

УДК 669.625:615.465

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380414201670026>

**Н. В. Грузин**<sup>1</sup>, *младший научный сотрудник*, **Джуган О. А.**<sup>2</sup>, *аспирант*

### **ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТИТАНОВОЙ ПРОВОЛОКИ ИЗ СПЛАВА VT1-0 ДЛЯ МЕДИЦИНЫ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

**En**

The aim of this study is to obtain in the a wire diameter of 1.2 mm made of titanium alloy VT1-0 with the required combination of properties: high ductility and lower strength for the operation of the surgical intervention (eg, in conjunction with bone fractures, etc.). The main requirements for materials used in medicine are high corrosion resistance in biologically active environments, the combination of strength and ductility, and fatigue strength. Titanium alloys have all these properties.

Basic medical applications are wires and wire mesh made of titanium. These products can used for hernioplastic, soft tissue plastic, floor of the mouth, etc.

In this study have been investigate: structure, mechanical properties of the wire in the initial state after production and after various heat treatments subsequent embodiments.

The heat treatment carried out at temperatures  $\alpha$  and  $\beta$  field. It had been established heat treatment effect at different modes of the alloy structure VT1-0. The changes of the mechanical properties have been establish in the alloy in the initial state after manufacture and after the subsequent thermal treatments that affect the performance and life quality work product in use. Study of mechanical properties showed that most of the metal softening occurred at 850 °C, with the elongation

---

<sup>1</sup> Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", лаборатория экспериментальных и научных исследований

<sup>2</sup> Запорожский национальный технический университет

changed slightly.

Repeated heating in vacuum at a temperature of two-phase region causes the formation of annealing twins in the structure and special low energy boundaries. It provides a higher level of properties of the metal, in particular combinations of strength, ductility and fatigue strength.

**Ua**

Метою даного дослідження є отримання в проволочці діаметром 1.2 мм зі сплаву ВТ1-0 необхідного комплексу властивостей: високої пластичності і більш низької міцності для забезпечення роботи при хірургічному втручанні (наприклад, при з'єднанні кісток при переломах). В роботі досліджені структура, механічні властивості проволочці в початковому стані, після виготовлення, а також після різних варіантів подальших термічних обробок. Встановлено, вплив термічної обробки при різних режимах на структуру і властивості сплаву ВТ1-0, а також як змінюються механічні властивості сплаву в початковому стані після виготовлення, після наступних термічних обробках, які впливають на якісні показники і термін роботи виробів при експлуатації.

## Введение

В настоящее время сплавы титана находят все более широкое применение в различных областях – в самолетостроении, ракетостроении, машиностроении, криогенной технике, медицине. Началась новая волна интереса к титану [1].

Главное достоинство титана и его сплавов – высокая технологическая пластичность, свариваемость, коррозионная стойкость в различных средах.

Титановая проволока очень устойчива к коррозии, а также обладает широкими возможностями эксплуатации: в воде, в том числе и морской, она может осуществлять контакт с щелочами, азотной кислотой, растворами соли, может использоваться совместно с серой и хлором, а также в биологически активных средах, например, в тканях человеческого организма [2].

Основное применение в медицине находят проволока и проволочная сетка из титана. Данная продукция используется для герниопластики, пластики мягких тканей, дна полости рта и др. Интересный эффект предполагается получить при использовании атравматических игл с крученой титановой нитью. Также есть работы по использованию титановой мононити даже в офтальмологии.

Титановая проволока сплава ВТ1-0 находит широкое применение в качестве расходного материала для сваривания титановых оправ, а также для хирургического вмешательства в организм человека [3].

Главными требованиями, предъявляемыми к материалам, используемым в медицине, являются высокая коррозионная стойкость в биологических средах, усталостная прочность и сочетание прочности и пластичности. Всеми этими свойствами обладают сплавы титана.

Одним из перспективных направлений повышения эксплуатационных свойств, коррозионной стойкости, усталостной прочности является увеличение содержания в структуре специальных низкоэнергетических границ зерен титана  $\Sigma 3^n$  согласно концепции решеток совпадающих узлов (PCU), в том числе по принципу зернограничного конструирования [4].

### Цель

Целью исследования является получение проволоки диаметром 1.2 мм из сплава BT1-0 с необходимым комплексом свойств: высокой пластичности и более низкой прочности для обеспечения работы при хирургическом вмешательстве (например, при соединении костей при переломах).

### Материал и методика

В данной работе была исследована титановая проволока сплава титана BT1-0, которая используется в медицине. Сплав титана BT1-0, рассматриваемый в настоящей работе, это технический титан, химический состав которого соответствует требованиям ГОСТ19807-91. Сплав содержит 99,7% *Ti*, остальное *Fe*, *C*, *Si* и примеси. В табл. 1 приведен химический состав титанового сплава BT1-0.

Таблица 1.

Химический состав сплава BT1-0

Марка титана	<i>Ti</i>	<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>H</i>
BT1-0	98.61- 99.7	до 0.18	до 0.07	до 0.1	до 0.04	до 0.12	до 0.01

Оценку микроструктуры проводили на оптическом микроскопе *Neophot 32*.

Механические свойства определяли при растяжении на разрывной машине *FM-500* в соответствии с ГОСТ 10008 80. Определяли характеристики  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\delta_5$ . Термическую обработку выполняли в вакуумной печи с вакуумом  $10^{-2} - 10^{-4}$  мм. рт. ст. при различных температурах.

### Результаты исследований и их обсуждение

BT1-0 имеет две аллотропические модификации  $\alpha$  и  $\beta$ . Модификация  $\alpha$ -низкотемпературная и существует при нагреве до  $882^\circ\text{C}$ , имеет гексагональную решетку. При температуре  $882.5^\circ\text{C}$   $\alpha$ -модификация переходит в  $\beta$ -модификацию, имеющую кубическую решетку.

В работе исследованы структура и механические свойства проволоки в исходном состоянии после изготовления и после различных вариантов последующей термической обработки. Термическая обработка выполнена в различных областях в  $\alpha$ ,  $\alpha+\beta$  и  $\beta$ . Поскольку титан активный металл и термическая обработка на воздухе способствует насыщению газами ( $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N$ ). Газы являются примесями, внедренными в титан, их наличие упрочняет его, а поверхностное насыщение газами в титане приводит к охрупчиванию. В связи с вышесказанным, термическую обработку проводили в вакууме ( $10^{-2} - 10^{-4}$  мм.рт.ст.). После термической обработки исследовали механические свойства и структуру сплава.

Как показали механические испытания, наибольшее разупрочнение металла произошло при температуре  $850^{\circ}C$ . Вместе с тем, относительное удлинение изменилось незначительно. Термическая обработка в  $\beta$  области привела к снижению прочности и текучести, но при этом снизилось и относительное удлинение до 4%. Фактические данные механических свойств приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Механические свойства проволоки после термической обработки

Маркировка образцов	Темп. исп. $^{\circ}C$	Фактические значения полученных показателей		
		Предел прочности $\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	Предел текучести $\sigma_{0,2}$ , Н/мм <sup>2</sup>	Относит. удлинение $\delta$ , %
Исходный	+16	573	417	11,0
+750 $^{\circ}C$	„	601	417	11,0
+850 $^{\circ}C$	„	558	401	13,0
+1000 $^{\circ}C$	„	511	448	4,0

Исследование микроструктуры показало, что при термической обработки проволоки в двухфазной области происходит формирование микроструктуры с зерном 10-20 мкм и наличие в микроструктуре довольно большого количества двойников отжига и специальных границ. Это обуславливает получение материала с повышенным комплексом эксплуатационных свойств: сочетания прочности, пластичности и вязкости.

На рис. 1 ... рис. 4 приведены микроструктуры исследуемых образцов. Микроструктура после термической обработке при  $850^{\circ}C$  приведена на рис. 3.

Как известно из ряда работ, в том числе выполненных в ПГАСА, специальные границы обладают сниженной поверхностной энергией. Двойниковые границы отжига относятся к низкоэнергетическим границам и характеризуются обратной плотностью совпадающих узлов  $\Sigma 3$ ,  $\Sigma 9$ .

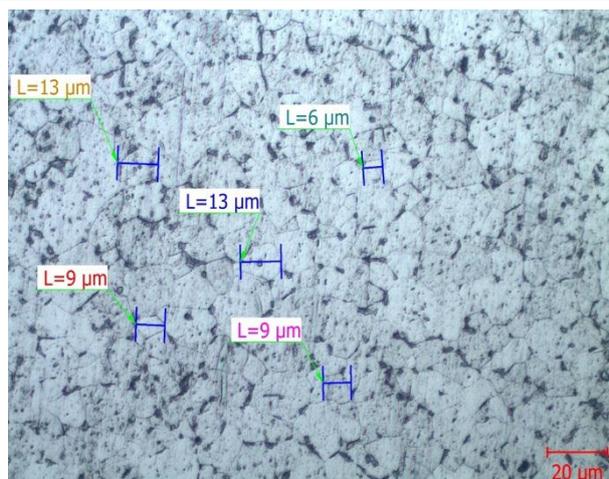


Рис. 1. Микроструктура исходного образца

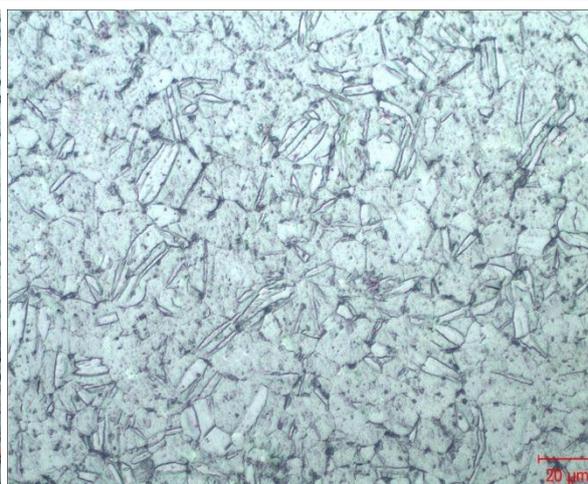


Рис. 2. Микроструктура после термической обработки при  $750^{\circ}\text{C}$

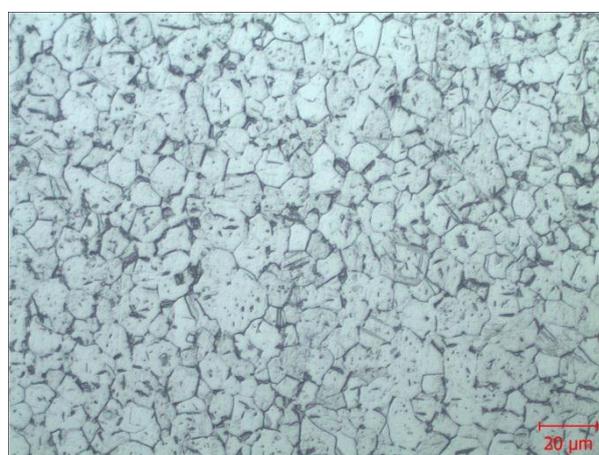


Рис. 3. Микроструктура после термической обработки при  $850^{\circ}\text{C}$

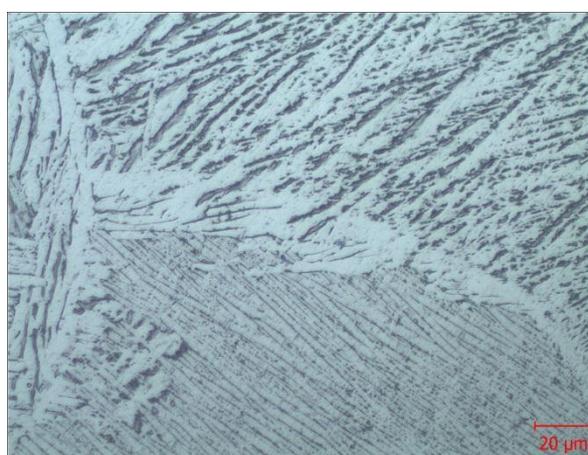


Рис. 4. Микроструктура после термической обработки при  $1000^{\circ}\text{C}$

Следует отметить, что большинство работ выполнено на металлах на ГЦК и ОЦК решетками. Металлы с ГПУ решеткой исследованы в меньшей степени [5, 6].

$\alpha$ -фаза, кристаллизующаяся в гексагональной решетке, сравнительно мягка, вязка и пластична, тогда как  $\beta$ -фаза обладает большей твердостью и прочностью, но меньшей пластичностью. Таким образом, изменяя относительное содержание этих фаз можно изменять механические свойства сплавов. Поскольку в исследуемом в данной работе сплаве ВТ1-0 основой является  $\alpha$ -фаза, то из полученных результатов следует, что нелегированный титан слабо поддается термической обработке. Вместе с тем, создавая специальные границы в  $\alpha$  титане возможно достижение улучшенного комплекса свойств, в том числе эксплуатационных свойств. (усталостная прочность).

**Выводы**

Сплав ВТ1-0 в состоянии изготовления после рекристаллизованного отжига имеет довольно высокие характеристики прочности и низкую пластичность. Повторный нагрев в вакууме при температуре двухфазной области (850 °С) приводит к несколько большему разупрочнению, формированию двойников отжига и специальных границ, что обеспечивает более высокий уровень эксплуатационных свойств (работы при хирургическом вмешательстве и усталостной прочности).

Исследование микроструктуры показало, что при термической обработки проволоки в двухфазной области приводит к формированию микроструктуры с зерном 10-20 мкм и наличию в микроструктуре довольно большого количества двойников отжига и специальных границ, что обеспечивает более высокий уровень эксплуатационных свойств.

Поскольку в исследуемом в данной работе сплаве ВТ1-0 преобладает  $\alpha$ -фаза, то из полученных результатов следует, что нелегированный титан слабо поддается термической обработке. Для большей степени варьирования механическими свойствами следует использовать  $\alpha+\beta$  сплавы титана, в которых соотношением  $\alpha$  и  $\beta$  возможно достижение требуемого условия свойств.

**Список использованной литературы**

1. *Ильин, А. А.* Титановые сплавы. Состав, структура, свойства / А. А. Ильин, Б. А. Колачѳв, И.С. Польшкин // Справочник. — М.: ВИЛС-МАТИ. —2009. — 520 с.
2. *Колачев, Б. А.* Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. И. Елагин, В. А. Ливанов // Учебник для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: МИСИС.— 2005. — С. 432.
3. *Шаркеев, Ю. П.,* Объемный наноструктурный титан медицинского применения / Ю.П. Шаркеев А. Ю. Ерошенко, О. А. Кашин и др. // Нанотехнологии и наноматериалы для биологии и медицины: сб. мат. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 11–12 октября 2007 г./ Сибунк, Национальный мексиканский университет, НГГМУ, ИХТТМ СО РАН, НОЦ «Молекулярный дизайн и экологически безопасные технологии при НГУ. НИЭМ, МШ КиЭЛСО РАМН, ООО «Вектор-Вита», ООО «Вектор ПРО». — Новосибирск, 2007. — С. 157–163.
4. *Копецкий, В. И.* Процессы множественного двойникового и особые свойства  $\Sigma=3^n$  границ в ГЦК кристаллах / В. И. Копецкий, А. В. Андреева, Г. Д. Сухомлин// Препринт ИПТМ АН СССР, Черногловка. — 1991. — 52 с.

5. *Сухомлин, Г. Д.* Топологические особенности развития структуры поликристаллов, обусловленные процессами двойникования / Г. Д. Сухомлин, А. В. Андреева // Физика металлов и металловедение. – 1988. – Т. 66, вып. 3. – С. 509-517.
6. *Сухомлин, Г. Д.* Множественные специальные стыки границ зерен в ГЦК поликристаллах / Г. Д. Сухомлин // Физика металлов и металловедение. – 1982. – Т. 54, вып. 2. – С. 402-405.