

ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ТОМ 3 КНИГА 1

Под общей редакцией
академика РАН Н.П. Лякишева



МОСКВА
МАШИНОСТРОЕНИЕ
2001

**ДИАГРАММЫ
СОСТОЯНИЯ
ДВОЙНЫХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

Справочник в трех томах

Редакционный совет:

акад. РАН Н.П. Лякишев
(главный редактор издания),

акад. РАН О.А. Банных
(зам. гл. ред.),

д-р техн. наук Л.Л. Рохлин
(зам. гл. ред.),

канд. техн. наук С.П. Алисова,

канд. техн. наук Н.Р. Бочвар,

канд. техн. наук П.Б. Будберг,

канд. техн. наук Т.В. Добаткина,

канд. техн. наук Е.В. Лысова,

д-р техн. наук В.П. Полякова,

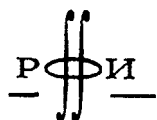
д-р техн. наук К.Б. Поварова,

д-р техн. наук М.А. Тылкина,

д-р хим. наук Л.Е. Шелимова,

д-р техн. наук Е.Н. Шефтель

МОСКВА
МАШИНОСТРОЕНИЕ
2001



*Издание осуществлено при поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований по проекту 98-03-46017*

Д44 **Диаграммы** состояния двойных металлических систем:
Справочник: В 3 т.: Т. 3. Кн. I / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. –
М.: Машиностроение, 2001. – 872 с.: ил.

Приведены критически рассмотренные и обобщенные сведения о диаграммах состояния двойных металлических систем, знание которых необходимо для выбора и разработки промышленных металлических материалов, технологии их производства и практического использования. Содержатся сведения об образующихся в системах соединениях и их кристаллических структурах, типах и температурах фазовых превращений, взаимных растворимостях компонентов друг в друге и изменении их с температурой.

Для инженерно-технических работников научно-исследовательских институтов и промышленных предприятий металлургии, машиностроения и других отраслей промышленности, а также для профессорско-преподавательского состава и студентов высших учебных заведений.

ISBN 5-217-02843-2(Т. 3)
ISBN 5-217-02687-1

ББК 34.2

© Н.П. Лякишев, О.А. Банных,
Л.Л. Рохлин и др., 1999
© Издательство "Машиностроение", 1999
© Издательство "Машиностроение", 2001

$$\ln x = 970/T - 3,4 + 2,15 \cdot 10^{-3} (T - 1000), [4]$$

где x – атомная доля Tc, T – температура, К. Для расчета растворимости Mo в (Tc) в интервале температур (927–2077 °C) предложено уравнение

$$\ln x = -3,2 + 1,88 \cdot 10^{-3} (T - 1000) - 1800/T \pm 0,5,$$

где x – атомная доля Mo, T – температура, К.

Кристаллическая структура соединений системы Mo–Tc представлена в табл. 200.

Т а б л и ц а 200 Кристаллическая структура соединений системы Mo–Tc

Соединение	Прототип	Символ Пирсона, пр гр	Параметры решетки, нм		Примечание
			a	c	
MoTc (β)	W ₃ O	$cP8$, $Pm\bar{3}n$	0,49408	–	[1]
			0,4942	–	[2]
Mo ₂ Tc _{3-x} (o)	oCrFe	$iP30$, $P4_2/mnm$	0,95091	0,49448	При 70 % (ат) Tc
			0,9530	0,4960	При 58 % (ат) Tc за- калка от 1200 °C [Ш]
			0,9490	0,4940	При 78 % (ат) Tc за- калка от 1200 °C [Ш]

Литература

- 1 Darby J.B., Ziegler S.T. // J Phys Chem Solids 1962 V 23 P 1825–1827
- 2 Niemiec J. // Bull Acad Polon Sci, Tech 1963 V 11 P 306–309
- 3 Алексеевский Н.Е., Балаковский О.А., Кириллов И.В. // Физика металлов и металловедение 1975 Т 40 С 50–54
- 4 Brewer L., Lamoreaux R.H. // Atomic Energy Review, Special Issue N 7 Molybdenum Physico-chemical properties of its compounds and alloys Vienna International Atomic Energy Agency 1980 P 195–356

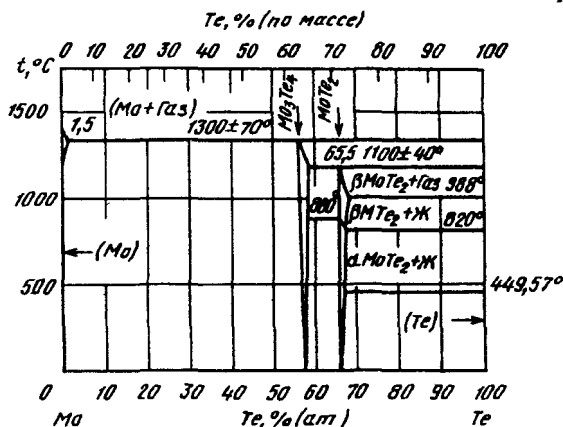
К Б Поварова

Mo–Te. МОЛИБДЕН–ТЕЛЛУР

Взаимодействие Mo с Te изучалось рядом авторов [X, Э, Ш]; обзор ранних работ по этой системе приведен в работе [1]. В системе существуют два соединения MoTe₂ и Mo₃Te₄ [2–4]. Соединение MoTe₂ было синтезировано при 1100 °C из Mo и Te чистотой 99,999 % (по массе) [3]. В работе [4] определен узкий интервал гомогенности MoTe_{1,90–1,99} при 750–950 °C, в работе [6] измерено давление диссоциации MoTe_{2-x} при

Mo-Te. MOLYBDENUM-TELLURIUM The interaction of Mo with Te has been studied by a number of authors [X, E, W% B A review of early works on this system is given in (1) The system contains two Mote compounds, and Mo and Te, [2-4] MoTe compound, was synthesized at 100 ° C from Mo and Te with a purity of 999% (by weight) [3] In [4], a narrow homogeneity interval of MoTe was determined, 90-199 At 750-950 ° C; MoTe, x at

Рис. 225. Mo-Te



909–981 °C, эти результаты экстраполированы до $1180 \pm 40^\circ\text{C}$ для Mo_3Te_4 и $\text{MoTe}_{1,9}$ в равновесии с парами Te_2 при давлении 0,1 МПа. Потери веса сплавов системы Mo–Te при нагреве исследованы в работе [7].

В работе [8] на основании анализа экспериментальных данных и термодинамических расчетов построена диаграмма состояния Mo–Te (рис. 225). Граница области гомогенности соединения Mo_3Te_4 со стороны Mo простирается от состава $\text{MoTe}_{1,3}$ при низких температурах до $\text{MoTe}_{1,27}$ при $1300 \pm 70^\circ\text{C}$. При 1300°C соединение находится в равновесии с парами Te_2 при давлении 0,1 МПа и твердым раствором на основе Mo, содержащим $1,5 \pm 1\%$ (ат.) Te. Со стороны Te граница области гомогенности проходит от $\text{MoTe}_{1,35}$ при низких температурах до $\text{MoTe}_{1,4}$ при $1180 \pm 40^\circ\text{C}$. При температуре 1180°C в равновесии с Mo_3Te_4 находится βMoTe_2 , содержащее 65,5 % (ат.) Te, и пары Te_2 при давлении 0,1 МПа. При температуре 988°C соединение βMoTe_2 , содержащее 66,6 % (ат.) Te, находится в равновесии с твердым раствором на основе Te и парами Te_2 при давлении 0,1 МПа. При температуре 820°C соединение βMoTe_2 , содержащее 66,6 % (ат.) Te, находится в равновесии с (Te) и соединением αMoTe_2 , содержащим 66,7 % (ат.) Te. Содержание Mo в парах, расплаве и (Te) предельно мало.

Растворимость Te в (Mo) может быть рассчитана для интервала температур 427–1300 °C по уравнению.

$$\ln x = -6600/T,$$

где x – атомная доля Te, T – температура, К [8]

909–981 °C, these results are extrapolated to $1180 \pm 40^\circ\text{C}$ for Mo_3Te_4 and $\text{MoTe}_{1,9}$ in equilibrium with Te vapours, at a pressure of 0.1 MPa. The weight loss of alloys of the Mo–Te system during heating was investigated in work [7]. In work [8], on the basis of the analysis of experimental data and thermodynamic calculations, a diagram of the state of Mo–Te was constructed (Fig. 225). The boundary of the homogeneity region of the Mo compound, Te so on the Mo side extends from the composition $\text{MoTe}_{1,3}$ at low temperatures to $\text{MoTe}_{1,27}$ at $1300 \pm 70^\circ\text{C}$. At 1300°C , the compound is in equilibrium with Te vapours at a pressure of 0.1 MPa and a solid solution based on Mo containing 1.51 at.% Te. On the Te side, the boundary of the homogeneity region runs from $\text{MoTe}_{1,35}$ at low temperatures to $\text{MoTe}_{1,4}$ at $1180 \pm 40^\circ\text{C}$. At a temperature of 1180°C , βMoTe_2 is in equilibrium with $\text{MoTe}_{1,4}$, containing 65.5% (at.) Te, and vapours of Te_2 at a pressure of 0.1 MPa. At a temperature of 988°C , the compound βMoTe_2 , containing 66.6% (at.) Te, is in equilibrium with a solid solution based on Te and Te_2 vapour at a pressure of 0.1 MPa. At a temperature of 820°C , the βMoTe_2 compound, containing 66.6% (at.) Te, is in equilibrium with (Te) and the αMoTe_2 compound, containing 66.7% (at.) Te. The content of Mo in vapour, melt and (Te) is extremely small. The solubility of Te in (Mo) can be calculated for the temperature range 427–1300 °C according to the equation.

$$\ln x = -6600/T$$

Where x is the atomic fraction of Te, T – temperature, K [8]

На основании анализа систем Mo с S и Se в работе [8] высказано предположение, что при повышении давления Te_2 в системе соединения Mo_3Te_4 и $MoTe_2$ плавятся конгруэнтно при 1500–1600 °C, и возможно образование эвтектик между Mo и Mo_3Te_4 и Mo_3Te_4 и $MoTe_2$.

Кристаллическая структура теллуридов Mo представлена в табл. 201.

Т а б л и ц а 201. Кристаллическая структура соединений системы Mo-Te

Соединение	Символ Пирсона, пр. гр.	Параметры решетки, нм			Примечание
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	
$Mo_3Te_4^*$	—, <i>R3</i>	1,013	—	1,170	[1]
$Mo_3Te_4^{**}$	—	0,4875	0,5092	0,7051	$\beta = 93, 75^\circ$ [5]
$\alpha MoTe_2$	<i>hP6</i> , <i>P6₃/mmc</i>	0,35182	—	1,39736	[1, 2, 4, 6, 7]
$\beta MoTe_2$	<i>mP6</i> , <i>P2₁/m</i>	0,633	0,3469	1,386	$\beta = 93, 55^\circ$ [1, 4, 9]
* Гексагональная сингония tetragonal sys.					
** Моноклинная сингония. monoclinic sys					

Литература

1. Spiesser M., Rouxe J., Kerriou M., Goureaux M.G. // Bull. Soc. Chim., France. 1969. N 5. P. 1427–1431.
2. Кноп О., MacDonald R.D. // Canad. J. Chem. 1961. V. 39. P. 897–904.
3. Puotinen D., Newham R.E. // Acta Crystallogr. 1961. V. 14. P. 691–692.
4. Briquer L.J. // J. Inorg Nuclear Chem. 1962. V. 24. P. 257–263.
5. Vellinga M.B., De Jonge R., Haas C.U. // J. Solid State Chem. 1970. V. 2. N 20. P. 299–302.
6. Опаловский А.А., Федоров В.Е., Лобков Е.У., Тжикаиовский Б.И. // Журнал физической химии. 1971. Т. 45. С. 1864.
7. Янаки А.А., Оболончик В.А. // Журнал прикладной химии. 1974. Т. 47. С. 1454–1458.
8. Brewer L., Lamoreaux R.H. // Atomic Energy Review, Special Issue N 7. Molybdenum: Physico-chemical properties of its compounds and alloys. Vienna: International Atomic Energy Agency. 1980. P. 195–356.
9. Revoliusly E., Beerntseu D. J. // J. Phys. Chem. Solids. 1966. V. 27. P. 523.

К.Б. Поварова

Mo-Th. МОЛИБДЕН-ТОРИЙ

Взаимодействие Mo с Th изучалось рядом авторов [X, Э, Ш]. Диаграмма состояния системы (рис. 226) была построена по результатам микроструктурного, рентгеновского анализов и методом определения температур плавления сплавов, полученных дуговой плавкой в вакууме

Based on the analysis of the Mo systems with S and Se in [8], it was suggested that with an increase in pressure 1e in the system of Mo₃Ge, and MoTc, they melt congruently at 1500-1600 °C, and the formation of eutectics between Mo and Mo₃Te₄ and Mo₃Te₄ and MoTe₂. The crystal structure of Mo tellurides is shown in Table 201.