

Предполагаемое изобретение относится к области доменного производства и может быть использовано на доменных печах при применении в шихте кускового дополнительного топлива.

Известен способ доменной плавки [1], в котором в качестве кускового дополнительного топлива используют мелкий кокс фракции 20 - 40мм, который загружают в доменную печь отдельно от железорудной части шихты для частичной или полной замены скипового кокса фракции 40 - 100мм.

Известен также способ доменной плавки [2] с использованием в качестве кускового дополнительного топлива неспекающегося каменного угля для замены 5 - 10% скипового кокса. Уголь загружают отдельным скипом в коксовую часть подачи без смешивания с железорудными материалами.

Применение в известных способах в качестве дополнительного топлива мелкого кокса и каменного угля приводит к накоплению углеродистой мелочи в горне, загромождению горна и, как следствие, - к ухудшению работы доменной печи.

Известны способы доменной плавки, в которых по заявке Японии [3] предлагается 2 - 30% мелкого кокса крупностью 5 - 25мм подмешивать в слой руды, а по заявке [4] - добавлять в слой руды не больше 20% каменного угля. Смешивание углеродистых материалов с железорудными позволит повысить газопроницаемость столба шихты в самой напряженной части печи - зоне вязкопластичного состояния, труднопроницаемой для газового потока. Благодаря этому можно интенсифицировать процесс плавки и улучшить степень использования газа.

Недостаток этих способов - такой же, как и для рассмотренных выше, так как при смешивании дополнительного топлива с железорудными материалами только незначительная часть углерода накапливающейся мелочи может прореагировать с кислородом оксида железа.

В качестве прототипа принят способ доменной плавки [5], по которому кусковое дополнительное топливо загружают в печь в смеси с железорудными материалами. Контролируют коэффициенты замены и опытным путем определяют максимальный расход загружаемого дополнительного топлива. В доменную печь дополнительно вдувают жидкое топливо (мазут), расход которого сохраняют неизменным, независимо от загрузки кускового дополнительного топлива.

Конкретно в данном способе используется мелкий кокс фракций 10 - 25, 10 - 35 и 25 - 40мм.

Установлен верхний предел расхода мелкого кокса 40кг/т чугуна при коэффициенте замены скипового кокса мелким 0,9кг/кг. При превышении верхнего предела до 52,0 и 55,5кг/т коэффициенты замены снижаются до 0,61 и 0,43кг/кг соответственно.

Уменьшение коэффициентов замены связано с образованием большего количества мелочи в объеме печи и в фурменных зонах, как по причинам высокой истираемости мелкого кокса, низкой механической прочности и повышенной растresкаемости угля, так и вследствие того, что по сравнению с коксом в единице объема содержится большее количество кусков этих материалов перед поступлением в фурменные зоны и в процессе их сгорания за счет кислорода дутья. При неизменном окислительном потенциале в фурменных зонах часть углеродистой мелочи не успевает сгорать и выносятся газовым потоком за их пределы, где отсутствуют условия для ее окисления. В дальнейшем часть несгоревшей мелочи выводится из печи вместе со шлаком в виде углеродистого мусора, что подтверждается доменными плавками, другая часть мелочи, накапливаясь в горне и образуя со шлаком тугоплавкие конгломераты, вызывает ухудшение дренажа продуктов плавки с загромождением горна, что приводит к массовому горению фурм, потере производительности и уменьшению эффективности использования углеродистых материалов.

Причиной накопления углеродистого мусора в горне при использовании в шихте кускового дополнительного топлива является неполное его окисление вследствие недостаточного окислительного потенциала в нижней части доменной печи.

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования способа доменной плавки с использованием загружаемого дополнительного топлива путем увеличения полноты его сгорания за счет повышения окислительного потенциала в нижней части доменной печи.

Поставленная задача решается тем, что в способе доменной плавки, включающем подачу в печь кокса и дополнительного топлива, загружаемого через колошник с шихтовыми материалами и/или вдуваемого через воздушные фурмы, контроль коэффициентов замены кокса загружаемым дополнительным топливом, устанавливают оптимальным значение коэффициента замены кокса, равное 0,95 - 1,0 отношение углерода дополнительного топлива, загружаемого с шихтовыми материалами, к углероду кокса, и при уменьшении величины коэффициента замены ниже оптимального значения понижают расход дополнительного топлива, вдуваемого через фурмы, по отношению к исходному расходу на величину, определяемую из зависимости:

$$\left(\frac{C_T}{C_K - K_3^T} \right) \cdot \Delta T / K_3^S \leq \Delta S \leq \left(\frac{C_T}{C_K} \right) \cdot \Delta T / K_3^S, \quad (1)$$

где ΔS - изменение удельного расхода вдуваемого дополнительного топлива, м³/т или кг/т чугуна;

C_T - массовая доля углерода в загружаемом дополнительном топливе, %

C_K - массовая доля углерода в коксе, %;

K_3^T - коэффициент замены крупного кокса загружаемым дополнительным топливом кг/кг;

ΔT - изменение удельного массового расхода загружаемого дополнительного топлива кг/т чугуна;

K_3^S - общий коэффициент замены кокса вдуваемым дополнительным топливом с учетом влияния на него сопутствующего изменения параметров дутья, кг/м³ или кг/кг;

или повышают влажность дутья по отношению к исходной, на величину, определяемую из зависимости:

$$\Delta \varphi = (1,0 - 1,05) \cdot \left(\frac{C_T}{C_K - K_3^T} \right) \cdot \Delta T / \Delta K \varphi, \quad (2)$$

где $\Delta K \varphi$ - изменение расхода кокса на 1% влажности с учетом увеличения объемной доли кислорода в дутье для обеспечения постоянства теоретической температуры горения. Наиболее рациональной в предлагаемом способе является загрузка кускового дополнительного топлива преимущественно в периферийную зону колошника доменной печи.

Отношение C_T/C_K представляет собой коэффициент замены кокса, полученный при условии равенства используемого в доменной печи углерода загружаемого дополнительного топлива и заменяемого им кокса. Поэтому равенства $K_3^T = 1,0 \cdot (C_T/C_K)$

соответствуют случаю полного окисления загружаемого дополнительного топлива, а равенство $K_3^T = 0,95 \cdot (C_T/C_K)$ - случаю начала неполного его окисления, при котором унос углеродистого мусора со шлаком, служащий признаком развивающегося процесса загромождения горна, не происходит. Таким образом, диапазон $(0,95 - 1,0) \cdot (C_T/C_K)$ соответствует оптимальным значениям коэффициента замены.

При уменьшении коэффициента замены ниже оптимального значения предлагается уменьшить расход вдуваемого дополнительного топлива на величину ΔS , определяемую по левой части выражения (1). При этом соответственно увеличится окислительный потенциал в нижней части доменной печи в связи с ростом степени прямого восстановления, которое осуществляется за счет твердого углерода, и с увеличением концентрации кислорода в дутье на выходе из фурм в результате уменьшения его расходования на реакции окисления вдуваемой добавки. Это приведет к повышению количества газифицируемого твердого углерода за счет кислорода руды и дутья на величину, равную количеству несгоревшего углерода загружаемого дополнительного топлива, поскольку приведенная выше величина изменения расхода вдуваемой добавки достаточна для обеспечения полного окисления загружаемого дополнительного топлива, ее следует считать нижним пределом. Если ΔS будет меньше нижнего предела, то это приведет к неполному окислению твердого углерода, накоплению

углеродистого мусора в горне и к нарушению хода доменной печи, связанного с загромождением горна.

В связи с уменьшением выхода горновых газов при понижении расхода вдуваемого топлива увеличится температура в очагах горения, поэтому для ее компенсации потребуются изменение параметров дутья (увеличение влажности, снижение объемной доли кислорода или уменьшение температуры).

При уменьшении расхода вдуваемого топлива на величину, определяемую нижним пределом, дополнительного увеличения расхода кокса не произойдет в связи с более полным использованием углерода загружаемой добавки, т. е. сохранится достигнутая экономия кокса и будет достигнута экономия вдуваемого топлива.

При изменении ΔS от нижнего до верхнего предела загружаемое дополнительное топливо используется для замены не только кокса, но и вдуваемой добавки. При этом экономия кокса и коэффициент замены K_3^T будут снижаться при непрерывном увеличении экономии вдуваемого топлива. При достижении верхнего предела экономия кокса станет равной 0, а экономия вдуваемого топлива увеличится до максимального значения. При превышении верхнего предела расход кокса станет выше, чем при работе печи без использования дополнительного топлива, загружаемого с шихтовыми материалами, что нецелесообразно в связи с его дефицитностью.

В случае постоянства расхода вдуваемого топлива предлагается повысить влажность дутья по выражению (2) с одновременным увеличением в нем объемной доли кислорода, достаточном для предотвращения снижения теоретической температуры горения. Нижний предел, характеризуемый коэффициентом, равным 1,0, означает, что вычисленная величина Δf достаточна для обеспечения полного сгорания загружаемого топлива и ее уменьшение приведет к накоплению углеродистого мусора в горне. Верхний предел, характеризуемый коэффициентом, равным 1,05, учитывает необходимость окисления углеродистой мелочи, накопившейся в горне в промежуток времени от начала загрузки дополнительного топлива до момента увеличения влажности дутья.

При изменении влажности дутья в указанных пределах достигнутая экономия кокса за счет использования загружаемого дополнительного топлива не изменится в связи с увеличением полноты его сгорания. При превышении верхнего предела экономия кокса будет уменьшаться, что нецелесообразно в связи с его дефицитностью.

При загрузке преимущественно в периферийную зону колошника увеличится доля дополнительного топлива, поступающего в фурменные зоны печи и соответственно уменьшится доля топлива, поступающего в горн, минуя эти зоны, что позволит повысить полноту его сгорания.

Таким образом, вдувание дополнительного топлива предопределяет низкий окислительный потенциал в нижней части доменной печи в связи с пониженной степенью прямого восстановления, которое осуществляется за счет углерода твердого топлива, и с пониженной концентрацией кислорода в дутье на выходе из фурм в результате его использования на реакции окисления вдуваемой добавки. Загрузка в доменную печь вместе с шихтовыми материалами дополнительного топлива, которое образует по сравнению с коксом больше мелочи, сопровождается неполным ее окислением и накоплением в горне. Контроль коэффициентов замены позволяет оценить количество несгоревшего дополнительного топлива. Для повышения полноты сгорания за счет повышения окислительного потенциала в нижней части доменной печи предлагается уменьшить расход вдуваемого дополнительного топлива или увеличить влажность дутья. Информация о величине коэффициента замены позволяет предложить количественные изменения указанных параметров.

Предлагаемый способ осуществляют следующим образом. В доменную печь загружают определенное количество кускового дополнительного топлива (мелкого кокса или неспекающегося каменного угля). При этом количество скипового кокса первоначально уменьшают, исходя из коэффициента замены, равного Ст/Ск. В ходе доменной плавки корректировку теплового состояния осуществляют за счет изменения рудной нагрузки и через 3 - 6 смен определяют величину фактического коэффициента замены кокса загружаемым дополнительным топливом. После этого уменьшают расход вдуваемого топлива или повышают влажность дутья на величины, вычисляемые по предложенным зависимостям. При дальнейшем увеличении количества загружаемой добавки топлива повторяют перечисленные выше операции.

Ниже приведены примеры конкретного осуществления предлагаемого способа на доменной печи № 1 Енакиевского металлургического завода при использовании в шихте мелкого кокса. Сопоставление показателей работы по известному и предлагаемому способам, рассчитанных по методу А.Н. Рамма, приведено в таблице.

Пример 1. Печь работает без применения мелкого кокса на шихте, состоящей из агломерата, окатышей и сырой железной руды. В качестве флюса используют известняк и шлак кислородно-конверторного производства. В печь вдувают природный газ в количестве $91,3 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна (расход при температуре 0°C). Обогащенное до 23,8% кислорода дутье с влажностью 2,55% нагревают до 795° . Материалы загружают по системе АОКК↓ 4п КАОКК↓ 1п при уровне засыпи 1,75м. Масса коксовой колоши составляет 7040кг, а удельный массовый расход кокса - $645,1 \text{ кг/т}$ чугуна.

Пример 2. Печь работает с использованием мелкого кокса фракции 15 - 25мм по известному способу. Его загружают на дно первого рудного скипа, не изменяя порядок загрузки других материалов. Расход крупного кокса в подачу уменьшают, исходя из коэффициента замены, равного 1. В ходе доменной плавки тепловое состояние регулируют изменением рудной нагрузки. При использовании мелкого кокса 50 кг/т чугуна удельный массовый расход крупного кокса уменьшился с $645,1$ до $605,1 \text{ кг/т}$ чугуна при коэффициенте замены одного кокса другим $0,8 \text{ кг/кг}$. Общий расход кокса (крупного и мелкого) при этом увеличился на 10 кг/т чугуна. Окислительный потенциал, оцениваемый по величине степени прямого восстановления и по отношению расхода кислорода дутья к расходу природного газа не изменился по сравнению с работой печи без использования мелкого кокса. В результате количество несгоревшего углерода мелкого кокса составило $8,5 \text{ кг/т}$ чугуна.

Пример 3. Расход природного газа уменьшают на величину, рассчитываемую по предложенной зависимости (1) для нижнего предела с учетом достигнутого при работе по известному способу коэффициента замены крупного кокса мелким $0,8 \text{ кг/кг}$:

$$\Delta S = (85,75/85,75 - 0,8) \cdot 50/0,66 = 151 \text{ м}^3/\text{т} \text{ чугуна, где } 0,66 - \text{коэффициент замены кокса природным газом, кг/м}^3.$$

При этом степень прямого восстановления увеличилась с 29,74 до 31,90%, а отношение объема кислорода дутья к объему природного газа возросло с 4,74 до $5,64 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Благодаря повышению окислительного потенциала в нижней части доменной печи количество твердого углерода, газифицированного за счет кислорода руды и дутья увеличилось на величину, равную количеству несгоревшего кокса при работе по известному способу. Поэтому общий удельный расход кокса (а также и расход крупного кокса) по сравнению с прототипом не изменился. В то же время получена экономия природного газа в размере $15,1 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна. Недостатком этого варианта осуществления предлагаемого способа является повышение теоретической температуры в очагах горения с 1862 до 1902°C .

Примеры 4 и 5. В этих технологических вариантах поддерживают теоретическую температуру горения на постоянном уровне за счет изменения параметров дутья. Для этого в примере 4 повышают влажность дутья с 2,55 до 3,01%, а в примере 5 уменьшают объемную долю кислорода в дутье с 23,80 до 23,09%. При этом учитывается их влияние на коэффициент замены кокса природным газом, который увеличивается до 1,56 и $1,06 \text{ кг/м}^3$ соответственно. По сравнению с прототипом эти варианты осуществления предлагаемого способа обеспечили экономию природного газа $6,4$ и $9,4 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна соответственно.

Примеры 6, 7 и 8. В этих вариантах удельный объемный расход природного газа последовательно уменьшают до $61,3$, $44,4$ и $41,3 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна. Эти данные соответствуют промежуточному, предельному (верхний предел) и предельному изменению расхода природного газа по предложенной зависимости (1). Для полной или частичной компенсации повышения температуры в очагах горения уменьшают объемную долю кислорода в дутье.

Показатели работы доменной печи № 1 при использовании в шихте мелкого кокса

| Наименование показателя | Примеры | | | | | | | | |
|--|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Удельный массовый расход сухого мелкого кокса, кг/т чугуна | - | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Удельный объемный расход природного газа, м ³ /т чугуна | 91,3 | 91,3 | 76,2 | 84,9 | 81,9 | 61,3 | 44,4 | 41,3 | 91,3 |
| Объемная доля кислорода в дутье, % | 23,80 | 23,80 | 23,80 | 23,80 | 23,09 | 21,68 | 21,00 | 21,00 | 25,27 |
| Влажность дутья, % | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 3,01 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 2,55 | 3,95 |
| Температура дутья, °С | 795 | 795 | 795 | 795 | 795 | 795 | 795 | 795 | 795 |
| Удельный массовый расход сухого скипового кокса, кг/т чугуна | 645,1 | 605,1 | 605,1 | 605,1 | 605,1 | 628,0 | 645,1 | 647,5 | 605,1 |
| Общий удельный массовый расход сухого кокса, включая мелкий, кг/т чугуна | 645,1 | 655,1 | 655,1 | 655,1 | 655,1 | 678,0 | 695,1 | 697,5 | 655,1 |
| Теоретическая температура, горения °С | 1862 | 1862 | 1902 | 1862 | 1862 | 1862 | 1877 | 1885 | 1861 |
| Степень прямого восстановления, % | 29,74 | 29,74 | 31,90 | 30,12 | 31,07 | 34,19 | 36,99 | 37,53 | 28,25 |
| Отношение объема кислорода дутья к объему природного газа | 4,74 | 4,74 | 5,64 | 5,14 | 5,29 | 7,09 | 9,80 | 10,52 | 4,85 |
| Количество несгоревшего углерода мелкого кокса, кг/т чугуна | - | 8,5 | - | - | - | - | - | - | - |
| Изменение количества газифицируемого твердого топлива углерода, кг/т | - | 0 | +8,5 | +8,5 | +8,6 | +28,2 | +42,8 | +44,8 | +8,5 |
| в т. ч. за счет кислорода руды, кг/т | - | 0 | +4,3 | 0,8 | +2,7 | 09,0 | +14,6 | +15,7 | -3,0 |
| кислорода дутья, кг/т | - | 0 | +4,2 | +7,7 | +5,9 | +19,2 | +28,2 | +29,1 | +11,5 |
| Изменение удельного массового расхода скипового кокса, кг/т чугуна | - | -40,0 | -40,0 | -40,0 | -40,0 | -17,1 | 0 | +2,4 | -40,0 |
| Изменение общего удельного массового расхода кокса, включая мелкий, кг/т чугуна | - | +10,0 | +10,0 | +10,0 | +10,0 | +32,9 | +50,0 | +52,4 | +10,0 |
| Экономия природного газа, м ³ /т чугуна | - | - | 15,1 | 6,4 | 9,4 | 30,0 | 46,9 | 50,0 | - |
| Коэффициент замены скипового кокса мелким, кг/кг | - | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,80 | 0,34 | 0 | -0,05 | 0,80 |
| Общий коэффициент замены кокса природным газом с учетом влияния изменения параметров дутья | - | - | 0,66 | 1,56 | 1,06 | 1,10 | 1,07 | 1,05 | - |
| Изменение расхода кокса на 1% влажности дутья с учетом увеличения объемной доли кислорода на 1,05% для поддержания постоянства теоретической температуры горения, кг/% | - | - | - | - | - | - | - | - | 7,14 |

* Расход природного газа приведен при 0°С

В этих вариантах мелкий кокс используется все в большей мере для замены природного газа при соответствующем уменьшении экономии кокса и коэффициента замены одного кокса другим и увеличении экономии природного газа. При предельном значении изменения расхода природного газа экономия кокса и коэффициент замены скипового кокса мелким становятся равными 0, а экономия природного газа достигает максимального значения. При дальнейшем изменении ΔS расход крупного кокса становится выше, чем при работе печи без использования мелкого кокса.

Пример 9. Влажность дутья уменьшают на величину, определяемую по зависимости (2):

$$\Delta \varphi = (85,75/85,75 - 0,8) \cdot 50/7,14 = 1,40\%$$

где 7,14 - увеличение расхода кокса на 1% влажности дутья с учетом повышения объемной доли кислорода на 1,05%, кг/%.

При этом степень прямого восстановления понизилась с 29,74 до 28,25%, а отношение объема кислорода к объему природного газа увеличилось с 4,74 до 4,85 м³/м³. Количество углерода твердого топлива, окисляемого за счет кислорода руды, уменьшилось на 3,0 кг/т, а количество углерода, окисляемого за счет кислорода дутья возросло на 11,5 кг/т чугуна. Общее количество газифицируемого углерода увеличилось на 8,5 кг/т, что в точности соответствует количеству несгоревшего углерода мелкого кокса, поэтому общий удельный расход кокса по сравнению с прототипом не изменился. В связи с устранением накопления углеродистого мусора в горне и уменьшением количества расстройств, связанных с загромождением горна, улучшилась ровность хода доменной печи.

Таким образом, предложенный способ обеспечивает более полное сгорание мелкого кокса, что позволит улучшить ровность хода доменной печи благодаря устранению расстройств, связанных с загромождением горна, и повысить эффективность использования мелкого кокса как за счет экономии природного газа, так и за счет экономии кокса, связанной с улучшением ровности хода печи, которая в расчетах не учтена.

Библиографические данные

1. Хенкель З. Опытные плавки на сортированном коксе // Черные металлы. 1968. № 21, С. 3 - 6.
2. Авторское свидетельство СССР № 1158591, кл С21 В / 3/00, 1983г.
3. Заявка Японии № 63-65724, МКИ 4, С21 В5/00, 5/02, 1988.
4. Заявка Японии № 1-28802, МКИ 4, С21 В5/00, 1989.
5. Доменная плавка с перераспределением углерода на прямое восстановление. / Н.Т. Данаев, Г.М. Никитин, Н.Н. Суворин и др. // Сталь. 1995, № 2, С. 8 - 11.