

Научная статья

УДК 620.186.5

Влияние интенсивной пластической деформации на структуру и свойства технически чистого титана Grade 4

**Луиза Рустамовна Резяпова¹, Роман Русланович Валиев²,
Эмиль Ильдарович Усманов³, Руслан Зуфарович Валиев⁴**

^{1,2,3,4} Уфимский государственный авиационный
технический университет, Уфа, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия

^{2,3} Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

¹ luiza.rezyapova.97@mail.ru

Аннотация. В работе исследовано формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры в технически чистом титане Grade 4 методом интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК) при комнатной температуре и температуре деформации 300 °С. Показано, что повышение температуры ИПДК приводит к большему упрочнению материала ($\sigma_b \approx 1360$ МПа) за счет выделения наночастиц, тормозящих процессы движений дислокаций.

Ключевые слова: титан, интенсивная пластическая деформация кручением, ультрамелкозернистая структура, механические свойства, прочность

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-03-00614а). Авторы благодарят сотрудников центра коллективного пользования «Нанотех» Уфимского государственного авиационного технического университета за помощь в проведении научных исследований.

Original article

Influence of Severe Plastic Deformation on the Structure and Properties of Technical Pure Titanium Grade 4

**Luiza R. Rezyapova¹, Roman R. Valiev²,
Emil I. Usmanov³, Ruslan Z. Valiev⁴**

^{1,2,3,4} Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

⁴ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

^{2,3} Bashkir State University, Ufa, Russia

¹ luiza.rezyapova.97@mail.ru

Abstract. The work investigates the formation of an ultrafinegrained (UFG) structure in commercially pure grade 4 titanium by the method of high pressure torsion (HPT) at room temperature and a deformation temperature of 300 °C. It is shown that an increase in the HPT temperature leads to a greater hardening of the material ($\sigma_B \approx 1360$ MPa), due to the release of nanoparticles, which inhibit the processes of dislocation movements.

Keywords: titanium, high pressure torsion, ultrafinegrained structure, mechanical properties, strength

Acknowledgments. The work was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 20–03–00614a). The authors thank the staff of the Nanotech Collective Use Center of the Ufa State Aviation Technical University for their assistance in conducting scientific research.

Титан является одним из важнейших и приоритетных материалов изготовления медицинских имплантов и изделий, что связано с его высокой биосовместимостью и коррозионностойкостью [1]. Чистый титан обладает этими свойствами в отличие от легированных сплавов, т. к. некоторые легирующие элементы токсичны. Однако титан уступает сплавам в механических свойствах. Для увеличения механических свойств, помимо легирования, существуют и другие способы, в частности формирование ультрамелкозернистой структуры и нанодисперсных выделений вторых фаз [2]. Вместе с тем на сегодняшний день в открытом доступе имеется очень мало литературы,

где описываются выделение и природа частиц в технически чистых титанах после их обработок.

В работе Малышевой были исследованы особенности динамического старения титана ВТ1-0 и после деформации при 300 °С выявлены дисперсные частицы интерметаллидов разного состава [3]. Подобный эксперимент был проведен в данной работе на горячекатаном технически чистом титане Grade 4, имеющего в своем составе железо в количестве 0,37 вес. %. Grade 4 был подвергнут ИПДК 10 оборотам при комнатной температуре (ИПДК) и 5 оборотам при 300 °С (ИПДК₃₀₀) под давлением 6 ГПа и скоростью вращения пуансона — 0,2 об/мин. Механические испытания на одноосное растяжение проводили на универсальной испытательной машине Instron 5982 со скоростью перемещения траверсы 0,024 мм/мин на образцах с рабочей длиной 4 мм, шириной 1 мм и толщиной 0,8 мм. Для проведения механических испытаний образцы после ИПДК были вырезаны так, чтобы центральная ось образца была расположена на 5 мм от центра, как показано на рис.

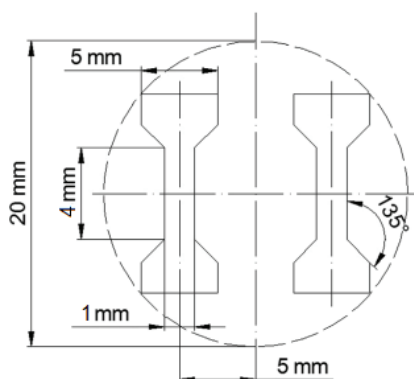


Рис. Схема вырезки образцов для испытаний на растяжение

В полученной УМЗ-структуре размер зерен был около 100 нм, после ИПДК₃₀₀ в структуре наблюдали нанодисперсные частицы размером около 15 нм.

После ИПДК твердость увеличивается в 1,5 раза за счет увеличения плотности дислокаций и формирования УМЗ-структуры в материале. Повышение температуры деформации приводит к еще большему упрочнению материала и после ИПДК₃₀₀ твердость и прочность были максимальны. Пластичность после ИПДК₃₀₀ заметно уменьшается, достигая минимальных значений. Однако пластичность удает-

ся повысить после дополнительного отжига. Механические свойства сплава после различных обработок представлены в табл.

Механические свойства титана *Grade 4* в различном структурном состоянии

Состояние	Микротвердость, HV	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	ε , %
Горячекатаный	237±2	504	679	23,9
После ИПДК	353±7	1015	1173	8,9
После ИПДК ₃₀₀	417±13	1273	1359	2,0

Таким образом, проведение исследования показывает, что в технически чистом титане *Grade 4*, используя ИПДК, можно достичь очень высокой прочности. При этом, помимо зернограницного упрочнения, повышение прочности происходит также за счет образования наночастиц, которые являются барьерами дислокаций и препятствуют их перемещению.

Список источников

1. Froes F. H., Qian M. Titanium in Medical and Dental. Duxford : Woodhead Publishing, 2018. 630 p.
2. Valiev R. Z., Zhilyaev A. P., Langdon T. G. Bulk nanostructured materials: Fundamentals and applications. Hoboken : TMS-Wiley, 2014. 440 p.
3. Особенности изменения структуры и механических свойств субмикроструктурного титана при деформации в интервале температур (0,15–0,45) $T_{пл}$ / С. П. Малышева [и др.] // Физика металлов и металловедение. 2003. Т. 9, № 4. С. 98–105.

References

1. Froes F. H., Qian M. Titanium in Medical and Dental. Duxford : Woodhead Publishing, 2018. 630 p.
2. Valiev R. Z., Zhilyaev A. P., Langdon T. G. Bulk nanostructured materials: Fundamentals and applications. Hoboken : TMS-Wiley, 2014. 440 p.
3. Malysheva S. P. Features of changes in the structure and mechanical properties of submicrocrystalline titanium during deformation in the temperature range (0,15–0,45) T_{pl} // The Physics of Metals and Metallography. 2003. Vol. 95, no. 4. P. 98–105.