

УДК 532.61; 2917.35; 31.15; 25

Прибор для изучения поверхностного натяжения жидкометаллических теплоносителей в области низких температур*

*Д-р физ.-мат. наук Б. Б. АЛЧАГИРОВ, канд. физ.-мат. наук Р. Х. АРХЕСТОВ,
канд. физ.-мат. наук З. А. КОКОВ, З. А. КЕГАДУЕВА*

*Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова
360004, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173*

A new device is developed and produced for measuring temperature and concentration dependencies of surface tension of liquid metal heat transfer agents at low temperatures. Measurements of surface tension of sodium-potassium-cesium alloys demonstrated the robustness and reliability of the device.

Key words: the device, low temperatures, the liquid heat carriers, refrigerant.

Ключевые слова: прибор, низкие температуры, жидкие теплоносители, хладагент.

К настоящему времени обнаружены многокомпонентные металлические сплавы с рекордно низкими температурами плавления, например эвтектический состав системы Na—K—Cs (195 K) и др. [1–3]. Поэтому актуальной задачей остается создание приборов и устройств для надежного определения поверхностных свойств жидких расплавов в условиях низкотемпературных экспериментов, обеспечивающих хорошее термостатирование исследуемых образцов при криогенных температурах [4]. Нами была разработана конструкция прибора, позволяющая решать данную проблему.

Прибор (рис. 1) состоит из двух основных узлов, первый из которых используется для заправки прибора чистыми металлами-компонентами А и Б и приготовления исследуемых образцов-сплавов. Он состоит из камер 1 и 2, предназначенных для размещения в них исходных компонентов А и Б, а также дозирующего двухкамерного узла 3. Заметим, что камеры 1 и 2 расположены вдоль оси OY перпендикулярно плоскости листа, а камера 1 и измерительный узел 3 — в плоскости OXZ, т. е. в плоскости чертежа.

Второй узел, вакуумно-плотно сообщающийся с первым трубками 4, 5 и 6, представляет собой измерительный отсек. Он состоит из внешней камеры (корпуса) 7 с установленным внутри нее стаканом-холодильником 8

с двойными стенками 9 и 10, снабженными шестью смотровыми окошками 11 для освещения и фотографирования профиля капли. Свободный зазор между стенками стакана 9 и 10 сообщается с внешним пространством через трубку 12 и предназначен для заполнения хладагентом 13 через воронку, которая находится на верхнем конце трубки. К внутренней стенке стакана 8 прикреплена цилиндрическая воронка 14, сообщающаяся с чашкой-подложкой 15 для приема расплавов из камеры 1 первого узла и формирования большой капли 16 в чашке-подложке. Вблизи последней расположен нижний запаянный кончик тонкостенной стеклянной трубки 17, погруженный в исследуемый расплав и предназначенный для размещения в ней одного из спаев дифференциальной термопары. Таким образом, рабочий спай термопары погружен в исследуемый расплав 18 в непосредственной близости от подложки с каплей 16. Надежность термостатирования образца (капли расплава) достигается наличием значительного количества самого исследуемого теплопроводящего расплава 18 на дне стакана 8 — измерительного отсека, т. е. использованием избытка самого исследуемого расплава в качестве термостатирующей жидкости, близостью расположения подложки с каплей над поверхностью расплава, а также созданием адиабатических условий в измерительной камере. Внешние стенки 10 камеры 8 на 0,03–0,04 м отделены сверхвысоковакуумным промежутком от внутренней поверхности корпуса 7 прибора.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и МОН КБР (проект № 09-08-96531 р_юг_a).

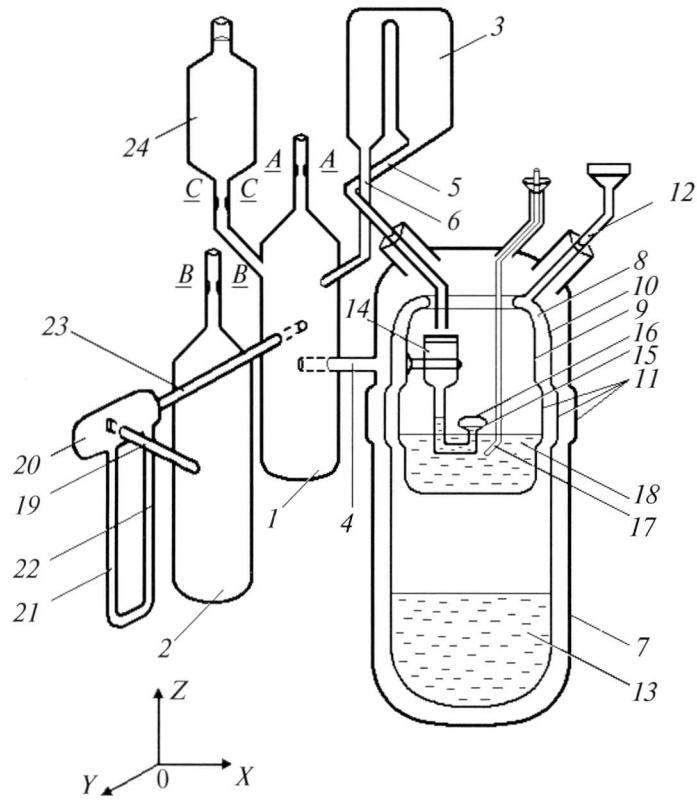


Рис. 1. Прибор для определения поверхностного натяжения жидкокометаллических растворов в области низких температур

Прибор работает следующим образом. После изготовления прибора и его проверки на герметичность производится заправка металлами-компонентами А и Б через бункеры, напаиваемые сверху на камеры 1 и 2. После термовакуумной обработки прибора и металлов А и Б последние переводятся в камеры 1 и 2. Затем бункеры отпаиваются по линиям A-A и B-B, а сам прибор закрепляется на вращающейся рамке и устанавливается внутрь воздушного термостата.

Для измерения поверхностного натяжения (ПН) чистого компонента прибор поворачивается в плоскости листа по ходу часовой стрелки на угол, несколько превышающий 90° . При этом жидкий металл из камеры 1 по трубке 6 поступает в дозирующее устройство 3, правый отсек которого до изготовления прибора калиброван по объему. При возвращении прибора в исходное положение часть жидкого металла, объем которого равен объему правой части дозирующего устройства, по трубке 5 переводится в измерительный узел, а излишек жидкого металла возвращается из левой части дозирующего узла 3 обратно в камеру 1. Таким образом, во всех случаях в измерительный отсек поступает жидкий металл или сплав строго дозированного постоянного объема, что обеспечивает неизменность положения уровня расплава в измерительном отсеке и, следовательно, постоянство глубины погружения чашки-подложки с каплей и конца спая термопары в термостатирующий расплав 18. Жидкий металл

поступающий в измерительный отсек, из кончика трубы 5 выкапывается в приемную цилиндрическую воронку 14 и далее поступает в чашку-подложку 15. В результате расплав стекает через чашку-подложку и заливает дно стакана-холодильника. Последняя порция поступившего в измерительный отсек расплава остается в чашке-подложке в виде большой капли 16. Для определения поверхностного натяжения при комнатной температуре производится юстировка и фотографирование профиля капли через систему плоских окошек 11.

Для измерения температурной зависимости ПН в области низких температур через трубку 12 подается хладагент 13, который заполняет пространство между стенками двойного стакана 8. В зависимости от уровня нахождения жидкого хладагента в нижней части стакана 8 через некоторое время внутри стакана с двойными стенками (измерительный отсек) устанавливаются определенная постоянная температура и термодинамическое равновесие поверхности исследуемого расплава с собственным насыщенным паром. После двадцатиминутной выдержки образца при постоянной температуре внутри измерительного отсека, фиксируемой термопарой, производится измерение ПН (фотографированием капли). По мере самопроизвольного испарения хладагента уровень последнего будет понижаться, а вместе с ним — и температура исследуемого расплава.

Таким образом, температурный диапазон измерений ПН определяется конкретно используемым хладагентом, т. е. от температуры его испарения $T_{\text{исп}}$ (хладагент вначале полностью заполняет пространство между двойными стенками стакана-холодильника δ) до комнатной температуры — до момента полного испарения хладагента. Обычно время испарения жидкого азота с момента заливки в прибор и его полного испарения составляет около 10 ч. Это позволяет считать, что измерения температурной зависимости ПН с использованием описываемого прибора действительно производятся в условиях термодинамического равновесия — одного из важнейших условий проведения подобных экспериментов.

После окончания измерений температурной зависимости ПН $\sigma(T)$ вращением прибора в плоскости OXZ против хода часовой стрелки на угол около 180° исследуемый расплав переводится из измерительного отсека в пространство между стенками корпуса 7 и наружной поверхностью 10 стакана 8. При возвращении прибора в исходное вертикальное положение жидкий металл из измерительного отсека через трубку 4 переливается обратно в емкость 1. В случае необходимости (например, для набора статистики в соответствии с планом эксперимента) повторные измерения можно произвести сколько угодно раз, как это было описано выше.

Для измерения концентрационной и температурной зависимостей ПН необходимо приготовить сплав. С этой целью вращением прибора вокруг оси OX (в плоско-

сти, перпендикулярной чертежу) на угол около 60° из камеры 2 отливается небольшая часть второго компонента (металла-добавки) через трубку 19 в баллончик 20 (см. рис. 1). При возвращении прибора в исходное положение отлитая часть металла-добавки из баллончика 20 стекает вниз в U-образную калиброванную по объему трубку 21. Затем с помощью катетометра определяются высоты столбов металлов в U-образной трубке относительно меток 22. Последние предварительно, до изготовления прибора, наносятся при градуировке U-образной трубки. Таким образом, с высокой точностью определяется масса металла-добавки из камеры 2 металла-компонента Б. Для образования сплава наклонном прибора вокруг оси OX «за плоскость» чертежа на угол около 90° жидкий расплав с известной массой из дозатора 21 по трубке 23 переводится в камеру 1. При смешивании с первым компонентом А, находящимся в камере 1, образуется первый сплав, гомогенизация которого достигается легкими покачиваниями прибора и температурной выдержкой. Измерения ПН производятся так же, как и для чистого компонента А.

Для измерения концентрационной зависимости теплофизических свойств бинарной системы А–Б готовятся сплавы последующих составов до тех пор, пока не будет полностью израсходован металл-добавка Б в камере 2. После окончательного завершения измерений жидкий сплав конечного состава, накопившийся в камере 1, вращением прибора вокруг оси OY против хода часовой стрелки на угол около 100° переводится в ампулу 24, конец которой вакуумно-плотно перекрыт тонкостенной стеклянной сферой. Затем ампула 24 отпаивается от прибора по линии $C - C$ для последующего анализа или хранения.

На рис. 2 показан график зависимости изменения температуры сплава с образцом в измерительной ячейке (см. рис. 1) от времени. Из рисунка видно, что при использовании в качестве хладагента жидкого азота при свободном его испарении изменения температуры от 77 К до комнатной продолжаются 4 ч. Заметим, что этого времени вполне достаточно для измерения поверхностных свойств исследуемых расплавов.

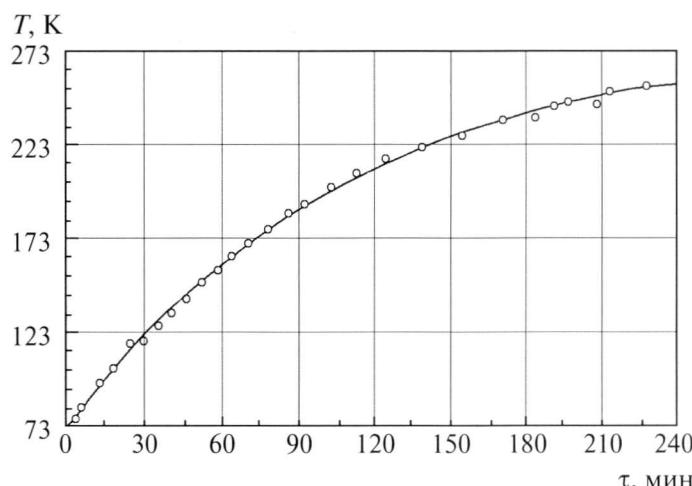


Рис. 2. Скорость изменения температуры исследуемого образца сплава $\text{Na}-\text{K}-\text{Cs}$ при использовании жидкого азота в качестве хладагента

Настоящий прибор опробован для измерения поверхностного натяжения околоэвтектического сплава натрий–калий–цезий в температурной области от 60 до 400 К. Испытания продемонстрировали достаточную надежность и точность результатов, получаемых с использованием данного прибора.

Список литературы

- Дриц М. Е., Зусман Л. Л. Сплавы щелочных и щелочноземельных металлов: Справ. изд. — М.: Металлургия, 1986.
- Алчагиров Б. Б. Поверхностное натяжение щелочных металлов и сплавов с их участием // Обзоры по теплофизическим свойствам веществ. — М.: ТФЦ РАН, 1991. № 3, 4 (89, 90).
- Сулім Е. В. Повышение безопасности применения щелочных металлов в ядерных энергетических установках. — Обнинск, 2010.
- Кожевников И. Г., Новицкий Л. А. Теплофизические свойства материалов при низких температурах: Справ. — М.: Машиностроение, 1982.