

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ ТИ-6АL-4V

М.Н. Бабихина

Научный руководитель: старший преподаватель, к.т.н. В.Н. Кудияров
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: m.babihina@mail.ru

INFLUENCE OF PLASTIC DEFORMATION ON THE DEFECTIVE STRUCTURE OF TI-6AL-4V

M.N. Babikhina

Scientific Supervisor: assistant PhD V.N. Kudiiarov
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: m.babihina@mail.ru

***Abstract.** The influence of plastic deformation on the defect structure of Ti-6Al-4V titanium alloy was investigated. X-ray analysis was performed with interpretation of the diffractogram reflections and determination of the parameters of the crystal structure. The data obtained were used to calculate the dislocation density of a titanium alloy after cold-rolled plastic deformation.*

Введение. Наличие дефектов в металлах и сплавах оказывает сильное негативное воздействия на их физико-химические и механические свойства. При изучении различного рода дефектов в основном используют теоретические расчеты, которые ограничены только изучением энергии их формирования и не рассматривают такие процессы как кинетика, механизмы формирования и эволюции. При этом для исследования данных явлений и процессов в дефектообразовании существует достаточно ограниченное количество методов. Однако наиболее эффективными и чувствительными методами идентификации разного рода дефектов являются методы позитронной спектроскопии. Данные методы позволяют определять не только тип и концентрацию дефектов, но и их химическое окружение. [1]

Однако, для получения количественной и качественной оценки количества дефектов методами позитронной спектроскопии необходима дополнительная информация о базовых дефектах и их влиянии на характеристики позитронной аннигиляции. В данной работе материалом для исследования был выбран титановый сплав марки ВТ6, так как данный материал нашел своё широкое применение в авиастроении, и изучение процесса формирования разного рода несовершенств кристаллической структуры в данном сплаве до сих пор остается актуальным.

В данной работе для создания преимущественно дислокационных дефектов был использован метод холоднокатаной пластической деформации. Для анализа дефектов применялись методы анализа временного распределения аннигиляции позитронов и совпадений доплеровского уширения аннигиляционной линии. Применяя данные методы, можно будет установить закономерности изменения аннигиляционных характеристик от плотности дислокаций, а также влияние примесей и легирующих элементов [1].

Материалы и методы исследования. В качестве материала использовался титановый сплав марки ВТ6 (Ti-6Al-4V) круглой формы, диаметром 10 мм и высотой 4 мм. Все поверхностные дефекты

(вмятины, грубые царапины и т.д.) были удалены в результате механической обработки поверхности при помощи наждачной бумаги с маркировками по ISO-6344 600, 1500, 2000 и 2500 и полировки с использованием алмазной пасты. Для удаления дефектов прокатки и снятия внутренних микронапряжений производился высокотемпературный вакуумный отжиг при температуре 1000 °С в течение 2-ух часов [2]. Для получения различной степени деформации в исследуемых образцах производилась механическая прокатка с использованием механического стана. Для выявления структуры материала производилось травление в растворах кислот: 92 мл H₂O, 6 мл HNO₃, 2 мл HF [3] и 15 мл HF, 85 мл H₂O [4]. Поверхность является одной из основополагающих деталей при исследовании материала и проведении металлографического анализа, был осуществлен контроль шероховатости на приборе Hommel Tester T1000. Шероховатость исходных образцов составила R_a=0,03 мкм. С помощью металлографического инвертированного микроскоп МЕТАМ ЛВ было проведено исследование поверхности. Рентгеноструктурный анализ проводился с использованием дифрактометра Shimadzu XRD-7000S.

Результаты и их обсуждение. На рисунке 1 представлена микроструктура титанового сплава после высокотемпературного вакуумного отжига.

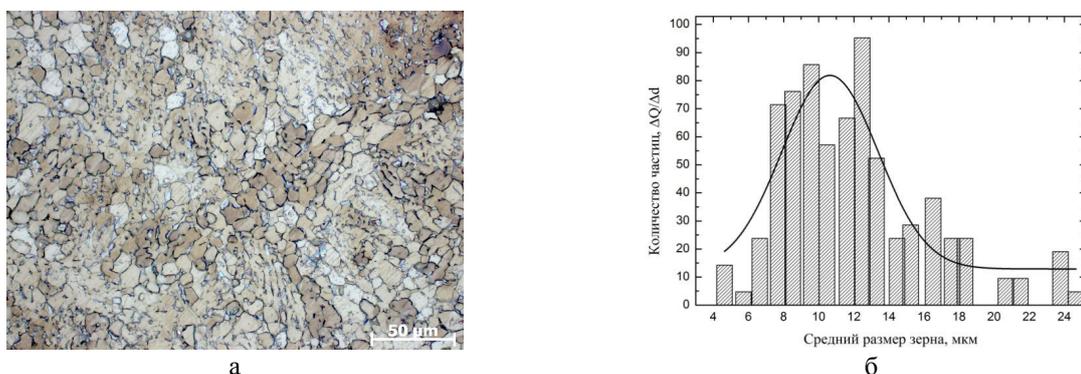


Рис. 1. Микроструктура (а) и гистограмма распределения зерен по размеру (б) титанового сплава ВТ6 после высокотемпературного вакуумного отжига

Микроструктура образцов после отжига (рисунок 1а) представлена неравноостными глобулярными зернами. Средний размер составляет от 7 до 14 мкм (рисунок 1б).

Был проведен рентгеноструктурный анализ титанового сплава марки ВТ6 после холоднокатаной пластической деформации. Из представленных данных видно, что происходит некоторое незначительное увеличение интенсивности рефлексов в направлении (002) со степенью деформации 11,9% в отличие от исходного материала после высокотемпературного вакуумного отжига. Следует также отметить, что происходит небольшое смещение положения рефлексов относительно исходного образца после высокотемпературного вакуумного отжига.

Был произведен расчет плотности дислокаций по методике, которая подробно описана в работе [5]. Результаты расчета представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета ОКР, внутренних упругих напряжений второго рода и плотности дислокаций

Степень деформации, %	ОКР, нм	Внутренние упругие напряжения второго рода	$\rho \cdot 10^{14}, \text{м}^{-2}$
0	116	0,00161	0,34
0,8	145	0,00363	1,30
1,13	142	0,00390	1,28
2,7	146	0,00573	2,54
3	454	0,00648	2,85
6,8	93	0,00688	3,84
8	79	0,00617	3,31
11,9	58	0,0113	5,75

Заключение. В настоящей работе было проведено исследование влияния пластической деформации на дефектную структуру Ti-6Al-4V. Было установлено:

- структура титанового сплава марки ВТ6 после высокотемпературного вакуумного характеризуется неравноосными глобулярными зёрнами;
- после высокотемпературного вакуумного отжига средний размер зёрна варьируется в пределах от 7 до 14 мкм;
- с увеличением степени деформации происходит уменьшение соотношения параметров решетки c/a , что приводит к искажению кристаллической решетки титанового сплава;
- плотность дислокаций в титановом сплаве со степенью деформации 11,9% в 17 раз выше, чем в образце после высокотемпературного вакуумного отжига.

Также в настоящее время проводится исследование дефектной структуры исследуемого материала методами электрон-позитронной аннигиляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лидер А.М. Позитронная спектроскопия для контроля микроструктурных изменений в системах «металл-водород» дисс. док.тех.наук. – Томский политехнический университет, Томск, – 2017.
2. Hruska P., Cízek J., Knapp J., Lukac F., Melikhova O., Maskova S., Havela L., Drahokoupil J. Characterization of defects in titanium created by hydrogen charging //International Journal of Hydrogen Energy. – 2017.
3. Pederson R. Microstructure and Phase transformation of Ti-6Al-4V: дис. – Luleå tekniska universitet, – 2002.
4. Логачёва А.И. Комплексная технология изготовления тонкостенных элементов методом порошковой металлургии для производства деталей из конструкционных и функциональных сплавов на основе титана и никеля для изделий ракетно-космической техники: дис. д-ра тех.наук. ОАО «КОМПОЗИТ», Королев, 2016.
5. Савицкая Л. К. Методы рентгеноструктурных исследований. Учеб. пособие. – 2003.