Процессы, происходящие в доменной печи

Теоретическое занятие

Специальность: 22.02.01 Металлургия черных металлов

МДК 01.01 Управление технологическими процессами производства чугуна и контроль за ними

Тема 1. Процессы, происходящие в доменной печи

Преподаватель: Решетова И.В.

2023

Процессы, происходящие доменной печи

В горне доменной печи встречаются и взаимодействуют два потока: извне через фурмы в верхнюю часть горна поступает содержащее кислород дутье, а сверху в горн опускаются твердые, нагретые до высокой температуры куски горючего и жидкие чугун и шлак. Вблизи фурм происходит взаимодействие дутья и газов с углеродом горючего и составляющими чугуна, т. е. совершаются процессы окисления (горения) углерода и составных частей чугуна. Эти процессы протекают в очагах горения, представляющих собой ограниченные пространства и называемых окислительными зонами. В горне совершаются и другие процессы – восстановления элементов, шлакообразования, науглероживания и десульфурации чугуна. Следствием этих процессов является формирование окончательного состава чугуна и шлака.

Горение углерода и состав газов в горне

Важнейшим процессом в горне является горение углерода горючего у фурм, так как при этом выделяется необходимое для процесса тепло, образуются восстановительные газы и освобождается объем, который заполняется вышележащими материалами, способствуя движению шихты в печи сверху вниз. Нагретое до 1000-1200° С дутье поступает через равномерно расположенные по окружности горна фурмы с выходными отверстиями диаметром 160-220 мм. Избыточное давление дутья при работе печи на повышенном давлении газов составляет 245-343 кПа, количество дутья на одну фурму 170-220 $м^3$/мин, скорость дутья на выходе из фурмы 80-140 м/с. При таких параметрах струя дутья обладает огромной кинетической энергией, вызывая циркуляцию кусков кокса перед фурмами (рис. 1.1.)

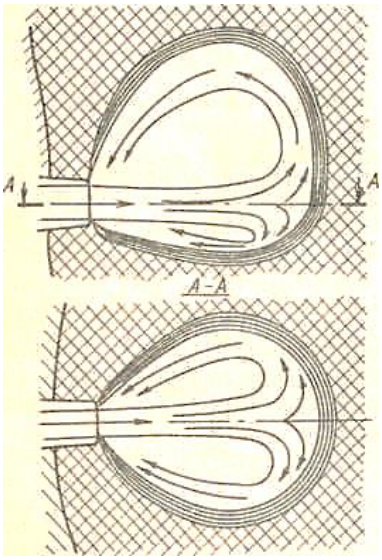


Рис. 1.1. Схема циркуляции кокса у фурмы доменной печи

.

В процессе вихревого движения раскаленных кусков кокса в струе дутья происходит химическое взаимодействие кислорода дутья и углерода кокса (горение углерода) с выделением тепла и образованием восстановительных газов. Вначале кислород дутья с углеродом кокса образует диоксид углерода, который по мере удаления от фурм в условиях высокой температуры и избытка углерода взаимодействует с последним и превращается в оксид углерода. Горение углерода при воздушном осушенном дутье может быть представлено следующими реакциями (1.1. – 1.3.):

$$C_к + O_2 + 3{,}76N_2 \rightarrow CO_2 + 3{,}76N_2 + 400{,}428\ МДж, \quad (1.1.)$$

$$\underline{CO_2 + C \rightarrow 2CO - 165{,}797\ МДж} \quad (1.2.)$$

$$2C + O_2 + 3{,}76N_2 \rightarrow 2CO + 3{,}76N_2 + 234{,}631\ МДж, \quad (1.3.)$$

где 3,76 – количество объемных единиц азота дутья, приходящихся на одну объемную единицу кислорода дутья, так как в осушенном дутье содержится 79% N_2 и 21 % O_2 по объему.

В действительности состав газа несколько иной, так как источником оксида углерода являются не только реакции горения углерода кокса, но и протекающие в горне реакции прямого восстановления оксидов железа, марганца, кремния, фосфора и др. Кроме того, в дутье всегда содержится естественная влага,

взаимодействующая в горне при высоких температурах с углеродом кокса, образуя оксид углерода и водород (реакция 1.4.):

$$H_2O + C \rightarrow H_2 + CO — 124{,}475 \text{ МДж} \qquad (1.4.)$$

При искусственном увлажнении дутья с целью интенсификации процесса содержание влаги в нем может достигать 3-4% по объему, что составляет 24-32 г/м^3 дутья. Соответственно этому в горновом газе возрастет и содержание водорода. Если, например, при содержании естественной влаги в дутье 1 % по объему содержание водорода в горновом газе составляет 0,83%, то при искусственном увлажнении дутья, равном 3% H_2O, содержание водорода в горновом газе будет 2,5%. При вдувании в горн природного газа содержание водорода в продуктах сгорания достигает 8-15%, а содержание оксида углерода и азота уменьшается.

Таким образом, продукты сгорания в горне доменной печи за пределами очагов горения состоят из оксида углерода, водорода и азота независимо от степени увлажнения дутья, количества вдуваемого природного газа и содержания кислорода в дутье. Изменяется лишь количественный состав горнового газа и его объем на единицу вдуваемого кислорода.

О протекании реакций горения перед фурмами и о размерах зон горения судят по составу газа, извлекаемого из зоны горения при помощи интенсивно охлаждаемой трубы. Типичная диаграмма изменения состава газов перед фурмами доменной печи по усредненным данным при воздушном дутье показана на рис. 1.2.

По мере удаления от устья фурмы содержание кислорода в газовой фазе непрерывно уменьшается и на расстоянии 800-1250 мм полностью исчезает, расходуясь в реакции горения углерода 1.1.

У самого устья фурмы в газовой фазе появляется диоксид углерода. Содержание его увеличивается, достигая максимума на расстоянии 500-800 мм от фурмы, а затем быстро уменьшается и на расстоянии 1200-1800 мм полностью исчезает вследствие протекания реакции 1.2.

Оксид углерода в газовой фазе появляется на некотором (150-300 мм) расстоянии от фурмы и содержание ее быстро возрастает по мере расходования кислорода и диоксида углерода. Поскольку из одного объема взаимодействующего с углеродом кислорода дутья образуется два объема оксида углерода, то объемное количество горновых газов больше исходного количества дутья на величину, равную содержанию кислорода в дутье.[1]

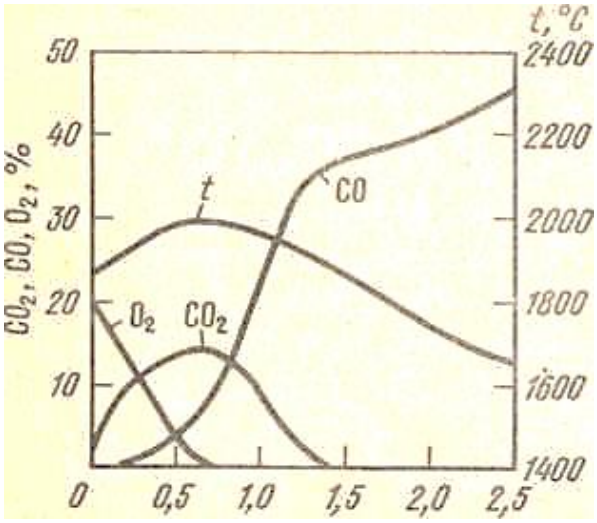


Рис. 1.2. Изменение состава и температуры газа в зоне горения у фурм доменной печи при воздушном дутье

За пределами окислительной зоны по направлению к оси горна содержание CO в газовой фазе продолжает возрастать в результате прибавления к газу CO, образующейся в реакциях прямого восстановления элементов. По количеству CO в горновом газе у оси горна можно судить о газопроницаемости осевой зоны печи и об активности работы центрального участка горна, а именно: чем выше содержание CO, тем менее газопроницаемая осевая зона, вследствие чего в горн приходят менее восстановленные и менее «нагретые материалы. Если теоретическое содержание CO

[1] Решетова И. В. Горновой доменной печи. Учебное пособие для СПО. Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова. – Магнитогорск: МГТУ им Г.И. Носова, 2019.

в горновом газе, получающееся в результате сгорания углерода кокса, равно 34,7%, то при плохой газопроницаемости осевой зоны содержание CO в газе из центра горна может достигать 55-60%. Нормальным считается содержание CO у оси горна 40-46%.

В соответствии с изменением состава газовой фазы в очагах горения изменяется и температура (рис. 1.2.). Максимальная температура в зоне горения (самая высокая температура в доменной печи) соответствует максимальному содержанию диоксида углерода, т. е. наиболее полному протеканию экзотермической реакции (1.1.). Точки максимумов на кривых CO_2 и температуры в очаге горения совпадают. Это так называемый фокус горения с температурой 1800—2000° С, а иногда и выше. По мере удаления от фокуса горения в глубь горна температура понижается вследствие протекания эндотермической реакции взаимодействия диоксида углерода с углеродом кокса (81), а за пределами окислительной зоны — вследствие прямого восстановления элементов, идущего с поглощением тепла.

На основании анализа диаграммы (рис. 1.2.) можно дать более четкое определение окислительной зоны. Это сфероподобное пространство перед фурмой в горне, характеризующееся наличием в газовой фазе диоксида углерода. В объеме окислительной зоны выделяют меньшую по размерам кислородную зону, в которой имеется свободный кислород. Схема окислительной зоны перед фурмой доменной печи показана на рис. 1.3.

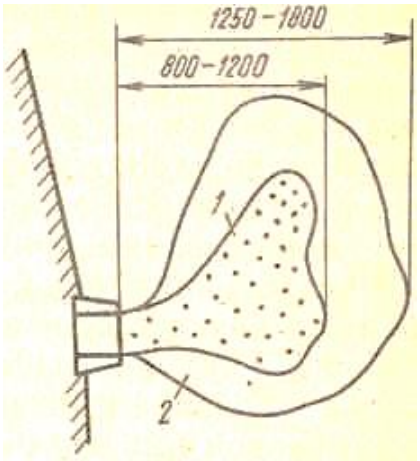


Рис. 1.3. Схема окислительной зоны перед фурмой доменной печи:
1. Кислородная зона; 2. Углекислотная зона.

Окислительные зоны характеризуются окислительной атмосферой и этим они отличаются от других зон печи, имеющих восстановительную атмосферу.

Влияние зоны горения на работу печи

Количество углерода, сгорающего в горне, и образующихся продуктов сгорания в единицу времени строго пропорционально количеству вдуваемого кислорода. В каких бы пределах ни изменялось количество дутья, весь кислород будет израсходован с образованием оксида углерода. Поэтому условия горения изменяют не общее количество продуктов сгорания в расчете на единицу сжигаемого углерода или единицу вдуваемого кислорода, а размеры зоны горения, в которой образуются горновые газы. Размеры и форма зоны горения определяются размерами окислительной зоны – ее глубины, высоты и ширины. Распространение окислительной зоны в направлении оси печи характеризует ее глубину, вверх и вниз от оси фурмы – высоту и в горизонтальной плоскости, проходящей через ось фурмы, – ширину. От размеров зоны горения существенно зависит работа доменной печи. При ее уменьшении нарушается равномерность распределения газов и скоростей движения материалов по сечению печи. Сокращение глубины зоны горения, как правило, приводит к загромождению осевой зоны горна. Вместе с тем, чрезмерное увеличение зоны горения также нежелательно, поскольку вызывает интенсивное окисление составных частей чугуна.

Список использованной литературы

1. Земсков Ю. П. Материаловедение. Учебное пособие для СПО. – СПб: Лань, 2022. – 228 с.

2. Решетова И. В. Горновой доменной печи. Учебное пособие для СПО. Магнитогорский государственный технический университет им Г. И. Носова. - Магнитогорск: МГТУ им Г. И. Носова, 2019. – 302 с.