

А. В. Бородин<sup>2</sup>, И. С. Вохмякова<sup>2</sup>, А. Д. Никитин<sup>2</sup>, Э. Р. Сабилов<sup>1</sup>,  
О. Г. Сивков<sup>2</sup>, А. С. Степанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия;

<sup>2</sup> ООО «Научно-производственное внедренческое предприятие ТОРЭКС» (ООО "НПВП ТОРЭКС"), г. Екатеринбург, Россия

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ В ПЕРЕСЫПАЮЩЕМСЯ СЛОЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИЛОТНОГО АГРЕГАТА «ВРАЩАЮЩАЯСЯ ТРУБЧАТАЯ ПЕЧЬ»

**Аннотация.** *Металлургические процессы, реализуемые во вращающихся трубчатых печах с пересыпающимся слоем, являются ключевыми для многих отраслей промышленности. Однако, выбор оптимального технологического оборудования для этих процессов требует использования математических моделей, которые должны учитывать качество получаемого продукта. Процессы термообработки не могут быть полностью описаны теоретически, поэтому необходимо использовать физическое моделирование. Пилотная установка «Вращающаяся трубчатая печь» позволяет проводить подобные исследования и является важным инструментом для изучения и оптимизации технологических процессов, реализуемых во вращающихся печах с пересыпающимся слоем.*

**Ключевые слова:** *трубчатая печь, обжиг, моделирование, исследования, вальц-процесс, окатыши, качество.*

**Abstract.** *The metallurgical processes, which take place in the rotary kilns with overturning bed, remain the key issues for numerous industries. However, a selection of optimal process equipment for those processes requires the math models to be used, which shall envisage a quality of the final product. Thermal treatment processes cannot be fully described in theory, for that reason it is essential to employ a physical modeling. The pilot plant - rotary kiln allows for conducting such studies and is considered as a key tool to research and optimize the process technologies occurring in the rotary kilns with overturning pellet bed.*

**Key words:** *rotary kiln, induration, simulation, studies, waelz process, pellets, quality.*

Многие технические процессы в металлургии реализуются с использованием пересыпающегося слоя во вращающихся трубчатых печах: обжиг извести, окислительная и восстановительная термообработки окатышей, производство цинковой вальц-оксида и т.д. Выбор технологического оборудования определяется с использованием математических моделей, при этом наибольшую сложность для моделирования составляет оценка качества получаемого продукта. В силу сложности физико-химических превращений, выявить количественные взаимосвязи между качеством и условиями термообработки возможно только экспериментально. Поэтому физическое моделирование процессов при использовании вращающихся трубчатых печей является необходимой стадией разра-

ботки технологии. Цель данной работы заключается в обзоре возможностей пилотной установки «Вращающаяся трубчатая печь» (далее пилотная установка).

Компанией ООО «НПВП ТОРЭКС», спроектирована и запущена пилотная модель вращающейся печи для исследования физико-химических процессов, протекающих в пересыпающемся слое. Схема установки приведена на рис. 1.

Для футеровки рабочего пространства вращающейся печи используется теплоизоляционный высокотемпературный материал. Нагрев рабочего пространства и требуемые условия термообработки обеспечиваются за счет сжигания природного газа и воздуха, а расходы газов контролируются с помощью ротаметров. Для перемещения газообразных продуктов используется дымосос, скорость их удаления и перемещения по газовому тракту регулируется частотным преобразователем. Для необходимого снижения температуры газов перед осадительной камерой и рукавным фильтром предусмотрены механические задвижки, которые обеспечивают подсос воздуха по длине газоходного тракта (рисунок 2).

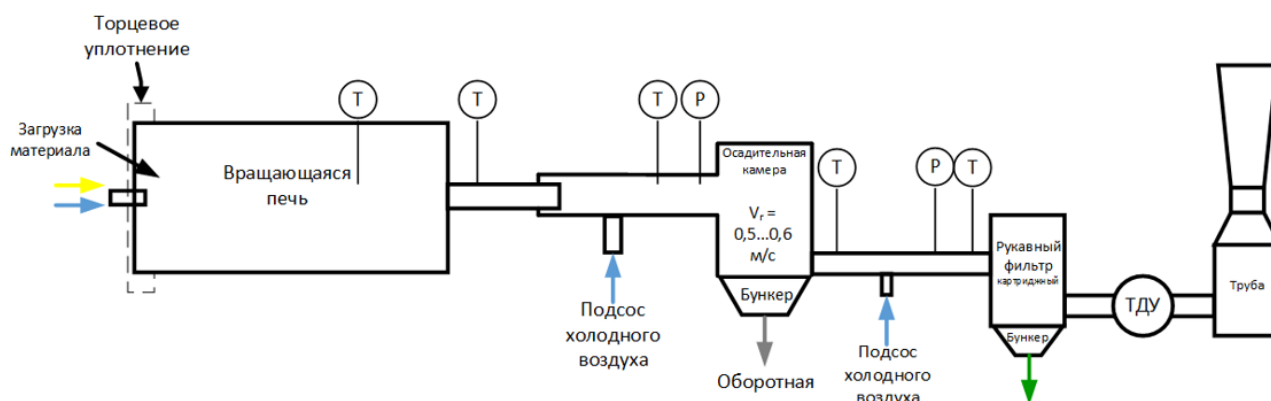


Рис. 1. Схема пилотной установки

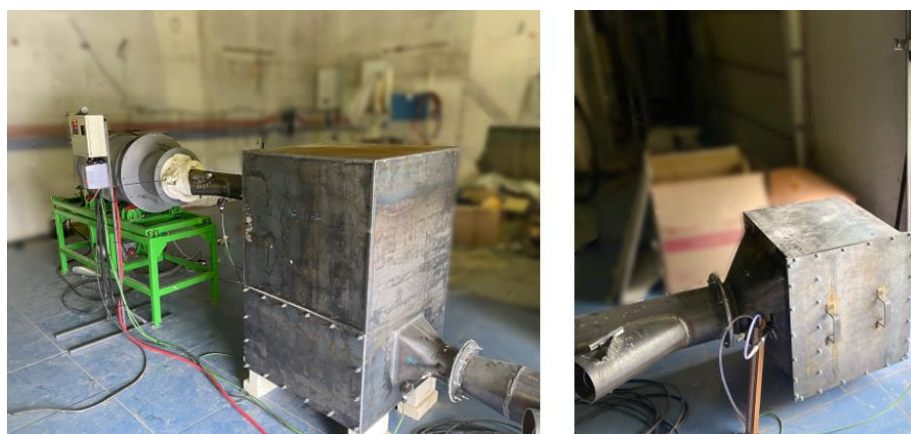


Рис. 2. Лабораторная установка в сборе

Установка использовалась для проведения физического моделирования термообработки рудных материалов в пересыпающемся слое как в окислительной, так и в восстановительной атмосфере. В частности, проводились исследования десульфурации железорудного концентрата [1], окислительного упрочняющего обжига железорудных окатышей [2, 3], в настоящее время ведутся ра-

боты по исследованию процесса вельцевания вторичных цинксодержащих ресурсов (пыли и шламы металлургического производства) [4]. Оборудование печи позволяет реализовать термообработку сырья в пересыпающемся слое, с определением свойств твердых и газообразных продуктов: химический состав, плотность, механические свойства и т.д. Для улавливания пыли используется рукавный фильтр. Диапазон варьирования технологических параметров изменяется в широких пределах: размер загружаемого сырья – 0...30 мм; температура термообработки – 100...1300 °С; время термообработки – до нескольких часов, атмосфера – окислительная или восстановительная.

Некоторые результаты исследований окислительного обжига с использованием пилотного агрегата приведены на рисунках 3 и 4. На рисунке 3 приведены данные работы [1], из которых следует что при повышении температуры происходит удаление серы, что может оказать положительное влияние на качество материала. Концентрация серы в окатышах при температуре 1260 °С составляет 0,08 %, а при 1360 °С – всего 0,004 %. На рисунке 4 (данные исследования [2]) приведена зависимость качества обожженных окатышей от свойств концентрата. С использованием этих данных возможно количественно оценить эффект от использования доизмельченного железорудного концентрата.

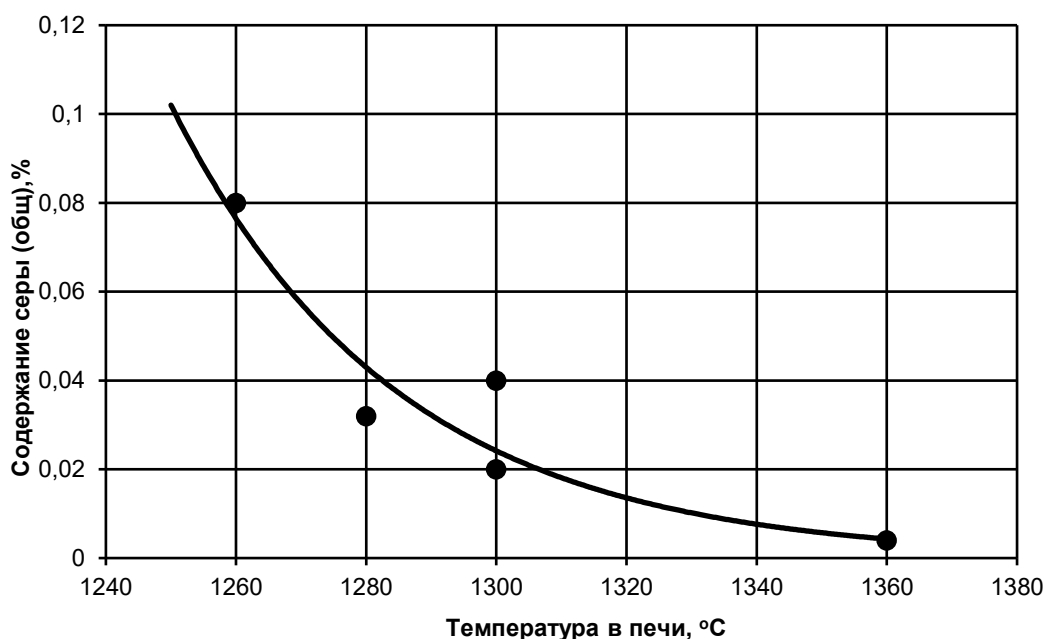


Рис. 3. Изменение содержания серы в окатышах от температуры в печи, продолжительность обжига 30 мин, концентрат месторождения Таёжное [1]

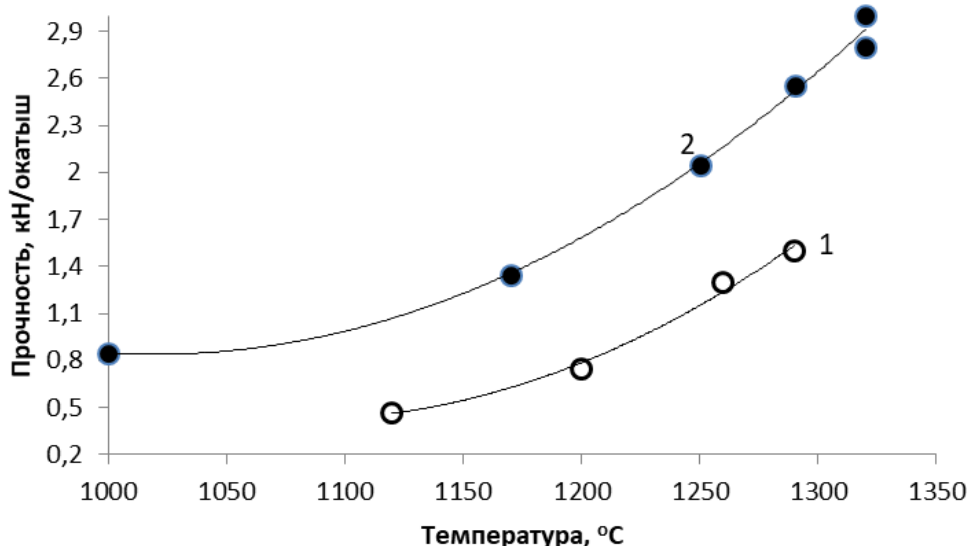


Рис. 4. Зависимость прочности окатышей на сжатие от максимальной температуры обжига при использовании базового (1) и доизмельченного (2) концентрата месторождения Быстринское [2]

В настоящее время установка эксплуатируется в рамках проведения научно-исследовательских работ, направленных на повышение эффективности переработки природного и техногенного сырья. Одним из проектов, в котором задействована данная установка, является строительство завода компании Zincum в г. Железногорск Курской области [4].

### Список использованных источников

1. Особенности десульфурации железорудных окатышей из высокосернистых концентратов в пересыпающемся слое / И.С. Берсенов, С.Н. Евстюгин, Е.А. Подковыркин, Ю.С. Жуков, В.Н. Щеглов // Творческое наследие В.Е. Грум-Гржимайло: сборник докладов международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – С. 78-81.

2. Влияние удельной поверхности концентрата на процесс обжига железорудных окатышей в пересыпающемся слое / И.С. Берсенов, В.А. Горбачев, Ю.С. Жуков, Е.Г. Подковыркин, Т.В. Сапожникова // Сталь. 2014. №8. – С. 22-24.

3. Технологические особенности термической десульфурации высокосернистых железорудных концентратов / И.С. Берсенов, Е.С. Берсенов, А.Ю. Колясников, Д.А. Шонохов // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2016. №4 (1396). – С. 32-35.

4. Официальный сайт компании ООО «НПВП ТОРЭКС» [Электронный ресурс] // 2023. URL: <https://www.torex-npvp.ru/novosti/zincum/> (дата обращения 20.04.2023).