

получаемых брикетов. С использованием необожженного мела прочность брикетов возрастает в 11,62 раза. Использование обожженного мела способствует повышению прочности брикетов в 10,53 раза. Использование органического связующего типа Полипласт 5СВ в количестве 2 % в традиционной технологии приводит к возрастанию прочности сырых окомкованных материалов в 20,38 раза.

Таким образом, меловая вскрыша может быть использована в качестве заменителя кускового известняка в различных металлургических технологиях. Такая замена позволяет не только снизить затраты на основное производство и вовлечь в переработку забалансовые материалы, но и улучшить качество получаемых продуктов при организации подготовки мела (сушка, помол, обжиг).

УДК 621.771

В. А. Носков, Н. Б. Лошкарев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРЕВА МЕТАЛЛА В МЕТОДИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С ШАГАЮЩИМИ БАЛКАМИ

Аннотация

Описана двумерная математическая модель нагрева металла в методической печи с шагающими балками. Математическое описание нагрева металла включает двумерное дифференциальное уравнение теплопроводности, которое дополняется начальными и граничными условиями. Более того, при математическом описании модели были учтены зависимости теплофизических параметров нагреваемого металла от его температуры. Смоделирован процесс нагрева пластины по заданному режиму с переменной во времени нагрузкой в пакете Ansys. Определено распределение температур по сечению заготовки на выходе из печи. Полученные результаты виртуального опыта были сопоставлены с данными промышленного эксперимента, проведенного на реальном объекте металлургического предприятия. Сравнение вычислений адаптированной математической модели с данными промышленного эксперимента показали совпадение 97 %. Сформулированы перспективы применения математической модели для АСУ тепловой работы печи.

Ключевые слова: методическая печь, уравнение теплопроводности, метод конечных разностей, математическая модель.

Abstract

Describes a two-dimensional mathematical model of metal heating in the reheating furnace with walking beam. Mathematical description of the heating of the metal includes a two-dimensional differential heat conduction equation that is supplemented with initial and boundary conditions. Moreover, the mathematical description of the model took into account the dependence of thermophysical parameters of the heated metal from temperature. Simulated the heating process plate for a given mode with time-variable loading in Ansys. Determined the temperature distribution over the cross section of the workpiece at the outlet of the furnace. The obtained results of the virtual experience was compared with the data of industrial experiment, conducted on the real object of the metallurgical plant. Comparison of the computation of the adapted mathematical model with the data

of industrial experiment showed the coincidence of 97 %. Formulated perspectives of the application of a mathematical model for automatic control system of thermal operation of the furnace.

Key words: *continuous furnace, heat equation, finite-difference method, mathematical model.*

Введение. Нагрев сляба в методической печи является одной из ключевых ступеней технологического процесса прокатного производства. Основное внимание уделяется достижению заданных температур и их распределению по поверхности и сечению нагреваемого металла. Неоптимизированный расход топлива при достижении этих температур ведёт к повышенной себестоимости выпускаемой продукции [1]. Задача энергосбережения решается путём создания быстродействующей математической модели расчета нагрева металла в методической печи. Такая модель позволяет реализовать автоматическое управление процессом нагрева с определением температурного поля в сечении заготовок при их транспортировке по печи. Наличие модели способствует проведению расчетов нагрева металла в печи, связанных с изменениями производительности, сортамента металла и темпа выдачи заготовок [2]. Для решения задач данного типа использовался метод конечных разностей [3].

Схема отопления печи. Печь оборудована 133 горелками BLOOM (США). Отопление осуществляется смесью природного и доменного газов. Схема расположения горелок приведена ниже на рисунке 1. Горелки верхних зон оборудованы излучающими плоскопламенными горелками. Они расположены в своде чередующимися рядами в шахматном порядке до зоны выравнивания, состоящими из 7 и 8 горелок. Нижние подзоны 4 и 6 оборудованы трехпроводными горелками с регулируемой длиной факела. Они расположены друг против друга на боковых стенках печи и на такой высоте, что их пламя проходит под нижними поверхностями слябов. Верхняя зона выравнивания отличается от других верхних зон тем, что она разделяется на центральную подзону 7 и периферийную подзону 8, мощности нагрева которых можно регулировать независимо друг от друга. Зоны состоят из трёх рядов горелок, каждый ряд горелок состоит из 4 центральных горелок и 4 внешних горелок, последние распределены попарно слева и справа. Зона «Экран» имеет только один ряд из 8 сводовых горелок. Она имеет автономное регулирование нагрева. Экран выполняет две задачи: создаёт тепловой барьер, ограничивающий подсос воздуха при открытии заслонок выгрузки; компенсирует значительные тепловые потери рядом с заслонками и, таким образом, позволяет избежать чрезмерного охлаждения слябов в ожидании выгрузки, когда простой по выгрузке превышает нормальный промежуток времени. Боковые горелки снабжены также ручным отсечным дросселем. В подзоне 2 предварительного нагрева первые 3 нижних боковых горелки, с разных сторон печи, снабжены автоматическими отсечными клапанами. Первые 3 ряда горелок на своде верхней подзоны 1 предварительного нагрева также снабжены автоматическими отсечными клапанами. Для регулирования длины факела боковые горелки зон I и II нагрева снабжены двухконтурными клапанами на подводе воздуха, регулирующими подачу воздуха в центр факела или на периферию. Распределение газа по разным зонам осуществляется с помощью трубопроводов разного диаметра.

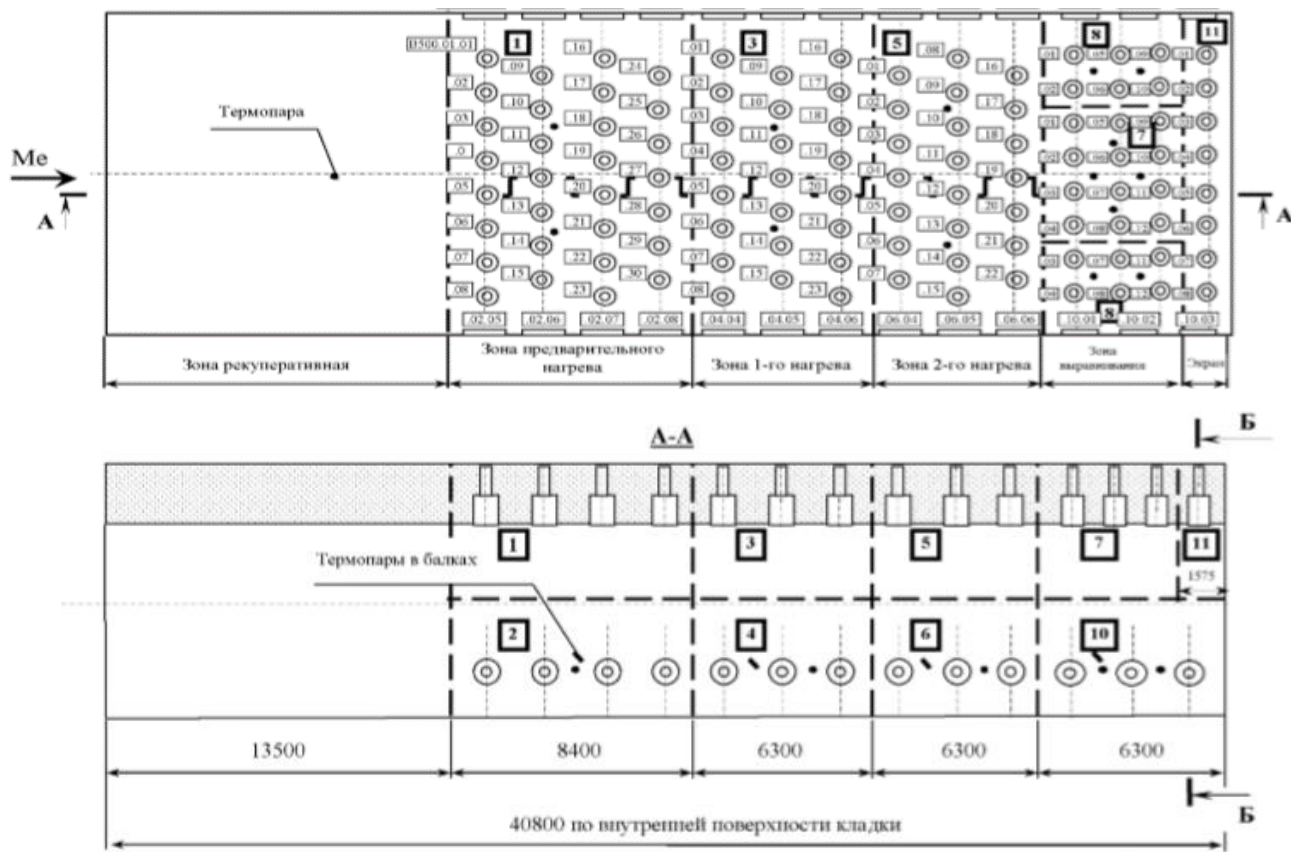


Рис. 1. Схема расположения горелок BLOOM по зонам печи

Математическое моделирование. При использовании методов только классической математики для решения этих уравнений не удастся рассчитать многие представляющие практический интерес явления. Решения часто содержат бесконечные ряды и специальные функции, и их числовая оценка может представлять весьма трудную задачу. Поэтому адаптировали математическую модель, используя результаты экспериментальных исследований процесса нагрева слябов в печах с шагающими балками стана 2000 ЦГП ПАО НЛМК. В экспериментальном слябе из низкоуглеродистой стали 08ю разместили десять термопар. Схема размещения термопар представлена на рисунке 2. Температурный режим нагрева представлен в таблице 1. С использованием автономного регистратора температуры и программно-измерительного комплекса были получены функции изменения температур в выбранных реперных точках толщины слитка [5].

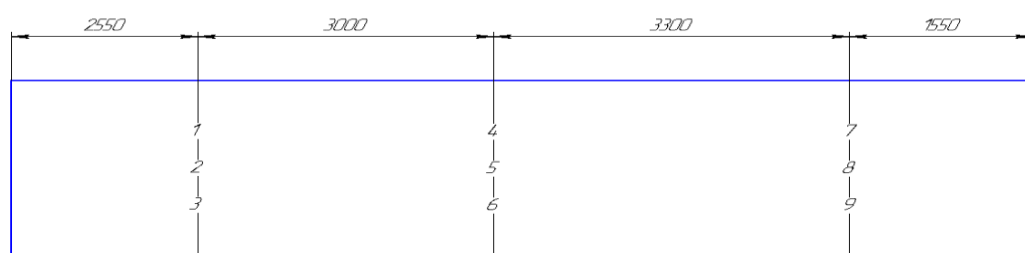


Рис. 2. Схема размещения и установки термопар в слябе (глубина погружения термопар: 1, 4, 7 – 30 мм; 2, 5, 8 – 125 мм; 3, 6, 9 – 240 мм)

Параллельно промышленному эксперименту в программном комплексе Ansys 14.5 смоделирован процесс нагрева сляба по заданному режиму (таблица 2) с переменной во времени нагрузкой [6]. Введены в программу теплофизические (теплоёмкость, плотность, коэффициент теплопроводности) и геометрические параметры материала. Результаты опыта представлены на рисунке 3 в виде распределения температур по толщине заготовки.

Таблица 1

Нагрев сляба по заданному режиму

Зона	Предварительная	Первого нагрева	Второго нагрева	Выравнивания
Время от начала нагрева, сек	4245	7430	10615	13800
Температура, °C	1220	1263	1328	1261

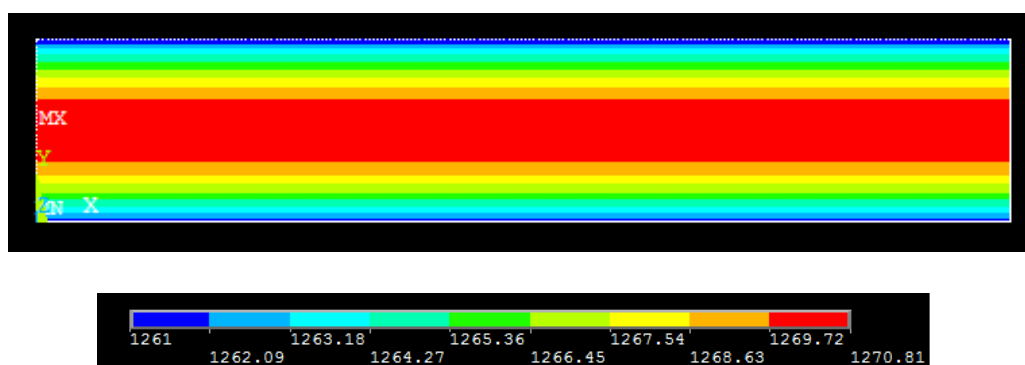


Рис. 3. Распределение температур по толщине сляба

Заключение. В ходе проведения промышленного эксперимента на реальном объекте и виртуального опыта в программе Ansys были получены графики изменения среднemasсовой температуры во времени. Сравнение вычислений адаптированной математической модели с данными промышленного эксперимента показали совпадение 97 %. Результаты позволяют в дальнейшем адаптировать математическую модель в отношении степени черноты эффективного излучения для каждой зоны и произвести наладку топливосжигающих устройств. Полученная адаптированная математическая модель позволяет с использованием компьютерных программ проанализировать практически любое число вариантов, чего совершенно невозможно сделать при эмпирическом методе исследования, и выбрать оптимальные условия тепловой работы методической печи для нагрева того или иного металла различного сортамента. Поэтому для решения задачи оптимизации расхода топлива и калибровки тепловых режимов методической нагревательной печи с шагающими балками стана 2000 ПАО НЛМК рекомендовано использовать полученную математическую модель.

Список использованных источников

1. Тутарова В.Д., Калитаев А.Н., Закирова Р.А. Математическое моделирование нагрева сляба в методической печи // Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова – С. 75.
2. Попов Е.В., Дружинин Г.М. Адаптация математической модели расчёта нагрева металла для АСУ на примере толкательной печи стана 2800 ОАО «Уральская Сталь» // Екатеринбург: УРФУ, 2015. – 264 с
3. Рихтмайер Р., Мортон К. Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972.
4. Алтыева М.Ч. Математическое моделирование процесса нагрева сляба, как компонент управления технологическим процессом // XIV Всероссийская школа-конференция молодых ученых «Управление большими системами». – Липецк: ЛГТУ, 2015 – 10 с.
5. Дождиков В.И., Ганул А.О., Мордовкин Д.С. Оптимизация работы энерготехнологического комплекса нагрева металла перед прокаткой // Сталь. 2018. №2. С. 69-71.
6. Денисов М.А. Автоматизированное проектирование в Ansys и Компас-3D. Электронное издание. – Екатеринбург: УРФУ, 2015. – 264 с.
7. Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. – М.: Metallurgia, 1990 – 239 с.

УДК 621.1:662

Т. Т. Огонбаев, А. М. Дубинин, В. Г. Тупоногов, С. А. Грицук

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РЕАКТОРЕ КОНВЕРСИИ МЕТАНА РАВНОМЕРНЫМ ВВОДОМ МЕТАНОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Аннотация

В целях повышения температуры в кольцевой реторте реактора для воздушной конверсии метана и, как следствие, уменьшения термодинамической вероятности проникновения сажи в поры катализатора, предложено организовать неполное горение исходной метановоздушную смеси в слое инертной засыпки с последующим равномерно распределенным боковым вводом продуктов в реакционную зону кольцевой реторты с катализатором. Повышение минимальной температуры в реакционном объеме с 790 °С до 930 °С достигнуто при подводе продуктов неполного горения метановоздушной смеси в кольцевую камеру с никелевым катализатором через перфорационные отверстия, равномерно распределенные по высоте нижней части внутренней реторты. Состав продуктов конверсии, полученных при коэффициенте расхода воздуха $\alpha = 0,25$, позволяет