

Научная статья

УДК 620.186.5

Высокопрочное состояние технически чистого титана Grade 4 с ультрамелкозернистой структурой

**Эмиль Ильдарович Усманов¹, Луиза Рустамовна Резяпова²,
Роман Русланович Валиев³, Руслан Зуфарович Валиев⁴**

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

^{1,3} Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

¹ usm4nov-emil@yandex.ru

Аннотация. Исследуется влияние различных комбинаций деформационно-термических обработок на механическое поведение технически чистого титана Grade 4. Определено, что обработка титана Grade 4 используя комбинированный режим: ИПДК + отжиг 700 °С + ИПДК + отжиг 350 °С позволяет достигнуть рекордного повышения механических свойств материала за счет образования наноструктурных элементов, которые вносят дополнительный вклад в упрочнение.

Ключевые слова: титан Grade 4, интенсивная пластическая деформация, термическая обработка, механические свойства, ультрамелкозернистая структура

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 20-03-00614).

Original article

High Strength Condition of Commercially Pure Titanium Grade 4 with Ultrafine-Grained Structure

**Emil I. Usmanov¹, Luiza R. Rezyapova²,
Roman R. Valiev³, Ruslan Z. Valiev⁴**

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

^{1,3} Bashkir State University, Ufa, Russia

¹ usm4nov-emil@yandex.ru

Abstract. The effect of various combinations of deformation-heat treatments on the mechanical behavior of commercially pure titanium Grade 4 is investigated. It has been determined that the processing of titanium Grade 4 using the combined mode: HPT + annealing at 700 °C + HPT + annealing at 350 °C allows achieving a record increase in the mechanical properties of the material due to the formation of nanostructured elements that make an additional contribution to the strengthening.

Keywords: titanium Grade 4, severe plastic deformation, heat treatment, mechanical properties, ultrafine-grained structure

Funding. The work was carried out with the financial support of the Russian foundation for basic research (grant No. 20-03-00614).

Технически чистый титан является одним из наиболее широко используемых материалов для изготовления медицинских имплантов по причине своей высокой биосовместимости, стойкости к коррозии и отсутствия вредных для организма человека легирующих элементов. Однако в исходном состоянии технически чистый титан обладает довольно низкими прочностными свойствами, что ограничивает его применение в современных имплантах. В связи с этим поиск подходов к повышению механических свойств технически чистого титана с сохранением его биосовместимости является актуальной задачей. Одним из наиболее перспективных способов повышения прочностных свойств технически чистого титана является формирование в нем ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры методами интенсивной пластической деформации (ИПД) [1].

В настоящей работе проводится исследование влияния различных комбинаций деформационно-термических обработок на механические свойства технически чистого титана Grade 4. Для деформационной обработки применили метод интенсивной пластической деформации кручением (ИПДК), который является наиболее эффективным в измельчении зеренной структуры [2]. В качестве термической обработки проводили отжиги при различных температурных и временных режимах. Механические свойства материала исследовали посредством испытаний на одноосное растяжение малых образцов на установке

Instron 5982 (ЦКП «Нанотех» УГАТУ) при комнатной температуре со скоростью растяжения 10^{-4} с^{-1} .

На рис. представлены результаты механических испытаний технически чистого титана Grade 4 в различных состояниях. Также в табл. представлены численные значения механических свойств Grade 4 в различных состояниях.

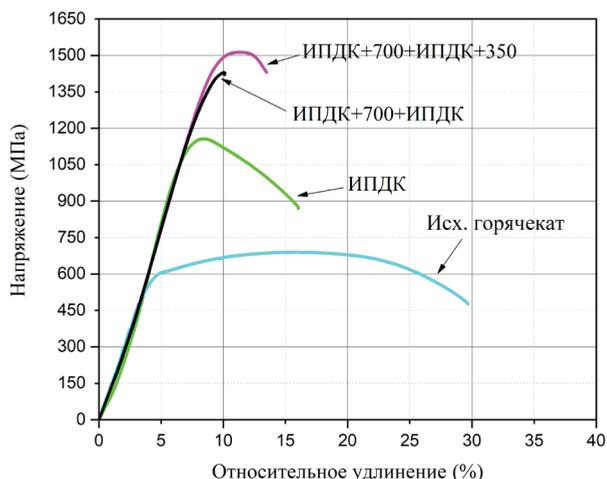


Рис. Кривые растяжения титана Grade 4 в различных состояниях

Механические свойства Grade 4 в различных состояниях

Состояние	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %
Горячекатаный	689 ± 10	549 ± 12	$26,5 \pm 3,1$
ИПДК	1161 ± 12	1005 ± 11	$11,3 \pm 1,5$
ИПДК + 700 + ИПДК	1453 ± 17	1243 ± 20	$1,5 \pm 0,5$
ИПДК + 700 + ИПДК + 350	1514 ± 15	1339 ± 12	$7,5 \pm 0,7$

По результатам механических испытаний можно определить, что комбинированная деформационно-термическая обработка: ИПДК + отжиг 700 °С + ИПДК + отжиг 350 °С позволяет сформировать в технически чистом титане Grade 4 состояние с прочностными характеристиками, близкими к рекордным, сохраняя при этом удовлетворительную пластичность.

Список источников / References

1. Study and development of nanostructured metals for production of medical implants and equipment / R. Z. Valiev, E. V. Parfenov, G. I. Raab [et al.] // Materials. Technologies. Design. 2019. No. 1. P. 42–47.
2. Bulk nanostructured materials: fundamentals and applications / R. Z. Valiev, A. P. Zhilyaev, T. G. Langdon. Hoboken : John Wiley & Sons, 2013. 440 p.