

УДК 544.421.42

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ В УСЛОВИЯХ ПРОЦЕССА АЧЕСОНА

В. Б. ЩЕРБАКОВА

Научный руководитель П. С. ГРИНЧУК, д-р физ.-мат. наук,

чл.-корр. НАН Беларуси

Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Введение. Синтез карбида кремния методом Ачесона является неизотермическим неравновесным процессом. Вследствие того, что в качестве исходного кремнийсодержащего вещества в промышленном процессе используется кварцевый песок, значительный интерес представляет физикохимия удаления примесных веществ (оксидов алюминия, магния, кальция и железа). Кинетические параметры карботермического восстановления зависят от множества факторов (в том числе размера частиц и давления), что затрудняет математическое моделирование таких систем. При этом большинство экспериментов в литературе проводят при пониженном давлении, т. к. это смещает температуру процесса в меньшую сторону. Однако особенностью процесса Ачесона является его длительность, атмосферное давление и высокие (до 2500 °С) температуры. Из [1] известна зависимость температуры от времени в разных точках печи Ачесона, что позволяет описать зависимость степени превращения оксида магния от времени, расстояния до центра печи и размера частиц, а также оценить возможность использования литературных данных, полученных при низком давлении.

Материалы и методы. В работе с помощью математического моделирования, исходя из литературных данных о формальной кинетике (предэкспоненциальном множителе в уравнении Аррениуса и энергии активации [2–5]), в различных условиях определена зависимость степени превращения от времени и расстояния до центра ядра печи Ачесона.

Результаты и обсуждение. Показано, что карботермическое восстановление оксида магния протекает на расстоянии до 45 см от ядра (рис. 1, а). При этом на границе с нагревателем степень превращения достигает 100 % через 12...14 ч после начала нагрева.

Установлено, что повышение давления снижает содержание металлического магния на начальных этапах процесса, однако впоследствии разница нивелируется (рис. 1, б). Аналогично, влияние скорости реакции наибольшее при $\chi < 80\%$ (рис. 1, в). Увеличение размера частиц оксида магния в 2 раза приводит к замедлению процесса его карботермического восстановления, однако различия становятся малыми при высоких степенях превращения.

Выводы. Все вышесказанное свидетельствует о том, что при высоких температурах определяющим является состав равновесной смеси, который определяется методами термодинамического моделирования. Кинетические

факторы, заметные на начальной стадии, с повышением температуры и увеличением длительности процесса Ачесона перестают оказывать определяющее влияние. Влияние давления на кинетику реакции является заметным, однако несоизмеримым с его влиянием на состав равновесной смеси.

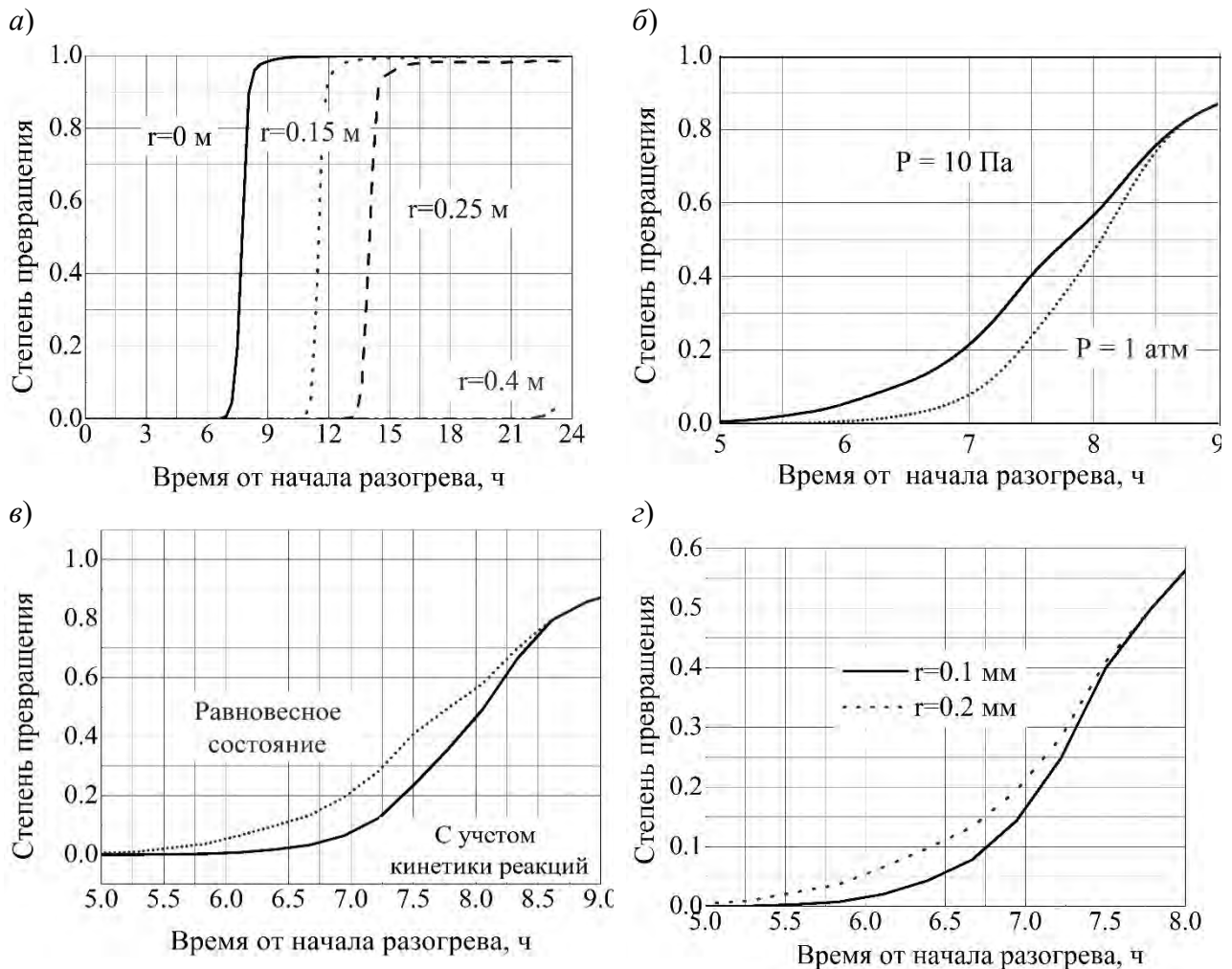


Рис. 1. Зависимость степени превращения оксида магния от времени: а – $P = 1$ атм, $r_{\text{Mg}} = 0,1$ мм; б – $r_{\text{Mg}} = 0,1$ мм, $r = 0$ м; в – оценка влияния кинетики процесса на состав реакционной смеси; з – $P = 100$ кПа, $r = 0$ м

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство абразивных материалов / А. С. Полубелова [и др.]. – Ленинград: Машиностроение, 1968. – 180 с.
2. Pressure dependent kinetics of magnesium oxide carbothermal reduction / B. A. Chubukov [et al.] // *Thermochim. Acta*. – 2016. – Vol. 636. – P. 23–32.
3. **Hong, L.** Kinetics of carbothermic reduction of magnesia and zinc oxide by thermogravimetric analysis technique / L. Hong, H. Y. Sohn, M. Sano // *Scand. J. Metall.* – 2003. – Vol. 32, № 3. – P. 171–176.
4. Study of carbothermic reduction of magnesia in vacuum / Q. C. Yu [et al.] // *Chin J Vac. Sci Technol.* – 2009. – Vol. 29, № 5. – P. 68.
5. **Prentice, L.** Mechanism and kinetics of reduction of magnesium oxide with carbon / L. Prentice, M. Nagle // *Magnes. Technol.* – 2009. – P. 35–39.