

ФИЗИКА МЕЖФАЗНЫХ ЯВЛЕНИЙ И НАНОСИСТЕМ

УДК 532.64:546.311

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСПЛАВА СВИНЕЦ-КАЛЬЦИЙ

А. З. Кашежев¹, М. Х. Понежев¹, В. А. Созаев², А. И. Хасанов³

¹Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова,
г. Нальчик

²Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ

³Комплексный научно-исследовательский институт РАН, г. Грозный

Методом лежащей капли изучается температурная зависимость поверхностного натяжения расплава Pb + 0,019 мас.% Ca. На политерме поверхностного натяжения обнаружен максимум.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, поверхностные свойства расплавов, система свинец–кальций

TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE SURFACE TENSION OF LEAD-CALCIUM MELT

A. Z. Kashezhev¹, M. H. Ponezhev¹, V. A. Sozaev², A. I. Khasanov³

¹H. M. Berbekov Kabardino-Balkaria State University, Nalchik

²North Caucasus Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz

³Integrated Scientific Research Institute of RAS, Grozny

The temperature dependence of Pb + 0,019 mass% Ca melt surface tension is studied by the method of lying drop. A maximum on the surface tension polyterm is found.

Keywords: surface tension, melt surface properties, lead–calcium system

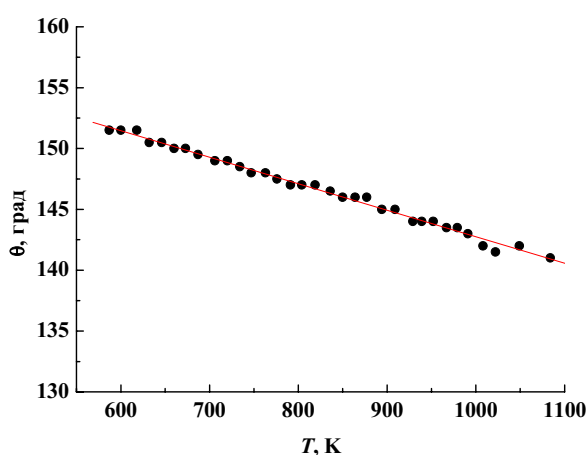
Введение. Несмотря на большой объем исследований по поверхностным свойствам расплавов [1; 2], влияние малых добавок щелочных и щелочноземельных элементов на поверхностное натяжение свинца изучено пока недостаточно. В связи с этим в работе предпринимается попытка исследования политермы поверхностного натяжения расплава системы свинец-кальций.

Методика исследований. Измерения поверхностного натяжения проводились методом лежащей капли на оригинальной экспериментальной установке с применением цифровой фотоаппаратуры. Обмер фотографий производился при помощи

автоматизированного программного комплекса для определения теплофизических свойств веществ [3].

Образцы системы свинец-кальций готовились в Физико-техническом институте низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины (г. Харьков), которые до опытов хранились в силиконовом масле. Перед измерениями установка откачивалась в течение 40 минут до давления 0,01 Па, далее капля исследуемого вещества через воронку с изогнутым капилляром подавалась в чашечку из графита, и затем напускался гелий. Выдержка капли при заданной температуре составляла 5 минут, а между соседними съемками – 2 минуты.

Для выяснения степени взаимодействия капли с веществом подложки был произведен опыт по смачиванию графита чистым свинцом, результаты которого приведены на рис. 1.

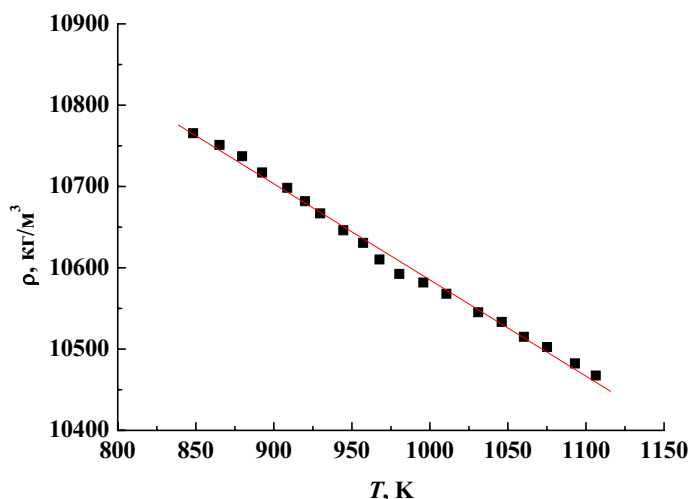


Р и с . 1 . Политерма угла смачивания графита свинцом

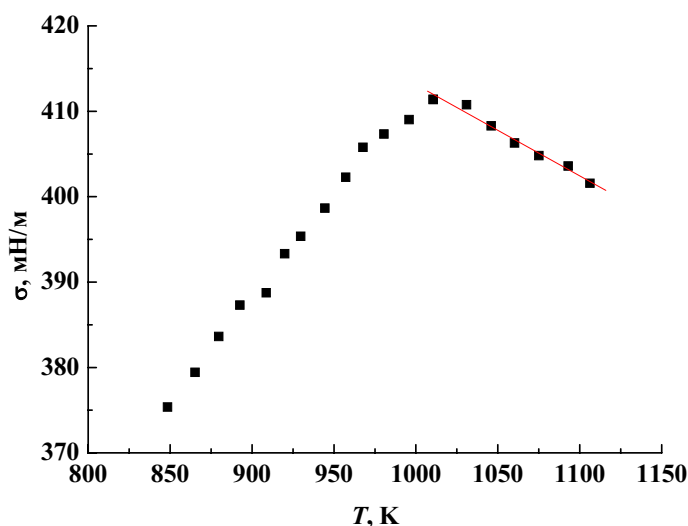
Из рис. 1 видно, что с увеличением температуры угол смачивания графита свинцом линейно понижается и функциональная зависимость $\theta(T)$ имеет вид $\theta = 165 - 0,022 T$. Во всем исследованном интервале температур $\theta > 140^\circ$, что означает отсутствие наблюдаемого межфазного взаимодействия между свинцом и графитом.

Результаты исследований. Результаты исследований плотности и поверхностного натяжения в системе свинец-кальций приведены на рис. 2 и 3.

Значения плотности в системе свинец-кальций хорошо описываются линейной зависимостью ρ [кг/м³] = 11767,87 – 0,18 T [K], в то время как на политерме поверхностного натяжения обнаружен максимум при температуре $T \sim 1115$ K, рис. 3. В области температур справа от максимума поверхностное натяжение убывает по линейному закону σ [мН/м] = 519,90 – 0,11 T [K].



Р и с . 2. Температурная зависимость плотности расплава Pb + 0,019 мас.% Ca



Р и с . 3. Температурная зависимость поверхностного натяжения расплава Pb + 0,019 мас.% Ca

В системе свинец-кальций дополнительной причиной нелинейности политерма ПН могло стать частичное испарение кальция (хотя исследования проводились в атмосфере гелия).

Следует отметить, что в системе олово-кальций коэффициенты линейного уравнения, аппроксимирующего экспериментальные данные справа от обнаруженного максимума, близки к значениям, полученным для аналогичных зависимостей чистого свинца. Так, рекомендуемые значения температурного коэффициента поверхностного натяжения для свинца (чистотой 99,999 мас.%) приводятся в работе [1]: $d\sigma/dT = -0,085 \text{ мН}/(\text{м}\times\text{К})$. Условия проведения эксперимента, наиболее

близкие к нашим, были осуществлены в [4; 5], где с использованием графитовых подложек в атмосфере гелия [4] получено $d\sigma/dT = -0,085$ мН/(м×К), а для интервала температур 823–1273 К [5] приводится $d\sigma/dT = -0,11$ мН/(м×К).

Появление максимума на политерме поверхностного натяжения в системе свинец–кальций можно объяснить на основе уравнения, полученного С. И. Попелем и В. В. Павловым для температурного коэффициента поверхностного натяжения [6]:

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^k x_i^{\omega} \bar{\omega}_i \frac{d\bar{\sigma}_i}{dT} - \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^k x_i^{\omega} (\sigma - \bar{\sigma}_i) \frac{d\bar{\omega}_i}{dT} + \frac{1}{T\omega} \sum_{i=1}^k x_i^{\omega} \bar{\omega}_i (\sigma - \bar{\sigma}_i), \quad (1)$$

где σ – поверхностное натяжение, T – температура, x_i^{ω} – концентрация i -го компонента в поверхностной области, $\bar{\omega}_i$ – парциальные поверхности ($\omega = \sum_{i=1}^k x_i^{\omega} \bar{\omega}_i$), $\bar{\sigma}_i$ – параметр, характеризующий работу выхода моля i -го компонента из объема раствора на поверхность, k – число компонентов системы.

Первое слагаемое в выражении (1) учитывает изменение работы выхода компонентов из глубины раствора в поверхностный слой, отнесенной к единице поверхности. Этот вклад отрицателен и практически не изменяется. Второе слагаемое в (1) учитывает изменение парциальных молярных площадей вследствие теплового расширения и сравнительно мало по абсолютной величине. Третье слагаемое описывает изменение адсорбции компонентов расплава с температурой. Для простых бинарных систем третий вклад положителен и возможно существование температуры T_0 , при которой температурный коэффициент ПН обращается в нуль. При температурах $T < T_0$ для определенного интервала концентраций $d\sigma/dT > 0$, что и наблюдается в нашем случае. При $T > T_0$ значения $d\sigma/dT < 0$ и зависимости $\sigma(T)$, как правило, линейны [1].

Список литературы

1. Попель, С. И. Поверхностные явления в расплавах / С. И. Попель. – М.: Металлургия. 1994. 432 с.
2. Дадашев, Р. Х. Термодинамика поверхностных явлений / Р. Х. Дадашев. – М.: Физматлит. – 2007. – 278 с.
3. Директор, Л. Б. Вычислительный комплекс для определения теплофизических свойств жидкостей / Л. Б. Директор, А. З. Кашежев, И. Л. Майков, А. Г. Мозговой, М. Х. Понежев, В. А. Созаев / Тезисы докладов Межведомственного семинара «Технология щелочных жидкометаллических теплоносителей» (Теплофизика-2009), 28-30 октября 2009. – Обнинск. – 2009. – С. 46-47.

4. Канчукоев, В. З. Полимеры поверхностного натяжения и плотности расплавов системы свинец-литий / В. З. Канчукоев, М. Х. Понежева, А. Б. Созаева, В. А. Созаев // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47, № 92. – С. 311-314.
5. Joud, J. C. Determinasion de la tension superficielle des alliages Ag-Pb et Cu-Pb par la methode de la goutte posse / J. C. Joud, N. Eustathopoulos, A. Bricard, P. Desre // J. Chim Phys. et Phys.-Chim. Biol. – 1973. – V. 70. – P. 1290-1294.
6. Попель, С. И. Термодинамический расчет поверхностного натяжения растворов / С. И. Попель, В. В. Павлов / В кн.: Поверхностные явления в расплавах и возникающих из них твердых фазах. – Нальчик: КБГУ. – 1965. – С. 46-60.

Об авторах:

КАШЕЖЕВ А. З. – аспирант кафедры наночастиц Кабардино-Балкарского государственного университета;

СОЗАЕВ В.А. – доктор физ.-мат наук, профессор, заведующий кафедрой физики Северо-Кавказского горно-металлургического института