

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАЗОДИНАМИКИ В РАБОЧЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ПЕЧИ, ОСНАЩЕННОЙ СКОРОСТНЫМИ РЕКУПЕРАТИВНЫМИ ГОРЕЛКАМИ

© А.М. Вохмяков, М.Д. Казяев, 2012

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

© Д.М. Казяев, 2012

ООО «НПК „УралТермоКомплекс“», г. Екатеринбург

Металлургические и машиностроительные заводы в своей структуре имеют большое число прокатных и кузнечно-прессовых цехов, в которых эксплуатируется огромный парк нагревательных и термических печей, осуществляющих сложные технологии нагрева металлической продукции, как под пластическую деформацию, так и для придания изделиям необходимых физико-механических свойств.

На заводах России печи этого класса исчисляются тысячами. Но спроектированные и построенные в 40-70-х гг. прошлого столетия нагревательные и термические печи морально и физически устарели и в большинстве случаев не соответствуют современным требованиям технологии нагрева, качества продукции и экономии топлива.

Поэтому одним из наиболее актуальных направлений совершенствования технологического режима нагрева металла является модернизация печного парка заводов, основной эффект которой достигается за счет внедрения современных скоростных рекуперативных горелок.

Увеличение скорости истечения струи из горелки до 150–170 м/с позволяет интенсифицировать конвективный теплообмен. Ранее проведенные исследования в большинстве своем были направлены на изучение закономерностей конвективного теплообмена в котельных установках и в печах с горелками простой конструкции. Основная часть исследований выполнялась на стендах и лабораторных установках. В современных печах, оснащенных скоростными автоматизированными горелками, газодинамика и конвективный теплообмен изучены слабо.

Объектом исследования в данной работе является проходная нагревательная печь. Схема печи с садкой представлена на рис. 1.

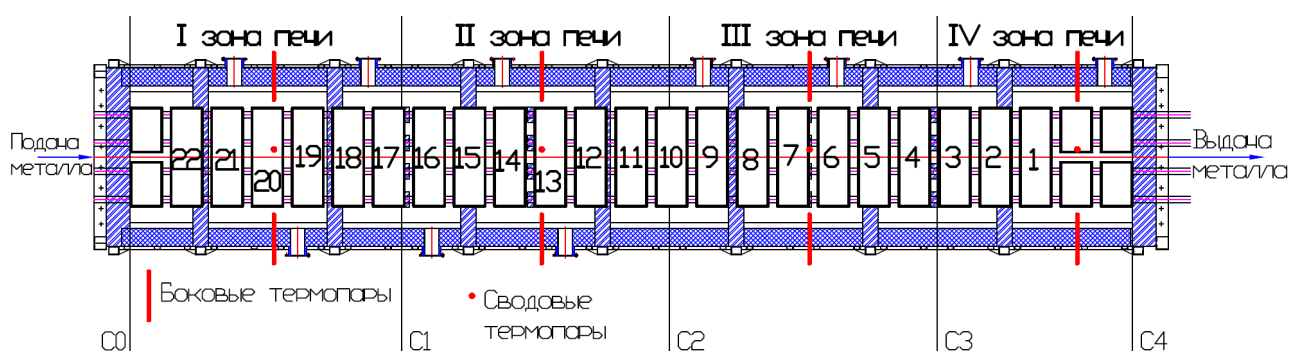


Рис. 1. Схема печи с садкой

Нижнее строение печи выполнено из кирпича, включая опорные перегородки и столбики для глиссажных труб. Для уменьшения массы нижнего строения печи, и как следствие, потерь с аккумуляцией тепла, часть опорных перегородок заменены на опорные столбики.

Футеровка боковых стен и свода печи выполнена с использованием керамоволокнистого материала МКРВ-200. Общая толщина футеровки составляет 350 мм.

Транспортировка слябов в печи осуществляется толкателем. Для исключения повреждения поверхности медных и латунных слябов при проталкивании их размещают на стальных цилиндрах, которые движутся по направляющим желобам, приваренным к каждой из четырех глиссажных водоохлаждаемых теплоизолированных труб.

Печь отапливается природным газом с теплотой сгорания $Q_n^p = 33100$ кДж/м³ с помощью 20 скоростных рекуперативных горелок серии Ecomax 5M (250 кВт каждая) производства немецкой фирмы «Elster Kromschroeder», которые располагаются на боковых стенах в два яруса по высоте в шахматном порядке. Горелки работают в импульсном режиме, при котором каждая сжигает номинальный расход газа, но время работы и частота включения изменяются в зависимости от разницы между текущей температурой и заданной печи.

Печь оснащена двухуровневой системой автоматического управления тепловым режимом. Для поддержания температуры в рабочем пространстве, печь разделена на четыре виртуальные зоны теплового регулирования. Система автоматического управления тепловым режимом печи построена на базе логического программируемого контроллера фирмы «Siemens» марки Simatic S7-300.

Тепловая работа печи полностью удовлетворяет производственным требованиям и с точки зрения соблюдения технологии нагрева, и с точки зрения энергоэффективности.

Основываясь на параметрах печи, была построена трехмерная модель ее рабочего пространства.

При создании газодинамической модели печи было принято следующее допущение: из горелки выходят продукты полного горения природного газа (в рабочем пространстве печи горение отсутствует). Это допущение обосновано использованием скоростных рекуперативных горелок, в камере сгорания которых и происходит сжигание большего количества топлива.

Для построения модели была использована программа ANSYS.

Результаты моделирования газодинамики в рабочем пространстве печи представлены на рис. 2, 3, и 4.

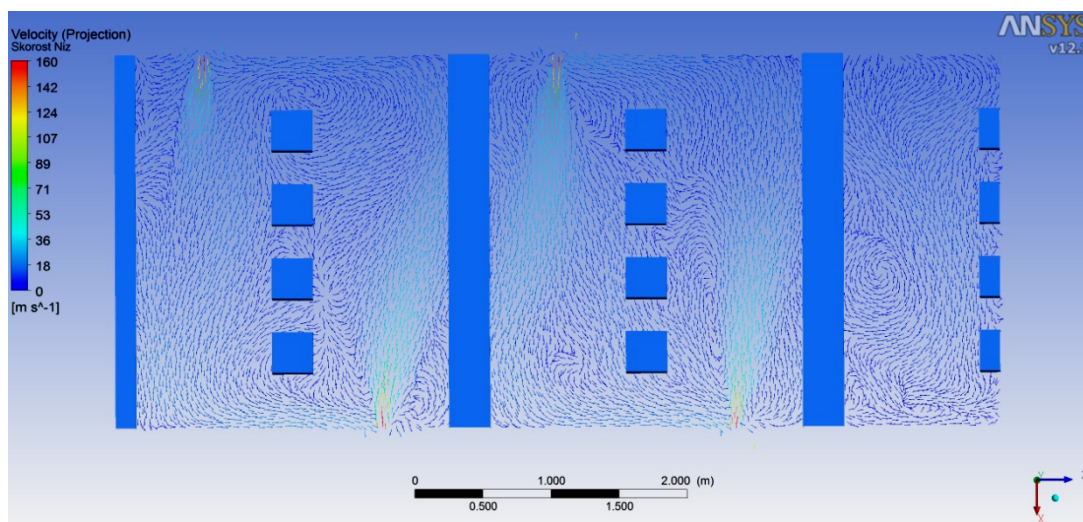


Рис. 2. Движение газов в горизонтальной плоскости, проходящей через оси нижних горелок

На рис. 2 видно, что движение газов происходит в ограниченном пространстве между опорными перегородками, столбиками, обрабатываемым материалом и подом. В связи с этим струя распространяется поперек рабочего пространства печи. При движении газовой струи вдоль перегородок с арками наблюдается так называемый эффект прилипания струи, более того наличие арок в перегородках приводит к перетоку газов из одной части печи в другую, что, в свою очередь, усиливает циркуляцию газов в рабочем пространстве печи.

Сложный характер движения газов наблюдается в горизонтальной плоскости печи, проходящей по осям верхних горелок. Происходит встречно-параллельное движение газов, в свободном объеме (рис. 3).

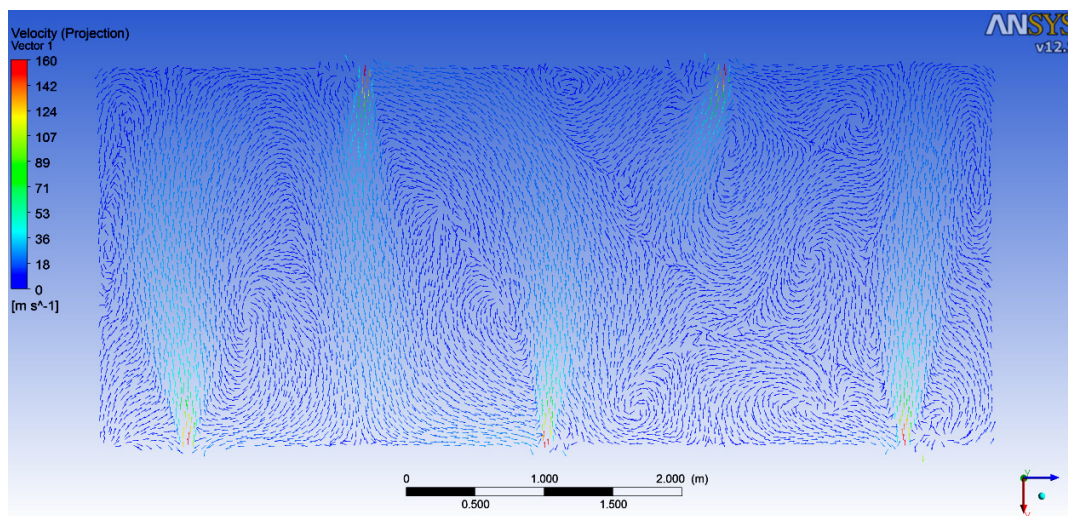


Рис. 3. Движение газов в горизонтальной плоскости, проходящей через оси верхних горелок

Наблюдается влияние струй друг на друга. На первом участке движения струи, когда скорость изменяется от 158 до 50 м/с, струя вовлекает в себя газы, идущие от соседних противоположных струй, скорость которых изменяется от 15 до 30 м/с. На втором участке истечения струи, после многократного увеличения массы струи, скорость струи падает до 30–15 м/с. По мере приближения струи к противоположной стенке часть газов из нее подсасывается соседними струями, и поэтому масса струи на втором участке снижается. Переток газов между струями приводит к интенсивной циркуляции газов и образованию циркуляционных зон со знакопеременными скоростями.

Газовые струи верхних и нижних горелок, при рассмотрении в продольном сечении, движутся вдоль свода и пода печи, нагревая футеровку, которая отдает тепло излучением нагреваемому материалу, что благоприятно сказывается на равномерности нагрева слэбов. После удара о боковую стенку часть газов вовлекается в струю противоположной горелки, а другая часть удаляется через ее рекуператор, что наглядно представлено на рис. 4.

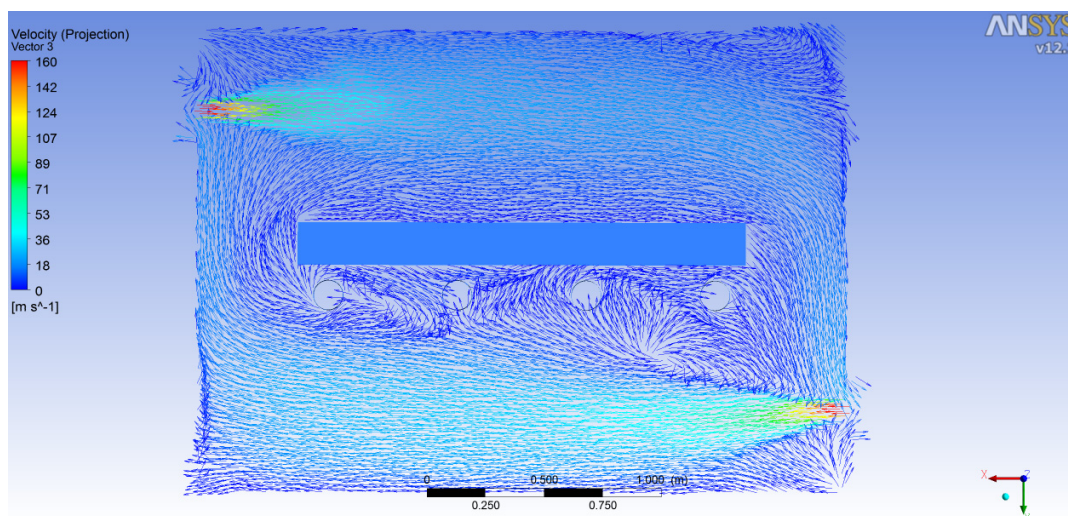


Рис. 4. Характер движения газов в вертикальной плоскости

На рисунке видно, что вокруг нагреваемого сляба образовался слой газов с низкими скоростями движения.

При обработке модельных данных прежде всего определены скоростные поля и геометрические характеристики газовых струй. При известных объемах струи на различном удалении от горелки и при известном исходном расходе газов в струе определена кратность циркуляции газов по длине струи: $z = \frac{V_x}{V_0} - 1$.

Изменение средней кратности циркуляции по длине струи представлено на рис. 5.

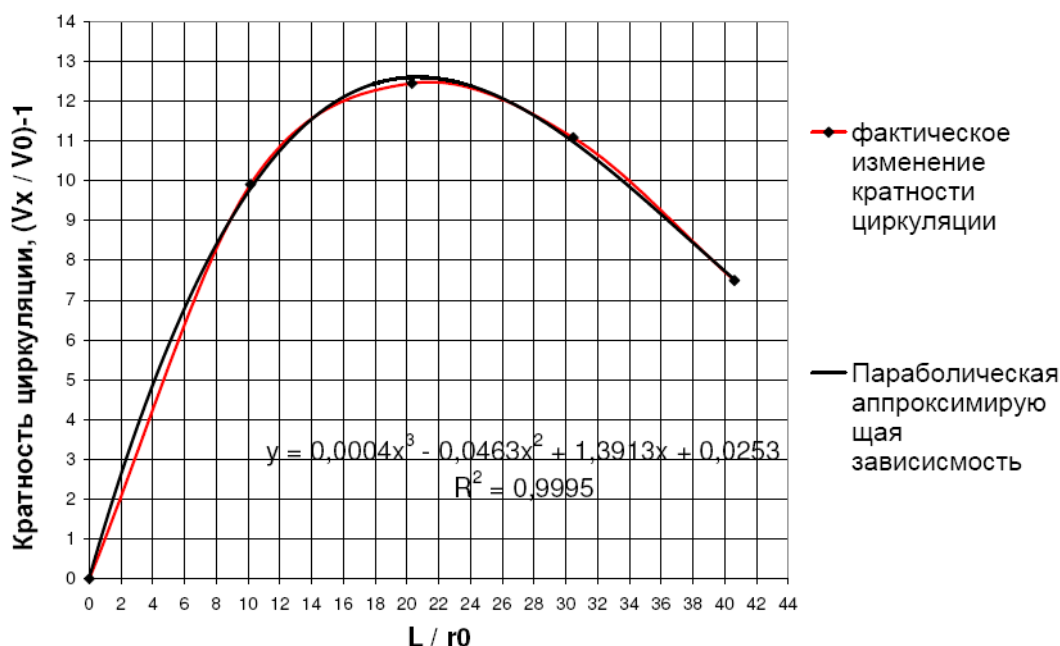


Рис. 5. Изменение кратности циркуляции по длине струи

V_x и V_0 – объем струи в любом сечении и на срезе горелки соответственно; L – длина струи; r_0 – радиус носика горелки

В результате обработки данных моделирования установлено, что средняя кратность циркуляции при работе всех газовых струй составляет величину 9,6, а средняя скорость по длине струи – 33,8 м/с при начальной скорости 158 м/с.

Более ранними исследованиями на моделях печей, оснащенных горелками со скоростями струй 25–30 м/с, были установлены кратности циркуляции в пределах 2,5...3.

Полученная высокая кратность циркуляции газов при моделировании газодинамики подтверждает необходимость применения скоростных горелок для обеспечения повышенной равномерности нагрева поверхности изделий, что косвенно доказано результатами измерения температуры нагреваемых слябов на исследуемой печи (перепад температур поверхности нагреваемого металла не превысил ± 2 °С).

В объеме печи наблюдается сложный характер движения газов как в верхней, так и в нижней ее частях. Образуется множество зон с высокой кратностью циркуляции, что приводит к выравниванию температурных полей газов у поверхности металла.

Данные, полученные при моделировании газодинамики в рабочем пространстве печи, позволяют не только изучить характер движения газов, но и разработать меры по рационализации геометрии рабочего пространства печи и совершенствования методов расчета сложного внешнего теплообмена.