

Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

В. Р. Пашаев, Д. К. Палчаев, Удельное электро-  
сопротивление сплавов системы таллий – свинец  
в твердом и жидком состояниях,  
*TVT*, 1979, Volume 17, Issue 4, 867–869

<https://www.mathnet.ru/eng/tvt6790>

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that  
you have read and agreed to these terms of use  
<https://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.9.175

May 24, 2025, 19:50:26



того. здесь же даны значения среднеквадратичных смещений атомных комплексов  $\sqrt{\bar{y}}_{\text{дн}}^2$  при 25° С и отношений коэффициентов ангармонической составляющей к гармонической  $\gamma/\beta^2$ , рассчитанные по формулам, представленным, например, в [9, 10]. Как видно, значения указанных характеристик также коррелируют с изменением величин  $l_{\text{Nb-C}}$  и  $l_{\text{Nb-O}}$ .

Институт химии  
Уральского научного центра  
Академия наук СССР

Поступило в редакцию  
9 XI 1978

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Г. Зайнулин, С. И. Алямовский, Г. П. Швейкин, П. В. Гельд. ТВТ, 9, 546, 1971.
2. А. И. Гусев. Автореф. канд. дис. Свердловск, 1974.
3. S. P. Denker. J. Phys. Chem. Sol., 25, 1397, 1964.
4. J. P. Kempter, E. K. Storms. J. Less-Common Met., 13, 443, 1967.
5. Г. В. Самсонов, Г. Ш. Упадхая, В. С. Нешпор. Физическое материаловедение карбидов. «Наукова думка», Киев, 1974, стр. 256.
6. Н. Н. Сирота. В сб. Физика и физико-химический анализ. Изд. Моск. ин-та цв. мет. и золота, № 30, вып. 1, 1958, стр. 138.
7. Ф. Новотный, И. Лаубе. В сб. Физико-химические исследования по металлургии редких металлов. ИЛ, 1963, стр. 138.
8. С. И. Алямовский, Ю. Г. Зайнулин, В. А. Цхай, Г. П. Швейкин, П. В. Гельд. Неорганические материалы, 8, 1770, 1972.
9. Рентгенография в физическом материаловедении (под ред. Ю. А. Багаряцкого). ГНТИ черн. и цветн. металлургии. М., 1961, стр. 211.
10. Г. С. Жданов. Физика твердого тела. Изд. МГУ, 1961, стр. 411.

УДК 537.311.33:546.3

### УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ТАЛЛИЙ — СВИНЕЦ В ТВЕРДОМ И ЖИДКОМ СОСТОЯНИЯХ

Пашаев Б. П., Палчаев Д. К.

Измерения удельного электросопротивления  $\rho$  сплавов системы таллий — свинец проведены на установке, описание которой приведено в [1], там же подробно обсуждались результаты исследования чистых таллия и свинца. Для таллия и сплавов, содержащих 3; 20; 37,5; 50; 65; 75; 80; 90 ат. % Pb ниже и выше точки (интервала) плавления экспериментальные данные температурной зависимости  $\rho$  описываются уравнениями вида

$$\rho_T = \rho_{S,L} [1 + \alpha_{S,L}(T - T_{S,L})],$$

а для трех составов — 6,5; 10; 30 ат. % Pb и чистого свинца в твердом состоянии — уравнениями второй степени

$$\rho_T = \rho_S + A(T - T_S) + B(T - T_S)^2,$$

где  $\rho_T$  — удельное электросопротивление при температуре  $T$ ,  $\rho_{S,L}$  — значения удельного электросопротивления в точках солидуса и ликвидуса  $T_{S,L}$ ;  $\alpha_{S,L}$  — температурный коэффициент удельного электросопротивления в твердом и жидком состояниях.

Ниже точки полиморфного превращения результаты для таллия и сплавов, содержащих 3; 10 ат. % Pb, описываются уравнениями

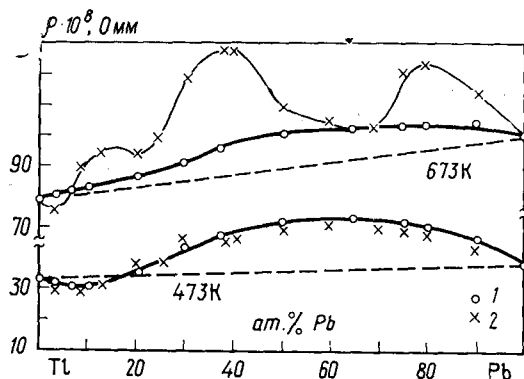
$$\rho_T = \rho_n + A(T - T_n) + B(T - T_n)^2,$$

где  $\rho_n$  — удельное электросопротивление в точке полиморфного превращения  $T_n$ . Значения  $\rho_S$ ,  $\rho_L$ ,  $T_n$ ,  $T_{S,L}$  и коэффициентов  $\alpha_S$ ,  $\alpha_L$ ,  $A$ ,  $B$  для изученных объектов приведены в таблице. Представление количественных результатов эксперимента совершенно необходимо для решения инженерных задач энергетики, теплотехники, металлургии и многих других [2].

Для всех сплавов, так же, как и для чистых металлов, в жидком состоянии характерна линейная зависимость  $\rho$  от  $T$ . В твердом состоянии на температурной зависимости электросопротивления наблюдаются скачки и изломы, характеризующие границы фазовых переходов согласно диаграмме [3], являющейся обобщением работ [4–6]. Фазовая диаграмма состояния системы таллий — свинец по классификации, проведенной в работе [7], относится к системам, содержащим соединения неэлектронного типа с максимумом на линии ликвидуса. Известно, что если кривые ликвидуса и солидуса диаграммы состояния соприкасаются, то соотношение компонентов в выделяющихся кристаллах такое же, как и в расплаве. Однако тщательные измерения, проведенные Курнаковым с сотр., по мнению авторов работы [4] и более поздние работы [5, 6] показали, что максимум на линии ликвидуса лежит

~37,5 ат.% Pb, а не при определенном стехиометрическом составе  $Tl_2Pb$  или  $Tl_3Pb$ . Согласно рентгеновскому анализу ГЦК-решетка Pb продолжает существовать в сплавах (с уменьшенными периодами) вплоть до содержания 12,5 ат.% Pb, что также опровергает мнение о существовании какого-либо соединения в системе Tl-Pb [4].

Температурная зависимость удельного электросопротивления свинца в твердом состоянии нелинейна [1], что так же, как и отклонение от линейности температурной зависимости коэффициента теплового расширения, связывается с образованием вакансий [8, 9]. Учитывая близость атомных радиусов таллия и свинца, можно пред-



Изотермы удельного электросопротивления: 1 - данные авторов; 2 - [15]

положить, что определенная часть атомов таллия заполняет вакантные места в структуре сплава наряду с замещением атомов свинца атомами таллия. Наличие термических дефектов сказывается на спектре колебаний решетки [9]. Известна также роль вакансий в процессе плавления [10-14]. В связи с этим напрашивается вывод о том, что уменьшение числа вакансий может повысить температуру плавления для сплавов замещения, не пересыщенных таллием. К работам, в которых утверждается наличие соединений в системе Tl-Pb при определенных составах, относится статья Предела и Сандига [15]. В этой работе на основе измерения проводимости сплавов системы таллий - свинец в твердом и жидком состояниях утверждается, что на изотермах электросопротивления как в жидком, так и в твердом состояниях, появляются аномальные отклонения от параболической зависимости. Измерения [15] проводились методом вращающегося магнитного поля, весьма чувствительного к изменениям размеров образца. Если учесть, что эксперимент проводился в вакууме  $10^{-1}$  мм рт. ст., то полученные аномалии на изотермах могут быть объяснены наличием газовых пузырей, возникающих вследствие высокой упругости паров для этих сплавов. Наши измерения проводились под избыточным давлением инертного газа в 10-30 мм рт. ст.

Согласно утверждениям авторов [15], аномалии, приходящиеся на составы ~80; 35 и 10 ат.% Pb, в жидком состоянии выражены сильнее (максимальное отклонение от аддитивного значения ~70%), чем в твердом, и обусловлены локализацией электронов в гетерополярных связях при соответствующих концентрациях. На рис. 1 приведены изотермы удельного электросопротивления при температурах 473 и 673 К. Как видно, в твердом состоянии наши результаты хорошо согласуются с данными

ат.% Pb	$T_{пл}$ , К	$\rho_{II} \cdot 10^8$ , Ом·м	$A$ , Ом·м/град	$B \cdot 10^4$ , Ом·м/град <sup>2</sup>	$T_S, L, K$	$\rho_S \cdot 10^8$ , Ом·м	$\alpha_S \cdot 10^8$ , 1/град	$\rho_L \cdot 10^8$ , Ом·м	$\alpha_L \cdot 10^8$ , 1/град
0	508	36,6	0,086	0	577	38,3	2,45	73,6	0,38
3	495	34,2	0,089	0,335	581-586	39,2	1,73	76,8	0,44
6,5	---	---	0,108	0,98	588-595	43,6	Н.Л.	80,0	0,37
10	421	27,3	0,057	0	---	---	---	---	---
	---	---	0,099	0,90	590-617	41,16	Н.Л.	80,8	0,36
20	---	---	---	---	627-639	45,8	1,48	84,1	0,38
30	---	---	0,077	0,30	648-651	56,4	Н.Л.	91,8	0,37
37,5	---	---	---	---	653	62,3	1,06	95,4	0,40
50	---	---	---	---	641-645	64,0	1,18	98,9	0,41
65	---	---	---	---	630	66,1	1,36	99,9	0,44
75	---	---	---	---	622	62,5	1,36	101,0	0,41
80	---	---	---	---	633	62,9	1,19	100,6	0,42
90	---	---	---	---	603-613	55,0	1,59	100,0	0,42
100	---	---	0,105	0,41	600	49,8	Н.Л.	95,39	0,52

[15], а в жидком — различаются как по абсолютной величине, так и по характеру отклонения от аддитивности. Изотерма, построенная по нашим результатам, в жидком состоянии имеет выпуклый и слабо выраженный вогнутый участки с незначительным общим положительным отклонением от аддитивной прямой. Максимальное отклонение от аддитивной зависимости  $\sim 11\%$ . Следует отметить, что область в окрестности точки перегиба изотермы совпадает с областью концентраций, близкой к максимуму ликвидуса диаграммы состояния, подтверждая особенность в формировании структуры сплава этой концентрации как в твердом, так и в жидком состояниях. Изотермы в жидком и твердом состояниях коррелируют между собой, причем в отличие от результатов [15] отклонения их от аддитивных значений в жидком состоянии меньше, чем в твердом. Это можно объяснить увеличением объема сплавов при плавлении и ослаблением индивидуальных особенностей межатомных связей компонентов при переходе в жидкое состояние [16, 17]. Определяющая роль удельного объема при описании электросопротивления для чистых металлов отмечалась авторами работ [18, 19]. Структура расплавов системы таллий — свинец ближе к структуре со статистическим распределением атомов разного сорта, чем к гетеродомической структуре, характерной для ассоциированных жидкостей и, возможно, для сплавов на основе переходных металлов в жидком состоянии.

Дагестанский государственный  
университет им. В. И. Ленина

Поступило в редакцию  
30 XI 1978

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. К. Палчаев, Б. П. Пашаев, В. Г. Ревелис. ТВТ, № 4, 1978.
2. Э. Э. Шпилльрайн, К. Я. Якимович, Е. Е. Тоцкий, Д. Л. Тимрот, В. А. Фомин. Теплофизические свойства щелочных металлов. Изд. стандартов, 1970.
3. Selected Values of the Thermodynamic Properties of Binary Alloys. Amer. Soc. for Metals, 1973.
4. М. Хансен, К. Андерко. Структура двойных сплавов. 1962.
5. В. Predel, R. Mohs. Z. Metallk., 60, 606, 1969.
6. В. Predel, H. Schwermann. Mat. Sci. Eng., 6, 303, 1970.
7. Д. Р. Вилсон. Структура жидких металлов и сплавов. «Металлургия», 1972.
8. A. L. Leadbetter, D. M. T. Newsham, N. H. Pictor. Phil. Mag., 13, № 122, 371, 1966.
9. С. И. Новикова. Тепловое расширение твердых тел. «Наука», 1974.
10. Я. И. Френкель. Кинетическая теория жидкостей. «Наука», Л., 1975.
11. В. И. Мешков. Изв. вузов. Черная металлургия, № 11, 1960.
12. Ю. С. Нечаев. Изв. вузов. Черная металлургия, № 1, 1970.
13. В. А. Соловьев, И. Е. Бочарова. О связи между плавлением, вакансиями и самодиффузией металлов (Вариации на тему «О плавлении металлов»). Препринт. ФЭИ-164, Обнинск, 1969.
14. Г. С. Ершов, В. А. Черняков. Строение и свойства жидких и твердых металлов. «Металлургия», 1978.
15. В. Predel, H. Sandig. Z. Metallk., 61, 4, 1970.
16. Ф. Гайбулаев, А. Р. Регель. ЖТФ, 27, 10, 2240, 1957.
17. Н. Канно. Bull. Chem. Soc. Jap., 45, 9, 1972.
18. А. Н. Соловьев. ТВТ, 1, № 1, 45, 1963.
19. Л. П. Филиппов, Л. Н. Труханова, С. Р. Агала, С. Н. Банчила. Тр. IV Всес. совещ. по тепло-массообмену, 7. Минск, 1972.

УДК 536.033

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРИРУЮЩИХ КАНАЛАХ С КАПИЛЛЯРНО-ПОРистой СТРУКТУРОЙ ФИКСИРОВАННОЙ ГЕОМЕТРИИ

Стырикович М. А., Полонский В. С., Зуйков А. С.

Анализ литературных данных [1–3] показал противоречивость результатов по концентрированию примесей при кипении в каналах с тонкими пористыми отложениями продуктов коррозии на стенках. По данным [1, 2] степень концентрирования примесей  $n$  достигает в слое железноокисных отложений значений  $\cong 10^4$ . В то же время по [3] при тех же примерно условиях степень концентрирования не превышает одного порядка  $n < 10$ . Объяснить такое различие результатов только изменением в структуре отложений (пористостью, эффективным диаметром паровых и жидкостных каналов и т. д.) нельзя, так как условия формирования отложений достаточно похожи. Существенная разница обусловлена, по-видимому, тем, что на результаты [1] повлияло излучение радиоактивного индикатора, находящегося не в растворе, а в виде твердой фазы на стенках канала и в слое отложений. Кроме того, могло сказаться влияние борной кислоты, концентрация которой со-