

КИНЕТИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ АГРЕГАТАХ

С.А. Храпко

Донецкий государственный технический университет
г. Донецк, Украина

Термодинамика и кинетика взаимодействия металла и шлака в сталеплавильных агрегатах изучались большим количеством исследователей. Значительное количество работ посвящено анализу перехода химических элементов через межфазную границу и собственно, кинетике элементарного акта химической реакции.

В настоящее время большинство исследователей пришли к выводу, что процессы взаимодействия в пограничном слое и на межфазной границе не являются лимитирующей стадией окисления примесей в промышленных агрегатах. Считается, что основное «торможение» перехода системы из начального состояния в равновесное (при отсутствии внешних воздействий) связано с доставкой компонентов из циркуляционного объема на границу раздела металл-шлак.

Математическое описание обычно построено на классических уравнениях молекулярной диффузии. Движущей силой потока компонента из одной фазы в другую принимается разность текущей и равновесной концентраций (или активностей). В качестве коэффициента пропорциональности коэффициент молекулярной диффузии заменяется «эффективным» коэффициентом диффузии (или коэффициент «турбулентной» диффузии). Получаемые в результате одно- и двумерные системы дифференциальных уравнений имеют высокую вычислительную сложность при попытках реализовать эти модели для описания реальных процессов.

Одним из перспективных подходов при описании кинетики процессов взаимодействия фаз состоит в использовании термодинамических моделей расчета равновесного состава системы металл-шлак-газ. В этом случае расчет сводится к следующему: принимается, что поверхностные слои металла и шлака находятся в равновесии. За счет конвективных потоков в объемах фаз через некоторое время эти поверхностные слои заменяются новыми порциями металла и шлака, между которыми снова рассчитывается равновесие. Выводимые поверхностные слои поступают в основные объемы металла и шлака, где усредняются, после чего весь расчет повторяется.

Скорости обновления поверхностных слоев металла и шлака характеризуются соответствующими постоянными времени T_{Me} и $T_{Шл}$. Аналитическое решение задачи расчета траектории перехода системы в равновесное состояние при $T_{Me} = T_{Шл}$ дает классические экспоненциальные зависимости приближения системы к равновесию, как и диффузионные модели. Интересно, что такое экспоненциальное поведение состава металла и шлака наблюдается только при $T_{Me} = T_{Шл}$,

в противном случае возможен временный «переход» содержания некоторых элементов через равновесное состояние.

Вообще говоря, используемые в кинетике коэффициенты «турбулентной диффузии» – это и есть попытка учесть глобальный массоперенос в рамках классических диффузионных уравнений. Однако отличная от диффузии природа рассматриваемых явлений приводит в некоторых случаях к совершенно иным зависимостям. В диффузионных уравнениях невозможен переход через равновесное состояние, т.к. у химических элементов нет «инерции» – при достижении равновесной концентрации происходит исчезновение движущей силы. Кроме того, при индивидуальной диффузии не может быть взаимного влияния компонентов и их потоков друг на друга.

Для численной проверки указанного положения был проведен расчет траектории перехода системы в равновесное состояние при следующих исходных данных: раскисленный металл с высоким содержанием кремния и марганца взаимодействовал с окисленным шлаком с высоким содержанием оксида марганца. В результате в начальный период времени ($\approx 0.5T_{\text{шл}}$ при $T_{Me} = 0$) содержание марганца увеличивалось, несмотря на то, что равновесное содержание марганца в рассматриваемой системе было ниже исходного содержания в металле.

Несмотря на кажущееся противоречие, такое «антиравновесное» поведение марганца легко объясняется высоким содержанием кремния в металле в этот же интервал времени: пока содержание кремния не снизилось до равновесных значений, идет восстановление марганца и фосфора из шлака. После выгорания кремния процесс перехода марганца и фосфора обращается – происходит их снижение до равновесных значений. Таким образом, возникает эффект взаимодействия потоков.

В настоящее время разработанная модель используется в системе прогноза химического состава металла и шлака и системе автоматического управления ходом технологического процесса выплавки стали в ДСП и показала высокую точность, достаточную для выпуска металла из печи без взятия пробы.