



# Тема 2. Конструкции и тепловая работа печей

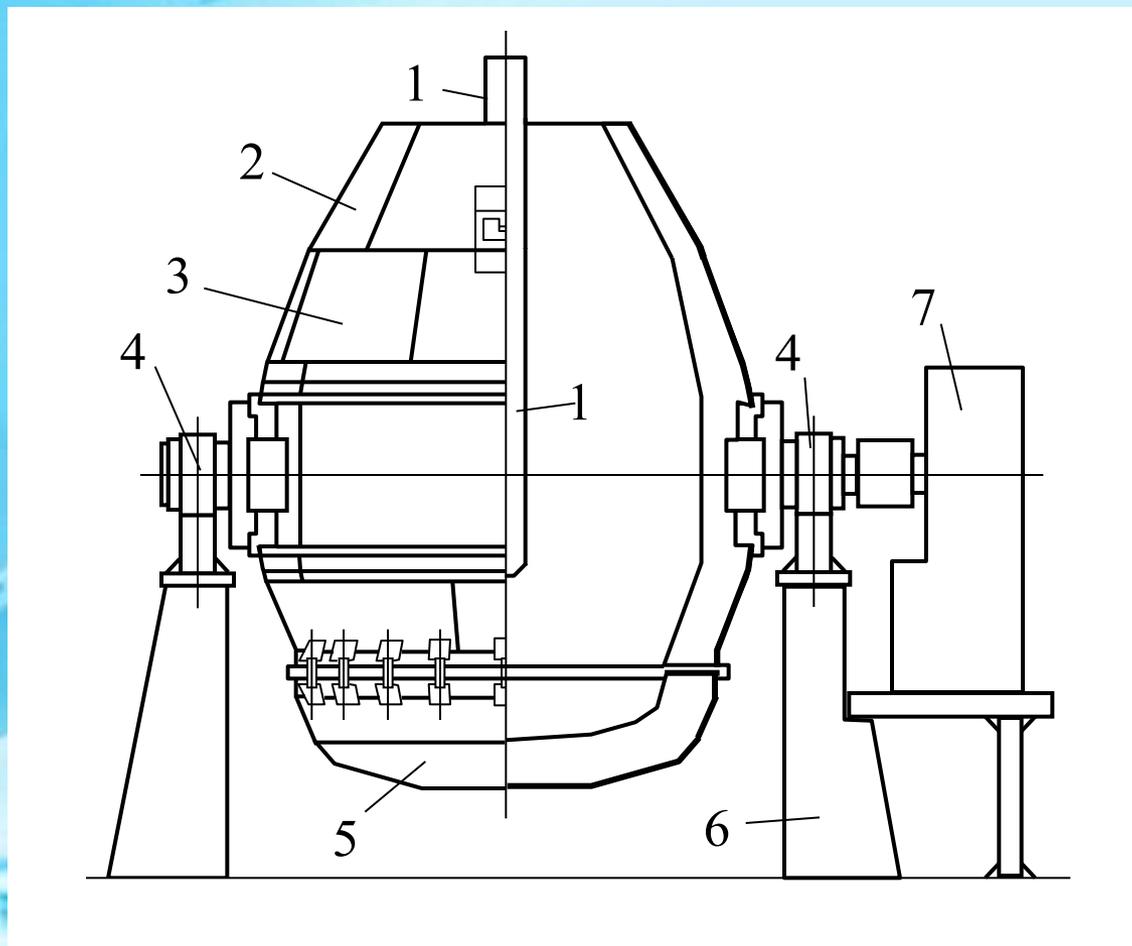
## Лекция 5

## § 6. Конвертеры

Конвертер (англ. converter, от лат. convertio - изменяю, превращаю) - аппарат для получения стали из расплавленного чугуна продувкой его воздухом или кислородом, а также для получения черновой меди или файнштейна продувкой воздуха через штейны.

Различают конвертеры с верхней, наклонной и донной продувкой расплава кислородом. Первые обычно называются конвертерами ЛД по названию австрийских городов Линц и Донавиц, где они были впервые построены в середине XX века. Такие конвертеры имеют глухое днище и снабжены шлемом. Днище иногда выполняется съёмным для удобства ремонта. Емкость конвертера составляет 100-350 т.

Основные размеры конвертера емкостью 200: полная высота - 9,7 м, диаметр кожуха - 8,3 м, диаметр горловины - 2,6 м; размеры ванны: диаметр - 6,5 м, глубина - 1,6-1,8 м.



Кислородный конвертер чёрной металлургии:  
1 - кислородная фурма; 2 - шлем; 3 - корпус; 4 - опорные подшипники; 5 - днище; 6 - станина; 7 - механизм поворота

Корпус и днище футеруют огнеупорным кирпичом.

Толщина футеровки 700-900 мм; в цилиндрической части ее выполняют трехслойной: внутренний (рабочий) слой из смолодоломитового кирпича, далее следует промежуточный слой из смолодоломитовой набивки и арматурный (наружный) слой из хромомagneзитового кирпича. Перед вводом конвертера в работу футеровку обжигают.

Обычно футеровка выдерживает 450-600 плавов.

Кожух конвертера сваривают из стальных листов толщиной 30-90 мм. Корпус конвертера крепят к опорному кольцу, к которому приваривают цапфы (части вала, опирающиеся на подшипники). Механизм поворота конвертера состоит из системы передач (редукторов), связывающих одну или обе цапфы с приводом. Конвертер можно повернуть на любой угол вокруг горизонтальной оси, частота вращения вала может меняться от 0,01 до 2,0 об./мин.

Водоохлаждаемая фурма для подачи кислорода в конвертер изготавливается обычно из трех стальных труб, вставленных одна в другую. Нижняя часть фурмы заканчивается наконечником (соплом) из меди, через который кислород поступает в конвертер со скоростью, в 2-2,5 раза превышающей скорость звука (скорость звука в воздухе составляет 331 м/с при 0 °С и атмосферном давлении).

Расход кислорода 50-55 м<sup>3</sup>/т. Чрезмерное увеличение удельного расхода кислорода не целесообразно, - это усиливает разбрызгивание и ускоряет износ футеровки. В месте соприкосновения струи кислорода с жидкой ванной из-за высокой температуры образуются пары металлического железа и оксиды, которые выносятся из ванны конвертерными газами в виде бурого дыма. Общие потери железа с технологическими газами составляют 1-1,5 %.

В настоящее время применяются многосопловые фурмы, имеющие от 3 до 8 сопел (чаще всего 4 и 6 сопел). При некотором снижении глубины впадины (кратера) в металле такие фурмы обеспечивают увеличение поверхности реакционной зоны, способствуют более равномерному газовыделению из ванны и лучшему перемешиванию металла. При этом снижается разбрызгивание.

Снижение дымообразования может быть достигнуто добавкой к кислороду каких-либо газов, уносящих из зоны реакций окисления физическую теплоту и тем самым снижающих температуру в этой зоне. Для практического использования наиболее пригодны водяной пар и метан, так как другие газы дороги или ядовиты.

Продолжительность плавки в конвертерах составляет около 45 минут, при этом продувка продолжается 15-25 минут.



*Заливка чугуна в конвертер*



*Конвертер (слева)  
и сталеразливочный ковш (справа)*

Преобразование чугуна в сталь происходит благодаря окислению кислородом содержащихся в чугуне примесей (кремния, марганца, углерода и др.) и последующему удалению их из расплава. После окисления примесей и нагрева металла до заданной температуры продувку прекращают, фурму из конвертера удаляют и сливают металл и шлак в ковши. В сталевыпускной ковш вводят легирующие добавки и раскислители (ферросплавы, содержащие элементы с большим сродством к кислороду, чем железо, служащие для удаления из расплава растворенного в нем кислорода, который является вредной примесью, так как ухудшает механические свойства).



*Высокоуглеродистая сталь*



*Легированная сталь*

Во время продувки в конвертере образуется значительное количество технологических газов, состоящих из 90 % CO и 10 % CO<sub>2</sub>, с температурой около 1700 °С. Для использования теплоты, выделяющегося при дожигании CO, и очистки этих газов за каждым конвертером размещают котел-утилизатор и установку для очистки газов. Размеры установок для дожигания, охлаждения и очистки конвертерных газов во много раз превышают размеры самих конвертеров.

Чаще всего CO дожигают в камине при подаче холодного воздуха, проникающего через зазор между горловиной и камином или подаваемого принудительно. Стенками камина являются поверхности котла-утилизатора или водяные холодильники. Применяют установки мокрой очистки и электрофильтры, что требует предварительного охлаждения газов путем впрыскивания в них воды.

Перемешивание металла в конвертере осуществляется как под действием струй кислорода, так и под действием пузырей оксида углерода. Процесс перемешивания усложняется тем, что шлак проталкивается газовыми струями в толщу металла и перемешивается с ним. Значительная часть расплава находится в состоянии эмульсии, что создает большую поверхность соприкосновения металла со шлаком и обеспечивает высокую скорость окисления углерода и нагрева металла.

Глубина и диаметр реакционной зоны зависят от величины критерия Архимеда  $Ar$ . Эмпирическим путем получают уравнения, устанавливающие связь между глубиной реакционной зоны  $h$  и величиной  $Ar$  при определенных расстояниях от среза сопла до поверхности ванны в спокойном состоянии  $H$ .

Впервые подобное исследование было проведено И.Г. Казанцевым, который для случая, когда срез сопла находится выше спокойной поверхности металла (фурма не заглублена в ванну), получил зависимость

$$h = 0,23 \cdot n \cdot Ar \cdot H ,$$

где  $n = \frac{\rho_{ж} \cdot g \cdot h}{\rho_{г} \cdot w_1^2 / 2}$  - коэффициент проникновения,

представляющий собой отношение гидростатического давления в основании реакционной зоны к динамическому давлению струи в месте встречи ее с зеркалом жидкости.

Приходная часть теплового баланса конвертера включает в себя 2 приблизительно одинаковые статьи: теплоту, вносимую жидким чугуном, и теплоту экзотермических реакций.

Расходная часть теплового баланса состоит из 4 основных статей: теплота жидкой стали (60 %), теплота шлака (10 %), теплота уходящих продуктов реакций окисления (10 %) и тепловые потери (около 5 %). Итого получается 85 %; вот этот избыток теплоты (15 %) необходимо израсходовать, чтобы не допустить перегрева конвертера, - для этого в печь загружают стальной лом. Повышение количества металлического лома в завалку добиваются применением его предварительного подогрева. Чаще всего скрап подогревают в самом конвертере, для чего используют газо-кислородные горелки, в которых обычно сжигают природный газ в атмосфере кислорода.



*Разливка стали  
в Машине непрерывного  
литья заготовок (МНЛЗ)*



*Разливка стали в изложницы*





29 августа 2011 г. на ОАО «Северсталь» (г. Череповец) завершена реконструкция вертикального тракта подачи сыпучих материалов к конвертеру стоимостью 96 млн. руб.

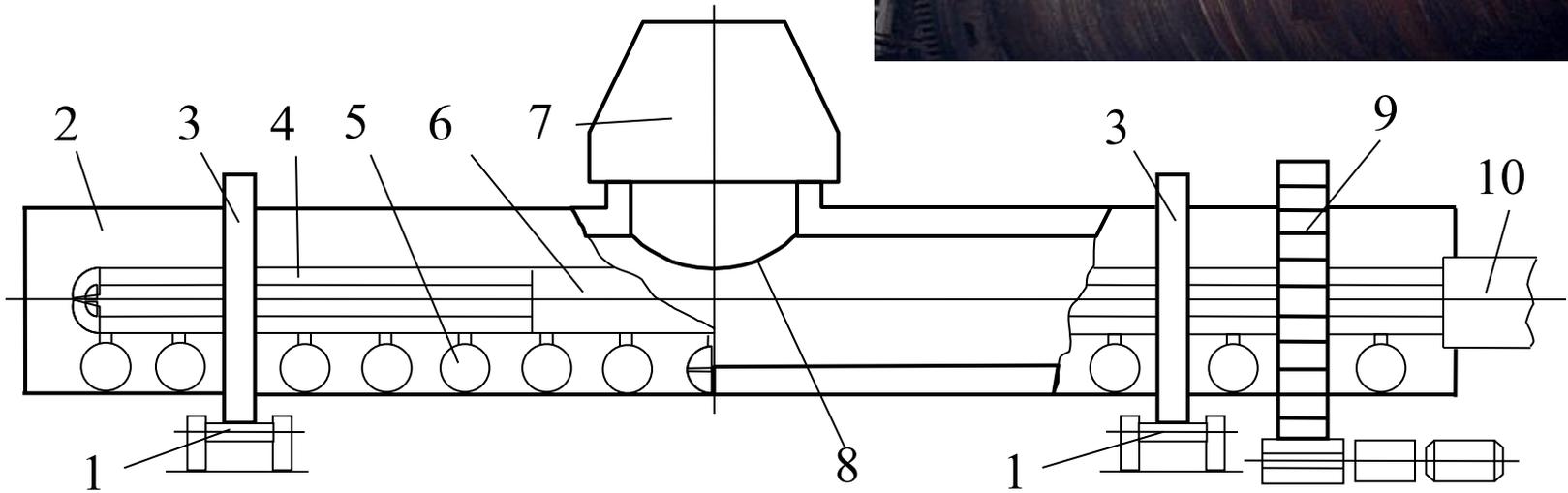


13 сентября 2011 г. завершен капитальный ремонт конвертера №1 стоимостью около 45 млн. руб.

Корпус конвертера цветной металлургии -

горизонтально расположенная цилиндрическая бочка, сваренная из листовой стали и зафутерованная изнутри магнезиальными или хромомagneзиальными кирпичами. Длина корпуса - 6-12 м, диаметр - 3-4 м, а емкость 40-100 т. Рабочее пространство конвертера имеет в верхней части отверстие, края которого укреплены литой стальной рамой - воротником:

Воздухоподводящая система конвертера состоит из воздухопровода, закольцованного распределительного коллектора, подводящих рукавов и фурм, установленных в ряд с одной из сторон агрегата. Для отбора конвертерных газов в период продувки служит напыльник, соединенный с газоотводящей системой. Ниже воротника устанавливают защитный кожух, уменьшающий проникновение атмосферного воздуха под напыльник и предотвращающий разбрызгивание металла.



**Конвертер цветной металлургии:** 1 - опорные ролики, 2 - корпус, 3 - опорные бандажи, 4 - распределительный коллектор, 5 - воздушные фурмы, 6 - защитный кожух, 7 - кессонированный напыльник, 8 - горловина, 9 - привод печи, 10 - воздухопровод

Около одного из бандажей к корпусу конвертера крепят венцовую шестерню, которая через приводную шестерню соединяется с редуктором, имеющим электромагнитный тормоз, и электродвигателем переменного тока. Для аварийного поворота печи при внезапном отключении дутья имеется двигатель постоянного тока.

Через горловину в конвертер загружают холодные добавки, заливают штейн и засыпают кварцевый флюс. Застывший штейн и лом цветных металлов загружают для того, чтобы не допустить перегрева печи. Флюс, содержащий диоксид кремния, служит для перевода окисленного железа в шлак.

Конвертеры являются агрегатами периодического действия с изменяющимся во времени тепловым и температурным режимом. Штейн, заливаемый в печь, имеет температуру 1050-1100 °С. Температура в конвертере в период переработки медного штейна поддерживается на уровне 1200-1250 °С, никелевого штейна - 1300 °С. Струи воздуха проникают примерно на 1/3 ширины ванны; на этом участке достигается максимальная температура, составляющая 1400-1500 °С при конвертировании медных штейнов и 1650-1700 °С при конвертировании никелевых штейнов.

Окисление сульфидов железа идет по реакциям:



Повышенное содержание магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в шлаке приводит к повышению его вязкости, что является причиной увеличения содержания в нем  $\text{Cu}$  и  $\text{Ni}$ . Для восстановления магнетита сульфидом железа необходимо добавлять кремнезем:

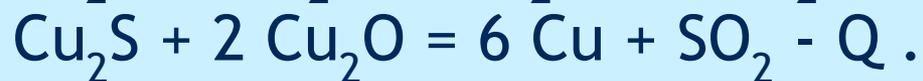


Малая плотность флюса по сравнению с плотностью шлака, а тем более штейна, не позволяет флюсу проникать вглубь ванны, в результате чего в конвертере возникает пространственная разобщенность реакций окисления и шлакообразования, которая усиливается по мере накопления шлака. Поэтому необходимо производить периодический слив шлака, то есть необходимо поддерживать минимальную толщину шлака, который как бы изолирует расплав от флюса.

Процесс конвертирования медных штейнов условно можно разделить на два периода. В первый период, носящий название *периода накопления теплоты*, происходит окисление сульфидов железа, температура расплава непрерывно повышается, достигая заданного значения. Каждые 30-40 минут продувку прекращают, чтобы слить шлак и добавить новую порцию флюса. Продуктом первого периода является "белый штейн" - сульфидная масса, содержащая около 80 % Си.

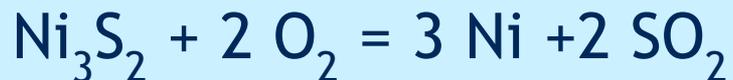


Во второй период "белый штейн" доводится до черновой меди. Процесс проводится непрерывно, так как флюс не добавляют. Происходит окисление сульфида меди и по обменной реакции выделяется медь:



В результате окисления сульфида меди в расчете на 1 кг перерабатываемого штейна выделяется лишь 20 % того количества теплоты, которое поступило в конвертер в первом периоде. Поэтому второй период, протекающий в условиях дефицита теплоты, называют *периодом потребления теплоты*; температура практически неизменна.

В никелевом производстве получение чернового металла из никелевых штейнов затруднено. Это связано с тем, что после удаления всего сернистого железа в первом периоде протекание реакции



возможно лишь при температуре выше 1500 °С. Температура же в обычных горизонтальных конвертерах не превышает 1400 °С. Поэтому процесс конвертирования никелевых штейнов заканчивается на первом периоде получением фйнштейна, содержащего 77-79 % Ni и 23-21 % S по массе, при продувке которого техническим кислородом можно получить никель.

Вертикальные конвертеры для получения чернового никеля из фйнштейна по конструкции напоминают конвертеры черной металлургии, кислород подается в них сверху через фурму.

В свинцовой промышленности конвертированию подвергаются медно-свинцовые штейны, содержащие до 30% Cu, 10-20 % Pb, 5-15 % Zn, 20-40 % Fe и 18-22 % S.

В первом периоде продувки одновременно с сульфидом железа частично окисляются сульфиды цинка и свинца. Оксиды этих металлов при взаимодействии с кремнеземом образуют шлак. Часть цинка и свинца переходит в паровую фазу и улавливается в пылеулавливающих устройствах в виде конвертерной пыли.

При переработке медно-свинцовых штейнов получаемая во втором периоде черновая медь отличается повышенным содержанием свинца (до 4 %).