

упростить, моделируя движение только внешних стенок расплава. При этом формы изгибов и скручивание струи реализуются с помощью сплайнов, создавая каркас модели струи расплава, а сама вязкая жидкость с помощью метода гидродинамики сглаженных частиц.

Задача моделирования движения жидкости решается с помощью аффинных преобразований вращения и сдвига с соответствующими матрицами.

Входными данными для модели являются: температура расплава, диаметр трубы и периодичность механических воздействий на струю расплава. Выходными — скорость движения струи и объём расплава.

Список литературы

1. Загузов И.С., Поляков К.А. Математическое моделирование течений вязкой жидкости вблизи твердых поверхностей. Самара: Изд-во Самарского университета. URL: <http://window.edu.ru/window/library?p rid=46882> (дата обращения: 08.09.2010).
2. Коноплёв В.А. Алгебраические методы в механике Галилея. — СПб.: Наука, 1999. — 288 с.
3. Моделирование жидкости с использованием GPU. URL: <http://www.uraldev.ru/articles/id/29> (дата обращения: 08.09.2010).
4. Тонков Л.Е. Численное моделирование динамики капли вязкой жидкости методом функции уровня: сб. науч. тр. // Вестник удмуртского университета. — 2010. — №3. — С.134-140.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ТВЕРДОФАЗНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ЗОНЕ ПЕЧИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Крафт Л.Н., Тимофеева А.С.,
Чичварин А.В.

*Старооскольский
технологический институт,
Старый Оскол, Россия*

Было проведено исследование по выявлению механизмов взаимодействия компонентов, огнеупорных материалов шахтной печи металлизации и загружаемого сырья (окаатыши) при температуре до 900°C и давлении 4 атм. В ходе исследований было установлено, что взаимодействие указанных компонентов имеет сложный многоступенчатый механизм.

При температурах от 500°C возможен переход компонентов огнеупорного кирпича в каолиниты определенного состава [1]. Взаимодействие компонентов прежде всего проявляется в приповерхностных слоях. Термические эффекты, сопровождающие реакцию, можно интерпретировать следующим образом: при температуре около 500°C происходят эндотермическая реакция дегидратации каолинита и образование метакаолинита (состава $2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$); при температуре около 900°C слои метакаолинита сжимаются и образуют фазу шпинельного типа, имеющую приблизительный состав $2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$, с выделением кремнезема. Однако авторы [2] считают моментом появления муллитоподобной фазы считают 950°C. Таким образом наиболее вероятен переход сопровождающийся образование метакаолинита.

Таким образом, остаток приповерхностных слоев огнеупорного кирпича после длительной термической обработки представляет собой сложную смесь минеральных составляющих ограниченных друг от друга поверхностями раздела метакаолинитной и частично муллитоподобной фазы и оставшимися магний, кальций, железо и кремний содержащими компонентами.

Магний, кальций, железо и кремний содержащими компоненты футеровки представляют собой исходные компоненты асбестоподобных амфиболов [1]. При температуре свыше 700°C и давлении более 1,5 атм. возможна твердофазная реакция взаимодействия этих компонентов, приводящая к образованию амфиболов приблизительного состава $KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ и $K_2FeMg_6[Fe_2Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$ соответствующих структуре природных аналогов — флогопита и железистого флогопита [3]. Подобные твердофазные переходы осуществимы только после продолжительной изотермической выдержки. Формирование железистого флогопита $K_2FeMg_6[Fe_2Al_2Si_6O_{20}](OH)_4$ обусловлено включением металлической фазы, присутствующей в высокодисперсном состоянии в молекулах флогопита и приводящей к растворению железа с образованием комплексов с катионами кальция и магния [1].

Параллельно рассмотренным, в алюмосиликатных компонентах футеровки, представляющих высокоглиноземистые структуры, при температуре 600-900°C происходит образование γ -модификации Al_2O_3 , которая при нагревании до 900°C переходит в α -форму, а в интервале 900-1100°C трансформация глинозема приводит к значительному уплотнению его структуры, вызванной внутримолекулярной перегрупп-

пировкой кристаллической решетки. Кроме этого указанный переход характерен для многих соединений алюминия.

Компоненты рассматриваемой системы, представленные соединениями магния при прокаливании до 1000°C способны к переходу в окись магния MgO, находящуюся в аморфном состоянии и трансформирующуюся в кристаллическое состояние по достижении температуры 900-1000°C [4].

Наибольшее количество химических форм характерных для рассматриваемых условий характерно для кальция, что связано с чрезвычайным разнообразием его природных форм, особенно относящихся к классу алюмосиликатов: волластонит $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$, диопсид $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, геденбергит $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, эпидот $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3(\text{OH})(\text{SiO}_4)_3$, монтичеллит $\text{CaMg}(\text{SiO}_4)$, анортит $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{SiO}_8)$, плагиоклаз $(\text{Ca}, \text{Al}, \text{Na}, \text{Si})\text{AlSi}_2\text{O}_8$, актинолит $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5(\text{OH}, \text{F})(\text{Si}_8\text{O}_{22})$, микролин $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Ti})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F}, \text{O})$, аксинит $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{15}(\text{OH})$, везувиан $\text{Ca}_{10}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)_6$, известковый глинистый гранат $\text{Ca}_3(\text{Al}, \text{Fe})_n\text{Si}_3\text{O}_{12}$, андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ [4, 5]. Реакционная способность и пространственная ориентация кристаллических и аморфных форм подобных соединений кальция, а также алюминия, магния и железа, определяется, прежде всего, индивидуальными характеристиками конкретного соединения. Наиболее склонны к такому превращению пироксены, трансформирующиеся по твердофазному механизму в амфиболы, в частности в железистый флогопит по схеме: пироксены $\xrightarrow{900^\circ\text{C}}$ амфиболоподобные формы $\xrightarrow{500-700^\circ\text{C}}$ железистый флогопит $\xrightarrow{1100^\circ\text{C}}$ слоистые формы — настыль.

В основе этого процесса лежит природа амфиболов, которые относятся к силикатам цепочечного структурного типа и кристаллизуются в моноклинной и ромбической сингониях. Чаще всего химический состав амфиболов выражается формулой $\text{X}_{2-3}\text{Y}_5[\text{Z}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$, где X — катионы (по Гольдшмидту /1, 24/): Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Li^+ ; Y — катионы: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , Ti^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} ; Z — чаще всего это Si^{4+} , частично замещенный Al^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} ; в природных амфиболах группа (OH) может изоморфно замещаться на F^- , Cl^- , O^{2-} . Структуру амфиболов составляют сдвоенные цепи (ленты) кремнекислородных тетраэдров состава $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6+}$. Цепи связаны между собой катионами в октаэдрическом окружении кислорода, гидроксила или фтора. Такая структура дает разнообразие изоморфных замещений. Доминирующей при про-

цессах изоморфизма является катионная группа X (из кристаллохимической формулы); при этом амфиболы делятся на три группы: а) бескальциевые или магниевые, с преобладанием катионов магния в группе X; б) кальциевые или кальций-железистые с преобладанием ионов кальция; в) щелочные и кальциево-натровые, когда катионы X представлены в основном натрием. При температурах от 500 до 900°C наиболее вероятно трансформация амфиболов типа (б), соответствующих теоретическим формулам $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$, $\text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2^{2+}[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$, $\text{Na}_3(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}^{2+})_4(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}^{3+})[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH}, \text{F})_2$, $\text{CaMg}_2[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_4$ [6, 7].

Список литературы

1. Синтез минералов. — М.: Недра, 1987.
2. Грум-Гржимайло О.С. Муллит в керамических материалах // Труды НИИ Стройкерамика. — 1975. — вып. 4а. — С. 79-116.
3. Фторфлогопит и материалы на его основе. — М. Недра, 1984
4. Тихонов В.Н. Аналитическая химия магния. — М.: Наука, 1975
5. Фурмина Н.С., Кручкова Е.С., Муштакова С.И. Аналитическая химия кальция. — М.: Наука, 1974
6. Либау Ф. Структурная химия силикатов, пер. с англ. — М., 1988.
7. Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов.

ОЦЕНКА ОПЕРАТОРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВЕРМИКУЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Прошкин А.В.¹, Набиулин А.Б.², Федоров В.А.³, Калиновская Т.Г.²

¹ ООО «РУСАЛ ИТЦ»,
г. Красноярск, Россия,

² ФГАОУ ВПО Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

³ ГОУ ВПО Сибирский государственный аэрокосмический университет,
г. Красноярск, Россия

Проведение расчетов теплового и напряженно-деформированного состояния электролизеров требует знания динамики изменения свойств теплоизоляционных и огнеупор-