

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА КАРБИДА КРЕМНИЯ В ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Карбид кремния является одним из важнейших искусственных неорганических материалов, который широко используется для производства абразивных инструментов, высокотемпературных нагревателей, огнеупорной керамики и в металлургии. Большую часть производимого мировой промышленностью карбида кремния получают способом, предложенным Ачесоном в конце позапрошлого века [1]. Сущность способа заключается в углеродотермическом восстановлении кремнезема за счет джоулевого тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через керн печи.

Процесс производства SiC очень трудоемок и требует больших энергетических затрат составляющих 7300–7600 кВт·ч/т. По данным [2], доля электрической энергии в структуре себестоимости карбида кремния абразивного качества составляет 50–60 %, при загрузке шихтовых материалов 60–70 т, выход товарной продукции составляет 10,5–11,5 т (15–19 %). Поэтому обеспечение максимального выхода продукта при рациональном расходе электрической энергии является важной производственной задачей. Основным критерием управления энергетическим режимом является характеристика шихтовых материалов и вид получаемого карбида кремния. Для разработки рациональных технологических режимов производства SiC по методу Ачесона требуется информация о процессах формирования теплового поля печей и параметрах инициируемых этим полем химических реакций, поэтому целесообразно для получения информации об этих процессах использовать математическое моделирование.

С точки зрения математического моделирования, печь Ачесона является сложным энерготехнологическим и теплофизическим объектом. В процессе получения карбида кремния основным источником тепла является электрическая энергия. Электропитание печи осуществляется от однофазного трансформатора. Тепловой поток, образовавшийся в керне, распространяется из внутренних зон печи от керна во внешние зоны. За счет прогрева реакционной шихты процесс карбидообразования начинается в прикерновом слое, а затем распространяется на смежные зоны. Печь

работает в неустановившемся тепловом режиме, в результате чего тепловые потери непостоянны и увеличиваются со временем. Температурные условия печи определяют процесс образования карбида кремния, а тепловые потери являются критерием правильности выбора длительности компании.

Таким образом, на динамику теплового состояния ванны печи оказывают влияние следующие факторы: энергия, выделяемая на керне печи, затраты энергии вследствие эндотермических реакций, наличия значительного количества отходящих газов, теплопередачи в окружающую среду. С учетом расположения керна по всей длине печи принято допущение о равномерном выделении энергии с поверхности керна. При оценке динамики теплового состояния футеровки печи считали, что тепловые потоки направлены только в осевом направлении. Поэтому в данной статье рассматривается двухмерная модель теплопередачи в объеме печи и одномерная модель теплопередачи в шамотной футеровке через днище и боковые стенки. При этом для границы керна пространство печи принимаются граничные условия 2-го рода, а на границах рабочей зоны печи и футеровки – 4-го рода. Для границ верхняя поверхность рабочей зоны печи – окружающая среда и футеровка – окружающая среда принимали граничные условия 3-го рода [3].

Расчеты динамики теплового состояния реакционной зоны печи выполнялись методом конечных разностей с использованием ПЭВМ. Результаты моделирования представлены на рис. 1.

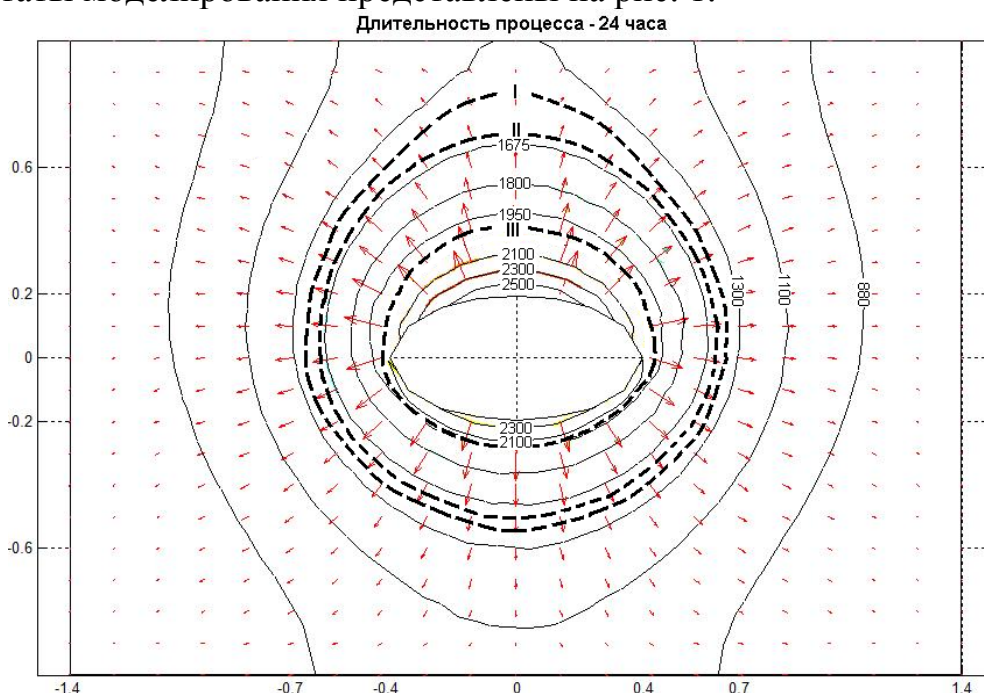


Рис. 1. Распределение температурного поля по сечению реакционной зоны печи Ачесона по истечении 24 часов нагрева: зона I – область образования промежуточных продуктов реакции восстановления кремнезема углеродом (силоксикон и сrostки – 40–60 % SiC); зона II – зона аморфа, кристаллы β – SiC (70–85 % SiC); зона III – крупнокристаллический абразивный α – SiC (92–98 % SiC)

Зональное развитие восстановительных процессов обуславливает образование, кроме карбида кремния, промежуточных продуктов восстановительных реакций [3]:

1. Зона I – область образования промежуточных продуктов реакции восстановления кремнезема углеродом. Представлена силоксиконем и сrostками, содержащих 40–60 % SiC;
2. Зона II – зона аморфа, представленная кристаллами β – SiC (70–85 % SiC);
3. Зона III – крупнокристаллический абразивный α – SiC (92–98 % SiC).

По результатам моделирования определены размеры зон образовавшихся продуктов углеродотермического восстановления кремнезема за счет тепла, выделяющегося при пропускании электрического тока через kern печи, обозначен температурный фронт протекания восстановительных реакций. Установлено, что зона силоксикона и сrostков (I) имеет толщину в нижних и боковых частях 60 мм, а в верхней части – 190 мм. Зона аморфа (II), представленная кристаллами β – SiC имеет размеры соответственно 250 мм и 340 мм. Область крупнотоварного карбида кремния (III) в нижней и боковой части имеет незначительную толщину – 120 мм, а в верхней части – до 300 мм. Несимметричность зон вызвана наличием восходящих потоков разогретых газов, прогревающих верхние горизонты шихтовой загрузки. Полученные размеры зон соответствуют данным промышленных плавов.

Список использованных источников

1. *Boecker W.D.* Silicon Carbide: From Acheson Invention to New Industrial Products // Paper Fachberichte. 1997. № 5. P. 244–251.
2. *Порада А.Н., Гасик М.И.* Электротермия неорганических материалов. М.: Металлургия, 1990. 232 с.
3. *Деревянко И.В., Жаданос А.В.* Математическое моделирование теплоэнергетических процессов производства карбида кремния в печи Ачесона // Металлургическая и горнорудная промышленность: науч.-техн. и производ. журнал. Днепропетровск: ООО «Укрметаллургинформ “НТА”», 2010. № 5. С. 29–32.