Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Е. М. САВИЦКИЙ, М. А. ТЫЛКИНА и А. Н. ТУРАНСКАЯ

ДИАГРАММА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИОДИДНОГО ТИТАНА

(Представлено академиком И. П. Бардиным 28 I 1955)

Диаграммы рекристаллизации, связывающие величину зерен металла со степенью деформации и температурой последующего отжига (I тип) или температурой горячей деформации (II тип), имеют большое значение для установления оптимальных условий обработки давлением и отжига металлических полуфабрикатов и изделий. Для титана диаграмм рекристаллизации до сих пор не опубликовано.

В данной работе исследовалась зависимость между величиной зерен, степенью деформации и температурой отжига для иодидного титана, что позволило построить его диаграмму рекристаллизации I типа. Объектом исследования являлся иодидный титан в виде проволок диаметром 3,5 мм и длиной 100—150 мм.

Для уничтожения исходной крупнокристаллической структуры проволоки она подвергалась деформированию путем холодной прокатки с обжатием 50% и последующему отжигу при 660°. Полученные полоски обладали мелкозернистой, полиэдрической, полностью рекристаллизованной структурой α-Ti и являлись исходным материалом для проведения всей работы.

Иодидный титан, даже в виде гексагональной α-модификации, весьма пластичен и допускает большие степени деформации уже при обычной температуре, но при этом значительно наклепывается. Так, его твердость по Бринелю, равная 100—120 кг/мм², возрастает до 170—200 кг/мм² при 80% обжатия, а предел прочности при растяжении, соответственно, возрастает с 30 до 75 кг/мм².

Для изучения рекристаллизации деформация образцов проводилась методом холодной прокатки со степенями деформации 2,5; 5; 7,5; 10; 30; 50; 70 и 90% без промежуточных отжигов. Полоски, прокатанные на каждую степень деформации, разрезались на образцы, которые отжигались при 500, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200 и 1300° в течение 1 часа в эвакуированных кварцевых ампулах.

Затем образцы подвергались металлографическому и рентгенографическому* исследованиям.

Травление образцов для выявления зерен и микроструктуры производилось на шлифе торцевого сечения полоски травителем, состоящим из смеси конц. кислот HF и HNO_3 в отношении 1 : 2. Величина зерна определялась путем измерения их среднего диаметра или путем сравнения с набором стандартных эталонов для стали (ГОСТ 5639-51).

Построенную на основании полученных данных диаграмму рекристаллизации (см. рис. 1) можно рассматривать как состоящую из двух диаграмм, соответствующих гексагональной α- и кубической β-модификациям титана.

* Рентгенографические определения проводились А. А. Бабареко в лаборатории Н. В. Агеева.

Деформация и особенно отжиг существенно влияют как на величину, так и на форму зерна. При холодной прокатке зерно дробится путем скольжения и двойникования (см. рис. 2) и вытягивается, образуя текстуру прокатки. Отжиг при 500, 700, 800 и 900°, т. е. в интервале существования α-модификации, вызывает рекристаллизацию и последовательный рост полиэдров α-Ti (рис. 3). Как видно из диаграммы, у образца, деформированного на 30—50%, средний диаметр зерна, равный при 500—700° 36 μ, достигает при 800° 50 μ, а при 900°—100 μ.

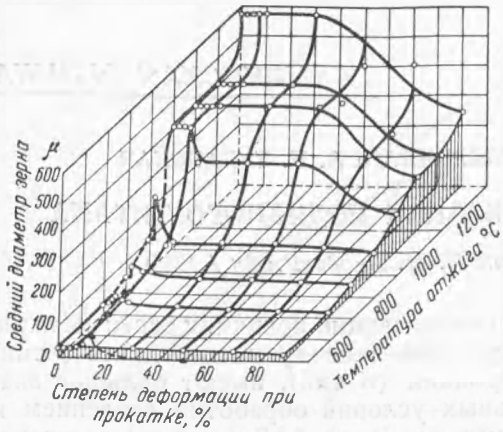


Рис. 1. Диаграмма рекристаллизации иодидного титана I типа (после холодной прокатки и отжига)

На диаграмме (рис. 1) по данным рентгеноанализа нанесена линия начала рекристаллизации, сдвигающаяся по мере увеличения степени деформации к меньшим температурам отжига. При 700° начало рекристаллизации отмечается у образца с 2,5% деформации, а при 600° с 5%. При 500° образцы с деформацией $\geqslant 50\%$ уже полностью рекристаллизуются.

Рассматривая изменение величины зерна по изотермам (до 900°), мы видим, что ход изотерм для α-Ti подобен их ходу для других металлов.

В районе малых степеней деформаций (2,5—5%) наблюдается интенсивный рост зерна, соответствующий «критической» степени деформации. По мере увеличения температуры отжига максимум величины зерен сдвигается в сторону меньших степеней деформаций: так, при 700° максимум соответствует 5% деформации, а величина зерна 60 μ; соответственно, при 800°—2,5% и 90 μ, а при 900°—2% и 240 μ. Бо́льшие степени деформации приводят к постепенному измельчению зерен. Так например, при 700° величина исходного зерна составляет 30 μ, при 50% деформации 25 μ и при 70—90% деформации 18 μ. Отжиг образцов при 880—900° приводит к появлению в отдельных участках образцов зерен β-модификации в силу начавшегося перехода $\alpha \rightleftarrows \beta$ в титане.

Отжиг образцов в области существования β-модификации титана, т. е. при 1000, 1100, 1200 и 1300°, приводит как к резкому увеличению величины зерна до 400—600 μ, так и изменению его формы. Вместо полиэдров α-Ti образуются крупные зерна своеобразной формы (рис. 4) при всех степенях деформаций.

Подсчет величины зерен в β-титане производился в α-состоянии по сохранившимся контурам β-фазы (рис. 4). Рентгеновский анализ этих образцов показал наличие в них только гексагональной α-фазы титана.

В интервале температур отжига 1100—1200° интенсивность роста зерен уменьшается, и разница в их величине невелика. Дальнейшее увеличение температуры до 1300° вызывает более интенсивный рост, и максимальное зерно при этой температуре достигает 600 μ.

В области устойчивой β-формы титана в ходе изотерм в координатах диаметр зерна — деформация пороги рекристаллизации и максимумы, соответствующие критическим степеням деформации, не обнаруживаются. Вероятно, это происходит потому, что изменения структуры, вызванные небольшими пластическими деформациями в области α-формы, подавляются изменениями структуры вследствие полиморф-



Рис. 2. Микроструктура образца иодидного титана после прокатки на 10%; × 100 (двойники деформации на α-Ti)

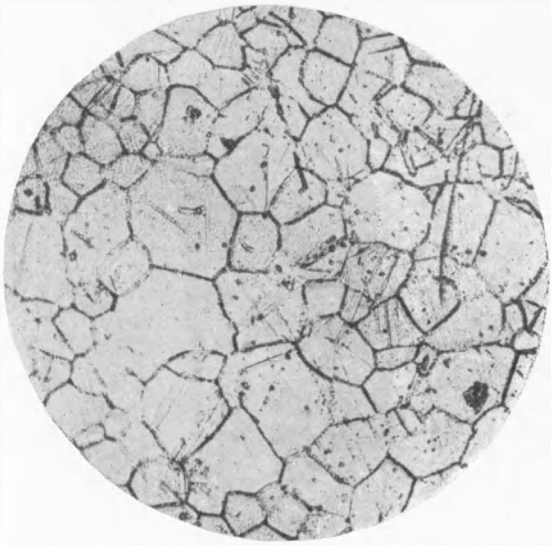


Рис. 3. Микроструктура образца иодидного титана, прокатанного вхолодную на 10% и отожженного при 700°; × 200 (α-Ti)



Рис. 4. Микроструктура образца иодидного титана, прокатанного вхолодную на 10% и отожженного при 1200°; × 50 (β-Ti)

ного перехода $\alpha \rightleftarrows \beta$ в титане. На изотермах 1100 и 1200° исходное зерно величиной 400 μ сохраняется до ~50% деформации.

Влияние измельчения α-модификации сказывается на уменьшении диаметров зерен β-модификации лишь при больших степенях деформаций, порядка 70—90%. Зерно β-Ti достигает при этом 240—170 μ.

На основе проведенных исследований можно считать, что диапазон 650—800° является оптимальным температурным интервалом отжига холоднодеформированного чистого титана, в котором обеспечивается получение мелкозернистой рекристаллизованной структуры его α-модификации.

Более точные указания в отношении температурного режима отжига для каждой степени деформации можно почерпнуть из самой диаграммы рекристаллизации.

Институт металлургии им. А. А. Байкова
Академии наук СССР

Поступило
20 I 1955