

УДК 66.041.49.043.1.004.15

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОГНЕУПОРНОЙ ФУТЕРОВКИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Представлена новая конструкция огнеупорной футеровки для применения во вращающихся печах. Проведен расчет теплового поля для новой и существующей конструкции футеровки, выполненный с помощью программных пакетов AnsisFluent и AnsinICEM. Проведено сравнение теплофизических характеристик футеровки обеих конструкций. Даны рекомендации по области применения.

Ключевые слова: огнеупорная футеровка, трубчатая вращающаяся печь, компьютерное моделирование.

Один из основных факторов, определяющих тепловую эффективность работы вращающейся печи, — величина теплового сопротивления футеровки, так как в используемых вращающихся печах потери тепла через корпус в окружающую среду достигают 10–15 % от общей теплоты сжигания [1].

Отсутствие прочного термостойкого материала с хорошими теплоизоляционными свойствами в значительной мере определяло направление работ по созданию футеровки с повышенным тепловым сопротивлением путем введения в нее волокнистого теплоизоляционного материала, что достигается за счет изменения формы огнеупора. Теплоизолятором может быть волокнистая структура, такая как муллиткремнеземистая вата с неорганическими добавками, базальтовое волокно и подобные структуры, которые можно использовать при температуре до 1600 °С. В этом случае между огнеупором и корпусом печи создают ячейку, заполняемую теплоизоляционным материалом [1, 2].

Настоящая работа проведена с целью сравнительной оценки эффективности огнеупорной футеровки новой конструкции по отношению к существующей.

Наибольшего уменьшения тепловых потерь печи в окружающую среду и массы футеровки можно достичь за счет установки фасонных огнеупоров в высокотемпературной зоне печи, чем также обеспечивается большая передача тепла обрабатываемому материалу и уменьшение массы печи [3]. На рис. 1 показано конструктивное решение, при котором огнеупорное изделие опирается на корпус с помощью ножки, образованной за счет ячейек. При механических и тепловых нагрузках, которые возникают во время работы, приведенная форма дает возможность лучше сохранить механическую стойкость огнеупорного изделия и обеспечить высокую тепловую эффективность.

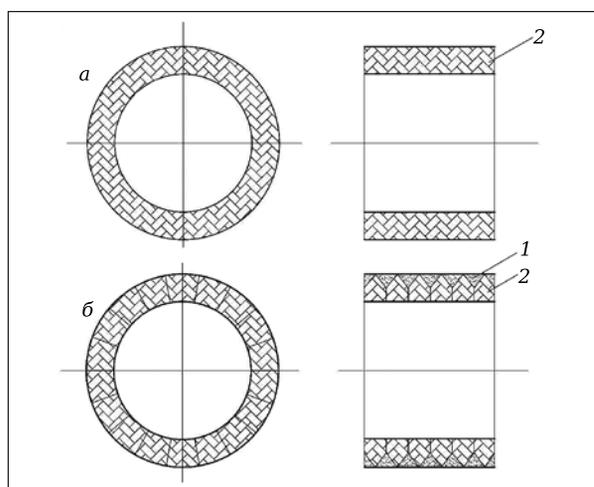


Рис. 1. Конструкции футеровки вращающейся печи: а — используемая конструкция; б — обсуждаемая конструкция: 1 — волокнистый материал; 2 — шамотная футеровка

Для исследования возможностей установки футеровки с фасонным огнеупором различной конфигурации с учетом как теплоизолирующих свойств, так и конструктивной надежности, обусловленной величиной возникающих в огнеупоре термомеханических напряжений, необходимы получение температурных полей и разработка методики расчета температурных полей в огнеупоре. Данные о температурном поле в кладке печи получены на основе математического моделирования:

Для оценки тепловых полей использовали уравнение теплопроводности (1) в декартовой системе координат:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{C\rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{C\rho}. \quad (1)$$

Начальные и граничные условия при решении дифференциального уравнения, принятые для высокотемпературной зоны спекания трубчатой печи [4]:

температура на внутренней поверхности печи 1873 К;

температура воздуха окружающей среды 300 К;

✉
О. В. Титов
E-mail: oleg--titov@mail.ru

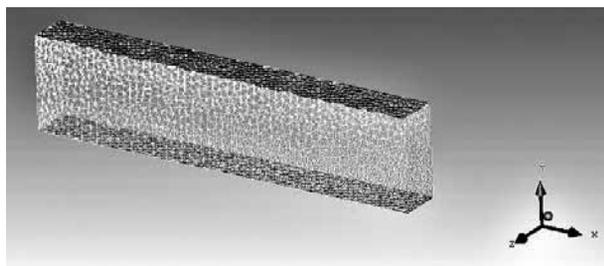


Рис. 2. Сетка конечных элементов для стандартной конструкции футеровки: количество элементов 46672, количество узлов 8153, средний размер элемента 0,02 м

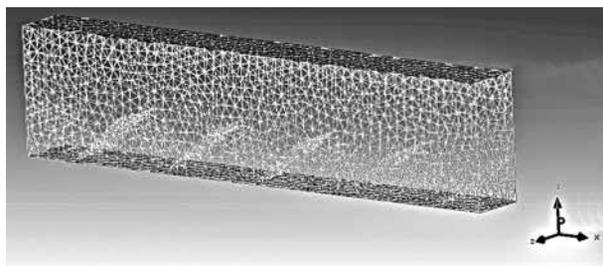


Рис. 3. Сетка конечных элементов для новой конструкции футеровки: количество элементов 47693, количество узлов 8124, средний размер элемента 0,02 м

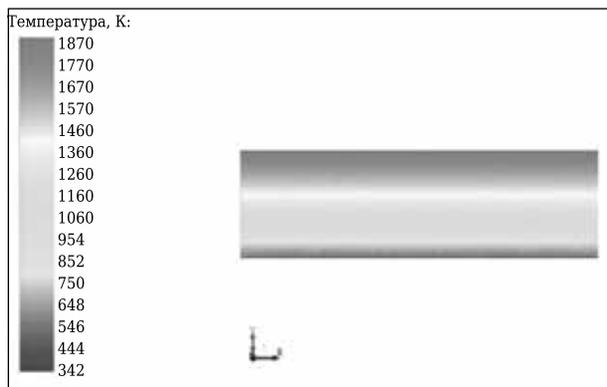


Рис. 4. Температурное поле в стандартной конструкции футеровки вращающейся печи: плотность теплового потока через наружную поверхность 6427 Вт/м²; среднее значение температуры на наружной поверхности 514 К

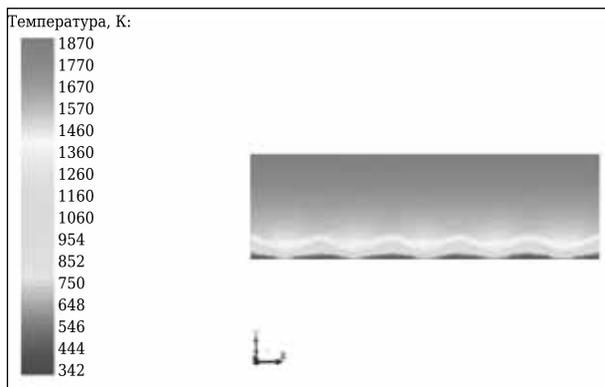


Рис. 5. Температурное поле в новой конструкции футеровки вращающейся печи: плотность теплового потока через наружную поверхность 2671 Вт/м²; среднее значение температуры на наружной поверхности 389 К

теплопроводность шамотных огнеупоров определяется как функция температуры $\lambda_{\text{шам}} = (0,72 + 0,0005t) \cdot 1,16$, где t — температура шамотного огнеупора, °С;

теплопроводность базальтового волокна 0,06 Вт/(м·К);

плотность шамота 1800 кг/м³;

плотность базальтового волокна 200 кг/м³;

коэффициент конвективной теплоотдачи на наружной поверхности печи 30 Вт/(м²·К) [3].

Толщина футеровки принята в соответствии с технологическими требованиями работы вращающихся печей [3].

Дифференциальное уравнение решали посредством программного пакета AnsysFluent с помощью метода конечных элементов. В качестве генератора создания сетки из конечных элементов применяли пакет AnsysICEM. Полученные сетки из конечных элементов представлены на рис. 2 и 3. Количество элементов сетки выбирали в соот-

ветствии с вычислительными требованиями для решения уравнения теплопроводности [5].

На основе уравнения (1) получены температурные поля в футеровке из шамотного огнеупора (рис. 4) и новой конструкции футеровки (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных термограмм можно сделать выводы о новой конструкции футеровки:

- созданием прослойки из базальтового волокна на внешней границе шамотной футеровки достигнуто снижение температуры на 125 К;

- плотность теплового потока через новую конструкцию футеровки в 2,4 раза меньше чем через стандартную шамотную;

- применение новой конструкции футеровки в глиноземном и цементном производстве позволит понизить долю тепловых потерь пропорционально уменьшению величины теплового потока.

Библиографический список

1. **Кривандин, В. А.** Теплотехника металлургического производства. В 2 т. Т. 1 / В. А. Кривандин, В. А. Арутюнов, В. В. Белоусов. — М. : МИСиС, 2002. — 608 с.
2. Теплоизоляция. Материалы. Конструкции. Технологии / под ред. С. М. Кочергиной. — М. : Стройинформ, 2008. — 440 с.
3. **Кутателадзе, С. С.** Теплопередача и гидродинамическое сопротивление / С. С. Кутателадзе. — М. : Госэнергоиздат, 1990. — 367 с.

4. **Пригожин, И.** Современная термодинамика / И. Пригожин, Д. Кондепуди. — М. : Мир, 2002. — 461 с.
5. **Фарлоу, С.** Уравнения с частными производными / С. Фарлоу. — М. : Мир, 1985. — 384 с. ■

Получено 11.03.15

© О. В. Титов, И. И. Белоглазов, 2015 г.