

нагреве рядовой стали температуру ее поверхности приходится ограничивать, чтобы не допустить оплавления окалины. Вследствие этого часто при форсированной работе печи температура поверхности металла в сварочной зоне превышает заданную температуру выдачи металла, а затем при выдержке происходит одновременно некоторое подстывание поверхности металла и выравнивание температуры по сечению (прогрев). Для решения данных задач необходима разработка численной модели исследования теплообменных процессов при помощи программного обеспечения Ansys Fluent посредством проведения расчета импульсного нагрева, а также, проведение экспериментальных исследований на установке струйного нагрева.

При успешной разработке алгоритма расчета теплового состояния слябов удастся определить оптимальный режим нагрева, что будет способствовать:

- сокращению удельных затрат энергии;
- снижению угара металла.

Успешная реализация исследования позволит увеличить производительность процесса обработки металла, а также сократятся затраты на удаление окалинообразования, что положительно скажется на экономике металлообрабатывающих предприятий.

#### **Список использованных источников**

1. Парсункин Б.Н. Оптимизация управления тепловым режимом нагревательных печей. Учебник / Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов, А.Р. Бондарева – М.: Металлургия, 2013.

2. Парсункин Б.Н. Энергосберегающее управление тепловым режимом по температуре поверхности нагреваемого металла. Учебник / Б.Н. Парсункин, Т.У. Ахметов, Е.Ю. Мухина, О.С. Гиляев – М.: Металлургия, 2013.

3. Иванов, А.А. Автоматизация технологических процессов и производств. Учебное пособие / А.А. Иванов – М.: «ФОРУМ», 2011.

4. Беленький А.М. Метрология и теплотехнические измерения. Учебник / А.Н. Бурсин, В.В. Курносов, К.С. Шатохин, С.И. Чибизова – М.: МИСиС, 2019.

УДК 004.942.001.57

**Л. А. Зайнуллин, А. О. Малков**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

### **КАМЕРНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ПЕЧЬ С РАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ОБЪЕМУ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА**

*Аннотация.* Камерная термическая печь с выкатным подом предназначена для нагрева различных сварных конструкций с целью их термической обработки с равномерностью

температур в рабочем пространстве  $\pm 10$  °С при нагреве  $\pm 5$  °С в конце выдержки. Автоматический режим нагрева по заданному графику в диапазоне температур от 20 до 650 °С. Максимальная масса садки 15 т. Для создания равномерного поля температур в печи применяется система рециркуляции продуктов сгорания. Система рециркуляции состоит из высокотемпературного вентилятора (температура применения до 650 °С), установленного на металлоконструкциях над сводом печи, камеры подогрева рециркулята, оборудованной горелкой ВЮ 125Н, переточных труб и двух коллекторов переменного сечения со щелевыми отверстиями. Высокотемпературный вентилятор через отверстие в своде печи забирает газы (продукты сгорания) и после подогрева в выносной камере возвращает их в печь по раздающим коллекторам.

**Ключевые слова:** камерная печь, режим нагрева, сварные конструкции, поле температур, горелка, цикл термообработки.

**Abstract.** The chamber thermal furnace with a roll-out hearth is designed for heating various welded structures for the purpose of their heat treatment, with a temperature uniformity in the working space of  $\pm 10$  °C when heated to  $\pm 5$  °C at the end of exposure. Automatic heating mode according to the set schedule in the temperature range from 20 to 650 °C. The maximum weight of the cage is 15 tons. To create a uniform temperature field in the furnace, a combustion product recirculation system is used. The recirculation system consists of a high-temperature fan (application temperature up to 650 °C) mounted on metal structures above the furnace arch, a recirculate heating chamber equipped with a ВЮ 125Н burner, overflow pipes and two variable cross-section collectors with slotted holes. A high-temperature fan picks up gases (combustion products) through an opening in the furnace arch and returns them to the furnace via distributing collectors after heating in the remote chamber.

**Key words:** chamber furnace, heating mode, welded structures, temperature field, burner, heat treatment cycle.

Камерная печь – печь с близкими по значению длиной, шириной и высотой рабочего пространства и с одинаковой во всех его точках температурой, предназначенная для нагрева или термической обработки материалов. Типичный представитель камерной печи для нагрева – нагревательный колодец. Из термических камерных печей известны камерные печи с выдвигным (выкатным) подом, камерные печи с неподвижным подом (с внешней механизацией) и колпаковые печи [1]. Одно из основных отличий режимов нагрева и режимов термообработки в близких по конструкции печах состоит в том, что в термических печах часто реализуется режим: при заданном законе изменения температуры поверхности металла. Такой режим выдержать на практике гораздо труднее, т.к. он предполагает постоянную корректировку температуры печной атмосферы во времени [2].

Преимущество камерных печей – их универсальность в создании разнообразных температурно-временных условий.

Недостатки:

1) большие потери теплоты на аккумуляцию кладкой при периодических загрузках – выгрузках металла;

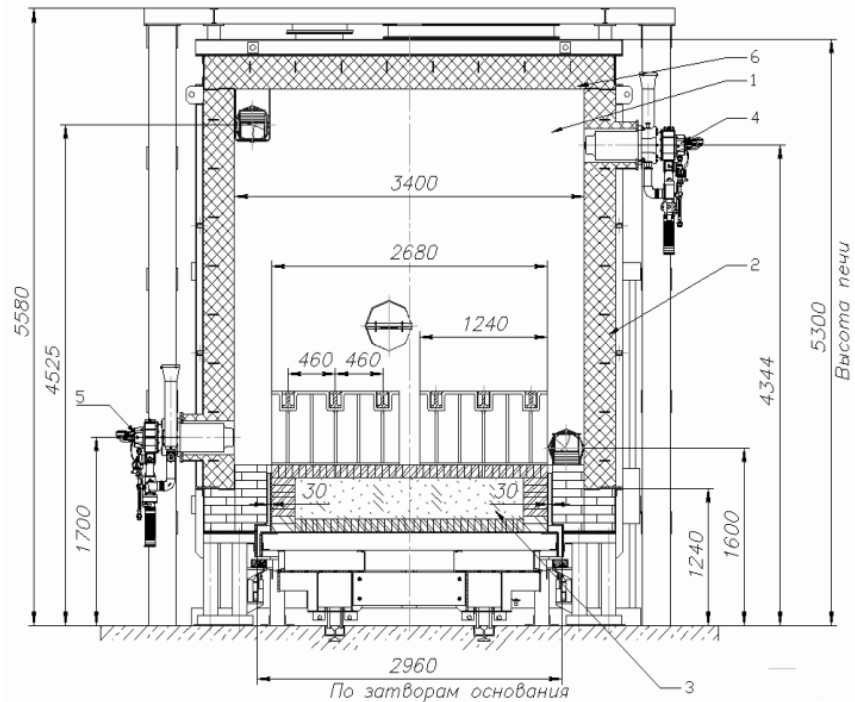
2) печи не отвечают требованиям поточного производства.

Поэтому камерные печи применяются там, где нельзя использовать проходные печи, например, при сложных режимах термообработки, типа отжига.

Установленная на участке термообработки камерная термическая печь, с выкатным подом, предназначена для нагрева различных сварных конструкций с целью их термической обработки с равномерностью температур в рабочем

пространстве от  $\pm 10$  °С при нагреве и  $\pm 5$  °С при выдержке. Печь позволяет в автоматическом режиме обеспечивать равномерный нагрев металлических изделий по заданному графику в диапазоне температур от 20 °С до 650 °С.

Конструкция печи показана на рисунках 1 и 2.



- 1 – рабочее пространство печи; 2 – футеровка печи (Фойлок МКРВ-200);  
 3 – выкатной под; 4 – горелки верхнего ряда; 5 – горелки нижнего ряда;  
 6 – свод печи.

Рис. 1. Конструкция печи в разрезе. Общий вид

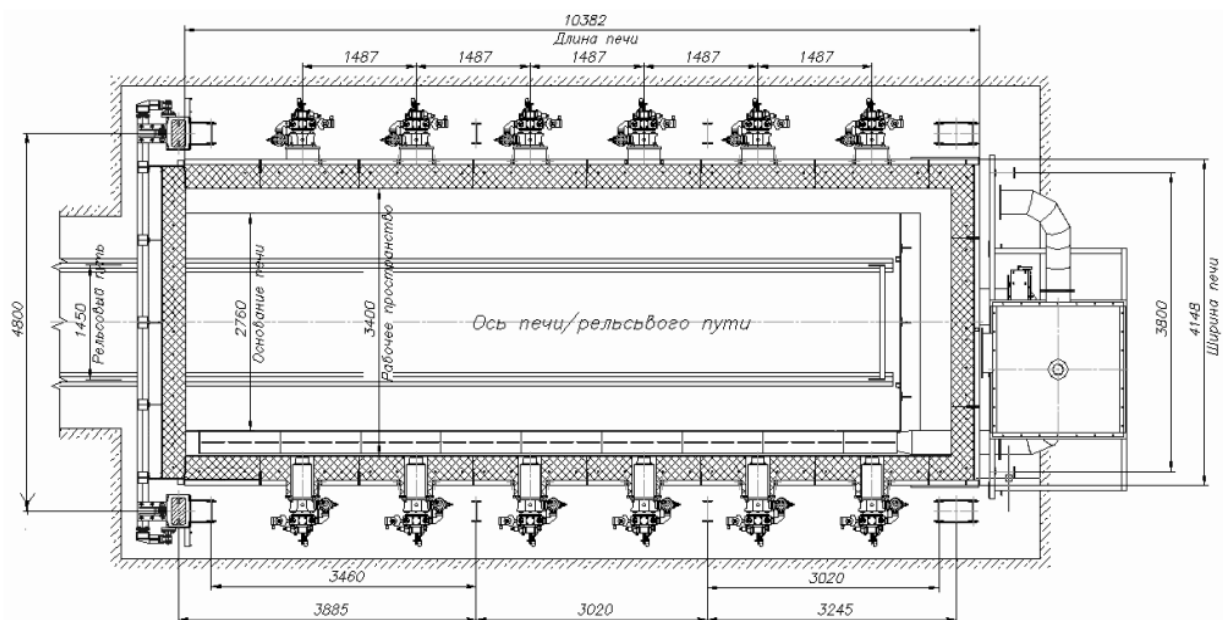


Рис. 2. Конструкция печи в разрезе. Вид сверху

Конструктивно каждая печь состоит из основания, боковых стен, свода (б), заслонки окна посада и выкатного пода (з). Боковые стены, свод и заслонка окна посада футерованы уплотненным керамоволокном МКРВ-200. Выкатной под выполнен в виде самоходной тележки, оснащенной мотор-редуктором 6МЦЗВ-107ES с электродвигателем мощностью 5,5 кВт и встроенным электромагнитным тормозом. Уплотнение пода с основанием печи осуществляется с помощью подвижной рамы, приводимой в действие электрическими прямоходными механизмами.

Крупногабаритные изделия массой до 10 т доставляются на участок термообработки рельсовой передаточной тележкой. Перегрузка изделий с передаточной тележки на выкатной под печи осуществляется мостовым электрическим краном участка, грузоподъемностью 10 т.

Продолжительность цикла термообработки, включающего в себя периоды: нагрева, выдержки и охлаждения, в зависимости от типоразмера изделия – от 1,5 до 18 часов.

Охлаждение изделий осуществляется только в рабочем пространстве печи. Режим охлаждения обеспечивается регулированием работы вентиляторов и дымососов.

По завершению термообработки, после охлаждения изделия в печи до температуры не выше 45 °С, выкатывается под и с помощью мостового крана участка изделие перегружается на передаточную тележку, посредством которой вывозится с термического участка.

Камерная термическая печь с выкатным подом предназначена для нагрева различных сварных конструкций с целью их термической обработки с равномерностью температур в рабочем пространстве  $\pm 10$  °С при нагреве  $\pm 5$  °С в конце выдержки. Автоматический режим нагрева по заданному графику в диапазоне температур от 20 до 650 °С. Максимальная масса садки 15 т.

Для создания равномерного поля температур в печи применяется система рециркуляции продуктов сгорания. Система рециркуляции состоит из высокотемпературного вентилятора (температура применения до 650 °С), установленного на металлоконструкциях над сводом печи, камеры подогрева рециркулята, оборудованной горелкой ВЮ 125Н, переточных труб и двух коллекторов переменного сечения со щелевыми отверстиями. Высокотемпературный вентилятор через отверстие в своде печи забирает газы (продукты сгорания) и после подогрева в выносной камере возвращает их в печь по раздающим коллекторам. При этом обеспечивается интенсивное движение продуктов сгорания вокруг садки и выравнивание температур во всем объеме рабочего пространства печи. Расход рециркулирующих продуктов сгорания регулируется изменением оборотов двигателя рециркуляционного вентилятора.

### **Список использованных источников**

1. Теплухин Г.Н. Металловедение и термическая обработка / Г.Н. Теплухин, А.В. Гропянов. – СПб.: Металловедение, 2011. – 169 с.

2. Головин Г.Ф. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева / Г.Ф. Головин, Н.В. Зимин; под ред. А.Н. Шамова, 5-е изд. – Л.: Машиностроение. 1990. – 87 с.

УДК 662.613.1

**А. В. Замятина, А. Д. Никитин, П. В. Осипов, Т. Ф. Богатова**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС КАРБОНИЗАЦИИ ОКСИДА КАЛЬЦИЯ**

**Аннотация.** Рассмотрен комплексный подход к проблеме минерализации выбросов углекислого газа за счет карбонизации золошлаковых отходов ТЭС. Проанализированы преимущества применения данной технологии. Сделана оценка потенциала улавливания (связывания)  $CO_2$ , концентрация которого в дымовых газах составляет 10-17 %, путем карбонизации. Потенциал определяется в основном содержанием щелочноземельных металлов ( $CaO$ ,  $MgO$ ) в золе, которое зависит от типа угля. Изучено применение щелочных компонентов для секвестрации выбросов  $CO_2$ . Проведены экспериментальные исследования влияния ввода водяного пара на скорость карбонизации оксида кальция в температурном диапазоне до 1000 °С с применением метода термогравиметрического анализа. Проведена серия экспериментов с нагревом образцов оксида кальция с различными скоростями и при изменении концентраций водяного пара и диоксида углерода. Получено, что в присутствии водяного пара скорость реакции карбонизации  $CaO$  возрастает в 3-4 раза.

**Ключевые слова:** секвестрация выбросов  $CO_2$ ; зола; оксид кальция; карбонизация; термогравиметрический анализ.

**Abstract.** A comprehensive approach to the problem of carbon dioxide emissions mineralization through carbonization of ash and slag waste from thermal power plants is considered. The advantages of using this technology are analyzed. The potential of capturing (binding)  $CO_2$ , the concentration of which in flue gases is 10-17 %, by carbonization is estimated. The potential is determined mainly by the content of alkaline earth metals ( $CaO$ ,  $MgO$ ) in the ash, which depends on the type of coal. Application of alkaline components for  $CO_2$  sequestration was studied. Experimental studies of the effect of water vapor input on the calcium oxide carbonization rate in the temperature range up to 1000 °C were carried out using the method of thermogravimetric analysis. A series of experiments with heating calcium oxide samples at different speeds and at changing concentrations of water vapor and carbon dioxide were conducted. It was obtained that in the presence of water vapor the reaction speed of carbonization of  $CaO$  increases by 3-4 times.

**Key words:**  $CO_2$  sequestration; ash; calcium oxide; carbonization; thermogravimetric analysis.

Отходы многих отраслей промышленности имеют сегодня ограниченные возможности вторичного использования. Так, в России утилизируется только около 10 % образовавшейся в результате сжигания угля на ТЭС золы, например, при производстве строительных материалов или для восстановления закисленных почв, в то время как неиспользованный золошлаковый материал складывается в золоотвалах, которые занимают огромные территории и