

В тоже время диссоциация оксидов меди получает значительное развитие при умеренных температурах.

Изменение парциального давления кислорода $P(O_2)$ в зависимости от температуры протекания реакции $Cu_2O \leftrightarrow 2Cu + 0,5O_2$, по результатам исследований Халла, выражается следующей зависимостью:

$$\lg P_{O_2} = -\frac{17940}{T} + 0,242 \lg T - 0,000641 T + 9,417.$$

Равновесные водород и кислород взаимодействуют между собой. График, описывающий соотношение между концентрациями кислорода и водорода в меди, называется кривой Аллена.

При постоянной температуре будет выполняться следующее равенство:

$$[\%H]^3 [\%O]^2 = 1,88 \cdot 10^{-10} = \text{const.}$$

Согласно опытам Аллена, медь поглощает весь свободный кислород, находящийся в газовой фазе над расплавом, таким образом, над расплавом может наблюдаться только наличие свободного водорода.

Медь поглощает освобождающийся при реакции разложения кислород, и в атмосфере над расплавом возникает парциальное давление водорода, которое тем менее, чем больше кислорода содержит расплав. Количество растворенного водорода зависит поэтому не только от содержания кислорода в расплаве и его температуры, но еще и от давления водяного пара над расплавом.

Таким образом, для технологической схемы получения качественной медной катанки при использовании природного газа как основного источника тепловой энергии необходим расчетный анализ и исследования взаимодействия газовой фазы с потоком жидкой меди. Полученные результаты позволят сформулировать граничные условия надежной реализации процесса получения качественной катанки, нейтрализуя влияние неконтролируемых внешних факторов, таких как изменение тепловой нагрузки, коэффициента соотношения топливо-воздух, износа футеровки и объекта в целом, параметров окружающей среды, таких как атмосферное давление, влажность воздуха и топлива.

Список использованных источников

1. *Фромм Е., Гебхард Е.* Газы и углерод в металлах : пер. с нем. М.: Металлургия, 1980. 712 с.
2. Окисление металлов : в 2 т. Т. 2 / под ред. Ж. Бенара : пер. с фр. М.: Металлургия, 1969. 448 с.
3. *Казенас Е.К., Чижиков Д.М.* Давление и состав пара над окислами химических элементов. М.: Наука, 1976. 342 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПЕЧИ ДЛЯ НАГРЕВА ТРУБ

© **И.А. Прохоров, А.Н. Лошкарев, 2012**

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Целью данного проекта является математическое моделирование процессов теплообмена в рабочем пространстве печи, которая обеспечивает подогрев труб до 80 °С и одновременную очистку ее наружной поверхности от жировых и других загрязнений перед входом их в покрасочную камеру для реализации разработанной технологии производства труб с антикоррозийным покрытием.

Техническая характеристика агрегата:

- режим работы – постоянный;
- производительность, т/ч – $3,8 \div 58,0$;
- сортамент труб, d x s, мм – $219 \times 3 \dots 20 \div 630 \times 7 \dots 22$;
- скорость движения труб, м/мин. – 40;
- температура труб на входе в покрасочную камеру, °C – 80.

При работе печи трубы с минимальным разрывом непрерывно проходят печь, где нагреваются до 80 °C независимо от их диаметра и толщины стенки, и проходят покрасочную камеру, где покрываются защитным лаком.

Печь представляет собой стальной цилиндрический корпус длиной 3 м, состоящий из двух коаксиально установленных цилиндров диаметром 1258 x 4 мм и 1,306 x 4 мм. Корпус является основной несущей конструкцией печи. Он образует воздушную рубашку, которая является коллектором для подачи воздуха во все горелки. В корпусе имеются патрубки-гнезда для установки горелок в количестве 12 штук: 3 ряда по 4 штуки в ряду с симметричным расположением. На верхней образующей корпуса в двух точках, расположенных в промежутках, между кольцевыми коллекторами, установлено устройство для удаления дымовых газов из печи. На торцах печи установлены ирисовые диафрагмы для регулирования диаметра отверстия входа и выхода труб в соответствии с диаметром обрабатываемых труб. На корпусе установлен общий коллектор подачи газа и три кольцевых коллектора подачи газа в горелки с арматурой.

Техническая характеристика печи:

- тепловая мощность, кВт – до 1100;
- расход природного газа, м³/ч – до 110;
- количество горелок, шт. – 12;
- тип горелок – ГС-120;
- температура в печи, °C – от 400 до 800;
- температура уходящих дымовых газов, °C – от 400 до 700;
- разрежение в печи, Па – $2 \div 5$.

Для реализации поставленной задачи математического моделирования процессов теплообмена используем программный комплекс FlowVision.

Программный комплекс FlowVision предназначен для моделирования трехмерных течений жидкости и газа в технических и природных объектах, а также визуализации этих течений методами компьютерной графики.

Моделируемые течения включают в себя стационарные и нестационарные, сжимаемые, слабосжимаемые и несжимаемые потоки жидкости и газа. Использование различных моделей турбулентности и адаптивной расчетной сетки позволяет моделировать сложные движения жидкости, включая течения с сильной закруткой, горением, течения со свободной поверхностью.

FlowVision основан на численном решении трехмерных стационарных и нестационарных уравнений динамики жидкости и газа, которые включают в себя законы сохранения массы, импульса (уравнения Навье – Стокса), уравнения состояния.

Процесс расчета включает в себя следующие шаги, выполняемые пользователем:

- Создание области расчета («геометрии» устройства) в САПР и импортирование ее через форматы VRML, STL, DEFORM, ABAQUS, ANSYS или NASTRAN в FlowVision.
- Задание математической модели.
- Задание граничных условий.
- Задание исходной расчетной сетки и критериев ее адаптации по решению и по граничным условиям.
- Задание параметров методов расчета.
- Проведение расчета.
- Просмотр результатов расчета в графической форме («визуализация» результатов расчетов) и сохранение данных в файлы.
- Оценка точности расчетов.

С помощью САПР была создана область расчета -3D модель рабочей камеры печи. Вид рабочей камеры для нагрева труб приведен на рис. 1.

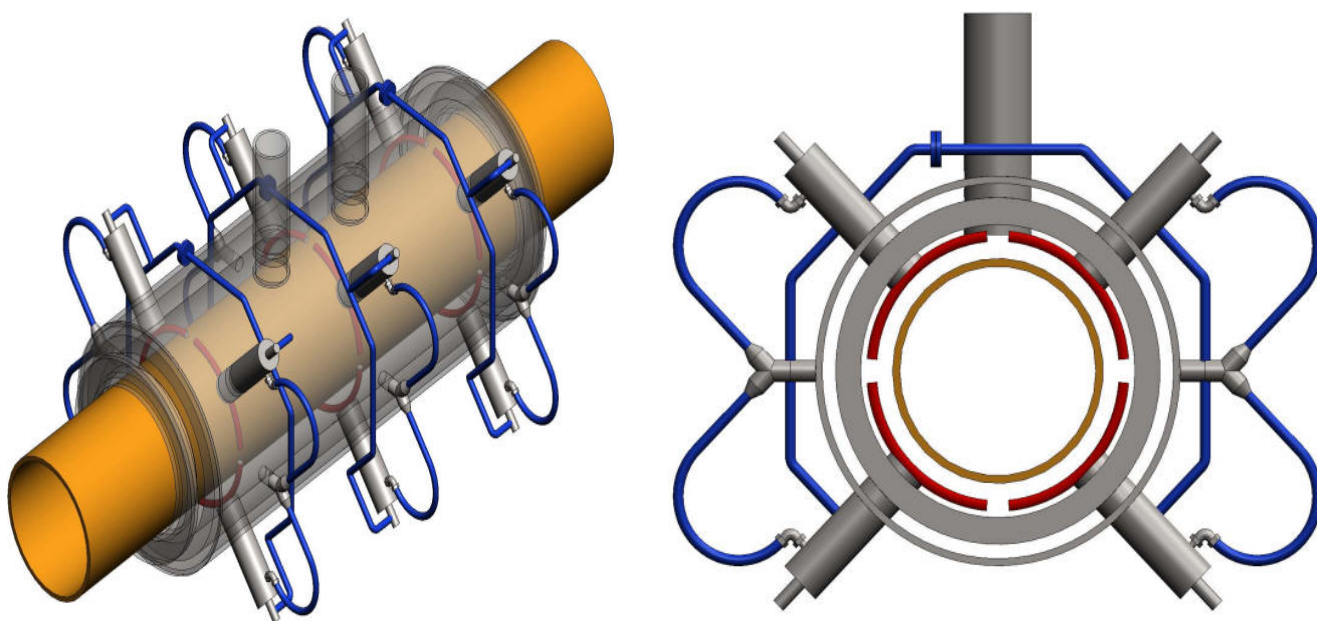


Рис. 1. Рабочая камера печи для нагрева труб

Далее данная 3D модель импортируется в программный комплекс FlowVision и на следующем шаге выбирается математическая модель движения газа (жидкости).

Целью моделирования движения жидкости и газа в расчетной области является получение распределений скорости, давления и других физических параметров жидкости (газа). Чтобы рассчитать эти параметры, необходимо задать физические законы их изменения, совокупность которых для данной задачи называется математической моделью.

Математическая модель движения жидкости или газа – это система уравнений в частных производных, определяющих законы сохранения (энергии, массы, импульса) и уравнений состояния жидкости (газа).

Основные модели движения жидкости и газа, имеющиеся в FlowVision:

- теплоперенос в твердой фазе;
- ламинарное несжимаемое течение;
- турбулентное несжимаемое течение;
- турбулентное слабосжимаемое течение;
- турбулентное сжимаемое течение;
- двухфазное течение со свободной поверхностью;
- течение с горением.

Следующий шаг создания расчетного варианта – это задание граничных условий (ГУ) на границе расчетной области.

Значение задаваемых параметров:

- температура начальная, °C – 10;
- температура конечная, °C – 80;
- температура продуктов горения, °C – 1050;
- расход газа на горелку, м³/ч – 9,5;
- коэффициент расхода воздуха – 1,75;
- разряжение на выходе дымовых газов, мм вод. ст. – 100;
- диаметр трубы, мм – 630;
- толщина стенки, мм – 22.

Следующим шагом является генерация расчетной сетки. FlowVision использует прямоугольную адаптивную локально измельченную сетку (АЛИС) для решения уравнений математической модели. Возможность адаптации этой сетки позволяет разрешать малые детали геометрии расчетной области и высокие градиенты рассчитываемых величин.

Сущность технологии АЛИС заключается в следующем. Во всей расчетной области вводится прямоугольная сетка. Выделяются подобласти с особенностями геометрии или течения, в которых необходимо провести расчет на более мелкой, чем исходная, сетке. При этом расчетная ячейка, в которую попала выделяемая особенность, делится на восемь равных ячеек. Далее, если необходимо, ячейки делятся еще раз и так до достижения необходимой точности. Ячейки начальной сетки называются ячейками уровня 0, ячейки, получаемые измельчением уровня 0, называются ячейками уровня 1 и т.д. При генерации АЛИС накладывается условие, что гранями и ребрами могут граничить друг с другом только ячейки с номерами уровней, отличающимися не более чем на единицу.

Далее задаются параметры метода численного моделирования, программный комплекс FlowVision проводится расчет, после чего просматриваются результаты расчета в графической форме («визуализация» результатов расчета).

Заключительным шагом процесса математического моделирования является оценка точности расчетов. Следует отметить, что всегда необходимо контролировать характеристики течения, которые могут быть известны хотя бы предположительно (перепады давлений, максимальная температура, плотность). Очень часто бывает, что такой контроль позволяет оценить точность получаемого решения без использования трудоемких способов.

УТИЛИЗАЦИЯ ОТВАЛЬНЫХ ШЛАКОВ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

© М.А. Пшеничный, О.В. Матюхин, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Металлургические предприятия относятся к числу наиболее крупных народнохозяйственных объектов, в значительной степени определяющих уровень экономического развития России. Из всего многообразия техногенных образований, получаемых в металлургическом производстве, основной объем 80 % от общего количества твердых промышленных отходов (ТПО) составляют шлаковые отвалы. Переработка шлаков определяет практическую сущность организации безотходного металлургического производства.

В России в шлаковых отвалах накоплено 800 млн т шлаков черной и цветной металлургии. Ежегодно образуется более 95 млн т шлаков в т.ч. около 79 млн т шлаков доменного, сталеплавильного, литейного и ферросплавного производств. Расположенные в городской черте шлаковые отвалы, нарушают ландшафт территорий, для размещения отвалов отчуждаются земельные угодья, вследствие протекания процессов естественного выщелачивания и выветривания ухудшается экологическая обстановка региона. Средний уровень использования промышленных отходов по стране равен всего лишь 53 %. Доля использования отходов производства в качестве вторичного сырья не превышает 11 %. В настоящее время в большинстве высокоразвитых стран использование силикатной продукции металлургических предприятий достигает 90 %. В строительной индустрии используются главным образом их вяжущие свойства.

Способов извлечения металла из жидких шлаков, опробованных в промышленных условиях, нет, поэтому металл на предприятиях извлекается только из твердых шлаков при первичной переработке их в шлаковых отделениях и при вторичной – на дробильно-сортировочных установках. Переработка жидких шлаков с точки зрения возможности