

Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

Е. В. Zaretskii, V. E. Peletskii, Исследование температуропроводности иодидного титана в широкой окрестности ГПУ – ОЦК-превращения, *TVT*, 1979, Volume 17, Issue 2, 310–313

<https://www.mathnet.ru/eng/tvt6588>

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: 18.97.14.83

May 16, 2025, 13:33:57



УДК 536.2.023

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ИОДИДНОГО ТИТАНА В ШИРОКОЙ ОКРЕСТНОСТИ ГПУ — ОЦК-ПРЕВРАЩЕНИЯ*Зарецкий Е. Б., Пелецкий В. Э.*

В интервале температур 600–1600 К методом плоских температурных волн с применением электронного модулированного нагрева измерена температуропроводность трех образцов иодидного титана. Показано, что влияние остаточных газов в вакуумной камере сказывается в повышении температуры фазового перехода и в увеличении твердости титана. При этом температуропроводность как низко-, так и высокотемпературной фазы снижается на 4%.

Исследование теплофизических свойств титана в окрестности фазового перехода (ГПУ—ОЦК, 1155 К) имеет большое практическое значение. В основном в этой области производится термомеханическая обработка титана и его сплавов. В то же время имеющиеся в литературе данные по такому свойству титана, как коэффициент температуропроводности, весьма противоречивы, особенно при температурах выше 1155 К [1–3]. Расхождения по абсолютной величине температуропроводности достигают 50% от практически постоянных в интервале 1200–1500 К значений [2] до изменений на 50% в том же температурном интервале [1]. Существенно различен также характер температурной зависимости температуропроводности. При этом в литературе практически отсутствует информация о влиянии остаточных газов вакуумной камеры и термической предыстории образцов на результаты этих измерений. Это влияние, как будет показано ниже, существенно. Таким образом, поведение температуропроводности чистого титана в окрестности полиморфного превращения нуждается в уточнении.

Температуропроводность иодидного титана (в соответствии с паспортом 99,98 вес. % Ti) измерялась методом плоских температурных волн на установке, описанной в [4]. Из прутка иодидного титана вытачивались диски диаметром 15 и толщиной ~0,5 мм. После шлифовки толщина образцов равна 0,457 и $0,560 \pm 0,001$ мм (образцы 1 и 2 соответственно). Толщина измерялась на микроскопе ИЗВ-1 в десяти точках образца. Образец помещался в рабочий участок, и на расстоянии ~5 мм от центра к нему искровой сваркой приваривался корольок термопары ВР5/ВР20 диаметром 0,1 мм. Используемая в [4] для определения температуры отнесения хромель-алюмелевая термопара (пульсации температуры измеряются бесконтактно-фоторезистором на базе PbS) не пригодна для работы с титаном, так как, взаимодействуя с ним, образует легкоплавкую эвтектику с $T_{пл} \sim 1300$ К.

Известно, что при температурах выше 1155 К титан проявляет большую адсорбционную [5] и диффузионную [6] активность, при 1155 К коэффициенты диффузии кислорода в ОЦК и ГПУ-решетках титана относятся как 40:1 [7]. В связи с этим предварительный отжиг для снятия напряжений от механической обработки [8] не проводился.

Все эксперименты, кроме приведенных в таблице, велись на частотах модуляции мощности ~450 Гц. Амплитуда пульсаций мощности нагрева:

составляла $1-2 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$. При этом амплитуда колебаний температуры на небомбардируемой электронами поверхности образца составляла $0,01-0,05 \text{ К}$; а фазовый сдвиг между колебаниями мощности и температуры был $3-4,5$ рад.

Ход экспериментов следующий. Измерения температуропроводности проводились в интервале $600-1200 \text{ К}$, а затем — при обратном температурном ходе ($1250-1050 \text{ К}$) — серия экспериментов I. Затем образцы подвергались изотермическому отжигу при 1500 К , образец 1—20, образец 2—10 мин, и снова проводились измерения температуропроводности в интервале $600-1600 \text{ К}$ — серия экспериментов II. В течение всех опытов вакуум в камере был $2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст., заметных его колебаний не наблюдалось.

Значения температуропроводности иодидного титана, полученные при непрерывном нагреве образца от 600 до 1500 К . Интервал температур $1150-1550 \text{ К}$ во избежание загрязнения образца пройден за 3 мин., толщина образца $0,556 \text{ мм}$, частота модуляции в эксперименте $248,2 \text{ Гц}$

Номер опыта	T, К	α , см ² /с	Номер опыта	T, К	α , см ² /с
1	610,4	0,0520	27	1130,8	0,0532
2	648,6	0,0522	28	1132,6	0,0537
3	686,8	0,0534	29	1133,7	0,0550
4	707,6	0,0517	30	1134,0	0,0557
5	729,5	0,0519	31	1135,4	0,0583
6	760,0	0,0511	32	1136,4	0,0595
7	771,1	0,0523	33	1137,6	0,0604
8	800,3	0,0508	34	1139,8	0,0610
9	829,6	0,0517	35	1145,7	0,0615
10	870,7	0,0517	36	1155,8	0,0616
11	894,2	0,0515	37	1181,7	0,0623
12	907,4	0,0517	38	1199,6	0,0630
13	929,4	0,0517	39	1219,5	0,0636
14	953,2	0,0518	40	1237,4	0,0640
15	981,5	0,0518	41	1247,3	0,0643
16	1016,5	0,0520	42	1259,1	0,0644
17	1046,1	0,0525	43	1274,5	0,0651
18	1064,7	0,0526	44	1293,9	0,0656
19	1080,0	0,0527	45	1304,9	0,0659
20	1097,5	0,0528	46	1325,1	0,0664
21	1105,9	0,0530	47	1349,3	0,0665
22	1113,1	0,0530	48	1371,8	0,0678
23	1115,4	0,0531	49	1386,4	0,0675
24	1118,7	0,0532	50	1413,1	0,0683
25	1124,1	0,0530	51	1444,1	0,0686
26	1128,1	0,0531	52	1483,0	0,0694
			53	1492,0	0,0696
			54	1537,1	0,0702

На рис. 1 представлены результаты измерения температуропроводности на образце 1 при первом проходе и обратном температурном ходе в окрестности ГПУ—ОЦК-превращения. В области высокотемпературной фазы образец находился не более 3 мин. Результат взаимодействия образца с остаточными газами камеры ясно виден на рис. 1. Следует отметить не только расширение температурного интервала фазового перехода при обратном ходе от 10 до 30 К , но и различное уменьшение величины коэффициента температуропроводности в области ГПУ и ОЦК-фазы, $1,9$ и 1% соответственно, превосходящее погрешность эксперимента. Повидимому, примесь внедрения в малых количествах вносит большее возмущение в более плотную ГПУ-решетку. Нельзя исключить и такой фактор, как уменьшение некоторой начальной анизотропии образца в результате его нагрева, так как в исходном прутке иодидного титана направления преимущественного роста кристаллитов располагаются вдоль радиусов исследуемого образца. Результаты измерения температуропро-

водности на образце 2 в серии I имеют аналогичный характер. Расхождение между значениями температуропроводности, полученными на образцах 1 и 2, не превышает величины экспериментального разброса данных в сериях экспериментов I и II.

На рис. 2 приведено сравнение результатов серии II на образцах 1 и 2 с результатами экспериментов I на образце 2. Совпадение значений температуропроводности образцов 1 и 2 в серии экспериментов II говорит о том, что, по-видимому, при 1500 К равновесие в системе «остаточный газ камеры — твердый раствор внедрения в титане» достигается для таких тонких образцов менее чем за 10 мин. При этом изменение температуропроводности в α - и β -фазах составляет $\sim 4\%$. Температурный интервал полиморфного превращения расширен уже до 50—60 К и сдвинут

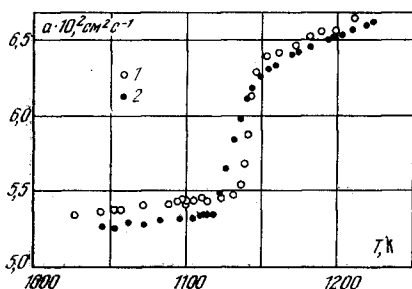


Рис. 1

Рис. 1. Температуропроводность иодидного титана в окрестности ГПУ — ОЦК-превращения. Серия экспериментов I, образец 1: 1 — прямой, 2 — обратный температурный ход

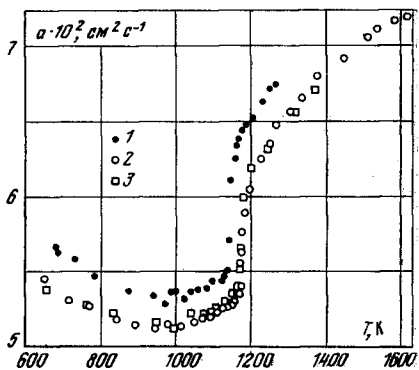


Рис. 2

Рис. 2. Влияние остаточных газов на температуропроводность иодидного титана: 1 — серия экспериментов I, образец 2; 2 и 3 — серия экспериментов II, образцы 1 и 2 соответственно

вверх по температуре. Это согласуется с тем, что остаточные газы вакуумной камеры (O_2 , N_2) при легировании ими титана являются активными α -стабилизаторами [9]. Повышение стабильности α -фазы, связанное с загрязнением остаточными газами [10], находит косвенное подтверждение в росте твердости образцов после экспериментов до 76 единиц HR_B (нагрузка 60 кг) и 200 единиц HV по сравнению с твердостью иодидного титана до опытов, соответственно 35 единиц HR_B и 105 единиц HV .

Полученные нами значения температуропроводности иодидного титана свидетельствуют о слабом изменении ее в α -фазе, что находится в согласии с [1—3], но не подтверждают результатов [2], в соответствии с которыми температуропроводность β -фазы постоянна и равна $0,06 \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Введение в наши результаты поправки на влияние термического расширения образца не компенсирует изменения температуропроводности с температурой.

Из сказанного выше можно заключить, что значения температуропроводности, полученные в эксперименте, аналогичном I, могут быть с погрешностью $\pm(1,5-2)\%$ приняты в качестве температуропроводности чистого титана (см. таблицу). Дальнейший прогресс в этой области возможен за счет улучшения вакуума до 10^{-10} — 10^{-11} мм рт. ст., что предохранит титан от загрязнения в ходе эксперимента.

Авторы выражают благодарность И. А. Алеховой за помощь при проведении измерений.

Институт высоких температур
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
28 VII 1978

ЛИТЕРАТУРА

1. Therm. Properties of High Temperature Solid Materials (ed. Touloukian), *J. McMillan*, N. Y., 1970.
 2. *В. Е. Зиновьев, Р. П. Кренцис, П. В. Гельд.* ТВТ, 6, № 5, 927, 1968.
 3. *А. В. Арутюнов, С. В. Банчила, Л. П. Филиппов.* ТВТ, 9, № 3, 535, 1971.
 4. *Е. Б. Зарецкий, В. Э. Пелецкий.* ТВТ, 17, № 1, 1978.
 5. *G. Horz.* Met. Trans. AIME, 3, 12, 3069, 1972.
 6. *В. С. Еремеев, Ю. М. Иванова, А. С. Панов.* Изв. АН СССР, сер. Металлы, № 4, 263, 1969.
 7. *Д. В. Игнатов, М. С. Модель, Л. Ф. Сокирянский, А. Д. Шиняев.* В сб. Химия металлов и сплавов. «Наука», 1973, стр. 208.
 8. *В. М. Зайченко, Е. Б. Зарецкий.* ТВТ, 15, № 5, 1105, 1976.
 9. *М. Хансен, К. Андерко.* Структуры двойных сплавов, 2. Металлургиздат, 1962.
 10. *С. Г. Федотов.* Изв. АН СССР, сер. Неорган. материалы, 1, № 10, 1737, 1965.
-