

Закономерности нагрева дисперсных материалов в ротационных печах

Ровин С.Л.¹, Ровин Л.Е.²

¹Белорусский национальный технический университет,

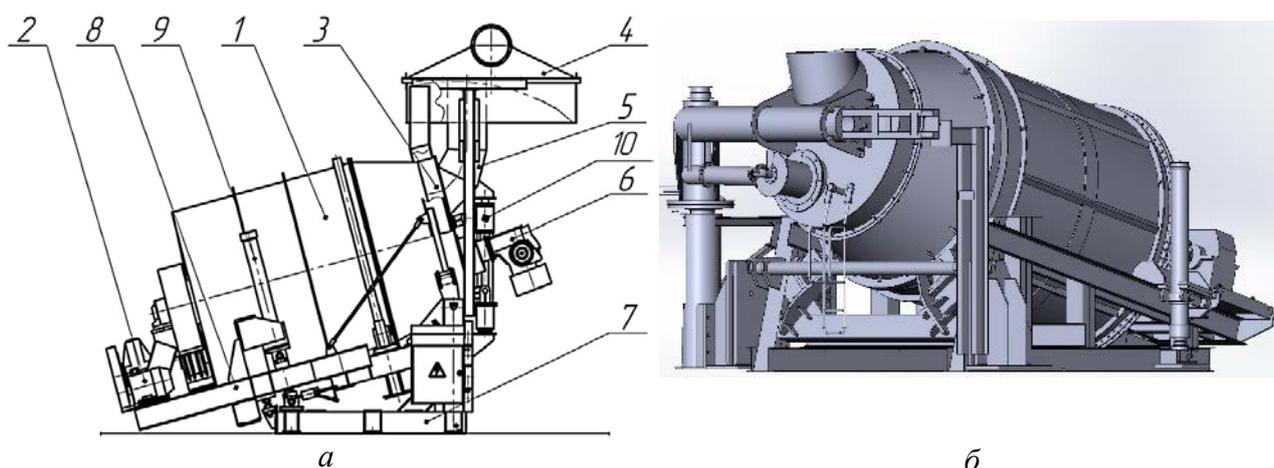
²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого

Ротационные печи – агрегаты с вращающимся корпусом, предназначенные для физико-химической обработки мелкодисперсных, включая полидисперсные, сыпучих материалов получают все более широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства, в том числе металлургии, горнодобывающей и химической промышленности, производстве строительных материалов и др., где они используются для сушки, нагрева, обжига, прокалики и других видов термообработки, процессов твердофазного восстановления, а также плавки металлов и сплавов [1].

Их растущая популярность объясняется высокой интенсивностью и эффективностью процессов тепломассопереноса в динамических продуваемых слоях по сравнению со стационарным неподвижным слоем. Теплопроводность стационарного слоя дисперсного материала сравнима с теплоизоляционными материалами и, как правило, она в десятки раз меньше собственной теплопроводности материала. Так по практическим данным слой чугунной стружки имеет коэффициент теплопроводности на уровне $0,2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, в то время как теплопроводность самого чугуна составляет около $60 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, соответственно и теплопередача в неподвижном слое на два порядка ниже чем в сплошном материале [2]. В тоже время интенсивное перемешивание делает передачу тепла в слое даже эффективнее чем в монолите.

Смешивание частиц в агрегатах с неподвижным корпусом реализуется с помощью скребков, шнеков или катков. При этом энергозатраты значительно выше, а эффективность – ниже, чем при смешивании в динамических слоях ротационных печей.

Наибольшую эффективность тепломассообменных процессов демонстрируют агрегаты с осью вращения, расположенной под углом к горизонту и петлеобразным движением газового потока – ротационные наклоняющиеся печи (РНП). Принциальная схема и общий вид печей такого типа представлены на рисунке 1.



1 – корпус печи; 2 – привод вращения; 3 – крышка; 4 – зонт; 5 – дымоход; 6 – горелка; 7 – рама опорная; 8 – рама поворотная; 9 – привод наклона печи; 10 – опорная стойка и привод поворота крышки

Рисунок 1 – Схема (а) и общий вид (б) ротационной наклоняющейся печи с рабочим положением под углом к горизонту и петлеобразным движением газов.

Исследования, выполненные путем имитационного и компьютерного моделирования с использованием п/п ANSYS и CD-Adapco Star CCM+, позволили не только получить адекватное представление о движении, смешивании и нагреве материалов в рабочем пространстве ротационных наклоняющихся печей, но и дать количественную оценку этим процессам [3].

Было установлено, что материал в РНП совершает сложное возвратно-поступательное винтовое движение, причем скорость вращения слоя материала в 3-5 раз превышает скорость вращения самой печи и меняется, как в пределах поперечного, так и продольного сечения. Движение материала носит пульсационный (перманентно-дискретный) характер, при этом скорости движения частиц в поперечном сечении слоя могут отличаться в десятки даже сотни раз (рис.2). Решающее влияние на движение и перемешивание материала оказывают его адгезионные и аутогезионные свойства, наклон к горизонту и скорость вращения корпуса печи. Интенсивности тепломассообменных процессов в РНП способствует постоянное обновление поверхности слоя (замешивание материала с поверхности в глубину слоя), что обеспечивает выравнивание температуры материала по сечению слоя не более чем за 6-10 оборотов корпуса печи (рис. 3) [4]. Согласно практическим данным объемный коэффициент передачи тепла при нагреве стружки в РНП составляет 2000-2500 Вт/(м³·К), в то время как в стационарном слое камерной печи не превышает 35-40 Вт/(м³·К) [2].

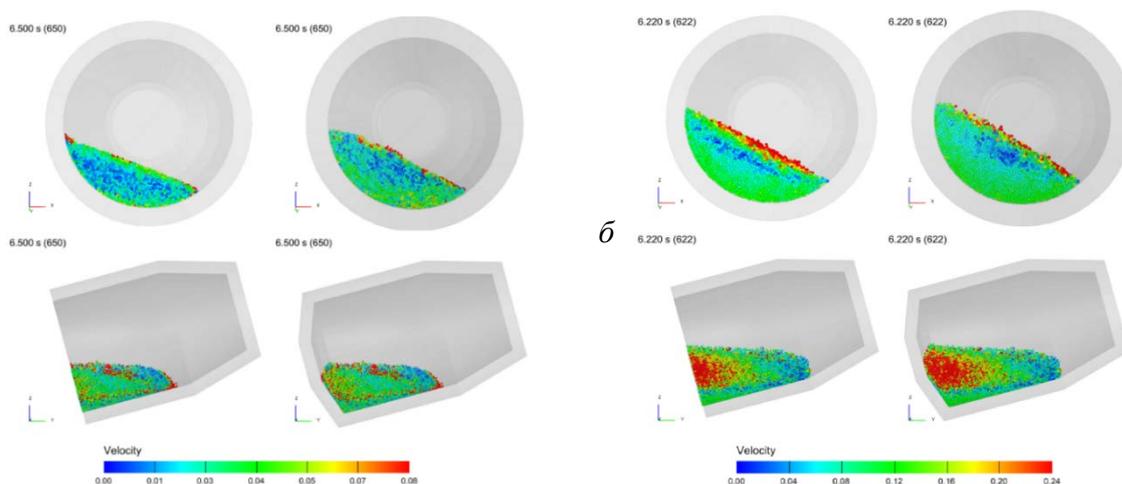
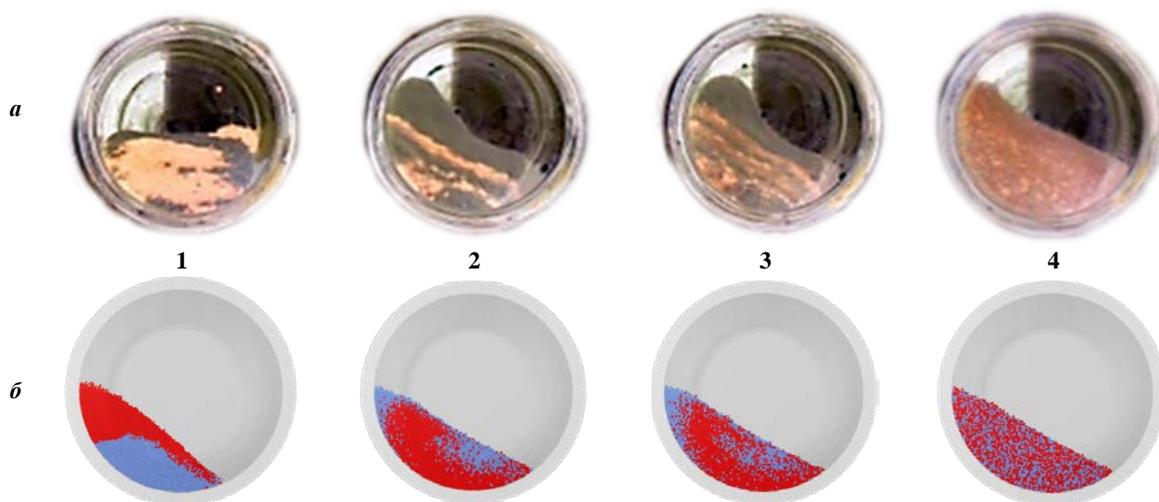


Рисунок 2 – Распределение скоростей дисперсных частиц в слое материала, находящегося в РНП: а – вращение печи со скоростью 5 об/мин, б – вращение печи со скоростью 10 об/мин.



1 – начало вращения; 2 – один оборот корпуса; 3 – 2 оборота; 4 – 6 оборотов

а – имитационное моделирование; б – компьютерное моделирование

Рисунок 3 – Перемешивание материала в РНП.

Низкая плотность и хорошая продуваемость вращающегося слоя материала в РНП, способствуют глубокому проникновению высокоскоростного потока газов-теплоносителей в материал и их интенсивному взаимодействию, что обеспечивает высокую скорость теплообмена между газовым потоком и поверхностью слоя. В совокупности это обеспечивает значительную интенсификацию происходящих в печи процессов теплообмена и массопереноса, благодаря этому тепловой КПД при нагреве и расплавлении дисперсных материалов в РНП достигает 50-55%, что в 2-3 раза превышает КПД традиционных ротационных печей с прямоточным движением газового потока, а также дуговых и индукционных печей при использовании аналогичной шихты [5].

Литература

1. Лисиенко, В.Г. Вращающиеся печи: теплотехника, управление и экология: Справочное издание в 2-х кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплотехник, 2004. – 592 с.
2. Ровин С.Л. Переработка стружки черных металлов / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, Т.М. Заяц, О.М. Валицкая // Литье и металлургия. – 2017. – № 4. – С. 94-101.
3. Sonavane, Y. Numerical analysis of the heat transfer in the wall of rotary kiln using finite element method ANSYS / Y. Sonavane, E. Specht // 7-th International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries: proceedings of the conf., CSIRO, Melbourne, Australia 9-11 December 2009. – P.1–5.
4. Ровин С.Л. Движение и смешивание дисперсных материалов в ротационных печах / С.Л. Ровин, Л.Е. Ровин, В.А. Жаранов, В.С. Мазуров // Литье и металлургия. – 2017. – № 2. – С.117–127.
5. Ровин, С.Л. Рециклинг металлоотходов в ротационных печах / С.Л. Ровин. – Минск: БНТУ, 2015. – 382с.