

УДК 532.64.546.311

ПЛОТНОСТЬ И ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ РАСПЛАВОВ СВИНЕЦ–НАТРИЙ

© 2019 г. Б. С. Карамурзов¹, Р. А. Кутуев^{2, 3}, М. Х. Понежев¹,
В. А. Созаев⁴ *, А. Х. Шерметов¹, А. А. Шокаров¹

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Кабардино-Балкарский государственный университет имени Х.М. Бербекова, Нальчик, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Чеченский государственный университет, Грозный, Россия

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Комплексный научно-исследовательский институт имени Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, Грозный, Россия

⁴Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

*E-mail: sozaeff@mail.ru

Поступила в редакцию 20.11.2018 г.

После доработки 16.12.2018 г.

Принята к публикации 25.02.2019 г.

Методом большой лежащей капли изучены политермы плотности и поверхностного натяжения сплавов свинца с малыми добавками натрия в режиме нагревания от температур плавления сплавов Pb–Na до 650°C в атмосфере чистого He марки А (99.995%). Обнаружено, что плотность и поверхностное натяжение понижаются с повышением температуры, а увеличение в изученных сплавах содержания натрия до 4 мас. % приводит к значительному уменьшению поверхностного натяжения.

DOI: 10.1134/S0367676519060188

ВВЕДЕНИЕ

Расплавы свинец–натрий рассматриваются в качестве перспективных теплоносителей для ядерных реакторов на быстрых нейтронах [1]. При этом многие термодинамические свойства системы Pb–Na изучены недостаточно [1–5], а это затрудняет анализ перспектив использования этих расплавов в качестве охлаждающих жидкостей. Установлено [1], что увеличение содержания щелочных добавок к свинцу улучшает смачивание некоторых реакторных сталей. Однако данных о политермах краевых углов смачивания в литературе немного, и недостаточно данных по плотности и поверхностному натяжению свинцовых сплавов с малым содержанием натрия. Поэтому актуальной задачей является получение надежных данных по поверхностным свойствам данной системы.

Измерение поверхностного натяжения и плотности металлических расплавов проводится, как правило, методом лежащей “большой” капли или методом максимального давления в газовом пузырьке. В последние годы эти методы претерпели модернизацию. Особенно надо отметить метод лежащей, “большой” капли [6], где в исследованиях внедрены новые информационные технологии, которые использованы и в настоящей работе [7, 8].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения температурной зависимости плотности и поверхностного натяжения сплавы были приготовлены из свинца марки В4 и натрия (99.9%).

Измерения проводили методом лежащей “большой” капли в интервале от температур плавления сплавов Pb–Na до 650°C в атмосфере чистого He марки А (99.995%).

Профиль капли расплава (рис. 1) обрабатывался с помощью программы SigmaC [2].

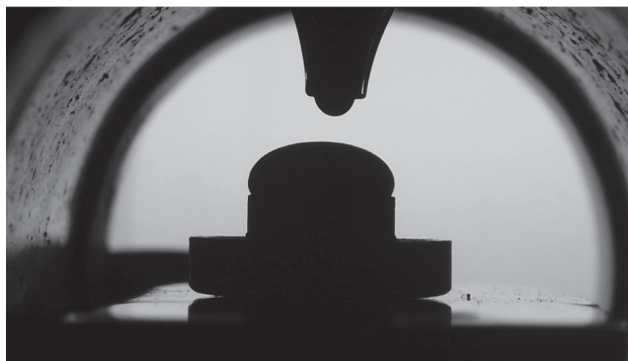


Рис. 1. Фотография капли Pb–Na при 350°C.

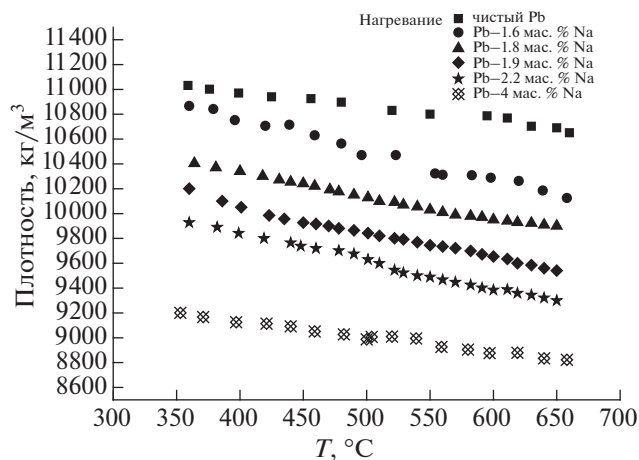


Рис. 2. Политермы плотности расплава Pb–Na различной концентрации в режиме нагревания.

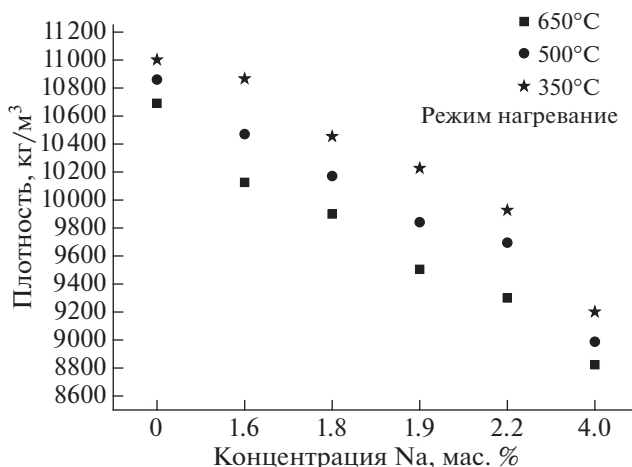


Рис. 4. Изотерма плотности системы Pb–Na.

Плотность и тепловое расширение системы Na–Pb с малым содержанием свинца изучались в работе [3]. Показано, что с увеличением концентрации Pb плотность расплава повышается.

В работе [4] изучались термические свойства расплавов систем натрий–свинец и калий–свинец с малыми добавками свинца, где выявлено, что особенности поведения мольного объема и коэффициентов теплового расширения расплавов систем натрий–свинец и калий–свинец связаны с тенденцией к образованию интерметаллидов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений представлены на рис. 2, 3. На рис. 2 приведены температурные зависимости плотности расплавов Pb–Na; видно, что в режиме нагревания плотность убывает с увеличением

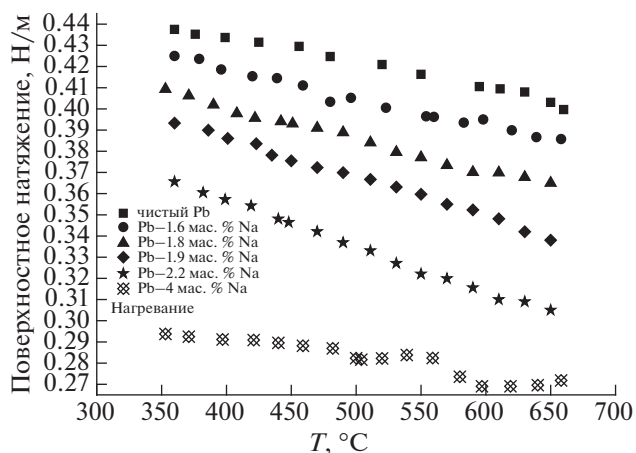


Рис. 3. Политермы поверхностного натяжения расплава Pb–Na различной концентрации в режиме нагревания.

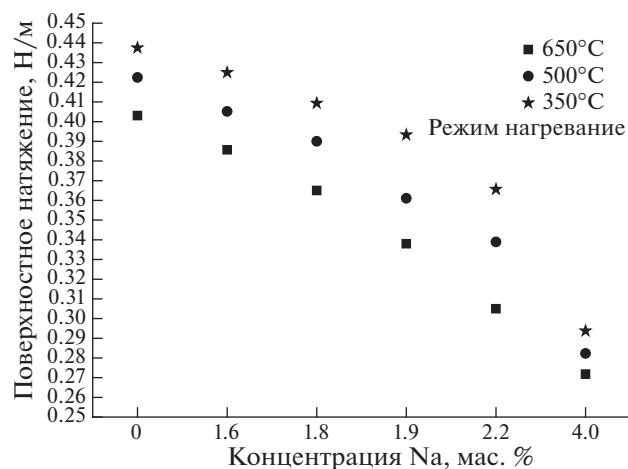


Рис. 5. Изотерма поверхностного натяжения системы Pb–Na.

температуры. Увеличение концентрации натрия приводит к снижению плотности расплавов.

Поверхностное натяжение $\sigma(t)$ расплавов Pb–Na в режиме нагревания уменьшается с увеличением температуры (рис. 3).

В интервале концентрации 2.2–4 мас. % на изотермах плотности и поверхностного натяжения при температурах 500 и 650°C наблюдается резкое (до 30%) снижение значений плотности и поверхностного натяжения (рис. 4 и 5).

В работе [9] была построена концентрационная зависимость поверхностного натяжения системы Pb–Na в интервале концентраций от 0 до 13 ат. % при 125°C. К сожалению, авторы [9] не изучали температурную зависимость исследованных сплавов. Концентрационные зависимости, полученные в [9], описывается уравнением:

$$\sigma = 140 - 105 \ln(1 + 0.14x) - 2x. \quad (1)$$

Уравнение (1) аналогично выражению, полученному в [10]:

$$\sigma = \sigma_0 - A \ln(1 + Bx) - Dx. \quad (2)$$

Сравнение (1) и (2) показывает, что если коэффициенты σ_0 и A в этих выражениях зависят лишь от температуры, то коэффициенты B и D зависят также и от концентрации добавляемого компонента.

Исследования сплавов Pb–1.8 мас. % Na и Pb–1.9 мас. % Na, проведенные нами методом рентгено-фотоэлектронной спектроскопии на установке центра коллективного пользования “Физика поверхности, наносистем и технологии наноструктур” – К-ALPHA (полностью интегрированном рентгеновском фотоэлектронном спектрометре (РФЭС) фирмы Thermo Fisher Scientific), показали, что до и после экспериментов существенного изменения концентрации натрия в сплаве не наблюдается.

В ряде работ [3–5] также изучались теплофизические свойства натрия с малым содержанием свинца. Это связано с тем, что при разработке натриевых теплоносителей необходимо повышать их пожаробезопасность, что обеспечивается малыми добавками свинца. В этих работах уточнены данные по плотности сплавов натрий–свинец с высоким содержанием натрия.

На рис. 4, 5 приведены изотермы плотности и поверхностного натяжения системы Pb–Na. Из рисунков видно, что с повышением концентрации натрия плотность и поверхностное натяжение плавно уменьшаются.

ВЫВОДЫ

Методом большой капли в атмосфере гелия проведены исследования концентрационной и температурной зависимостей плотности и поверхностного натяжения свинца и 5 сплавов системы Pb–Na в интервале температур от 350 до 650°C.

Малые добавки натрия (до 4 мас. %) к свинцу значительно снижают плотность и поверхностное натяжение свинца. Ход политерм плотности и поверхностного натяжения указывает на отрицательный температурный коэффициент. Для сплавов Pb–Na при концентрации 4 мас. % Na на изотермах плотности имеет место заметное (от 5 до 7.5%) уменьшение их значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Губжиков М.М., Ибрагимов Х.Н., Канчукоев В.З. и др. // Расплавы. 2006. № 3. С. 76.
2. Директор Л.Б., Кашежеев А.З., Майков И.Л. и др. // Тезисы докладов Межведом. семинара “Технология щелочных жидкометаллических теплоносителей” (Обнинск, 2009). С. 46.
3. Хайрулин Р.А., Станкус С.В., Абдуллаев Р.Н. // Теплофиз. аэромех. 2013. Т. 20. № 2. С. 223.
4. Абдуллаев Р.Н. Термические свойства и коэффициенты взаимной диффузии жидких сплавов натрий–свинец и калий–свинец с частично ионным характером межатомного взаимодействия. Дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Новосибирск: ФГБУН Ин-т теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 2019. 152 с.
5. Засорин И.И., Кузнецова Л.М., Кумской В.В. // Вопр. атом. науки и техн. Сер. Физ. яд. реакт. 2008. № 4. С. 72.
6. Канчукоев В.З. // Письма в ЖТФ. 2004. Т. 30. № 2. С. 12.
7. Директор Л.Б., Зайченко В.Н., Майков И.Л. // ТВТ. 2010. Т. 48. № 2. С. 193.
8. Stalder A.F., Kulik G., Scenge D. // Coll. Surf. A. Physicochem. Asp. 2006. V. 286. P. 92.
9. Константинов Вс. А. Поверхностное натяжение, структура и микротвердость сплавов свинец–калий, свинец–натрий, свинец–кальций. Автореф. канд. физ.-мат. наук. М.: МГУ, 1950. 8 с.
10. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. М.: Гостехиздат, 1957. 491 с.