

УДК 669.046.5:681.5

## ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЛАВКИ

Е.Л. Корзун, Р.В. Синяков, А.Г. Пономаренко  
Донецкий национальный технический университет

*На основі досвіду розробки й впровадження АСУТП сталеплавильних агрегатів показаний ряд проблем і обговорені шляхи їхнього рішення. Зокрема, звернена увага на недостатню точність прогнозу поточного складу металу, імовірні причини й можливості їхнього усунення.*

Основанием всякой АСУ, как известно, является математическая модель управляемого объекта, удовлетворяющая определённым требованиям точности, общности и простоты. Модель процессов выплавки и внепечной обработки жидкого металла, в общем случае, должна представлять собой математическое описание совокупности взаимосвязанных физико-химических процессов, протекающих в многокомпонентной гетерогенной системе металл – шлак – газ. Детерминированным «скелетом» такой модели, обеспечивающим её универсальность, должны служить общие законы термодинамики и кинетики металлургических процессов, опирающиеся на надёжные базы соответствующих констант, такие например, как ИВТАНТЕРМО.

Исходным пунктом всех математических построений в химической термодинамике и кинетике является написание стехиометрических реакций и выражений для соответствующих констант закона действующих масс (ЗДМ), – констант скорости или равновесия. Однако, при практической реализации такого подхода при моделировании высокотемпературных систем, включающих конденсированные фазы, именно константы реакций оказываются «ахиллесовой пятой» математической модели.

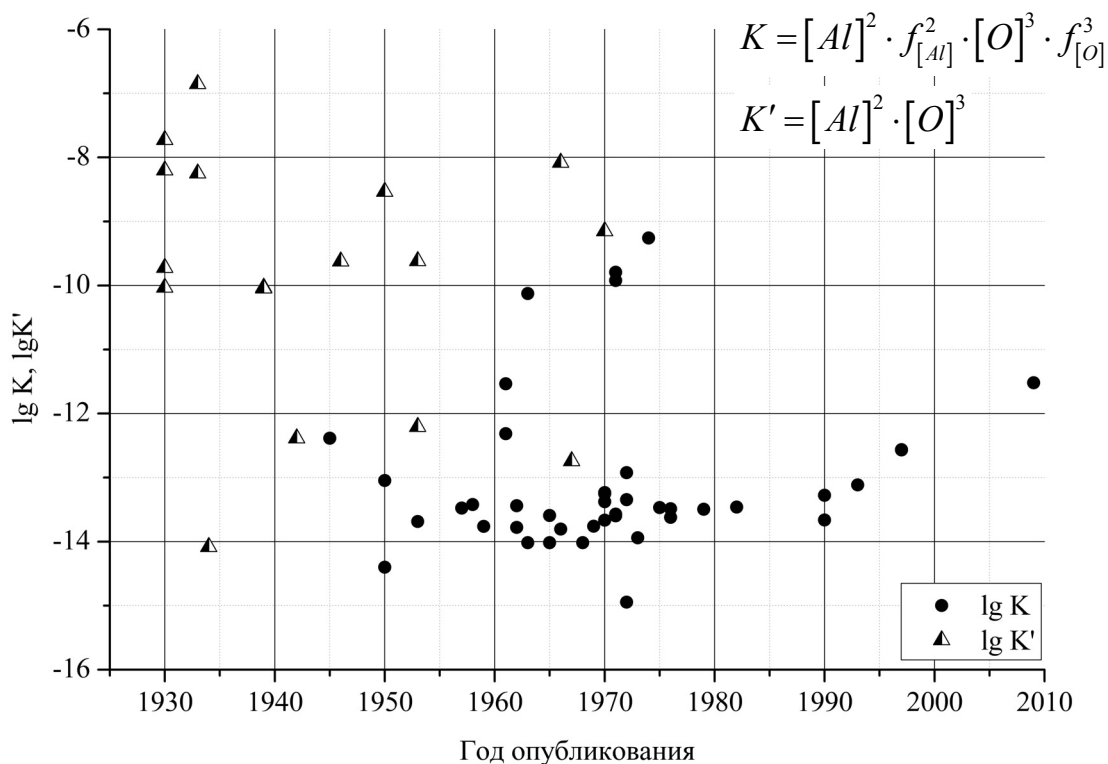
Скорости собственно химического акта реакций в расплавах при температурах сталеварения, по имеющимся оценкам столь велики, что они вряд ли могут оказывать заметное тормозящее влияние на общий ход процесса. С большой долей уверенности можно говорить, что скорость химических процессов в металлургических расплавах, определяется

лишь скоростью поступления реагентов (в частности кислорода) извне и интенсивностью конвективного движения жидкой ванны.

Для гомогенных реакций в газах и низкотемпературных жидких растворах молекулярных веществ (существующих до ~1000К) законы стехиометрии, а, следовательно, и закон действующих масс, должны выполняться с высокой точностью. Напротив – высокотемпературный конденсат (металл, шлак и др.) всегда в той или иной мере нестехиометричен, поэтому применение ЗДМ при термодинамических расчётах равновесий в жидкой ванне теряет твёрдое основание. Это может служить одной из причин того, что численные значения констант для одной и той же реакции, рекомендуемые различными авторами (см. напр.[1]), часто расходятся по порядку величины, а их температурные коэффициенты различаются даже по знаку.

Модель, способная вести технологический процесс в автоматическом режиме, должна удовлетворять весьма жёстким требованиям. В частности, погрешность прогноза текущего состава металла, не должна превышать  $\pm 20\%$  отн., (это приблизительно соответствует «вилке» марочного состава сталей простейшего сортамента). При моделировании металлургической плавки указанной точности удастся достигать лишь путём систематического повторения процедуры адаптации констант к текущим условиям производства. Однако эта процедура резко снижает прогностическую способность модели и совершенно неприемлема при решении оптимизационных задач.

Наиболее значительна неопределённость термодинамических констант для активных элементов, в частности, раскислителей. Известно [2, 3], что для одной из наиболее важных для сталеварения реакций – раскисления металла алюминием  $(Al_2O_3) = 2[Al] + 3[O]$  разброс рекомендуемых значений константы превышает пять порядков величины, что приводит к совершенно неприемлемой погрешности в расчётных концентрациях. На рис. 1 приведены значения констант этой реакции, отнесённые к годам их публикации. Поскольку конечные концентрации алюминия и кислорода при раскислении стали достаточно малы, и коэффициенты активности должны оставаться постоянными, многие авторы включают их в состав константы:  $K' = [Al]^2 \cdot [O]^3$ .



**Рис. 1. Значения константы равновесия реакции раскисления железа алюминием при 1873К.**

Другие авторы приводят константы в «чистом» виде, что усиливает кажущееся рассеяние, однако и при учете этого обстоятельства оно остаётся непомерно большим.

Таким образом, проблема констант химического равновесия в конденсированных фазах носит общий характер и очевидно связана с жёстким требованием стехиометрических пропорций между реагентами. Метод Гиббса, определяющий условие равновесия через интенсивные переменные – температуру, давление и химические потенциалы компонентов, указывает более общий путь описания равновесий, не ограниченный требованиями стехиометрии.

### Выводы

Высокая надёжность, практически неограниченная память и быстродействие современной вычислительной техники открыли возможности для построения высокоэффективных систем оптимального

управления сложными физико-химическими процессами металлургической технологии.

Математической основой построения моделей для таких систем должен служить аппарат термодинамики, обеспеченный обширной базой фундаментальных констант. Опыт применения таких моделей позволил сформулировать требования к точности констант, и расчётных формул.

При описании равновесий в гетерогенной системе металл-шлак-газ вместо стехиометрических реакций и ЗДМ предлагается исходить непосредственно из условия равенства химических потенциалов компонентов в сосуществующих фазах (метод Гиббса).

#### **Библиографический список**

1. Кньюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. Часть 1. Термодинамические и кинетические закономерности / Г. Кньюппель; пер. с нем. Г.Н. Еланского – М.: Металлургия, 1973. – 312с.
2. Михайлов Г.Г. Термодинамические принципы оптимизации процессов раскисления стали и модифицирования неметаллических включений. Т.1: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.02, 02.00.04 / Михайлов Геннадий Геннадиевич; Челяб. политех. ин-т. – Челябинск, 1985. – 482с.
3. Ицкович Г.М. Раскисление и модифицирование неметаллических включений / Г.М. Ицкович – М.: Металлургия, 1981. – 296с.