

## Температурная зависимость угла смачивания тугоплавких металлов расплавами Pb-Na

*Б.С. Карамурзов<sup>1</sup>, Р.А. Кутуев<sup>2</sup>, М.Х. Понежев<sup>1</sup>, В.А. Созаев<sup>3</sup>,  
А.Х. Шерметов<sup>1</sup>, А.А. Шокаров<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>*Кабардино-Балкарский Государственный университет им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик*

<sup>2</sup>*Чеченский государственный университет, г. Грозный*

<sup>3</sup>*Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ*

**Аннотация:** Методом лежащей капли изучена температурная зависимость краевого угла смачивания сплавов Pb-Na разной концентрации на подложках из Co-Cr, Ni-Cr, нержавеющей стали 25X18H9C2. Измерения проводились методом лежащей капли в широком интервале температур от 350 °С до 800 °С в атмосфере чистого He марки А. Показано, что значение угла смачивания уменьшается с увеличением температуры, наблюдаются пороги смачивания.

**Ключевые слова:** поллитермы угла смачивания, порог смачивания, подложки из Co-Cr, Ni-Cr, 25X18H9C2.

### Введение

Изучение поверхностных свойств металлических расплавов на основе свинца играет важную роль в развитии технологии: пайки, литья, рафинировании металлов, при изготовлении новых композиционных материалов, разработке новых жидкометаллических теплоносителей высокоэнергетических установок.

Сплавы Pb-Na, с определенными концентрациями натрия, перспективны в качестве жаростойких теплоносителей ядерных установок [1,2]. Исследования поверхностных свойств сплавов с малыми добавками щелочных металлов важны также для разработки новых высокоактивных припоев и систем металлизации [3].

Авторами [4] изучались плотность и тепловое расширение системы Na-Pb с малым содержанием свинца, которые показали, что с увеличением

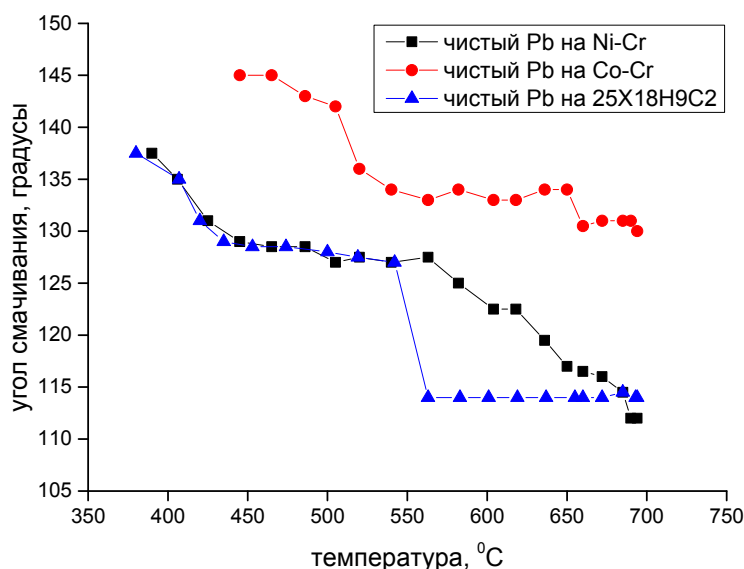
концентрации Рb плотность расплава повышается.

Термические свойства расплавов систем натрий-свинец и калий - свинец с малыми добавками свинца изучались в работе [2], где показано, что особенности поведения мольного объема и коэффициентов теплового расширения расплавов систем натрий-свинец и калий- свинец связаны с тенденцией к образованию интерметаллидов.

Поверхностные свойства систем Pb-Li, Pb-Na, Pb-Rb в литературе встречаются крайне редко. Вместе с тем подобные данные необходимы для правильного понимания процессов адгезии, смачивания и растекания.

### Результаты исследований

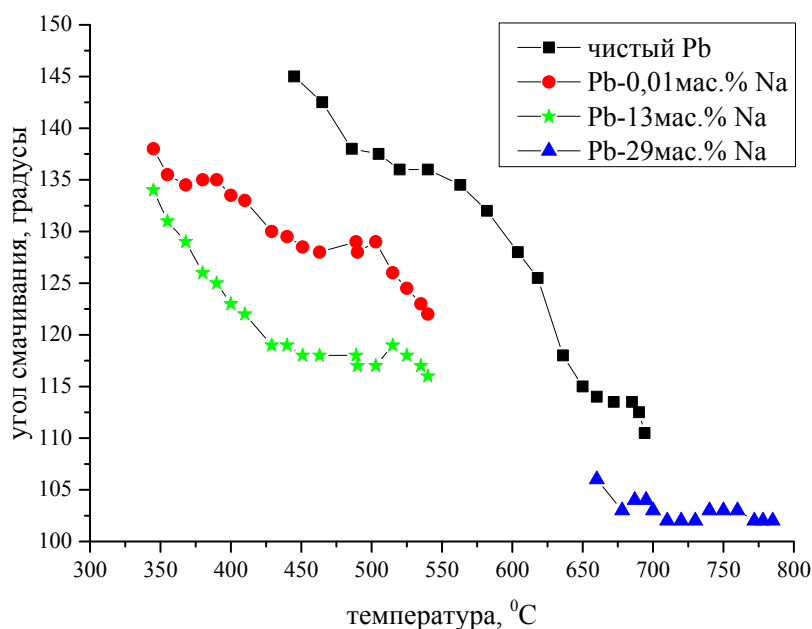
Все эксперименты проводились на высокотемпературной установке, описанной в [5]. Полученные результаты для смачивания чистым Рb подложек из Ni-Cr, Co-Cr и нержавеющей стали 25X18H9C2 приведены на рис.1.



**Рис. 1.** Политермы углов смачивания чистым Рb подложек из Ni-Cr, Co-Cr и нержавеющей стали 25X18H9C2.

Из рис. 1 видно, что в интервале температур от 500 °С до 600 °С происходит резкое уменьшение углов смачивания. Проявление данного “порога” смачивания можно объяснить разрушением оксидных пленок на поверхности капли расплава. Как известно [5-7], разрушение оксидных пленок происходит в интервале температур 450 - 600 °С.

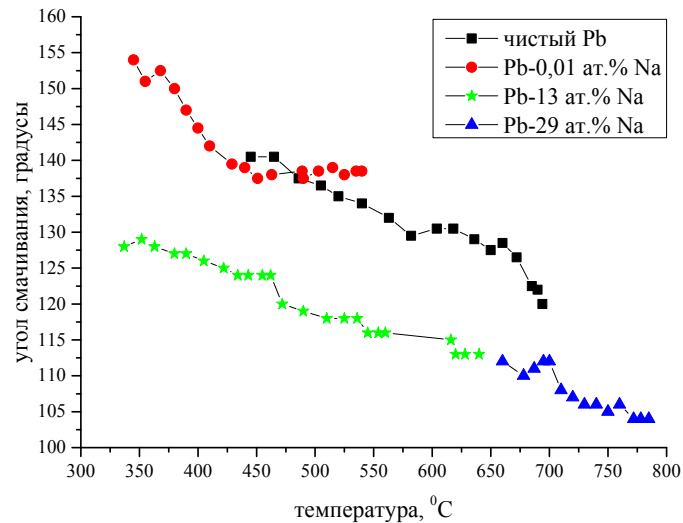
На рис. 2, 3 показаны результаты экспериментов для смачивания расплавом Pb-Na подложки из Ni-Cr и Co-Cr, соответственно.



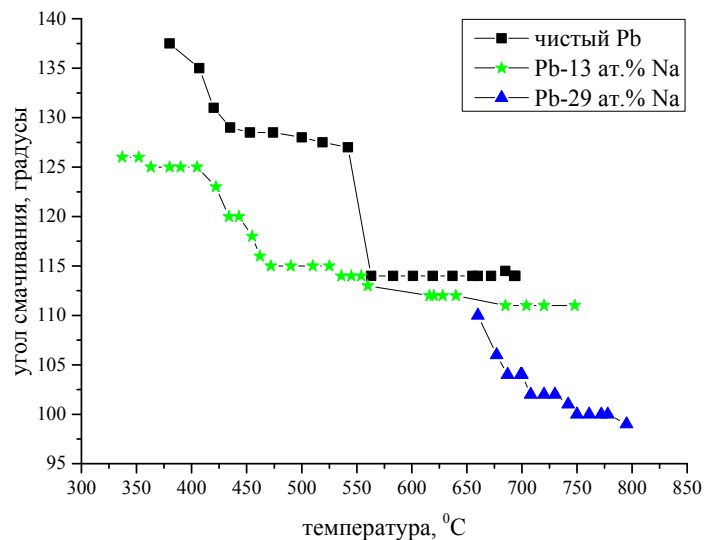
**Рис. 2.** Смачивание расплавом Pb-Na подложки из Ni-Cr: 1 – чистый свинец, 2 – расплав Pb-0,01ат.% Na, 3 - расплав Pb-13 ат.% Na, 4 - расплав Pb-29 ат.% Na.

Из рис. 2, 3 видно, что малые добавки натрия уменьшают краевой угол смачивания. Более наглядно это видно на рис. 4 при смачивании подложки из стали 25X18H9C2. Это объясняется тем, что с увеличением концентрации натрия уменьшается поверхностное натяжение [8,9]. Как показано в работе [9] в интервале концентраций от 13 ат.% Na при 125 С эта зависимость

описывается уравнением  $\sigma=140-150\ln(1+0.14x)-2x$  и теоретически обосновано в работе [10].



**Рис. 3.** Смачивание расплавом Pb-Na подложки из Co-Cr: 1 – чистый свинец, 2 – расплав Pb-0,01 ат.% Na, 3 - расплав Pb-13 ат.% Na, 4 - расплав Pb-29 ат.% Na.



**Рис. 4.** Смачивание расплавом Pb-Na подложки из стали 25X18H9C2: 1 – чистый свинец, 2 – расплав Pb-13 ат.% Na, 4 - расплав Pb-29 ат.% Na.

## Заключение

С использованием высокотемпературной экспериментальной установки [2] произведены исследования температурной зависимости краевых углов смачивания расплавами Pb-Na разных тугоплавких металлов, таких как Ni-Cr, Co-Cr и сталь марки 25X18H9C2. На политермах обнаруживаются «пороги» смачивания, что связано с разрушением оксидных пленок на поверхностях расплавов и процессами взаимодействия расплав – подложка. Показано, что малые добавки существенно уменьшают краевой угол смачивания.

## Литература

1. Абдуллаев Р.Н. Термические свойства расплавов систем натрий-свинец и калий-свинец. URL: [itp.nsc.ru/conferences/avtfg14/files/2.pdf](http://nsc.ru/conferences/avtfg14/files/2.pdf).
2. Засорин И.Н., Кузнецова Л.Н., Кумской В.В. и др. Исследование свойств сплава натрий – свинец с целью выбора состава пожаробезопасной стойкости теплоносителей // Вопросы науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2008. № 4. – С.72-77.
3. Карамурзов Б.С., Кутуев Р.А., Понежев М.Х., Созаев В.А., Шерметов А.Х., Шокаров А.А. Плотность и поверхностное натяжение расплавов свинец-натрий // Известия РАН. Серия Физическая, 2019, т. 83, № 6. – С.845-847.
4. Хайрулин Р.А., Станкус С.В., Абдуллаев Р.Н. Плотность и тепловое расширение жидких сплавов системы Na–Pb с малым содержанием свинца // Теплофизика и аэромеханика, 2013, Т. 20. № 2. С. 223-226.
5. Елекоева К.М., Касумов Ю.Н., Манукянц А.Р., Понежев М.Х., Созаев В.А., Шерметов А.Х. Политерму углов смачивания расплавом Pb-0.49 ат.% Na пористого никеля // 19-й международный симпозиум: Порядок, беспорядок и свойства оксидов, г. Ростов-на-Дону – пос. Южный 5-10 сентября 2016, 2016г, с.282-285.

6. Thermophysical and Electric Properties // Handbook on Lead bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal, Hydraulics and Technologies. OECD. 2007. NEA № 6195. P.693.

7. Камболов Д.А., Кашежев А.З., Кутуев Р.А., Понежев М.Х., Созаев В.А., Шерметов А.Х. Политермы плотности, поверхностного натяжения висмутистого свинца и угла смачивания высоконикелевых и ферритно-мартенситных сталей сплавом Pb-Bi // Теплофизика высоких температур, 2014, Том 52, № 3, С. 392–396.

8. Stalder A.F., Kulik G. Scenge D. et. al. // Colloids and Surfaces A: Physicochem. End. Asp. 2006. V.286. P.92.

9. Константинов В.А. Поверхностное натяжение структуры и микротвердость сплавов свинец-калий, свинец-натрий, свинец-кальций // Автореферат ... канд. физ.- мат. наук. – М.; МГУ, 1950. 8с.

10. Семенченко В.К. Поверхностные явления в металлах и сплавах. – М.: Гостехиздат, 1957. – 491с.

### References

1. Abdullaev R. N. Termicheskie svojstva rasplavov sistem natrij-svinec i kalij-svinec. [Thermal properties of melts of sodium-lead and potassium-lead systems]. URL: [itp.nsc.ru/conferences/avtfg14/files/2.pdf](http://itp.nsc.ru/conferences/avtfg14/files/2.pdf).

2. Zasorin I.N., Kuznecova L.N., Kumskoj V.V. i dr. Voprosy nauki i tekhniki. Seriya: Fizika yadernyh reaktorov. 2008. № 4. pp.72-77.

3. Karamurzov B.S., Kutuev R.A., Ponezhev M.H., Sozaev V.A., SHermetov A.H., SHokarov A.A. Izvestiya RAN. Seriya Fizicheskaya, 2019, t. 83, № 6. pp. 845-847.

4. Hajrulin R.A., Stankus S.V., Abdullaev R.N. *Teplofizika i aeromekhanika*, 2013, Т. 20. № 2. pp. 223-226.
5. Elekoeva K.M., Kasumov YU.N., Manukyanc A.R., Ponezhev M.H., Sozaev V.A., SHermetov A.H. 19-j mezhdunarodnyj simpozium: Poryadok, besporyadok i svoystva oksidov, g. Rostov-na-Donu, pos. YUzhnyj 5-10 sentyabrya 2016, 2016g, pp.282-285.
6. Thermophysical and Electric Properties. Handbook on Lead bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal, Hydraulics and Technologies. OECD. 2007. NEA № 6195. P.693.
7. Kambolov D.A., Kashezhev A.Z., Kutuev R.A., Ponezhev M.H., Sozaev V.A., SHermetov A.H. *Teplofizika vysokih temperatur*, 2014, Tom 52, № 3, pp. 392–396.
8. Stalder A.F., Kulik G. Scenge D. et. al. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. End. Asp.* 2006. V.286. P.92.
9. Konstantinov V.A. *Poverhnostnoe natyazhenie struktury i mikrotverdost' splavov svinec-kalij, svinec-natrij, svinec-kal'cij*. [Surface tension of the structure and microhardness of lead-potassium, lead-sodium, lead-calcium alloys]. Avtoreferat ... kand. fiz.- mat. nauk. M. MGU, 1950. 8p.
10. Semenchenko V.K. *Poverhnostnye yavleniya v metallah i splavah*. [Surface phenomena in metals and alloys]. M.: Gostekhizdat, 1957. 491p.