13. Улановский А.А. Использование автономной автоматизированной системы компании Phoenix TM для мониторинга температурного поля нагреваемого металла в металлургических печах / А.А. Улановский, М. Тааке, А.М. Беленький, А.Н. Бурсин, С.И. Чибизова // Чёрные металлы. 2019. №9. – С. 54-60.

14. Киренков И.Н. Влияние отражённого света на показания пирометров излучения / И.Н. Киренков. – Труды метрологических институтов СССР. – Л.: 1969. №105 (165). – С. 57-61.

15. Беленький А.М. Совершенствование системы автоматического контроля и регулирования температуры металла в протяжной печи / А.М. Беленький, Е.В. Белов, Ю.Д. Бондарь [и др.] // Сталь. 1983. № 11. – С. 82-85.

УДК 621.783.2

А. М. Беленький[1], А. Н. Горбунова[2], Е. А. Хадзарагова[1], С. И. Чибизова[2]
[1] ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)», г. Владикавказ, Россия;
[2] НИТУ «МИСиС», г. Москва, Россия

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕЧЕЙ ДЛЯ НАГРЕВА МАССИВНОГО МЕТАЛЛА

Аннотация. *Рассмотрен вопрос создания автоматизированной системы теплотехнического исследования печей для нагрева массивного металла. Нагревательные печи станов горячей прокатки являются главным технологическим оборудованием, через них проходит практически вся выплавляемая сталь в мире. Их функционирование определяет качество металла и энергоэффективность производства горячекатаного металла, в первую очередь, листовой продукции. При этом данные печи представляют собой достаточно сложную техническую систему. Основу состояния печного агрегата определяет температура. Установленные штатные средства измерения контролируют температуру продуктов сгорания в зоне, температуру подогрева воздуха и топлива, температуру продуктов сгорания перед рекуператором и др. Температура поверхности металла, а тем более, внутри нагреваемых слябов, в печи не контролируется. В статье представлены основные признаки и характеристики элементов, составляющих измерительную систему в нагревательных проходных и камерных печах. Рассмотрены задачи, структурная схема и стадии создания автоматизированной системы теплотехнического исследования печей, которая позволит добиться необходимого и адекватного управления процессами, происходящими в агрегате.*

Ключевые слова: *нагрев металла, проходные печи, камерные печи, промышленный эксперимент, автоматизированная система теплотехнического исследования.*

Abstract. *The issue of creating an automated system for thermotechnical research of furnaces for heating massive metal is considered. Heating furnaces of hot rolling mills are the main technological equipment, they pass through almost all the steel produced in the world. Their functioning determines the quality of the metal and the energy efficiency of the production of hot-rolled metal, primarily sheet products. At the same time, these furnaces are a rather complex technical system. The basis of the state of the furnace unit is determined by temperature. The installed regular measuring instruments control the temperature of the combustion products in the zone, the tem-*

© Беленький А. М., Горбунова А. Н., Хадзарагова Е. А., Чибизова С. И., 2022

perature of air and fuel heating, the temperature of the combustion products in front of the recuperator, etc. The temperature of the metal surface, and even more so, inside the heated slabs, is not controlled in the furnace. The article presents the main features and characteristics of the elements that make up the measuring system in heating continuous and chamber furnaces. The tasks, block diagram and stages of creating an automated system for the thermal engineering study of furnaces are considered, which will make it possible to achieve the necessary and adequate control of the processes occurring in the unit.

Key words: *heating of metal, continuous furnaces, chamber furnaces, industrial experiment, automated system of thermal engineering research*

Металлургическая печь для нагрева массивных заготовок – это сложная техническая система, как с точки зрения значительного количества составляющих систему компонентов, так и с точки зрения сложной организации изучаемого объекта в силу многоаспектной природы. Нагревательная печь (НП) является сложным объектом для контроля температуры металла. Теплообмен осуществляется за счёт теплопередачи излучением, конвекцией и теплопроводностью, определяется температурами газа, кладки, металла, коэффициентом теплоотдачи, степенью черноты металла, кладки, газа, коэффициентом теплопроводности металла.

Для управления процессом в агрегате нужно знать температуру металла, характер температурного поля в объёме заготовки, изменение температуры и температурного поля в процессе нагрева. Кроме этого, полной картины о системе мы не сможем получить, исследуя лишь отдельные ее элементы – необходима информация о функционировании системы в целом. Автоматизированный направленный теплотехнический промышленный эксперимент позволит получить данные о текущем состоянии агрегата и о качестве его работы.

В таблице 1 представлены основные признаки и характеристики элементов, составляющих измерительную систему в НП (проходных и камерных).

Таблица 1

Основные признаки и характеристики элементов, составляющих измерительную систему в нагревательных проходных и камерных печах

Элемент системы	Основные признаки	Характеристика признака
1. Агрегат в целом	Технологический режим	Постоянный или переменный, зависит от марки стали и температуры посада
	Температурный режим	Методический (постепенное повышение температур по мере продвижения сляба от посада к выдаче) и камерный (нагрев постепенный при неподвижном металле)
	Газовый режим	Противоточный – методический; переменный – камерный
	Производительность	Постоянная или переменная в зависимости от работы стана
	Загрузка заготовок	Интервальная
	Воздействие на металл (отрицательное)	Неравномерность нагрева металла из-за неравномерного, концентрированного расположения горелок, в том числе и под углом к поверхности сляба; охлаждающее влияние глиссажных труб и балок ша-

Элемент системы	Основные признаки	Характеристика признака
		гающего пода; окалинообразование
2. Источник тепла	Вид энергии	Химическая теплота топлива или электроэнергия (индукционный нагрев или с помощью электронагревателей сопротивления)
	Вид топлива	Природный газ и смеси природного, доменного, коксового газов, мазут
	Характер выделения теплоты	Распределённый по длине и ширине рабочего пространства, а также сверху и снизу массивной заготовки
	Теплофизические величины	Поля концентраций, давления, температуры; зависящие от температуры и концентрации теплоёмкость, теплопроводность и радиационные характеристики
3. Газовая среда	Поглощательная способность	Наличие или отсутствие пыли и трёхатомных газов
	Уровень давления	Неравномерные по длине, ширине и высоте печи поля статического и динамического давления, положительное давление, разрежение
	Вид химического потенциала	Окислительная, восстановительная среда
	Теплофизические величины	Неравномерные поля значений концентрации газов, температуры, теплопроводности, теплоёмкости, плотности, вязкости, радиационных характеристик, коэффициентов диффузии
4. Кладка	Теплофизические величины	Теплопроводность, теплоёмкость, радиационные характеристик переменные во времени и пространстве
	Газоплотность	Постоянная и переменная во времени
	Инерционность	Постоянная времени объекта, время чистого запаздывания
5. Металл	Тип садки	Термически массивное или термически тонкое тело, подвижное или неподвижное
	Теплофизические параметры	Геометрические параметры (длина, ширина, толщина сляба); температура посада, теплопроводность, теплоёмкость, радиационные характеристики, переменные в зависимости от температуры, изменяющиеся во времени и пространстве.
	Физикохимические и механические величины (в печи, у готового изделия)	Концентрация определяющих примесей в металле, предел прочности, предел текучести, твёрдость, относительное удлинение, электромагнитные характеристики, количество окалины
	Инерционность	Постоянная времени объекта, время чистого запаздывания
6. Измеритель температуры	Характер измеряемого параметра	Температура газа, воздуха, кладки, зоны печи, продуктов сгорания, металла на входе в печь и на стане за пятой клетью
	Метод измерения	Контактный, бесконтактный, комбинированный, расчётный. Введение дополнительного датчика для измерения температуры фона для коррекции показаний ПИ

Элемент системы	Основные признаки	Характеристика признака
	Инструментальные величины	Погрешность, надёжность, безопасность, экономичность
	Воздействие на объект измерения	Наличие или отсутствие
	Характер проведения измерения	Непрерывный или дискретный
	Инерционность	Постоянная времени и время чистого запаздывания
7. Измеритель параметров газового режима	Вид основной задачи контроля	Внешний массообмен
	Измеряемая величина	Давление, состав газовой среды, потенциал среды, концентрация составляющих газов, запылённость
	Инструментальные величины	Точность, надёжность, взрывобезопасность, экономичность, эргономичность
	Влияние на объект измерения	Наличие или отсутствие
	Характер измерения	Дискретный или непрерывный, локальный или интегральный
	Инерционность	Время чистого запаздывания, постоянная времени объекта

Для адекватного и всеобъемлющего управления процессами, происходящими в агрегате, необходимо создание и внедрение автоматизированной системы теплотехнического исследования (АСТИ).

Задачами АСТИ являются [1]:

1) обеспечение оптимального управления процессом в условиях сложного и переменного производства;

2) получение исчерпывающих знаний об объекте управления;

3) создание структурного представления об объекте;

4) создание информационно-измерительной системы (КИП, ЭВМ, базы данных);

5) сазработка информационно-аналитической системы (экспертные системы, базы данных, математические модели и т.п.);

6) создание системы принятия решений (новые приборы и измерительные системы, новые способы получения и обработки информации и т.д.).

АСТИ – это фактически система диагностики состояния агрегата, с функциями не только определения нормальной работоспособности отдельных элементов и всего автоматизированного комплекса (АТК) в целом, но, и, что в настоящее время главное требование производства (исходящего из обеспечения улучшения качества продукции, повышения энергоэффективности, снижения себестоимости производства, повышение надёжности оборудования), создание и реализация оптимальных условий функционирования печи в рамках совершенствующегося производства и изменяющихся (в основном ухудшающихся) параметров печного агрегата.

На рисунке 1 представлена структурная схема и состав АСТИ НП.

Рис. 1. Структурная схема и состав АСТИ нагревательной печи

ИПС «Аналог» – информационно-поисковая система, предназначенная для хранения и автоматической выдачи информации об измерениях, полученных с использованием измерительных комплексов на данной печи и на аналогичных агрегатах. Информация представлена в виде графической и текстовой документации.

ИСС «ГОСТ» – информационно-справочная система, предназначенная для хранения информации о ГОСТах, нормативных и других руководящих и методических материалах. Информация представлена в виде текста и таблиц.

Технология – технологические инструкции на процесс.

ММ – база математических моделей тепловой работы агрегата.

БД «ИСС» – база данных «Исследование», предназначенная для хранения промежуточных этапов исследования. Информация в этой базе является временной и хранится до окончания процесса исследования.

Стадии создания АСТИ:

1) предпроектная стадия (построение или уточнение уже имеющейся математической модели, определение или уточнение целей, критериев и ограничений работы объекта, диагностический анализ агрегата, построение информационной модели АСТИ, разработка ТЗ на АСТИ);
2) разработка технического проекта;
3) разработка рабочего проекта;
4) внедрение и дальнейшее развитие.

Таблица 2

Характеристика различных этапов исследования и анализа АТК при разработке АСТИ (предпроектная стадия) для проходных нагревательных печей

Этапы исследования	Объекты наблюдения	Единица наблюдения	Программа наблюдения	Организационный план наблюдения
Исследование объекта как системы (системное описание)	Элементы входа и выхода, а также внутренней структуры объекта (температура сляба перед посадом в печь, материал кладки и свода)	Материальные и информационные потоки в АТК и в его системе управления объектом	Получение сведений о положении, закономерностях развития и функционирования объекта	Установление графика работ. Используемый инструментарий Распределение работ по исполнителям
Диагностический анализ	Влияние элементов входа и выхода, а также внутренней структуры объекта на показатели его функционирования	Результаты решения задач управления	Получение сведений о потенциальных возможностях рационализации деятельности объекта	Установление общих условий. Используемый инструментарий. Распределение работ по исполнителям
Исследование информационной базы задач пускового комплекса	Закономерности процессов и процедур в АТК и системе его управления	Информационные процессы	Получение сведений для построения рабочей модели управления пускового комплекса АСТИ	Установление задач и функций управления. Используемый инструментарий. Распределение работ по исполнителям

Важным этапом является системное описание объекта. В большинстве случаев при регулировании нагрева металла мы можем управлять температурой рабочего пространства печи. Но всё-таки важнейшим регулирующим параметром является температура металла, как на поверхности, так и внутренняя, измеряемая внутри контрольной заготовки с помощью специальных термопар [4].

Фактически АСТИ – это система определения нормальной работоспособности АТК в целом и его элементов и обеспечения улучшения качества продукции, снижения себестоимости производства, повышения энергоэффективности.

В дальнейшем будет проведен более детальный анализ имеющихся практических данных с печей металлургических предприятий, выбран метод обработки, выявлены закономерности и сделаны соответствующие выводы, относительно внедрения будущей АСТИ.

Выводы

1. Металлургическая печь для нагрева массивных заготовок – это сложная техническая система, как с точки зрения значительного количества составляю-

щих систему компонентов, так и с точки зрения сложной организации изучаемого объекта в силу многоаспектной природы.

2. Для управления процессом в агрегате необходимо знать температуру металла, характер температурного поля в объёме заготовки, изменение температуры и температурного поля в процессе нагрева. Поэтому необходимо систематическое проведение автоматизированного направленного теплотехнического промышленного эксперимента. Наработанная база данных результатов эксперимента позволит найти пути совершенствования работы агрегата и улучшения качества нагрева металла.

3. Приведена структурная схема и состав автоматизированной системы теплотехнического исследования нагревательных печей, определены задачи и стадии создания.

Список использованных источников

1. Методы экспериментального исследования теплофизических процессов: курс лекций / С.И. Чибизова, К.С. Шатохин; под ред. А.М. Беленького. – М.: Издательский Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 148 с.

2. Liu J. Response of cryolitic bath to flexible pot line power shifts and influence on the side ledge / J. Liu, M. Taylor, M. Dorreen // Book of papers of the ninth international congress "Non-ferrous metals and minerals". 2017. – Pp. 287-288.

3. Самарский А.А. Математическое моделирование – новая методология научных исследований / А.А. Самарский, Б.П. Герасимов, В.И. Мажукин. – М.: МЭИ, 1990. – 32 с.

4. Li Jing, Wang Jing, Hao Chunhui et al. Research and application of process control system for roller hearth normalizing furnace // Metallurgical Industry Automation. 2009. Vol. 33. No. 2. – Pp. 16-23.

УДК 669.162.12

Ю. Е. Бурова[1,2]**, Е. А. Вязникова**[1]**, А. Н. Дмитриев** [1]**, Г. Ю. Витькина**[1]**,**
Р. В. Алекторов[1]**, Г. А. Нечкин**[1]**, В. В. Катаев**[1]

[1] ФГБУН «Институт металлургии» Уральского отделения РАН,
г. Екатеринбург, Россия;

[2] ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АГЛОМЕРАТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕГО СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА

Аннотация. *В лабораторных условиях получены и исследованы агломераты с различной основностью – от 1,2 до 2,0. Изучен химический и фазовый составы лабораторных аг-*

© Бурова Ю. Е., Вязникова Е. А., Дмитриев А. Н., Витькина Г. Ю., Алекторов Р. В., Нечкин Г. А., Катаев В. В., 2022