

УДК 669.16.228.001.57

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФАКЕЛА ГОРЕЛКИ ДЛЯ ВРАЩАЮЩИХСЯ ПЕЧЕЙ

Г. М. Дружинин^{2,1}, Н. Б. Лошкарев^{2,1}, Е. Д. Солнцева¹, И. М. Хамматов²

¹ ФГАОУ ВО УрФУ (г. Екатеринбург, Россия),

² ОАО «ВНИИМТ» (г. Екатеринбург, Россия)

При обжиге материалов во вращающихся печах важную роль играют процессы горения топлива. В данной работе представлена краткая информация о конструкции и принципе работы горелки с комбинированной системой сжигания топлива, которая была разработана специально для новой вращающейся печи обжига шамота. Приведены результаты компьютерного моделирования процесса горения природного газа, выполненного в программном комплексе ANSYS.

Ключевые слова: горелка, комбинированная система сжигания топлива, вращающиеся печи, обжиг шамота, горение, топливо, компьютерное моделирование.

В огнеупорной промышленности широкое распространение получили вращающиеся печи благодаря высокой производительности и механизации. Эффективность работы этих печей зависит от организации процесса сжигания топлива. Чтобы добиться качественной тепловой обработки материалов, необходимо обеспечить оптимальное распределение температур по длине печи. Это становится возможным благодаря применению современных топливосжигающих устройств, конструкция которых позволяет получить факел необходимых параметров в соответствии с технологическим процессом и условиями работы агрегата.

Для качественного обжига шамота в новой вращающейся печи Боровичского комбината огнеупоров возникла потребность в таком горелочном устройстве, которое позволило бы увести максимальное тепловыделение от зоны выгрузки на 18 – 20 м, чтобы максимальная температура обжигаемого материала достигалась в зоне спекания, а относительно невысокая — в зоне выдержки и на выходе из печи.

Для решения данной задачи разработали горелку с комбинированной системой сжигания топлива (рис. 1). Общая идея конструкции горелок с длиной факела ≥ 15 м состоит в том, что часть топлива (~ 20 %) сжигается в периферийном кольцевом факеле с недостатком воздуха при коэффициенте расхода воздуха 0,7–0,8. Этот конический факел оттесняет основной воздух, идущий на горение через холодильник, к стенкам печи и не позволяет проникнуть кислороду к основной струе газа. Остальное топливо (80 % общего расхода)

подается по центральному соплу со скоростью 250–270 м/с через центральное сопло горелки. При этом центральный факел отрывается от носика горелки и воспламеняется на значительном удалении — в том месте, где соблюдаются условия равенства скоростей распространения пламени и скорости потока газозадушной смеси, а рабочее пространство печи разогрето до температуры воспламенения смеси ~ 800 °С. Таким образом, создаются условия, при которых основной воздух, идущий из холодильника, расположенного снизу печи, не попадает в центральную газовую струю, и горение основного топлива до определенного момента не происходит.

Длина факела и, следовательно, положение зоны максимальных температур могут регулироваться за счет соотношения количества первичного воздуха и газа для кольцевого защитного факела и количества газа в центральной и кольцевой струях. Горение защитного факела стабилизируется запальной горелкой, находящейся в торце кольцевой камеры, куда подают первичный воздух и 20 % газа с коэффициентом избытка воздуха 0,7 – 0,8.

Размеры горелочного устройства также влияют на положение зоны спекания. При протяженности печи 90 м общая длина корпуса горелки составила 4,1 м. Горелка примерно наполовину своей длины находится в рабочем пространстве печи, зона максимальных температур соответственно смещается на это же расстояние.

При производстве подобного габаритного оборудования не всегда есть возможность экспериментальной проверки правильности принятых конструктивных решений, поэтому один из способов определения характеристик процесса горения и параметров факела — компьютерное математическое моделирование*. Перед началом компьютерного расчета необходимо создать твердотельную геометрическую модель рабочих сред в корпусе горелки и в рабочем пространстве печи по исходному чертежу (рис. 1). Для этого использовали систему трехмерного моделирования КОМПАС-3Д.

* Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. — М.: ДМК-Пресс, 2017. — 210 с.

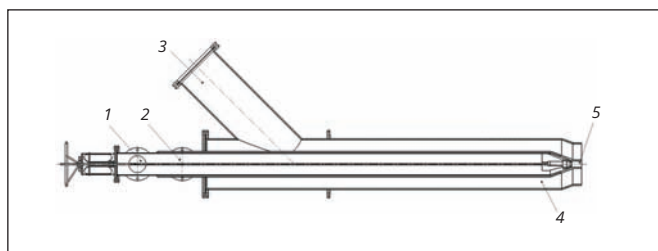


Рис. 1. Эскиз горелки: 1 — подвод основного газа; 2 — подвод газа для кольцевого защитного факела; 3 — подвод первичного воздуха; 4 — смесительная камера; 5 — центральное сопло основного газа

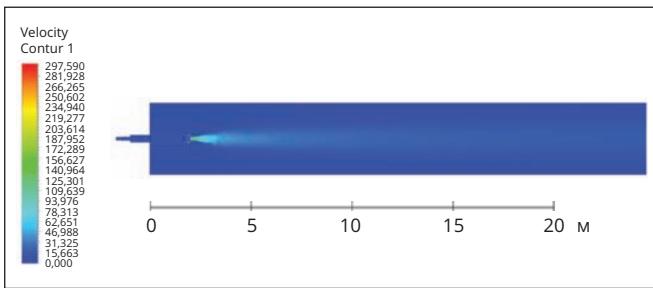


Рис. 2. Поле скоростей

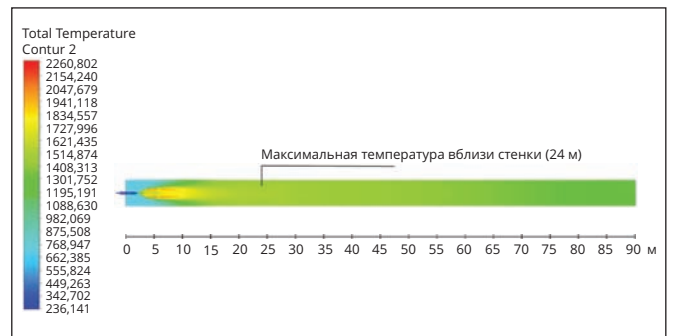


Рис. 4. Распределение температур по длине печи

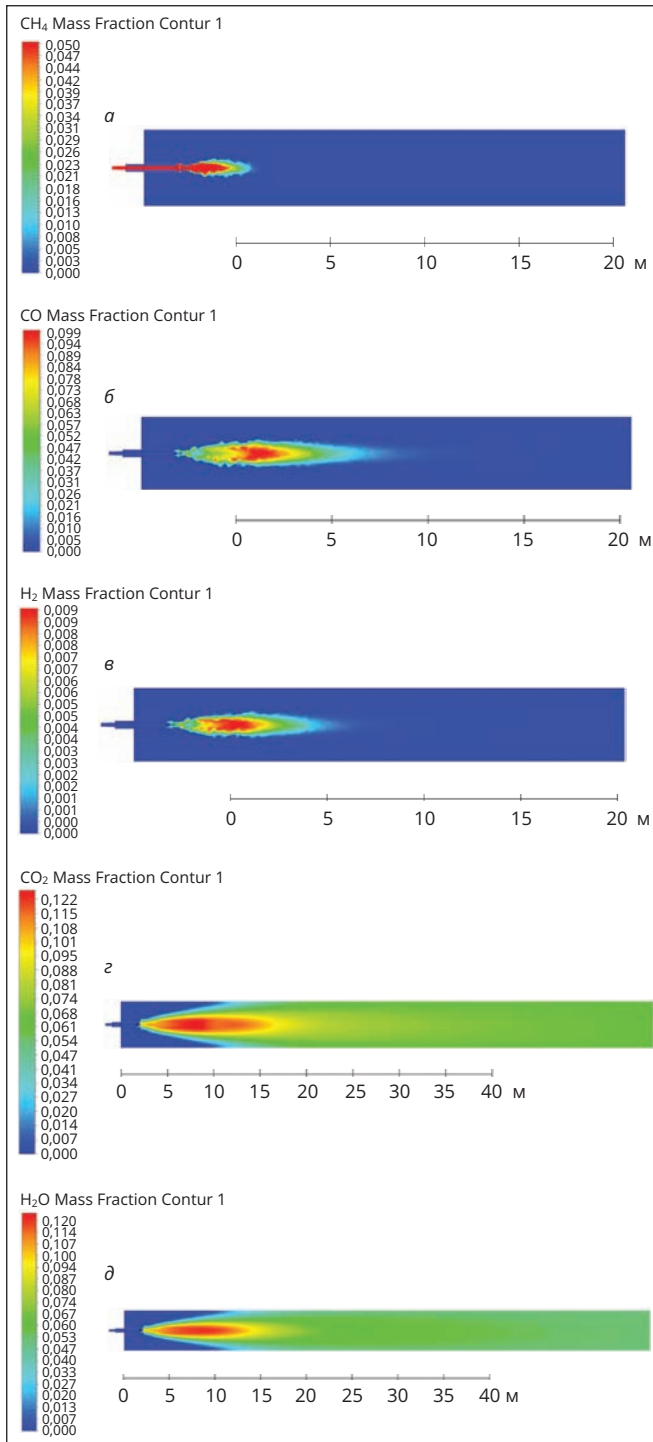


Рис. 3. Распределение концентраций: CH₄ (а); CO (б); H₂ (в); CO₂ (г); H₂O (д)

Далее в программном комплексе ANSYS в выбранном модуле Fluid Flow (CFX) поэтапно ведется работа с каждым объектом расчетной модели.

С помощью первого компонента ANSYS Design Modeler импортируется ранее созданная геометрическая модель рабочих сред. Ее основное назначение в программных комплексах инженерного анализа — описание границ расчетной области. Затем необходимо разбить расчетную область на конечное число элементов, в узлах которых будут находиться значения искомых переменных — скорости, концентрации, температуры. Это можно сделать с помощью приложений для генерации сетки. Программная среда ANSYS включает сеточные процессоры ANSYS: Meshing, TurboGrid, ICEM CFD.

Выбор сеточного процессора зависит от специфики решаемой задачи. В данном случае для создания сетки использовали универсальный сеточный генератор ANSYS Meshing. Для получения точного решения дополнительно корректировали размеры сетки наиболее ответственных элементов геометрической модели, а также с помощью опции Inflation построили сгущающиеся призматические слои ячеек вблизи выбранных поверхностей.

Следующий этап — предобработка в CFX-Pre, где процессы гидрогазодинамики подготавливаются к моделированию. Благодаря удобному интерфейсу и мощному языку программирования появляется возможность работы со сложными физическими моделями и граничными условиями. После того, как физический процессор импортировал ранее созданную геометрическую модель с расчетной сеткой, моделируется химическая кинетика. В соответствии с исходными данными в CFX-RIF задают начальные условия для топлива и окислителя ($\alpha = 0,75$, $t_r = 20$ °C, $d_r = 7$ г/м³, $t_b = 20$ °C, 57,5 %), а также состав, топливной смеси, об. %: 93,3 CH₄; 4,1 C₂H₆; 0,7 C₃H₈; 0,2 C₄H₁₀; 0,08 CO₂; 1,5 N₂.

Физические модели в тип расчетной области задаются с помощью настроек и Default Domain:

модель теплопереноса «Total Energy», используемая для газообразной или жидкой среды, интегрирует уравнение энергии в зависимости от заданного исходного состояния вещества;

модель турбулентности «*k*-Epsilon», при использовании которой записываются два дополнительных уравнения для расчета кинетической энергии турбу-

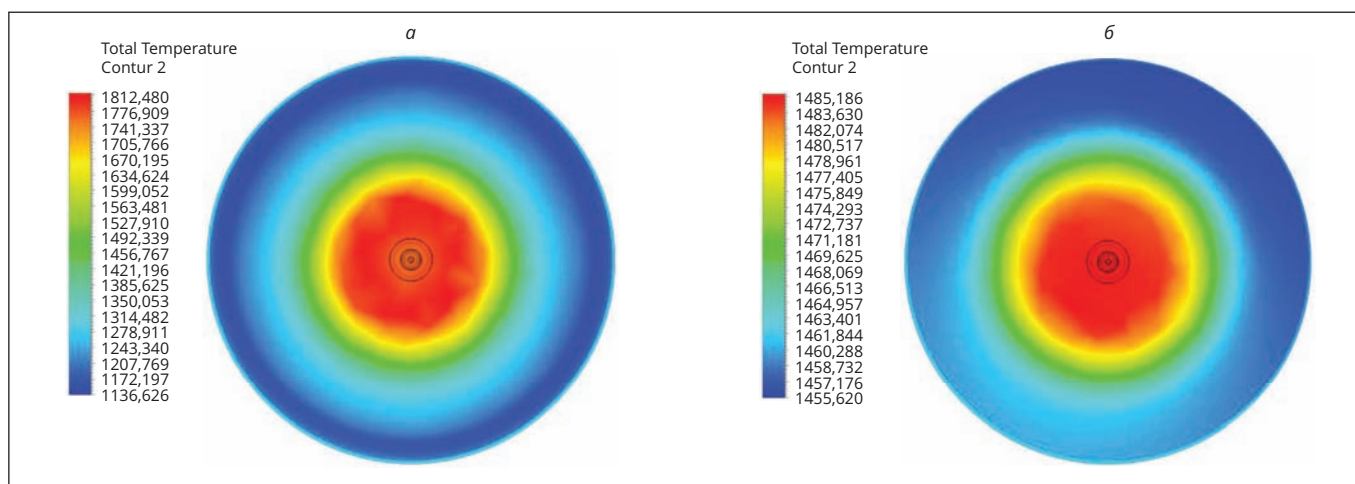


Рис. 5. Распределение температур по диаметру печи на расстоянии 10 (а) и 24 (б) м от торцевой стенки печи

лентности k и скорости ее диссипации ϵ (используется наиболее часто благодаря тому, что дает возможность получить достаточно точные результаты при быстрой сходимости и относительно низким требованиям к вычислительным ресурсам);

модель горения «PDF Flamelet» — служит для описания моделирования диффузионного горения с турбулентным течением при использовании встроенных библиотек.

Также в разделе Default Domain во вкладке Boundary задают граничные условия. В качестве параметров на входе воздушной среды (первичный воздух, подаваемый в горелку) задают: массовый расход, температуру и тип «Oxidizer» (окислитель). Для воздуха, который поступает в печь из холодильника, граничные условия задаются аналогично за исключением массового расхода, вместо него вводится значение полного давления. Для природного газа (80 % — основная струя и 20 % — защитный кольцевой факел) задают: массовый расход, температуру и тип «Fuel» (топливо). На выходе из печи задают значение полного давления.

Следующий этап — запуск решения, при этом отыскиваются такие значения параметров в каждой из ячеек, при которых достигается сходимость, а значение невязки сводится к минимуму. После завершения расчета общий файл с результатами сохраняется, и в нем находятся все интересующие нас параметры (температура, скорости, концентрации) в определенный момент времени.

ANSYS CFD-Post — программа, предназначенная для представления, анализа и визуализации результатов, которые получены в процессе решения задачи посредством ANSYS CFX-Solver. Для просмотра результатов в постпроцессоре в схеме проекта Workbench нужно выбрать раздел → Results → Edit, где откроется окно постпроцессора. С помощью функций Contour

Plot (цветной градиентной заливки) возможен просмотр изменения какой-либо физической величины в выбранной плоскости. Результаты моделирования представлены в виде температурных и газодинамических полей (рис. 2 — 5), на рисунках представлено поле скоростей. Максимальная скорость на выходе из сопла горелки составила 298 м/с.

Распределение концентраций основных компонентов горения изображено на рис. 3, а — д. Метан сгорает на расстоянии 7 м от среза сопла горелки (рис. 3, а), в результате чего происходит образование продуктов неполного горения CO и H₂ (рис. 3, б и в). Данные компоненты препятствуют преждевременному проникновению воздуха к основной струе газа, что позволяет растянуть факел. Компонент CO сгорает позже всего, поэтому в нашем случае по нему определяют длину факела, она составила 333 калибра. Компонент H₂ сгорает на расстоянии 271 калибр. На рис. 3, г и д представлены распределения концентраций CO₂ и H₂O. Их образование в рабочем пространстве печи происходит вследствие сгорания H₂ и CO.

На рис. 4 и 5 изображены поля температур по длине и диаметру печи соответственно. Максимальная температура в факеле составила 1987 К. Температура вблизи стенки на расстоянии 10 м от начала печи оказалась равной 863 К, а на расстоянии 24 м — 1183 К.

По результатам компьютерного расчета можно констатировать, что поставленные цели были достигнуты. Зону максимальных температур, где происходит спекание, удалось удалить от торца выгрузки. Разработанное горелочное устройство соответствует всем требованиям технологического процесса и условиям, необходимым для достижения максимально эффективной работы печи.

На правах рекламы

Контактная информация

Данная статья опубликована в журнале Сталь № 5, 2020 г., посвященном 90 летнему юбилею научно-исследовательского института металлургической теплотехники ОАО «ВНИИМТ». Институт ВНИИМТ предлагает эффективные технологии переработки металлургического сырья и энергоэффективные печные агрегаты, горелочные устройства для металлургии и машиностроения.

Если Вас заинтересовала информация, представленная в данной статье, Вы можете обратиться по следующим координатам.

ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники»
(ОАО «ВНИИМТ»).

620137, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, д. 16

Генеральный директор

Зайнуллин Лик Анварович

Тел. +7 (343) 374-03-80

Факс.: +7 (343) 374-29-23

Email: aup@vniimt.ru

www.vniimt.ru