УДК 541.532.264

ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ АЛЮМЕЛИ В ТВЕРДОМ СОСТОЯНИИ

[1]Кумыков В.К., [1]Сергеев И.Н., [2]Созаев В.А., [2]Гедгагова М.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова», Нальчик, e-mail: koumykov@hotmail.com;

[2]ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт», Владикавказ, e-mail: sozaevv@kbsu.ru

Работа посвящена измерению поверхностного натяжения твердого сплава на основе никеля и алюминия, используемого в качестве элемента термопары в электронике. Измерения проводились компенсационным методом нулевой ползучести, разработанным для высокотемпературных измерений, на поликристаллических образцах цилиндрической формы. При температуре 1600 ± 40 К для поверхностного натяжения было получено значение 150040 мДж/м^2. Для сравнения приводятся данные поверхностного натяжения чистого никеля в твердом состоянии, а также соответствующие им значения поверхностного натяжения никеля в жидком состоянии.

Ключевые слова: поверхностное натяжение, нулевая ползучесть, алюмель, термопара

THE MEASUREMENT OF THE SURFACE TENSION OF ALUMEL IN THE SOLID STATE

[1]Kumykov V.K., [1]Sergeev I.N., [2]Sozaev V.A., [2]Gedgagova M.V.

[1]FGBOU VPO «Kabardin-Balkar state university n.a. Kh.M. Berbekov», Nalchik, e-mail: koumykov@hotmail.com;

[2]FGBOU VPO «Nothern Caucasus mining-metallurgical institute», Vladikavkaz, e-mail: sozaevv@kbsu.ru

The paper is devoted to the measurement of the surface tension of solid alloy on the base of nickel and alumina, using as an element of thermocouple in electronics. The measurements were done by compensation zero creep method, developed for the high temperature measurements, on the polycrystalline samples of cylindrical shape. At the temperature 1600 ± 40 K for surface tension the value 150040 mJ/m^2 was obtained. For comparison the surface tension data of pure Ni in the solid state, so as corresponding data of surface tension of Ni in the liquid state are given.

Keywords: surface tension, zero creep, alumel, thermocouple

Известно, что наибольшее распространение в производстве получили технические сплавы, которые зачастую, в отличие от чистых металлов, применяемых намного реже, удовлетворяют комплексу требований, выдвигаемых технологическими процессами.

Несмотря на обширный диапазон компонентных комбинаций, используемых в металлургии, многие сплавы, благодаря своим замечательным свойствам, не только наиболее известны, но и получили свои собственные названия. К их числу следует отнести сплав Вуда, нихром, мельхиор, электрон, ковар, инвар, элинвар, платинит, пермаллой, фернико и т.д.

Термопарные сплавы, к числу которых относятся хромель, копель, алюмель и т.д., широко применяются в пирометрии в качестве отрицательных термоэлектродов термопар, а также в виде компенсационных проводов для измерения температур. Однако поверхностные свойства указанных сплавов до настоящего времени не подвергались систематическому изучению. В связи с этим нами были проведены измерения поверхностного натяжения алюмели в твердой фазе.

Материал и методы исследования

При выборе объекта исследования нами было отдано предпочтение алюмели в связи с тем, что в ряду термопарных сплавов она имеет наиболее ограниченную область плавления, которая составляет порядка 20 градусов, в то время как копель и хромель плавятся в интервале температур, достигающем порядка 100 градусов. Состав алюмели соответствовал ГОСТ 1790-77 и в массовых процентах был следующим: Al – 2 %, Ni – 94 %, Mn – 2 %, Co – 0,8 %, Si – 1 %, Fe – 0,2 %. Измерения проводились компенсационным методом «нулевой ползучести» на поликристаллических образцах цилиндрической формы [2].

Особенностью высокотемпературного прибора, на котором проводились измерения, является электротоковый разогрев образца [1, 7]. Градиент температуры в образце обеспечивается теплоотводом сверху массивными зажимами и снизу легким радиатором из исследуемого металла в виде изогнутой пластинки, навешиваемой на горизонтально расположенную часть образца. Подогреваемый экран из исследуемого металла обеспечивает предварительный нагрев образца.

В конструкции прибора учтены особенности проведения измерений при высоких температурах. Стальной корпус 1 цилиндрической формы установлен на массивной подставке 12 с микровинтами для регулирования положения прибора (рис. 1). Отвод 8 соединяет прибор с вакуумными магистралями и устройством для впуска в рабочую камеру инертного газа. Съемные части прибора – крышка 6, окна для наблюдения и прозрачный объем для коромыс-

ла механического рычага 13 вакуумно уплотняются с корпусом прибора фторопластовыми прокладками через встречные фланцы. Держатель термопары и зажим образца монтируются к крышке прибора. В ней же монтируются вводы: 3 – для термопары 7, 4 – для электротокового питания образца 10. Вводы 3 и 4 также используются для подачи напряжения разряда при очистке поверхности образца в водороде.

Механический рычаг 18 с компенсационным грузом 19 устанавливается на опоре 14, которая может перемещаться с помощью сильфона 9 при установке образца в прибор. Компенсационный груз перемещается вдоль стержня коромысла с помощью кольцеобразного электромагнита 16. Коромысло 18 изготавливается из неферромагнитного материала (в данном случае из молибдена), который сохраняет свою механическую упругость при рабочей температуре в камере. Компенсационный груз изготавливается из ферромагнитного материала (никеля). Точное положение груза 19 фиксируется визуально с помощью двух шкал 17.

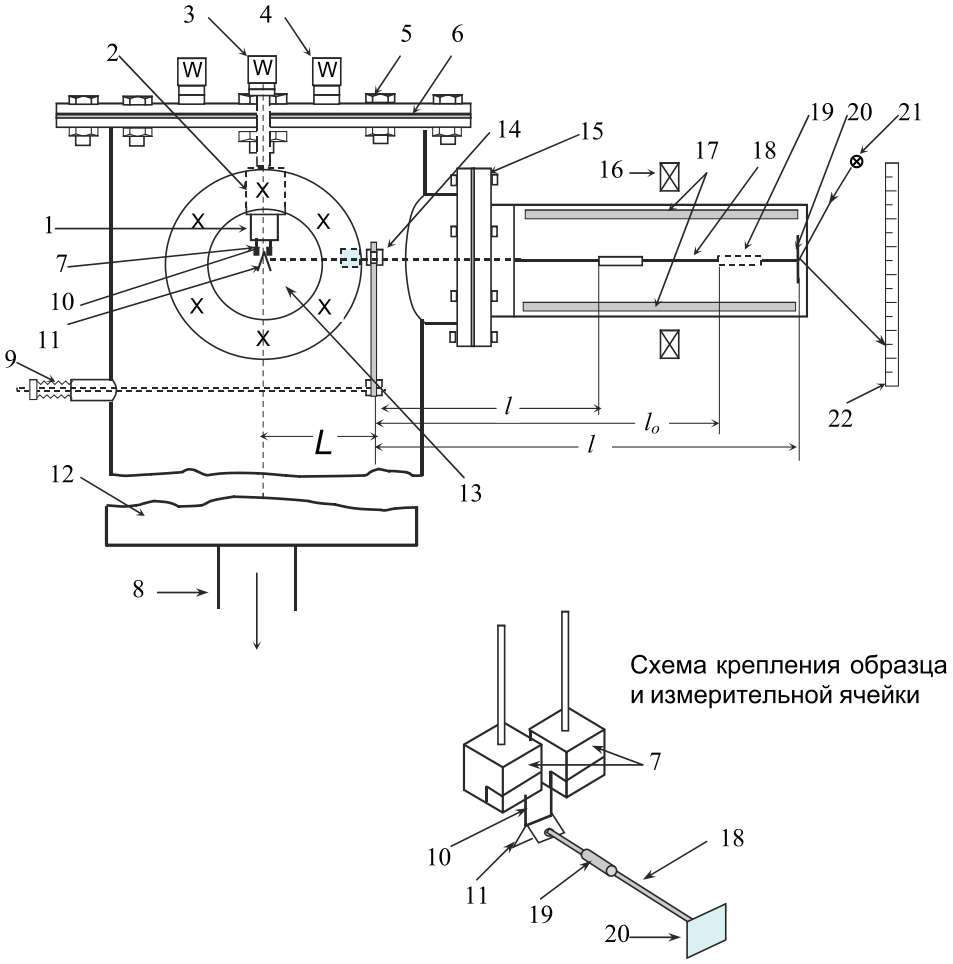

Рис. 1. Схема прибора для измерения поверхностного натяжения тугоплавких металлов

Один конец стержня 18 касается образца 10 через радиатор 11, а на другом его конце укреплено зеркальце 20, которое вместе с осветителем 21 и шкалой 22 составляет оптический рычаг, позволяющий обнаружить любое сжатие и растяжение образца по длине. Перед установкой в камеру образца и радиатора камера тщательно очищалась, с образца и радиатора снималась защитная пленка, затем их поверхность протиралась спиртом.

После откачки камеры до 10^{-5} мм рт. ст. и заполнения ее водородом с последующей откачкой до давления 2-5 тор образец подвергался очистке в газовом разряде. Затем прибор снова откачивался до давления 10^{-5} мм рт. ст.

Равновесие рычага устанавливалось перемещением компенсационного груза (до начала ползучести образца) при рабочей температуре так, чтобы конец рычага только касался радиатора. При этом фиксируется нулевое положение «зайчика» на шкале отсчета. Это положение «зайчика» сохраняется путем соответствующего перемещения грузика при наступлении явления ползучести образца. В опыте измеряются перемещение компенсационного груза Δl и вес P нижней части образца. Величина P определяется путем отделения и взвешивания нижней части образца после опыта. Отделение производится в месте образования шейки, которая получается, увеличением нагрузки на образец перемещением грузика 19.

К числу систематических ошибок в данном эксперименте следует отнести влияние магнитного давления на образец, обусловленного прохождением электрического тока [4]. При прохождении тока

по проводнику азимутальное магнитное поле имеет такое направление силовых линий, что проводник с током испытывает действие радиальных сил, стремящихся сжать его. Поправка на «пинч-эффект» учитывается введением дополнительного члена в расчетную формулу. В конечном виде она записывается так:

$$\sigma = \frac{1}{\pi d}\left(P + \frac{\Delta l}{L} p + I^2\right),$$

где d – диаметр образца при рабочей температуре, L – плечо рычага от точки опоры до образца, p – вес компенсационного грузика, I – сила тока.

Ранее описанным методом нами были проведены измерения поверхностного натяжения ряда тугоплавких металлов [3, 5, 10]. Из сплавов исследовалась только нержавеющая сталь [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Для поверхностного натяжения алюмели было получено значение 150040 мДж/м^2 при температуре опыта 1600 ± 40 К. Измерения проводились 5 раз, а полученные результаты подверглись статистической обработке с использованием распределения Стьюдента при доверительной вероятности 95%. Поскольку в литературе отсутствуют данные по поверхностному натяжению термопарных сплавов, как в твердой, так и в жидкой фазах, анализировать полученные данные весьма затруднительно. Однако, учитывая, что основу алюмели составляет никель (94%), мы провели сравнение наших данных с литературными данными по никелю. Поверхностное натяжение никеля при температуре 1670 Ксоставляет 194046 мДж/м^2 [8] , что на 440 мДж/м^2 выше, чем соответствующее значение для алюмели. (В жидкой фазе поверхностное натяжение никеля при температуре плавления составляет 1700 мДж/м^2 [9]). Это расхождение обусловлено тем, что в состав алюмели, наряду с никелем, входят алюминий и марганец, которые, являясь поверхностно-активными добавками, и приводят к снижению поверхностного натяжения сплава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гедгагова М.В. О высокотемпературных измерениях поверхностного натяжения металлов в условиях вакуума / М.В. Гедгагова, Х.М. Гукетлов, В.К. Кумыков // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2007. – Т. 71. – № 5. С. 631-633.

2. Кумыков В.К. Устройство для измерения поверхностного натяжения металлов в твердой фазе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. – № 4. – С. 159-164.

3. Кумыков В.К. Измерение поверхностного натяжения материалов электронной техники / В.К. Кумыков, Х.М. Гукетлов, М.В. Гедгагова // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2006. – Т. 70. – № 4. С. 588-590.

4. Кумыков В.К. Влияние магнитного давления на поверхностное натяжение металлов в твердой фазе // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2012. – № 4. – С. 154-158.

5. Кумыков В.К. Поверхностное натяжение цветных металлов на границе раздела твердая фаза – собственный пар / В.К. Кумыков, М.В. Гедгагова, А.Р. Манукянц // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. – 2006. – № 4. – С. 44-47.

6. Кумыков В.К. Исследование поверхностного натяжения, работы выхода электрона стали Х18Н10Т и адгезии к ней ртути и амальгамы таллия / В.К. Кумыков, Х.М. Гукетлов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2004. – № 3. – С. 43.

7. Gedgagova M.V. High-temperature measurements of surface tension of metals in vacuum / M.V. Gedgagova, Kh.M. Guketlov, V.K. Kumykov // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2007. – T. 71. – № 5. – C. 608-610.

8. Digilov R.M. The measurement of the surface tension of refractory metals in the solid state / R.M. Digilov, V.K. Kumykov, Kh.B. Khokonov // The Physics of Metals and Metallography. – 1976. – T. 41. – № 5. – C. 68.

9. Kumikov V.K. The measurement of the surface tension of some pure metals in the solid state Materials Science and Engineering. – 1983. – T. 60. – C. 23.

10. Kumykov V.K. Measurement of surface tension of electronic materials / V.K. Kumykov, Kh.M. Guketlov, M.V. Gedgagova // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. – 2006. – T. 70. – № 4. – C. 677-680.