

УДК 669.245'71'295

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Р. С. МИНЦ, Н. П. ДЬЯКОНОВА, Я. С. УМАНСКИЙ,
Ю. А. БОНДАРЕНКО, Т. А. БОНДАРЕНКО

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФАЗЫ Ni_3Al С Ni_3Ta

(Представлено академиком С. Т. Кишкиным 19 VII 1971)

Сплавы составов Ni_3Al (¹) и Ni_3Ta (¹, ²) приготавливали сплавлением чистых шихтовых материалов в дуговой и индукционных печах в инертной атмосфере. Использовали электролитический никель (марки НО), электроннолучевой тантал двойного перепада и алюминий (АВ000), который вводили в виде лигатуры Ni — Al (28,3% Al). Исследование проводили на слитках (корольках), полученных в дуговой печи, на отлитых в тех же печах стержнях диаметром 4 мм, а также на образцах, полученных путем перепада слитков дуговой плавки в индукционной печи под слоем флюса, и стержнях, полученных вытягиванием из расплава. Исследовались микроструктура, твердость, электросопротивление, тепловое расширение и жаропрочность (методом центробежного изгиба) (³, ⁴). Рентгеновский фазовый анализ проводился на Cr K_{α} -излучении (V-фильтр) в камере РКУ-86. После измельчения в порошок сплавы отжигались в кварцевых ампулах при 1100° в течение 15 мин и закалывались в воду.

Результаты измерений представлены на рис. 1. Кривая 2 изменения электросопротивления сплавов в литом состоянии в зависимости от состава состоит из двух ветвей, образующих сингулярный максимум при 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta (везде мол. %). При этом электросопротивление возрастает от 40 ом·см для сплава Ni_3Al до 250 ом·см (ошибка измерения $\pm 1\%$) для сплава 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta . Термическая обработка не изменяет характера кривой. Твердость сплавов 1 также возрастает от значений 120 ± 10 кг/мм² (H_V) для сплава Ni_3Al до 470 ± 10 кг/мм² (H_V) для сплава 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta , при дальнейшем увеличении содержания Ni_3Ta твердость уменьшается.

Рентгеновский фазовый анализ и исследование микроструктуры сплавов после закалки с 1100° С позволили обнаружить широкую область твердых растворов со стороны Ni_3Al примерно до 35% Ni_3Ta (рис. 2а). Эта область граничит с двухфазной областью (рис. 2б). Вблизи состава 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta сплавы однофазны (рис. 2в), а при дальнейшем увеличении содержания Ni_3Ta сплавы вновь становятся двухфазными (рис. 2г).

При увеличении содержания в сплаве Ni_3Ta до 35% период решетки твердого раствора на основе Ni_3Al возрастает до значений $a = 3,624 \pm 0,002$.

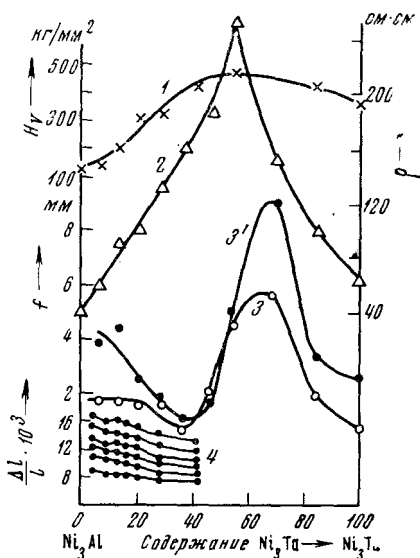


Рис. 1. Зависимость свойств сплавов разреза Ni_3Al — Ni_3Ta от состава. 1 — твердость H_V , 2 — электросопротивление ρ , 3, 3' — жаропрочность, стрела изгиба f мм за 75 час. (3) и за 150 час. испытания (3'); 4 — удельное тепловое расширение

Наряду с системой отражений, отвечающих твердому раствору на основе Ni_3Al , на рентгенограмме от этого сплава обнаружены дополнительные линии, которые не удалось отнести ни к одной из известных фаз для этой системы. На рентгенограмме от сплава с 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta присутствуют линии, относящиеся только к этой неизвестной фазе. Сплав 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta стехиометрически соответствует соединению Ni_6TaAl . Существование соединения $\text{Ni}_3\text{Ta}_{0,5}\text{Al}_{0,5}$ было отмечено в работе (5). Рентгенограмма от сплава состава 50% Ni_3Al — 50% Ni_3Ta индицируется в гексагональной системе при соотношении осей $c/a \cong 1,63$. Периоды решетки фазы меняются от $a = 5,105 \pm 0,003$, $c = 8,319 \pm 0,008$ со стороны, богатой алюминием, до $a = 5,137 \pm 0,003$ и $c = 8,366 \pm 0,008$ Å со стороны, богатой танталом. Соотношение интенсивностей обнаруженных линий примерно соответствует соотношению их в фазе Ni_3Ti . Для точного определения соответствия этой фазы структурному типу Ni_3Ti необходим теоретический расчет интенсивностей.

Обращает на себя внимание, что число электронов на атом в фазах Ni_6TaAl и Ni_3Ti одинаково.

Исследование жаропрочности (рис. 1, 3, 3') сплавов системы Ni_3Al — Ni_3Ta методом центробежного изгиба при 800°C и напряжении 15 кг/мм^2 (до 150 час.) показало, что в данной системе наиболее жаропрочными являются сплавы, содержащие примерно 35% Ni_3Ta . Эти сплавы имеют двухфазную структуру: твердый раствор на основе Ni_3Al и выделения избыточной фазы Ni_6TaAl , которая может рассматриваться как упрочняющая. Сплавы, содержащие 28—46% Ni_3Ta , наряду с жаропрочностью характеризуются повышенным сопротивлением окислению и стойкостью в продуктах распада аммиака при 1100°C . Соединение Ni_6TaAl весьма хрупко. Температура плавления соединения, определенная методом бесконтактной термографии, равна $\sim 1530^\circ\text{C}$. Введение тантала в фазу Ni_3Al сопровождается постепенным уменьшением термического коэффициента линейного расширения сплава при нагреве (рис. 1, 4), что должно быть связано с увеличением сил межатомной связи.

Сравнивая взаимодействие Ni_3Al с Ni_3Nb (3) и Ni_3Al с Ni_3Ta можно видеть, что в системе Ni_3Al — Ni_3Nb взаимодействие выражается образованием эвтектики и ограниченных твердых растворов, а в системе Ni_3Al — Ni_3Ta в средней части диаграммы при $\sim 50\%$ Ni_3Ta образуется тройное соединение Ni_6TaAl .

Московский институт
стали и сплавов

Поступило
8 VII 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. Хансен, К. Андерко, Структуры двойных сплавов, 1962. ² E. Therkelsen, Metals and Alloys, 4, 175 (1933). ³ Р. С. Минц, Г. Ф. Беляева, Ю. С. Малков, ЖНХ, 7, № 10 (1962). ⁴ Р. С. Минц, Г. Ф. Беляева, Ю. С. Малков, Изв. АН СССР, Металлургия и горное дело, № 4, 151 (1963). ⁵ B. C. Giesen, N. J. Grant, Acta crystallogr., 10, № 6, 1080 (1965).

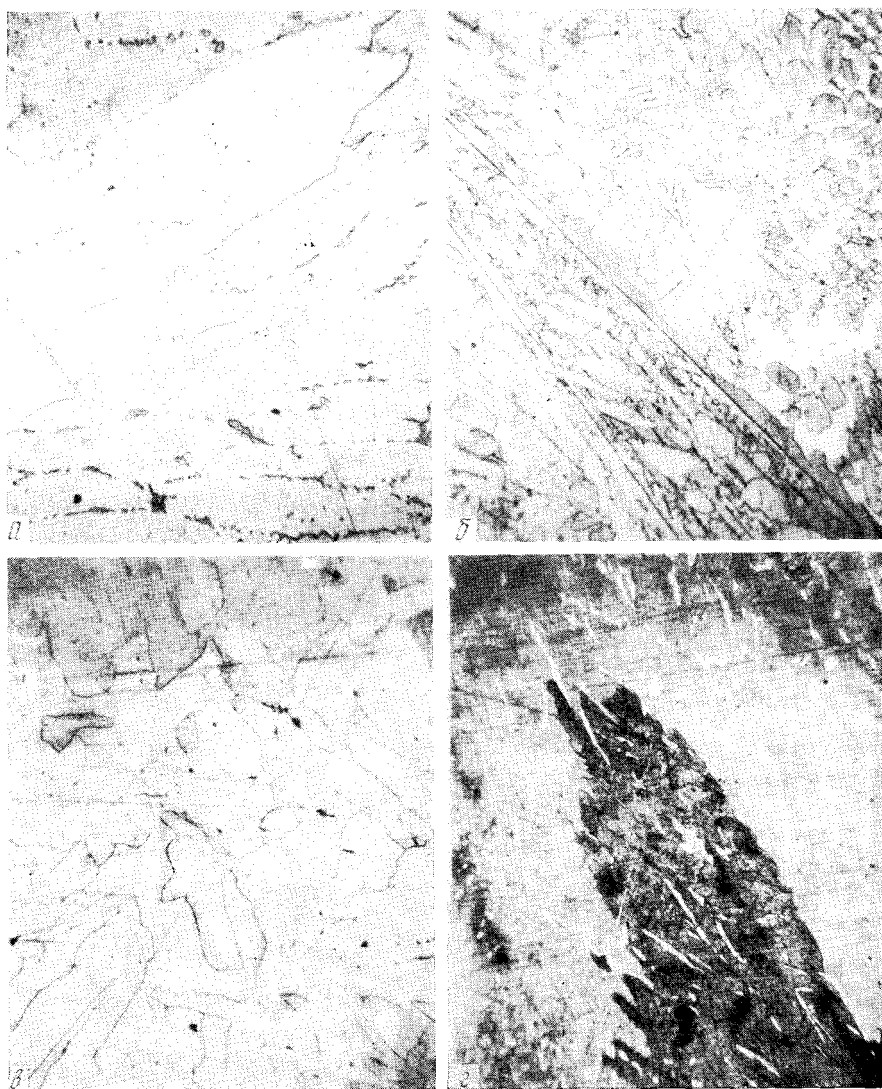


Рис. 2. Микроструктуры сплавов системы $\text{Ni}_3\text{Al} - \text{Ni}_3\text{Ta}$, закалка с 1400°C :
 а — 65% $\text{Ni}_3\text{Al} - 35\%$ Ni_3Ta , начало выделения фазы Ni_6TaAl ; б — 57%
 $\text{Ni}_3\text{Al} - 43\%$ Ni_3Ta , фазы Ni_3Al и Ni_6TaAl ; в — 50% $\text{Ni}_3\text{Al} - 50\%$ Ni_3Ta , фаза
 Ni_6TaAl ; г — 40% $\text{Ni}_3\text{Al} - 60\%$ Ni_3Ta , начало выделения фазы Ni_3Ta