

УДК 669.2 + 544

## **ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ, ВКЛЮЧАЮЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ РАСПЛАВЫ**

*Е.А. Трофимов*

Получила развитие система термодинамического анализа процессов с участием жидкого металла, позволяющая корректно описывать явления, протекающие в ходе процессов взаимодействия металлических расплавов сложного состава и равновесных сложных (неметаллических и интерметаллических) фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях.

Ключевые слова: фазовые диаграммы; термодинамическое моделирование; поверхности растворимости компонентов в металле.

Реализация большого числа технологий связана с протеканием различных гетерогенных процессов с участием металлических расплавов. При этом, несмотря на важность информации по термодинамике взаимодействия компонентов в расплавах металлов с образованием равновесных сложных фаз, полноценная систематизация значительного объёма накопленной к настоящему времени информации о такого рода взаимодействиях в системах на основе большинства цветных металлов не осуществлялась.

Распространённый подход к анализу гетерогенных взаимодействий в металлических расплавах на основе цветных металлов основан на рассмотрении отдельных химических реакций, протекающих в анализируемой системе. Такой подход не позволяет в полной мере учитывать взаимное влияние сложного химического состава взаимодействующих фаз на природу образующихся продуктов взаимодействия.

В ходе наших работ получила развитие система термодинамического анализа процессов с участием жидкого металла, позволяющая достаточно полно и термодинамически корректно описывать явления, протекающие в ходе процессов взаимодействия металлических расплавов сложного состава и равновесных сложных (неметаллических и интерметаллических) фаз, находящихся в различных агрегатных состояниях [1]. Развиваемая система анализа базируется на расчёте координат поверхностей растворимости компонентов в металле (ПРKM). Это особые многокомпонентные диаграммы состояния, позволяющие привести микроизменения в составе металла в соответствие с качественными изменениями в составе равновесных сложных фаз.

В ходе проведённых исследований сформулированы общие принципы применения метода построения ПРKM для разных групп элементов и

впервые построены ПРКМ ряда систем на основе меди, кобальта, никеля, алюминия, свинца, висмута, индия, лития и олова для достаточно широкого интервала составов и температур.

Предложены диаграммы относительного изменения масс фаз и индивидуальных веществ в системе, которые дополняют и иллюстрируют ПРКМ. Эти диаграммы демонстрируют то, как сказываются на качественном и количественном составах системы изменения состава её металлической составляющей.

Параллельно с термодинамическим моделированием осуществлено экспериментальное исследование результатов процесса взаимодействия компонентов металлических расплавов. Для этого использовались различные модификации методики, основанной на исследовании состава, размеров и формы включений сложных веществ, образующихся в жидком металле в условиях градиента концентрации примесей. В ходе проведённых работ обоснованы режимы реализации предложенных методик, показана их применимость и адекватность результатам, полученным другими методами. Исследованы химические составы, форма и размеры включений, образующихся в металлических расплавах этих систем при различных условиях. Определены составы металла, находящегося рядом с найденными включениями.

Продемонстрировано, как информация о координатах ПРКМ позволяет решать многочисленные задачи, связанные с разработкой и оптимизацией различных металлургических технологий. В частности, это задачи рационального рафинирования металла и определения составов комплексных сплавов, задачи установления пределов рафинирующего действия технологических добавок и последовательности чередования неметаллических фаз при изменении состава металла и температуры. Помимо перечисленного, методика анализа посредством ПРКМ может быть использована в ходе совершенствования технологий синтеза сложных веществ в металлических расплавах.

*Частично работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 13-08-00545 и 13-03-00534.*

#### Библиографический список

1. Михайлов, Г.Г. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах с жидкими цветными металлами: моногр. / Г.Г. Михайлов, Е.А. Трофимов, А.Ю. Сидоренко. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 158 с.

[К содержанию](#)