом, идея использования конвертерного газа для обжига известняка располагает достаточно весомыми энергетическими и технологическими предпосылками, указывающими на целесообразность ее реализации. При этом, наряду с возможностью покрытия дефицита извести без дополнительных затрат постороннего топлива, создаются условия для разработки оригинальной технологии обжига с получением активной ожелезненной извести и возможностью ее подачи в конвертер в свежееобожженном виде и в нагретом состоянии.

Список использованных источников

1. Гичев Ю. А. Взгляд на проблему использования отходящих газов сталеплавильных конвертеров // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – №2(8). – С. 30–36.
2. Баптизманский В. И., Охотский В. Б. Физико-химические основы кислородно-конвертерного процесса. – Киев – Донецк: Вища шк., 1981. – 183 с.: ил.
3. Третьяков Е. В., Дидковский В. К. Шлаковый режим кислородно-конвертерной плавки. – М.: Металлургия, 1972. – 144 с.: ил.
4. Теплофизические свойства топлив и шихтовых материалов черной металлургии: справочник. В.М. Бабошин, Е.А. Кричевцов, В.М. Абзалов, Я.М. Щелоков. – М.: Металлургия, 1982. – 152 с.

5. Табунщиков Н. П. Производство извести. – М.: Химия, 1974. – 239 с.: ил.
6. Ростовцев С. Т. Теория металлургических процессов. – М.: Металлургиздат, 1956. – 515 с.
7. Монастырев А. В., Александров А. В. Печи для производства извести: справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 232 с.: ил.
8. Катаев Б. И., Ярошенко Ю. Г., Лазарев Б. Л. Теплообмен в доменной печи. – М.: Металлургия, 1968. – 355 с.
9. А. с. 1198034 СССР, МКИ С 04в 2/10. Способ производства извести К.А. Бовкун, Ю.А. Гичев, Ю.Ф. Ждан и др. // Б.И. 1985. – № 46. – 7 с.
10. Использование ожелезненной извести в конвертерной плавке В. П. Хайдуков [и др.] // Черная металлургия: Бюл. НТИ. – 1986. – №18. – С. 43.
11. Производство ожелезненной извести на агломерационных машинах // Черная металлургия Е. И. Сулименко [и др.] // Черная металлургия. – 1990. – №5. – С. 45–46.

УДК 669.051

Ю. А. Гичев, М. Ю. Ступак

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск, Украина

ХАРАКТЕР ДИССИПАЦИИ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГАЗОВОГО ПОТОКА

Аннотация

Диссипация пульсирующего газового потока касается системы пульсационного сжигания топлива. Пульсационное сжигание является одним из наиболее перспективных направлений в экономии топлива, однако в черной металлургии оно не нашло пока достаточно широкого применения. Поэтому на данном этапе для внедрения пульсационного сжигания целесообразно выбирать объекты исследования, отличающиеся большим потреблением топлива и возможностью варьирования процессом без ущерба для конечного результата. Таким процессом является термообработка сталеразливочных ковшей.

Приведены результаты экспериментального исследования диссипации пульсирующего газового потока применительно к пульсационному сжиганию топлива в процессах сушки и разогрева сталеразливочных ковшей. Результаты исследований позволяют подобрать частоты пульсаций, на которых следует ожидать наиболее эффективную работу системы пульсационного сжигания топлива.

В частности, по резонансным частотам (сушка – 37 Гц, разогрев – 50 Гц), рекомендованы следующие давления пульсирующего потока:

- *при сушке ковша $0,14 \div 0,18$ МПа, причем более стабильную эффективность обеспечивает давление $0,18$ МПа;*
- *при разогреве ковша $0,16 \div 0,18$ МПа.*

Ключевые слова: пульсация, газовый поток, диссипация, частота, сила звука, моделирование.