

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ РАВНОВЕСИЙ, РЕАЛИЗУЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПЛАВКЕ И ТЕРМООБРАБОТКЕ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ ЖАРОСТОЙКИХ И ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ

Т.А. Жильцова, Е.А. Трофимов

Работа посвящена проведению термодинамического моделирования фазовых равновесий, реализующихся в ряде сплавов на никелевой основе (как жаростойких, так и жаропрочных) в интервале температур 300–1700 °С. Для термодинамического моделирования использован программный пакет «FactSage» (версия 6.4), включающий базы термодинамических характеристик веществ и фаз переменного состава. Результаты моделирования сопоставлены с производственными и экспериментальными данными.

Ключевые слова: термодинамическое моделирование; сплавы на основе никеля; выплавка и термообработка.

Современный уровень развития металлургии и металловедения никелевых сплавов требует развития и совершенствования методов моделирования фазовых равновесий, реализующихся в этих сплавах на различных стадиях их выплавки и термообработки. Среди различных подходов к такому моделированию особое место занимает моделирование с помощью методов классической термодинамики. В настоящее время разработаны различные программные продукты, позволяющие быстро и качественно выполнять термодинамическое моделирование сложных систем в широком интервале термодинамических условий.

Настоящая работа посвящена проведению термодинамического моделирования фазовых равновесий, реализующихся в ряде сплавов на никелевой основе (как жаростойких, так и жаропрочных) в интервале температур 300–1700 °С. Указанный интервал температур охватывает как температуры, при которых проводится выплавка сплавов, так и температуры, характерные для различных этапов их термообработки. К числу сплавов, для которых выполнено моделирование относятся: ХН78Т, ХН60ВТ, Х20Н80, ХН70Ю, ХН77ТЮР, ХН75МБТЮ, ХН55ВМТКЮ.

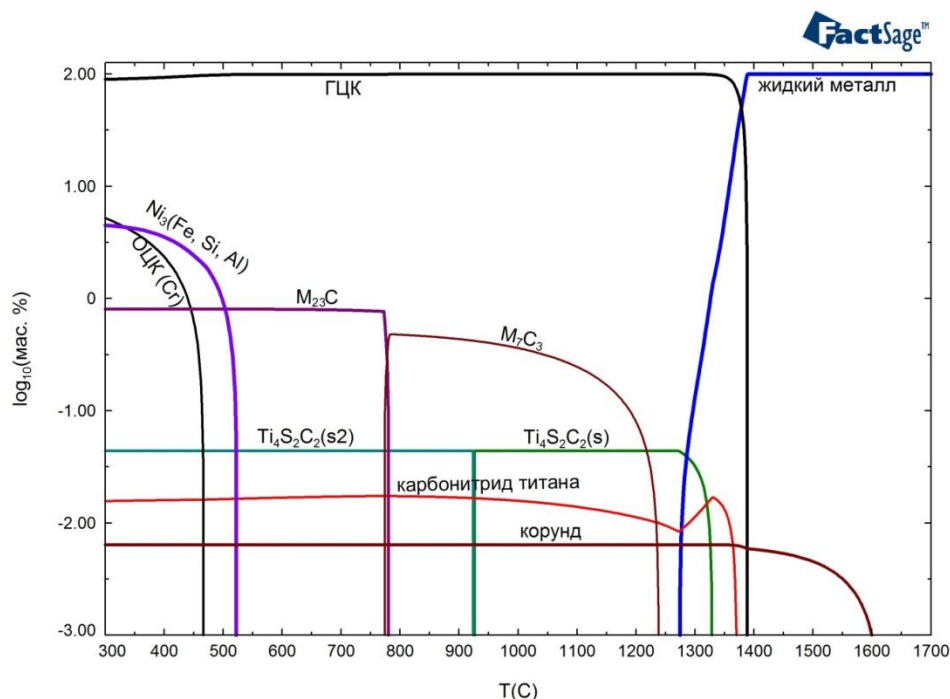
Для термодинамического моделирования использован блок «Equilib» программного пакета «FactSage» (версия 6.4) производства «Thermfact» (Канада) и «GTT Technologies» (Германия).

В процессе моделирования для описания металлических фаз использованы поставленные с программным пакетом базы данных FSstel и SGTE2011. Соответственно были получены два набора результатов моделирования для каждого сплава. В качестве вспомогательных для описания индивидуальных веществ и оксидных фаз использованы базы FactPS и FToxid. Наличие газовой фазы не учитывалось. Давление, для которого проводили расчеты, принималось равным одной атмосфере.

В качестве исходных данных использована информация ГОСТов, регламентирующих состав моделируемых сплавов. Как правило, в качестве содержания элемента, входящего в состав сплава, бралась середина интервала его возможных концентраций. При моделировании не учитывалось содержание фосфора в металле. В то же время считали, что в составе металлического расплава присутствуют по 0,003 мас. % азота и кислорода.

В указанном интервале температур расчёт проводился с шагом в 2 °С. Таким образом, результатом каждого расчёта был 701 набор значений. Полученные массивы численных данных неудобны для анализа, поэтому основные результаты моделирования представлены в виде зависимостей масс компонентов системы или составов фаз переменного состава от температуры.

В качестве примера на рис. представлены некоторые результаты моделирования состава сплава X20H80. Основой для моделирования в данном случае послужила база данных FSstel.



Результаты моделирования фазового состава сплава X20H80. Представлена логарифмическая зависимость массовых долей фаз от температуры

Представленные данные позволяют судить о температурных интервалах стабильности различных фаз и об их доле в общей массе сплава.

Результаты проведённого моделирования сопоставлены с рекомендуемыми режимами выплавки и термообработки. Результаты некоторых ранее проведённых нами работ [1–8] проанализированы в свете данных, полученных в процессе моделирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 13-08-00545.

Библиографический список

1. Ощепков, Б.В. Влияние особенностей выплавки никельхромовых жаропрочных сплавов на их пластичность / Б.В. Ощепков, Б.И. Леонович, Е.А. Трофимов, Т.А. Бендера // *Электротехнология*. – 2007. – № 4. – С. 8–12.
2. Ощепков, Б.В. Влияние неметаллических включений на пластичность сплавов на никелевой основе / Б.В. Ощепков, Б.И. Леонович, Е.А. Трофимов, Д.Н. Сазонов // *Сталь*. – 2007. – № 4. – С. 42–44.
3. Ощепков, Б.В. Разработка технологии производства сплава Х20Н80 с повышенными пластичностью и живучестью / Б.В. Ощепков, Е.А. Трофимов, Б.И. Леонович, А.В. Григорук // *Сталь*. – 2008. – № 8. – С. 43–46.
4. Ощепков, Б.В. Влияние последовательности присадки легирующих на свойства сплава ХН55ВМТКЮ, выплавленного по схеме ОИП+ВДП / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2009. – № 14 (147). – С. 38–41.
5. Ощепков, Б.В. Некоторые особенности легирования сплава ХН60ВТ в ходе его выплавки в открытой дуговой печи / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2010. – № 13 (189). – С. 53–54.
6. Ощепков, Б.В. Анализ влияния условий горячей деформации на характеристики и свойства образцов сплава ХН55ВМТКЮ-ВД / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2011. – № 14 (231). – С. 78–80.
7. Ощепков, Б.В. Совершенствование технологии выплавки жаропрочных сплавов на никелевой основе в ОДП с использованием легированных отходов / Б.В. Ощепков, Т.А. Жильцова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2012. – № 15 (274). – С. 100–101.
8. Ощепков, Б.В. Некоторые особенности производства сплава ХН70Ю / Б.В. Ощепков, Г.Ф. Ощепков, Т.А. Жильцова // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Металлургия»*. – 2014. – Т. 14. – № 3. – С. 71–74.

[К содержанию](#)