Доклады Академии наук СССР
1955. Том 104, № 4

ХИМИЯ

В. П. ЕЛЮТИН, М. Л. БЕРНШТЕЙН и Ю. А. ПАВЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВОВ ТИТАНА С НИОБИЕМ И УГЛЕРОДОМ ПОД УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫМ МИКРОСКОПОМ

(Представлено академиком Н. Т. Гудцовым 10 VI 1955)

Исследовались сплавы титана с ниобием, выплавленные в вакуумной печи, в графитовом тигле. Содержание ниобия изменялось от 1,5 до 88,4%; содержание углерода во всех сплавах было в пределах 0,7—0,9%. Образцы были отожжены при температуре 1000° в вакууме; после такой гомогенизирующей обработки проводилось изучение строения и свойств металла опытных плавок.

Микроскопическое исследование структуры проводилось в видимых и в ультрафиолетовых лучах. Было установлено, что при рассмотрении в видимом свете не удастся разделить все присутствующие в сплавах фазы. Применение ультрафиолетовой микроскопии, основы которой разработаны Е. М. Брумбергом [1], позволило в ряде случаев установить характер фаз в многокомпонентных системах, встречающихся в изученных образцах.

Шлифы для исследования на ультрафиолетовом микроскопе МУФ-2 готовились обычным способом (с заключительной полировкой на весьма тонком сукне). Перед рассмотрением под микроскопом на поверхность шлифа электролитически наносилась окисная пленка в растворе хромового ангидрида (8 г на 100 см³ воды), при плотности тока 0,5 а/дм² и катоде из нержавеющей стали типа 18/8.

Образцы подвергались систематическому изучению, в порядке возрастания содержания ниобия, причем во всех случаях съемка производилась в одних и тех же фильтрах: нейтральном (видимый свет) и в фильтре, выделяющем ультрафиолетовые лучи с длиной волны 365 мμ. Таким образом, условная окраска структурных составляющих была вполне определенной и появление новых фаз при увеличивающемся содержании ниобия обнаруживалось по различным оттенкам свечения.

На рис. 1 приведены фотографии микроструктур, сделанные на хромоскопе с совмещенных цветоделенных позитивов. Сплав титана с 1,5% Nb (рис. 1 *а*) имеет однофазную структуру твердого раствора на базе α-модификации титана (оранжевый фон); карбиды видны в виде черных включений. Увеличение содержания ниобия до 5,5% сказывается в первую очередь на изменении характера карбидной фазы. Рентгеноструктурный анализ и определение химического состава выделенных осадков показали, что ниобий активно участвует, наряду с титаном, в образовании карбидной фазы. Комплексный характер карбидной фазы проявляется в изменении ее окраски (рис. 1 *б*). Сплавы с 10,2% и 17,1% Nb (рис. 1, *в* и *г*) являются двухфазными — наряду с альфа-твердым раствором появляется бета-фаза (темнокрасная окраска). Таким образом, ниобий, имея близкое к бета-модификации титана атомно-кристаллическое строение (обе решетки — кубические, объемно-центрированные, с близкими параметрами: $a_{Nb} = 3{,}249$ Å, $a_{\beta-Ti} = 3{,}32$ Å), дает с титаном диаграмму состояния с открытой β-областью. При 32,3% Nb структура сплава состоит из полиэдрических зерен твердого раствора на базе β-титана, оказывающегося

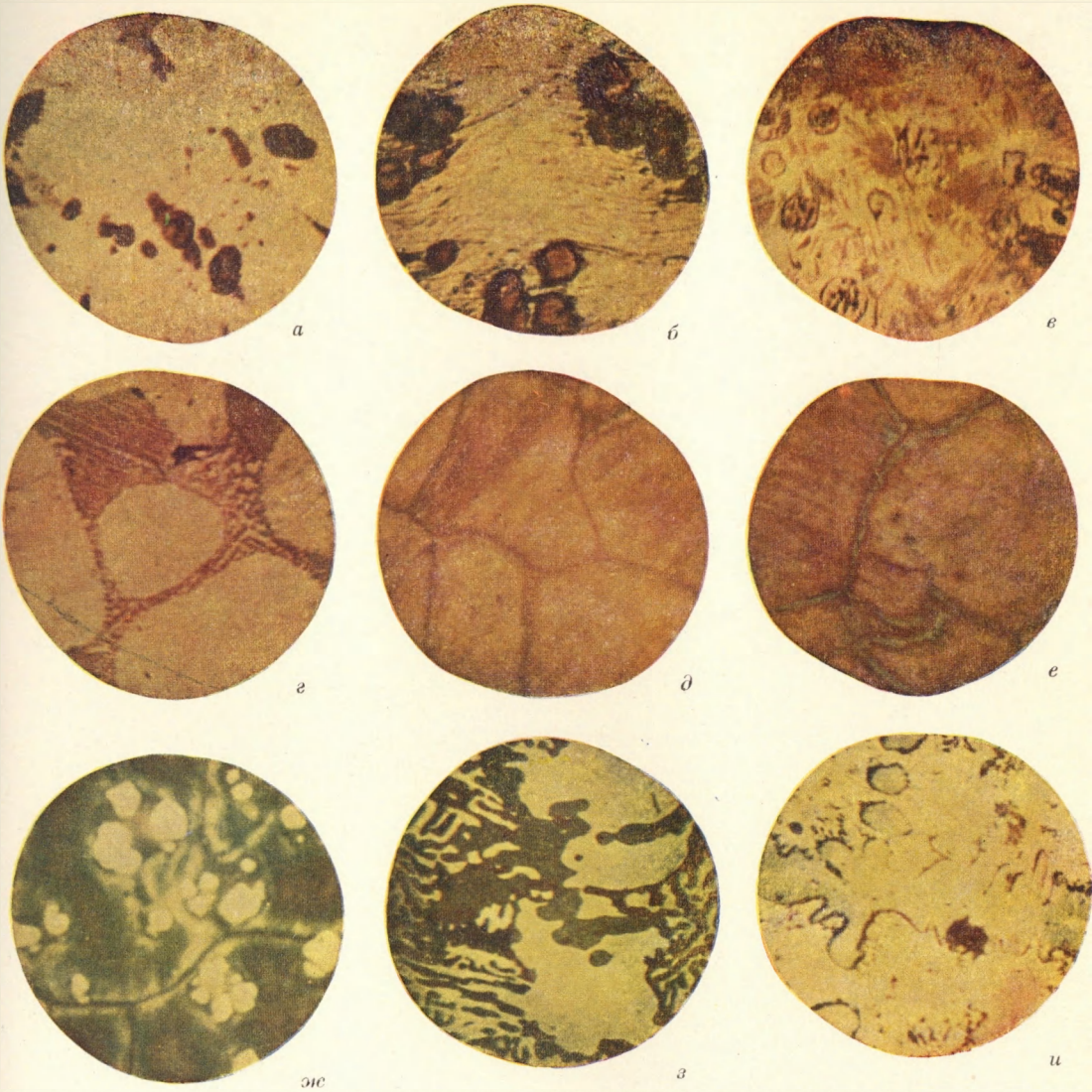


Рис. 1. Структуры сплавов титана с ниобием, исследованных под ультрафиолетовым микроскопом: *а* — 1,5% Nb, *б* — 3,4% Nb, *в* — 10,2% Nb, *г* — 17,1% Nb, *д* — 32,3% Nb, *е* — 45,6% Nb, *ж* — 74,2% Nb, *з* — 81,3% Nb, *и* — 88,4% Nb

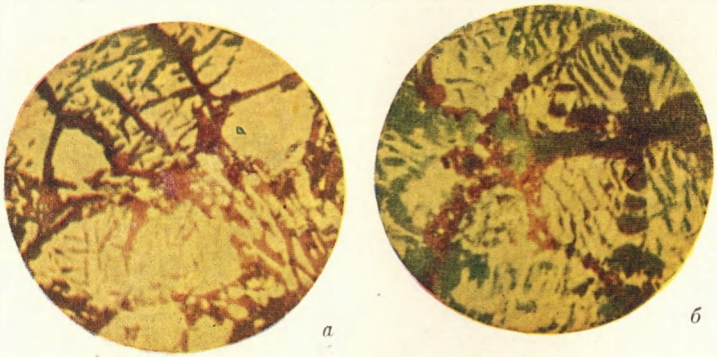


Рис. 2. Структуры закаленных (с 1200° в воде) сплавов титана с 59,4% Nb *(а)* и 62,0% Nb *(б)*

стабильным уже при комнатной температуре (рис. 1 *д*). Дальнейшее повышение содержания ниобия приводит к появлению новой фазы, первые образования которой, как обычно, наблюдаются на границах зерен (рис. 1 *е* — зеленые участки). Структура сплава с 74,2% Nb (рис. 1 *ж*) состоит в основном из этой новой фазы; повидимому, эта фаза является интерметаллическим соединением, примерно, эквиатомного состава (TiNb). Небольшие округлые зерна желтого цвета являются гамма-твердым раствором на базе ниобия; увеличение содержания ниобия должно, очевидно, привести к увеличению количества желтой и уменьшению количества зеленой фаз; это и наблюдается на рис. 1 *з*, где изображена структура сплава, содержащего 81,3% Nb. Наконец, сплав титана с 88,4% Nb имеет гомогенную структуру гамма-твердого раствора с характерным дендритным строением.

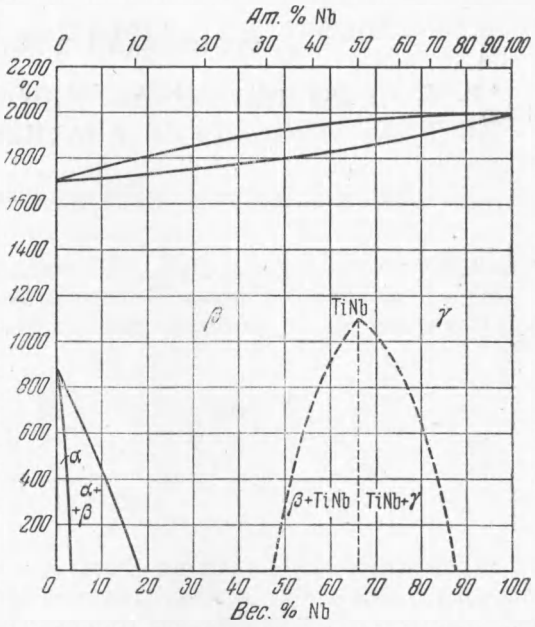


Рис. 3. Диаграмма состояния сплавов Ti — N при 0,8% C

Из общих термодинамических соображений следует, что бета- и гамма-твердые растворы должны быть весьма близки между собой; можно предположить, что в определенных условиях эти кристаллографически изоморфные фазы претерпевают лишь расслоение по составу. Определив температуру диссоциации интерметаллического соединения TiNb, оказавшуюся равной ~ 1100°, провели нагрев двух сплавов, содержащих 56,4% Nb и 62,0% Nb, на температуру 1200° с последующим резким охлаждением в воде. Структура сплавов после такой обработки изображена на рис. 2.

Оказалось возможным зафиксировать все три фазы: бета-твердый раствор (темнокрасная фаза), гамма-твердый раствор (желтая) и интерметаллическое соединение (зеленая фаза). Соотносительное количество этих фаз находится в соответствии с различным содержанием ниобия в исследованных сплавах; характерная игольчатость в структуре свидетельствует о сдвиговом характере превращений, имеющем место при быстром охлаждении.

Обработка данных исследования позволяет предположить, что разрез при 0,8% C диаграммы состояния спавов титан — ниобий имеет вид, изображенный на рис. 3.

Упрочнение титановых сплавов общеизвестными из металлографии стали приемами (например, закалкой) оказывается малоэффективным. Основная причина этого состоит в меньшей способности к растворению элементов в высокотемпературной бета-модификации титана (объемноцентрированная кубическая решетка), чем в низкотемпературной альфа-модификации (гексагональная плотно упакованная решетка). Таким образом, хотя резкое охлаждение и приводит к переохлаждению аллотропического превращения и мартенситному (игольчатому) характеру образования низкотемпературной модификации твердого раствора, эта модификация не становится прочной, так как ввиду большой способности к растворению элементов не удается создать пересыщенного искаженного

(следовательно, прочного) состояния твердого раствора на базе альфа-модификации. Отсюда следует, что возможность упрочнения титановых сплавов сводится к легированию их элементами, приводящими к фиксированию высокотемпературной бета-модификации титана до комнатной температуры. Такие сплавы могут подвергаться упрочнению методами термической обработки — закалки и отпуска. С этой точки зрения сплавы титана с ниобием представляют известный интерес.

Московский институт стали
им. И. В. Сталина

Поступило
19 IV 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Е. М. Брумберг, ДАН, 25, 473 (1939); Изв. АН СССР, сер. физ., 6, 32 (1942).