

Попарно приравняв выражения для термодинамических потенциалов  $\alpha$ -,  $\gamma$ - и  $\epsilon$ -фаз (см. уравнение (3)) при заданных  $P$  и  $T_0$ , можно определить концентрацию  $c_0$ , и построить линии  $T_0^{i-j}(c_0)$  для разных давлений. Рассчитанные линии  $T_0^{i-j}(c_0)$  при атмосферном давлении нанесены на рис. 1 пунктиром. На рис. 4 показано смещение линий диаграммы метастабильных бездиффузионных равновесий под влиянием давления в 30 кбар.

Из рис. 1 и 4 видно, что  $\epsilon$ -фаза при атмосферном давлении имеет область метастабильной устойчивости, простирающуюся от  $\sim 20$  до  $\sim 36$  ат. % Мп. Этот вывод хорошо согласуется с литературными данными. В сплавах указанного интервала концентраций наблюдаются только превращения  $\gamma \rightarrow \epsilon$  или  $\alpha \rightarrow \epsilon$ , в то время как в сплавах, содержащих менее 20 ат. % Мп, имеют место превращения типа  $\gamma \rightarrow \alpha$  и  $\epsilon \rightarrow \alpha$  [18]. Расчетная метастабильная диаграмма бездиффузионных равновесий показывает также, в соответствии с результатами опытов, что  $\epsilon$ -фаза может быть промежуточным звеном в  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращении только для сплавов с содержанием марганца, меньшим 20 ат. %. В области же метастабильной устойчивости  $\epsilon$ -фазы промежуточной при  $\gamma \rightarrow \epsilon$ -превращении будет  $\alpha$ -фаза. Таким образом, то обстоятельство, что при комнатной температуре железо-марганцевые сплавы в зависимости от состава и режимов предшествующих термических и механических обработок могут находиться в однофазном, двухфазном и трехфазном состоянии, соответствует результатам нашего расчета. При этом в ряде случаев расчетная диаграмма дает возможность предсказать как фазовый состав, так и очередность появления фаз при тех или иных обработках.

Из рис. 4 видно, что протяженность области метастабильной устойчивости  $\epsilon$ -фазы очень чувствительна к давлению и при 30 кбар значительно расширилась по температуре и составу. Поэтому следует ожидать, что в условиях высокого давления  $\epsilon$ -фаза будет образовываться и в сплавах с содержанием марганца, превышающим 36 ат. %.

Ряд следствий, вытекающих из проведенных выше расчетов, подтвердился при экспериментальном исследовании влияния всестороннего давления и пластической деформации на фазовый состав сплавов системы железо — марганец [19].

Из проведенного нами исследования следует, что  $\epsilon$ -фаза, легко образующаяся в сплавах железо — марганец при атмосферном давлении, является твердым раствором на базе  $\epsilon$ -модификации высокого давления чистого железа. Легирование железа марганцем повышает термодинамическую устойчивость  $\epsilon$ -фазы. Кроме системы железо — марганец, это имеет место, например, в системе железо — иридий, в которой  $\epsilon$ -фаза появляется не только в результате мартенситного превращения [20], но и при длительном отпуске [21]. Следовательно, несмотря на то, что у иридия нет  $\epsilon$ -модификации при атмосферном давлении в системе железо — иридий,  $\epsilon$ -фаза

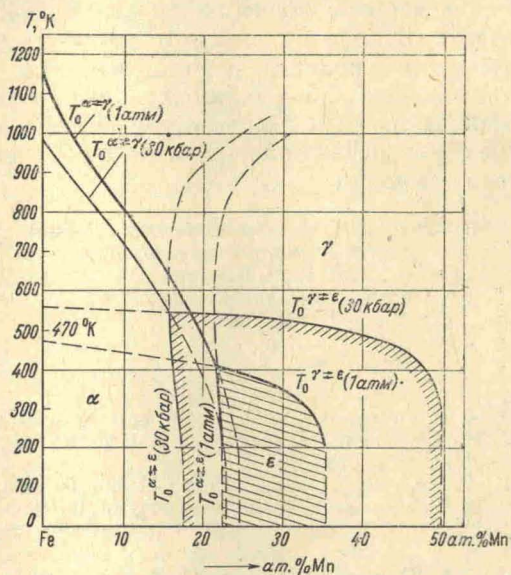


Рис. 4. Диаграмма метастабильных бездиффузионных (мартенситных) равновесий в системе железо — марганец при 1 атм и под давлением 30 кбар. Сплошные линии — границы областей устойчивости метастабильных фаз; пунктирные линии — продолжение линий равновесия за точки тройного равновесия  $\alpha - \gamma - \epsilon$



в некоторой области температур и составов может быть даже стабильной. В этом отношении диаграмма системы железо — иридий при 1 атм соответствует диаграмме системы железо — марганец при повышенных давлениях, когда на ней появляется область стабильной  $\epsilon$ -фазы (см. рис. 3). Метастабильная  $\epsilon$ -фаза образуется также в системе железо — углерод у сплавов с 3,5—4,5% С при резкой закалке из жидкого состояния [22]. Есть основания считать, что это не  $\epsilon$ -карбид, а фаза, ведущая свое происхождение от  $\epsilon$ -модификации железа.

В принципе  $\epsilon$ -фаза должна появляться при соответствующих давлениях у всех сплавов на основе железа, но, как мы видели, это может происходить и при атмосферном давлении. Наличие  $\epsilon$ -модификации у второго компонента должно облегчать появление  $\epsilon$ -фазы в железном углу диаграммы, как это имеет место в системе железо — рутений [16].

Выявление фазы высокого давления путем легирования присуще, по-видимому, и сплавам на базе титана и циркония, у которых часто появляется некая «непонятная» метастабильная или промежуточная  $\omega$ -фаза, имеющая, однако, ту же структуру, что и  $\omega$ -модификация титана и циркония при высоком давлении.

В данной работе для описания  $\epsilon$ -фазы в сплавах Fe — Mn мы использовали данные, относящиеся к  $\epsilon$ -модификации железа и  $T - P$ -диаграмме железа. Возможно, однако и противоположный путь, когда данные, полученные для сплавов, используются для описания поведения компонентов под давлением. По-видимому, такой подход может быть плодотворен для анализа термодинамических свойств и возможности получения под давлением  $\epsilon$ -модификации иридия с помощью данных об  $\epsilon$ -фазе в системе железо — иридий.

Центральный научно-исследовательский  
институт черной металлургии  
им. И. П. Бардина  
Институт физики твердого тела  
Москва

Поступила  
10.IV.1967

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. R. Troiano, F. T. McGuire, Trans. ASM, 31, 340, 1943.
2. М. Хансен, К. Андерко, Структуры двойных сплавов, Металлургиядат, М., т. II, 1962, стр. 708.
3. A. Osawa, Science Reports of the Tohoku Imperial University, 19, 247, 1930.
4. T. Ishiwara, Science Reports of the Tohoku Imperial University, 19, 499, 1930.
5. T. Ohman, Zeitschrift für Physikalische Chemie (B), 8, 81, 1930.
6. Н. Ф. Лашко, Физика металлов и металловедение, 12, 733, 1961.
7. J. A. Venables, Philos. Mag., 8, 35, 1962.
8. H. Schuman, F. Heider, Z. Metallkunde, 56, 165, 1965.
9. F. M. Walters and C. Wells, Trans. Amer. Soc. Metals, 23, 727, 1935.
10. D. Bencroft, E. L. Peterson and S. F. Minhall, J. Appl. Phys., 29, 291, 1956.
11. J. C. Jamieson and A. W. Lawson, J. Appl. Phys., 33, 776, 1962.
12. T. Takahashi, W. A. Bassett, Science, 145, 483, 1964.
13. F. R. Bundy, J. Appl. Phys., 36, 616, 1965.
14. Т. П. Ершова, Е. Г. Понятовский, Изв. АН СССР, Металлы, 4, 156, 1967.
15. Б. М. Морутнов, И. А. Томилиш, Изв. АН СССР, Металлы, 4, 28, 1967.
16. L. D. Blackburn, L. Kaufman, M. Cohen, Acta metallurgica, 13, 533, 1965.
17. М. Х. Карапетьянц, Химическая термодинамика. Госхимиздат, М., 1949, стр. 422.
18. Л. С. Ершова, Канд. дисс., Свердловск, 1962.
19. Е. Г. Понятовский, Т. П. Ершова, О. П. Максимова, В. М. Розенберг, Изв. АН СССР, Металлы, 5, 223, 1967.
20. M. Miyagi, C. M. Wayman, Trans. Met. Soc. AJME, 236, 806, 1966.
21. E. Baub, O. Loebisch und H. Beeskow, Z. Metallkunde, 55, 367, 1964.
22. R. C. Ruhl, M. Cohen, Acta metallurgica, 15, 159, 1967.