

Перевод статьи: Чепак В.Р

Авторы статьи: Е. Ф. Вондарес, Е. Ф. Венте, Д. Наттинг

### Basic oxygen steelmaking

#### Кислородно-конвертерное производство стали

Более половины мировой стали производится с помощью кислородно-конвертерного производстве стали(ККП), который использует чистый кислород для преобразования заряда жидкого доменного железа и металлолома в сталь. Кислородный конвертер (КК) представляет собой цельный, наклоняемый сосуд, в который вставляется вертикально подвижная охлаждаемая водой фурма для продувки кислорода через сопла со сверхзвуковой скоростью (см. Рис.1). Использование чистого кислорода при высоких расходах приводит к такому быстрому окислению элементов, содержащихся в доменном железе, что требуется только около 20 минут на расплав, т. е. для проведения одной плавки. Конвертеры различаются по размеру и рассчитаны на объём от 30 до 360 тонн.

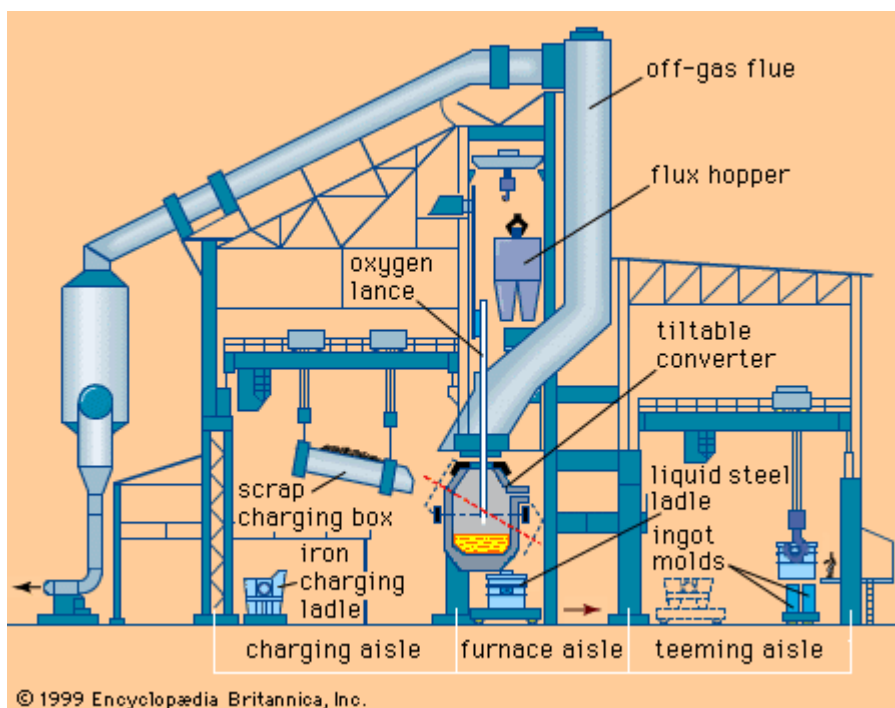


Рисунок 1- Кислородно-конвертерный цех

#### Плавка

Когда кислород контактирует с доменным железом, большое количество тепла выделяется в результате следующих экзотермических реакций, особенно окисление кремния до диоксида кремния, так что использование только доменного чугуна приведет к слишком высокой температуре жидкой стали для литья. Поэтому перед добавлением горячего металла в печь загружают определенное количество лома. Плавление этого лома потребляет

около 340 килокалорий на килограмм, что эффективно охлаждает процесс. Таким образом, стандартная плавка в КК состоит из: около 75% жидкого железа и 25% металлолома. Для этого требуется налаженная поставка недорогого железа с однородным химическим составом, что достигается только благодаря посеянной работе доменной печи; это, в свою очередь, требует постоянного покупателя железа. Существуют также определенные свойства железа, например, содержание кремния и серы, которые выбраны для оптимизации работы доменной печи и КК для производства стали с минимальными затратами. Такая взаимозависимость требует, чтобы доменные печи и КК работали в одном хорошо налаженном режиме.

### **Конвертер**

Основой кислородного конвертера является цилиндрический сосуд грушевидной формы с открытым конусом сверху. Для крупнейших конвертеров, которые производят 360 тон стали, раковина имеет диаметр около 8 метров и высоту 11 метров. Корпус изготовлены из тяжелых стальных пластин и расположены в кольце цапфы, так что конвертер может быть повернут для загрузки, слива металла и шлака. Футеровка, обычно сделанная из магнезитового кирпича, имеет разную толщину и качество кирпича в определенных зонах, в зависимости от износа в каждом месте. Общая толщина футеровки больших преобразователей превышает один метр. Выпускное отверстие находится в верхней зоне конвертера, прямо под конусом.

Кислородные фурмы - большие, многослойные трубы, которые на больших конвертерах имеют диаметр около 300 миллиметров и длину 21 метр. Их концы имеют от трех до пяти сопел, слегка направленных наружу, которые выдают сверхзвуковые струи кислорода. Правильное водяное охлаждение этих фурм имеет решающее значение. Специальные краны-транспортёры (см. Рисунок 1) перемещают фурму вверх и вниз, чем регулируют ее расстояние от стальной ванны. Фурмы используются около 150 нагревов, после чего они должны быть заменены.

КК оснащены огромными системами отвода газа, чтобы избежать утечки газа в цех и обеспечить надлежащую очистку газа до его сброса в атмосферу. Отходящий газ выходит из сопла конвертера при температуре около 1650 ° C (3000 ° F). Он состоит из около 90 процентов монооксида углерода и 10 процентов двуоксида углерода, а также содержит железную оксидную пыль, которая образуется в высокотемпературной зоне струи кислорода. Используются две системы отводки газа: полное сгорание и подавленное сгорание.

В системе полного сгорания отходящий газ сжигается соплами конвертера с избытком воздуха, а как физическое, так и химическое тепло используется в системе котла или горячей воды, встроенной в вытяжной шкаф и

вертикальные отводы. Большой скруббер или электростатический уловитель затем очищает охлажденный отходящий газ. Во время работы большого конвертера около 10000 кубических метров (350 000 кубических футов) отходящего газа перемещается в минуту с помощью аппарата полного сгорания вытяжными вентиляторами, и около 0,7 килограмма пыли оксида железа собирается на тонну стали.

В другой системе система с подавленным сгоранием, передняя часть опускается на устье конвертера перед плавкой, удерживая воздух от горячих отходящих газов. Это означает, что они не сгорают и что их химическая тепловая ценность около 3000 килокалорий на кубический метр сохраняется. Газ очищается, собирается в газовых держателях и используется в других местах. Хотя эта система сложнее, она намного меньше, потому что отходящие газы более холодные, и их обрабатывать и обрабатывать меньше.

КК размещены в огромных зданиях, иногда высотой 80 метров, для размещения длиной фурмы, системы отходящего газа и оборудования для подачи тяжести. Тяжелые краны, длинные конвейерные ленты и железнодорожные пути обеспечивают быструю поставку сырья в конвертеры и быстрое удаление жидкой стали и шлака из БОФ.

### Процесс

Создание тепла начинается с осмотра огнеупорной футеровки, с преобразователем в повернутом вниз положении. Иногда для определения оставшейся толщины подкладки используется лазерный контурный инструмент. Когда конвертер наклонен примерно на 45 °, лом затем загружается в печь грузоподъемными кранами или специальными загрузочными машинами, которые бросают один или два больших прессованных квадратов из лома через верх конвертера. Раскаленный металл выливают в конвертер специальным чугуном ковшем; этот ковш получает железо на транспортной станции из транспортных ковшей, которые приносят железо из доменной печи. Многие присадки снижают содержание серы в железе непосредственно перед его загрузкой в конвертер путем инъекции известково-магниевого смеси или карбида кальция, или обоих в загрузочный ковш. Любой доменный шлак и шлак, образовавшийся вовремя десульфурации, снимают до того, как железо загрузится.

Из-за предсказуемых потерь вовремя кислородной плавки железа и металлолома всегда больше, чем стали; например, 1080 килограммов сырья могут давать 1000 кг жидкой стали с выходом металла 92,6%. Химические композиции, температуры и зарядные массы железа часто подаются автоматически в управляющий компьютер. Для продувки конвертер находится в вертикальном положении, кислород включен, а фурма опускается. Скорость потока кислорода, высота фурмы и добавление извести часто контролируются автоматически. Расход кислорода на больших

конвертерах превышает 800 кубических метров в минуту, а потребление кислорода составляет около 110 кубических метров на тонну стали. Как правило, около 70 килограммов гашеной извести гальки на каждую тонну стали добавляют в начале плавки; это сочетается с диоксидом кремния и другими оксидами для образования около 150 килограммов шлака на тонну стали. Добавление сгоревшего доломита ( $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ ) приводит к содержанию магнезии ( $\text{MgO}$ ) в шлаке около 6 процентов, тем самым снижая шлаковую коррозию накладки из магнезита. Качество извести имеет большое значение для операций ККП, а специальные печи для извести используются для сжигания известняка высокого качества.

Реакции окисления в конвертере становятся более интенсивными при максимальной скорости удаления углерода, т. Е. Когда весь кремний ушел - примерно на восемь минут после начала плавки. В этот момент кислород реагирует в основном с углеродом с образованием больших количеств газа монооксида углерода, который смешивается с шлаком. Сохранение пенного шлака от переполнения конвертера при высоких скоростях выдувания является важной задачей контроля. Часто небольшая водоохлаждаемая сенсорная фурма, называемая сублимацией, погружается в жидкую сталь во время конечной фазы плавки, чтобы проверить и пробовать сталь. Результаты испытаний автоматически подаются на управляющий компьютер, который предсказывает конечную точку и отключает кислород, когда температура и химический состав достигли заданного уровня.

Хорошо контролируемые условия плавки позволяют использовать тепло, в необходимых нуждах. В других случаях преобразователь должен быть выключен, а температура и химический состав проверены вручную. Иногда добавляется сжигаемая известь, и для увеличения температуры или корректировки химического состава применяется короткое отслоение. При сливе стали конвертер поворачивается, а сталь выливается через сталевыпускное отверстие в ковш, расположенный на транспортной машине под конвертером. Температура стали при выпуске специально выбирается так, чтобы она находилась в температурном «окне» для слива слитка или непрерывного литья и после того, как были предсказаны все температурные потери, ожидаемые при обработке и удержании, стали в ковше. Например, сталь с 0,1% углерода может удаляться при  $1596^{\circ}\text{C}$ , на  $80^{\circ}\text{C}$  выше ее теоретической точки затвердевания. Более высокие углеродистые стали будут использоваться при более низких температурах, после линии ликвидуса А-В-С диаграммы равновесия на рисунке 1.

Алюминий или ферросилиций добавляют к ковшу до или во время отвода, чтобы снизить уровень растворенного кислорода в стали. Кроме того, добавляется ферромарганец, так как большая часть содержания марганца в доменном железе окисляется во время плавки, оставляя только около 0,1% в стали, как правило, недостаточно для соответствия спецификациям.

Когда появляется шлак, конвертер поворачивается в обратную сторону, и шлак заливается через шлаковую летку конвертера в шлаковоз. Для лучшего разделения шлака из жидкой стали часто используются специальные устройства для закрытия сталевыпускного отверстия, такие как огнеупорные шарики или азотные струи, а также устройства для обнаружения шлаков.

В ККП есть время от плавки к плавке на 30-45 минут и может произвести более 30 плавов в день. Крупные магазины BOF с тремя конвертерами могут производить до пяти миллионов тонн жидкой стали в год. Ремонт и техническое обслуживание чрезвычайно важны, поскольку сталь изготавливается круглосуточно, и обычно в течение одной недели происходит только одна смена технического обслуживания. Подкладка конвертера длится от 1500 до 3000 плавов, после чего она разрывается, а новая установлена в механизированной операции по кирпичной кладке. Восстановление конвертера занимает менее одной недели.

### **Разновидности**

Существует ряд существенных улучшений, модификаций и технологических изменений системы КК. Например, когда высокоплавкая руда плавится в доменной печи, и, следовательно, КК загружается жидким железом, содержащим более 0,15 процента этого элемента, может следовать процесс LD-AC, в который вводят порошок извести через фурмы вместе с кислородом для быстрого образования шлака. Другим вариантом, который находит широкое применение, является подача аргона (или иногда азота) в расплавленный заряд через проницаемые огнеупорные блоки в нижней части конвертера. Нижнее перемешивание усиливает химические реакции и снижает температуру стали в области воздействия кислорода, что приводит к меньшему окислению железа и более эффективному выходу. Другая система, называемая Q-BOP, вообще не использует ни одной фурмы, выдувающего кислорода, порошка сожженной извести и, при необходимости, аргона вверх через жидкий расплав из нескольких газоохлаждаемых или мало охлаждаемых нижних фурм. Эти фурмы представляют собой две концентрические стальные трубы с кислородом, вытекающим из внутреннего кольца, и газом или маслом, протекающим через внешнее кольцевое пространство. Охлаждение труб осуществляется за счет эндотермического тепла, необходимого для разложения природного газа или масла на монооксид углерода и водород.

Срок службы нижней части конвертера Q-BOP ниже, чем футеровки, что требует дополнительного времени обслуживания для восстановления днища. С другой стороны, продувка имеет то преимущество, что образует большую

контактную поверхность среди всех реагентов, тем самым улучшая металлургические реакции и контроль процесса. Качество также выше, так как окисление железа меньше. Однако меньшее окисление также означает высвобождение менее экзотермического тепла; это уменьшает количество лома, который может быть завален, что может повлечь дополнительные затраты, когда цена на металлолом низкая. По этой причине некоторые сталелитейные заводы усиливают дно продувки фурмой после ее сгорания. Это кислородная фурма с дополнительными отверстиями на наконечнике для сжигания монооксида углерода в углекислый газ внутри конвертера. Дополнительное тепло, создаваемое этой комбинированной практикой дутья, увеличивает потенциальную скорость завалки лома.

В другой технологии для увеличения количества лома используется кислородно-топливная фурма, которая предварительно нагревает металлолом в конвертере в течение примерно 20 минут до добавления жидкого доменного чугуна. Другая практика увеличения количества лома добавляет алюминий к расплаву; это выделяет тепло, поскольку оно сгорает во время подачи кислорода. Еще один процесс, подается угольный порошок через модифицированную кислородную фурму или через специальные нижние фурмы, одновременно применяя дополнительный кислород и используя фурму для последующего сгорания. В пробных операциях эта комбинация привела к тому, что возможности использования лома были до 100%; другими словами, не было загружено расплавленного металла. Увеличение скорости загрузки лома помогает поддерживать работу, когда запасы доменного чугуна ограничены, например, во время перегонки доменных печей.

Источники:

1. Encyclopædia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/technology/steel/Basic-oxygen-steelmaking>