

## ДВИЖЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОТАЦИОННЫХ НАКЛОНЯЮЩИХСЯ ПЕЧАХ

В. С. Мазуров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель Л. Е. Ровин

Введение. Ротационные наклоняющиеся печи (РНП) – это новый тип топливных вращающихся печей, гибкий, легко управляемый агрегат, обеспечивающий возможность методического режима обработки как по температуре, так и по составу атмосферы печи, что позволяет не только переплавлять шихтовые материалы, но и восстанавливать металлы из оксидов, сульфатов, сульфидов и других соединений (рис. 1).



Рис. 1. РНП для переработки чугуновой стружки

Окислительно-восстановительные процессы при рециклинге оксидов, в том числе окалины, происходят на границе «твердое тело – газ».

Эффективность и интенсивность теплообменных процессов, протекающих в ротационных печах, зависят как от движения газов, так и от движения дисперсных материалов в печи.

Последнее определяется силами межчастичных связей (аутогезии), внутреннего трения в слое, силами адгезии и трения на границе «материал–футеровка», силами инерции и силой тяжести. Кроме того, на верхний слой частиц, особенно при обрушении, действуют аэродинамические силы вращающегося со скоростями до 25 м/с потока газов.

Компьютерное моделирование с помощью универсальных модулей для анализа газодинамики и теплопередачи позволяет получить представление о траектории и распределении неизотермического потока в печи с учетом ее вращения и позиционирования слоя материала. Движение потока описывается при этом с помощью систем уравнений Навье–Стокса для реальных неизотермических потоков, неразрывности, энергии, изменения температуры по уравнению Фурье–Кирхгофа.

Движение дисперсного материала в печах такого типа практически не исследовано.

Цель исследования: выявление характера движения дисперсных материалов в РНП, определение характеристик движения частиц и слоя в целом.

Для решения поставленной задачи были проведены исследования на имитационных моделях и с помощью компьютерного моделирования.

Исследования показали, что окружная скорость «вращения» материала в ротационных печах значительно выше, чем скорость вращения корпуса печи. Это превышение зависит от относительного объема загрузки или сегмента окружности, занимаемого материалом. Чем ближе материал находится к горловине РНП, имеющей рабочее положение под углом к горизонту, тем меньший сегмент окружности он занимает и тем быстрее вращается (больше оборотов совершает за 1 оборот печи).

В отличие от печей с горизонтальной осью происходит не только циркуляция материала в сечении, перпендикулярном оси вращения печи, но и возвратно-поступательное движение в продольном направлении. В перпендикулярном сечении слоя образуется так называемый «чечевицеобразный» профиль (рис. 2), характерный для барабанных печей.



Рис. 2. Положение материала при вращении (слева – высокотемпературный нагрев стружки в промышленной РНП; справа – имитационная модель)

Кроме того, частицы материала совершают сложное винтовое возвратно-поступательное движение. В циркуляционную зону постоянно вовлекается материал, находящийся в более спокойном ядре слоя (в так называемой скользящей зоне). В результате происходит интенсивное перемешивание материала (рис. 3).

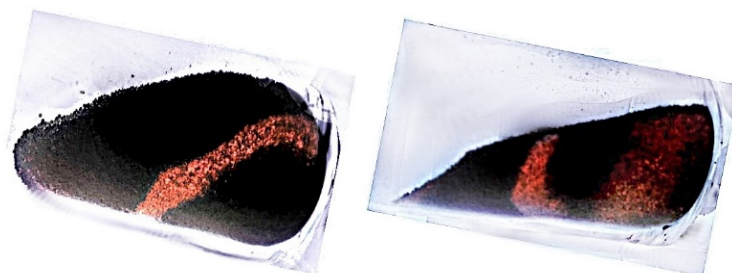


Рис. 3. Перемещение нагретого слоя в РНП за 1 и 3 оборота печи

Для получения количественной оценки параметров движения проведено компьютерное моделирование (рис. 4). Для этой цели использовался ППП CD-Adapco Star CCM+ 11. Фрагменты движения материала представлены в скалярной форме, функцией скалярного поля является линейная скорость частиц.

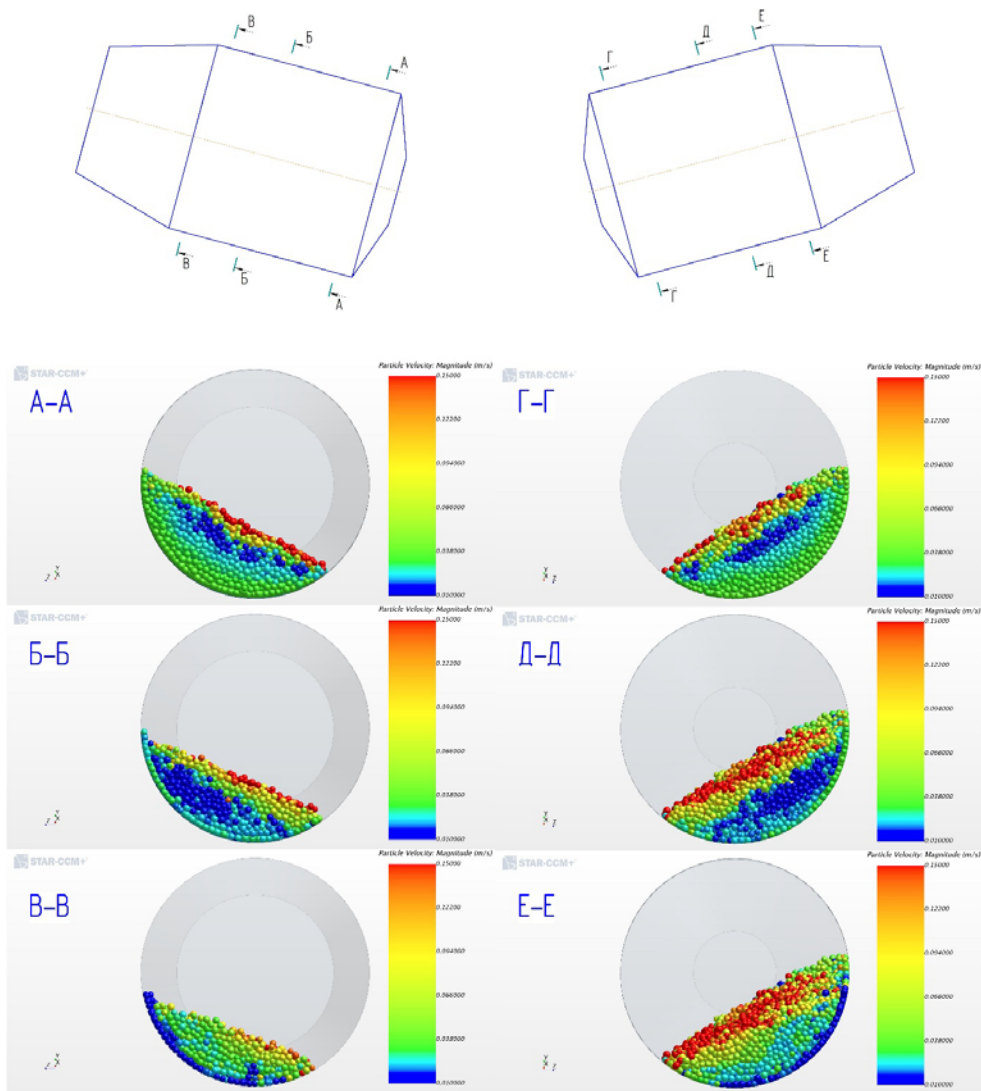


Рис. 4. Движение дисперсных материалов в РНП по сечениям (А-А–В-В – вид со стороны дна печи; Г-Г–Е-Е – вид со стороны загрузочного торца печи). Вращение печи – по часовой стрелке

Полученные данные были апробированы в промышленных условиях. Печь емкостью 2–4 т при обработке чугушной стружки обеспечила нагрев до температуры 820 °С за 15 мин при расходе природного газа 12 м<sup>3</sup>/т и термическом КПД 49–51 %, что значительно выше, чем у других нагревательных печей, работающих с дисперсными материалами.

Таким образом, впервые выполнено комплексное исследование движения дисперсного материала в ротационных наклоняющихся печах (РНП). Материал в РНП совершает сложное винтовое возвратно-поступательное движение. Установлено, что движение слоя дисперсного материала происходит с окружной скоростью, превышающей скорость вращения печи более чем в 3 раза. Все это приводит к интенсивному конвективному теплопереносу. Полученные данные позволили повысить эффективность работы печей данного типа.