

УДК 669.715

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-3804152016108140>

Грекова М. Т.<sup>1</sup>, аспірант, Кашенкова А. В.<sup>2</sup>, магістр,  
Калініна Н. Є.<sup>3</sup>, професор, Мамчур С. І.<sup>4</sup>, доцент,  
Носова Т. В.<sup>5</sup>, доцент

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМОЗМІЦНЮЮЧОЇ ОБРОБКИ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ

**En**

Titanium is perspective construction material. Titanium and its alloys are perspective for application in many industries of modern technique: aviation, space-rocket technique, chemical engineering and etc. In some cases titanic alloy is the only material that is used to make the equipment or constructions able to work in extreme conditions. The heat-exchangers operating in corrosion environment, nitric and sulphuric acids are made from titanic alloys. In titanic heat-exchangers working in 65% aquafortis solution with the temperature of 160 ° corrosion speed goes down 60 times as compared to heat-exchangers from stainless steel. In addition, the high inoxidizability of titanium allows the thickness reducing of the heat-exchanger wall to the minimum. Titanium is mostly used in aviation, rocket production and other industries of technique, where specific durability has an important value. For the temperatures interval 300-600 ° C the titanium alloys have a high value of specific durability at temperatures below 300 ° C as compared to aluminium alloys and iron and nickel alloys at temperature above 600 ° C . In aircraft designing the aim is to get the most lightweight construction in combination with high durability. In an industrial scale titanic alloys were first used in the constructions of aviation engines. Application of titanium in the constructions of ram-jets allows to decrease considerably their deadload, disks, compressor shoulder blades, detail of fastening, aviation turbo-engine housing are made from titanium alloys.

**Ru**

Объектом исследования является шаробаллон, который предназначен для хранения газов азота или гелия в жидком состоянии. Цель исследования - выбор материала и изучение его свойств, усовершенствование технологического процесса изготовления детали типа «шаробаллон». Исследование влияния режимов термической обработки на свойства титановых сплавов и выбор наиболее технологичных режимов для объекта исследования.

### Вступ

Титановий сплав ВТ6С використовується у літальних апаратах у якості великогабаритних зварних і збірних конструкцій. Із даного сплаву виробляються також кулебалони із високим рівнем внутрішнього тиску,

<sup>1</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<sup>2</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<sup>3</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<sup>4</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

<sup>5</sup> Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

які можуть працювати у широкому інтервалі температур від  $-196^{\circ}\text{C}$  до  $+450^{\circ}\text{C}$ , а також інші вироби, що витримують великі навантаження. Взагалі сплав ВТ6 знайшов саме широке застосування в авіаційних і космічних технологіях. Як свідчить статистика, приблизно 25% усіх матеріалів, задіяних в аерокосмічній промисловості, становить ВТ6С.

Хімічний склад досліджуваного сплаву представлений у табл. 1.

Таблиця 1.

Хімічний склад титанового сплаву ВТ6С, ГОСТ 19807 – 91

Елемент	<i>Ti</i>	<i>Al</i>	<i>V</i>	<i>Fe</i>	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Zr</i>	<i>N</i>	<i>O</i>	<i>H</i>
Кількість, % мас.	Основа	5,3..6,5	3,5..4,5	<0,25	<0,3	<0,1	<0,3	<0,04	<0,15	<0,015

Алюміній, що міститься у сплаві ВТ6С, підвищує його міцність і жаростійкість; а ванадій підвищує не тільки міцність, але і пластичні властивості цього матеріалу. Настільки вдале легування й зумовило таке широке застосування, ВТ6С у авіа- та ракетобудуванні.

Крім всіх перерахованих вище властивостей, сплав також набагато менш сприйнятливий до водню (на відміну від сплавів ОТ4 і ОТ4-1), практично не піддається сольовій корозії, отже, має дуже добрі технологічні переваги.

Можна порівняти механічні властивості деяких сплавів зі сплавом ВТ6С для обґрунтування вибору титанового сплаву ВТ6С (табл. 2).

Таблиця 2.

Механічні властивості сплавів у разі  $T = 20^{\circ}\text{C}$

Сплав	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\sigma_{\text{в}}/\rho$
X18H10T	600	7800	0,077
ВТ6С	1050	4500	0,233
Д16	360	2700	0,133

Сплав ВТ6С піддають відпалу і термічному зміцненню. До недавнього часу напівфабрикати із даного сплаву, зокрема лист ВТ6С, відпалювали за температурою  $750 - 800^{\circ}\text{C}$ , однак у останні роки фахівці прийшли до висновку, що підвищення температурного режиму до  $900 - 950^{\circ}\text{C}$  дозволяє значно підвищити в'язкість руйнування та ударну в'язкість. У такому разі повною мірою зберігаються всі пластичні властивості сплаву. Це обумовлено формуванням змішаної  $\alpha + \beta$ -структури, у якій присутня значна частка пластинчастої складової. Підвищення в'язкості руйнування та посилення антикорозійних властивостей дозволяє проводити також подвійний відпал сплаву.

Після відпалу охолодження проводиться або на повітрі, або у самій печі. Останній варіант кращий, тому що великі вироби не коробляться, а дрібні уникають гарту. У даній роботі за базового технологічного процесу використовують відпал за  $780^{\circ}\text{C}$  із охолодженням на повітрі.

### Розробка режимів термозміцнюючої обробки титанового сплаву ВТ6С

Наряду із комплексним легуванням та мікролегуванням ефективними напрямками підвищення міцності, і що не менш важливо, конструкційна міцність перспективних зварюваних титанових сплавів являється зміцнююча термічна обробка, термомеханічна обробка, текстурне зміцнення.

Для сплаву ВТ6С рекомендуються такі режими зміцнюючої термічної обробки: відпал за температур  $750 - 950^{\circ}\text{C}$  із наступним охолодженням на повітрі; гартування за температур  $880 - 930^{\circ}\text{C}$  у воду і старіння за  $450 - 500^{\circ}\text{C}$ . Механічну обробку доцільно проводити після гарту із температур  $\sim 850 - 875^{\circ}\text{C}$ .

Промислові  $(\alpha + \beta)$ -сплави загартовують із температур, що відповідають  $(\alpha + \beta)$ -області, звичайно близьких до точки  $A_{c_2}$ . Після гартування за таких температур сплави мають невисоку міцність, знижену межу текучості, високу пластичність і легко піддаються різним технологічним операціям. Зміцнюючій термічній обробці можна піддавати титанові сплави ВТ3-1, ВТ6, ВТ6С, ВТ8, ВТ9, ВТ14, ВТ22 (табл. 3).

Таблиця 3.

Режими термозміцнюючої обробки титанових сплавів

Марка сплаву	Температура поліморфного перетворення $T_{пп}, ^{\circ}\text{C}$	Температура нагрівання під гартування, $^{\circ}\text{C}$	Температура старіння, $^{\circ}\text{C}$	Час витримки у разі старіння, год
ВТ6	880–900	900–950	450–550	2–4
ВТ6С	950–990	880–930	450–500	2–4
ВТ8, ВТ9	980–1020	920–940	500–600	1–6
ВТ14	920–960	870–910	480–560	8–16
ВТ22	840–880	690–750	480–540	8–16

Для поліпшення структури та підвищення комплексу механічних властивостей сплаву ВТ6С у роботі запропоновано 2 способи:

1-й спосіб – модифіцирування розплаву у лабораторних умовах дисперсним порошком карбонітрида титана  $Ti(C, N)$  із розміром частинок 5 мкм. Частинки дисперсного  $Ti(C, N)$  служать додатковими центрами кристалізації і тому сприяють подрібненню зерна

сплава. Порошок  $Ti(C, N)$  обрали, так як він має однакову г.ц.к. – решітку із титаном і близький атомний радіус.

2-й спосіб – проведення термозміцнюючої обробки у три етапи, така обробка дає змогу покращити механічні властивості, а саме, покращити міцність і залишити задовільну пластичність. Для цього проведено двократне гартування та штучне старіння. Схема режиму термозміцнюючої обробки: гартування від  $960^{\circ}C \rightarrow 910^{\circ}C$ , 20 хв. та старіння за  $450^{\circ}C$ , 2 год.

Схема запропонованого режиму наведена на рис. 1. За  $960^{\circ}C$  відбувається  $\alpha \rightarrow \beta$  – перетворення і прискорюється дифузія легуючих елементів: алюмінію та ванадію.

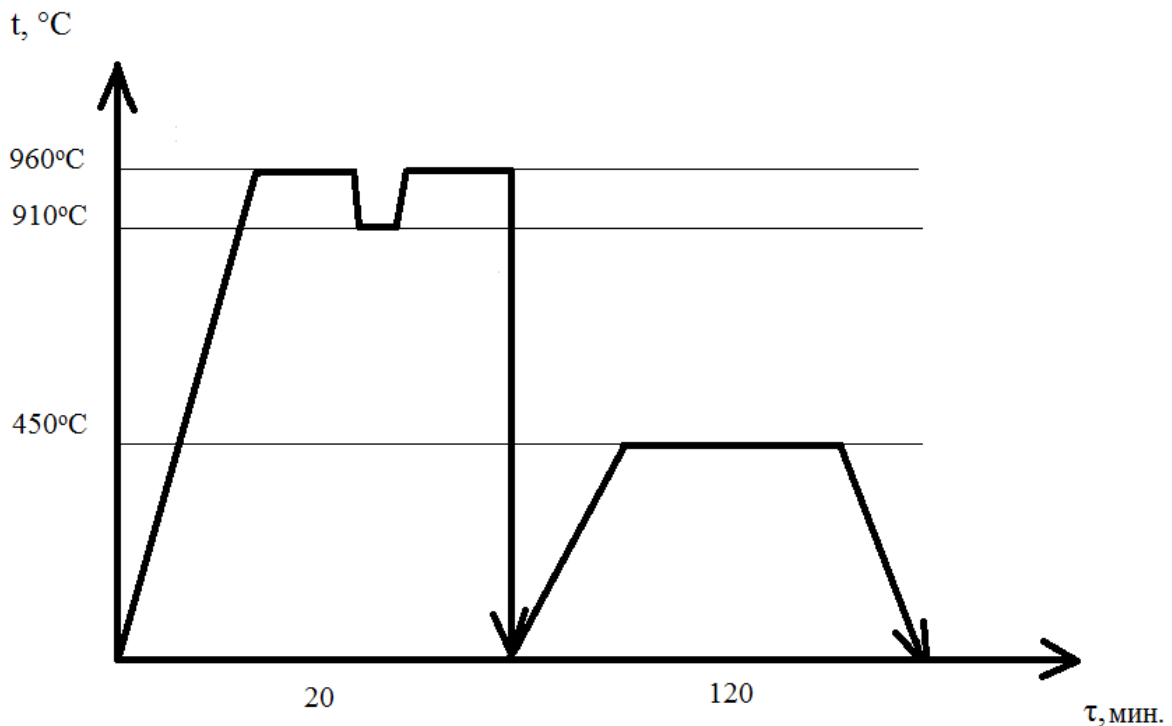


Рис. 1. Схема запропонованої термозміцнюючої обробки сплаву VT6C

Відомо, що під час нагріву велика частина кисню, що поглинається титаном, утворює окалину. Тому було вивчено фазовий склад поверхні термооброблених зразків сплаву VT6C ( табл. 4).

Таблиця 4.

Фазовий склад зразків сплаву VT6C після термічної обробки

Режим термічної обробки	Фазовий склад
Вихідний, після відпалу	$\alpha + \beta$
$500^{\circ}C, 20$ хв.	$\alpha + \beta$
$600^{\circ}C, 20$ хв.	$\alpha + \beta$

## Розділ 2. Механіка

Режим термічної обробки	Фазовий склад
700°C, 20 хв.	$\alpha + \beta$ , $TiO_2$
800°C, 20 хв.	$\alpha + \beta$ , $TiO_2$
870°C, 20 хв.	$\alpha + \beta$ , $TiO_2$ , $TiN$ , $Ti_3Al$
910°C, 60 хв.	$\alpha + \beta$ , $TiO_2$ , $Ti_3O_5$ , $TiO$ , $Ti_3Al$
950°C, 60 хв.	$\alpha + \beta$ , $TiO_2$ , $TiN$ , $Ti_3Al$

У роботі проведено мікроструктурний аналіз зразків сплаву ВТ6С до і після термовзвінчуючої обробки (рис. 2. – рис. 3)

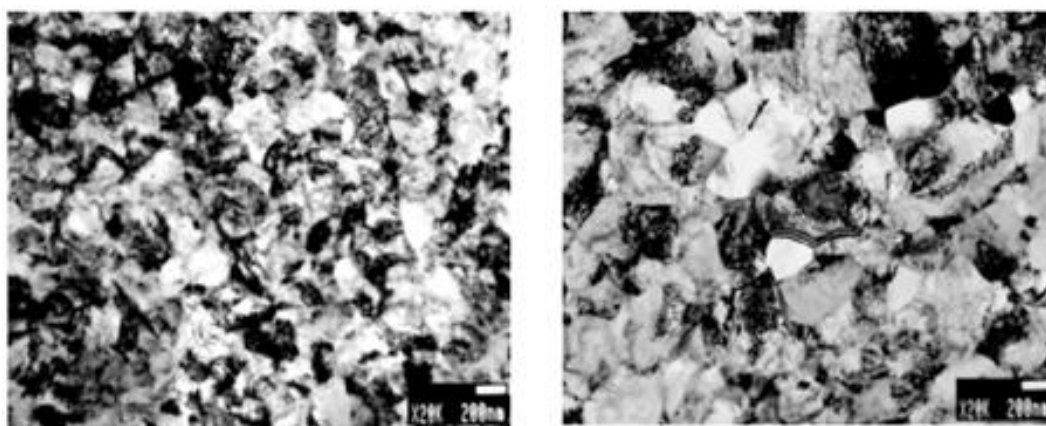
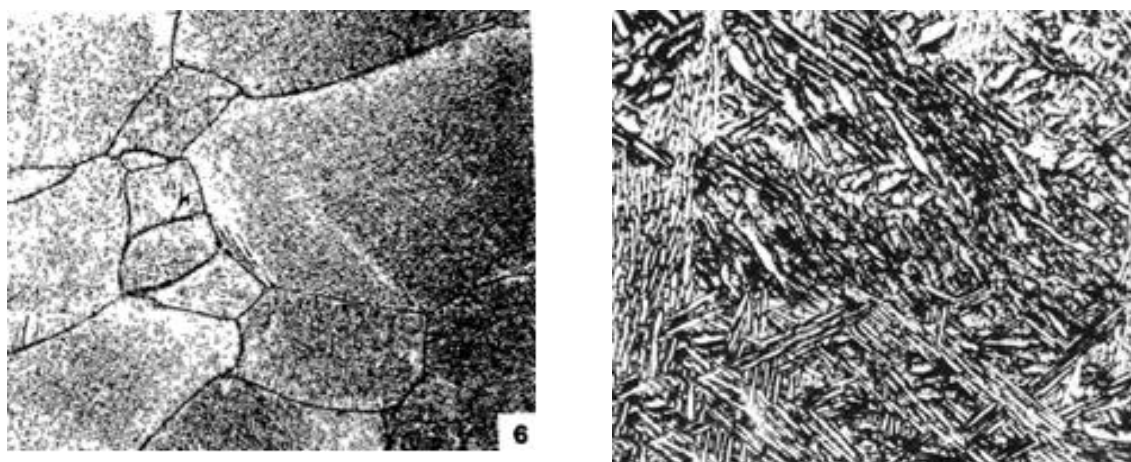


Рис. 2. Мікроструктура у вихідному стані до термічної обробки,  $\times 1000$



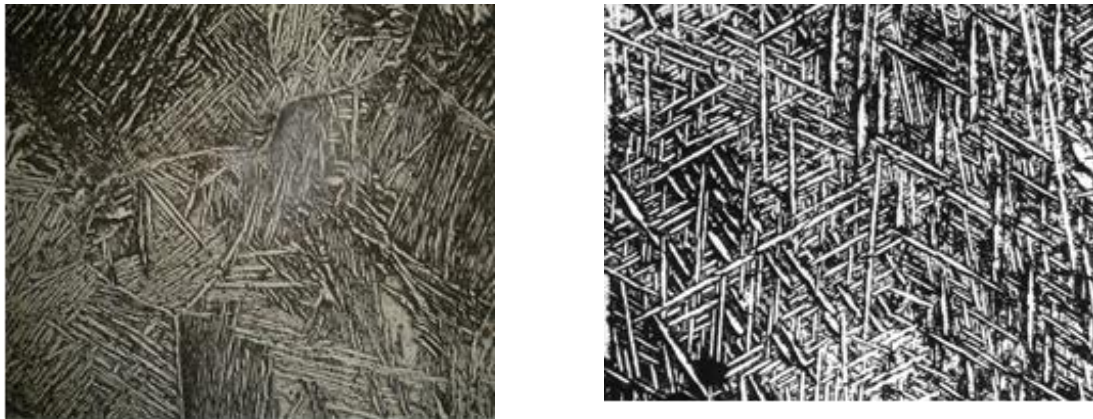
а)

б)

Рис. 3. Мікроструктура титанового сплаву ВТ6С по базовому технологічному процесу після термічної обробки,  $\times 100$

Із наведених даних випливає, що мікроструктура і фазовий склад двофазних титанових сплавів зазнають суттєвих змін під час нагрівання у верхній частині ( $\alpha + \beta$ )–області у результаті розвитку рекристалізації і фазових перетворень. У зв'язку із цим механічні властивості у разі гарячої деформації двофазних титанових сплавів визначаються мікроструктурою, що

формується у процесі нагрівання до початку деформації. Досягненню найбільшої пластичності сплаву ВТ6С сприяє формування у процесі нагрівання двофазної мікроструктури. У разі температури випробування вище оптимальної у сплавів спостерігається значне укрупнення зерен фаз (рис. 3), тому пластичність різко знижується. За температур, менших оптимальних, пластичність знижується через недостатню активізацію дифузійних процесів. У термічнозміцнених зразках отримано подрібнення ( $\alpha + \beta$ )-колоній, пластин у колоніях, а також дроблення сітки первинної  $\alpha$ -фази по межах колоній (рис. 3, а). За результатами запропонованої термічної обробки отримана структура «кошикового плетіння» (рис. 4, б), яка забезпечує максимальні характеристики міцності та жароміцності сплаву ВТ6С. Ця структура отримана у результаті розробленого режиму термозміцнюючої обробки: гартування від  $960^{\circ}\text{C}$ , 20 хв., охолодження у воду та старіння за  $500^{\circ}\text{C}$ , 3 год., охолодження на повітрі.



а)

б)

Рис. 4. Мікроструктура титанового сплаву ВТ6С по удосконаленому технологічному процесу після гартування та старіння,  $\times 200$

### Висновки

На підставі проведених досліджень та вивченні існуючих режимів зміцнюючої термічної обробки титанових сплавів пропонується піддавати кулебалон із титанового сплаву наступній термічній обробці: гартування за температур  $910 - 960^{\circ}\text{C}$  у воду і старіння за  $450^{\circ}\text{C}$ , 2 год., охолодження на повітрі. У результаті запропонованої термозміцнюючої обробки отримана однорідна дрібнозерниста структура сплаву ВТ6С. Це дозволило скоротити час старіння.

### Список використаної літератури

1. *Абраимов Н. В.* Авиационное материаловедение и технология обработки металлов/ Н. В. Абраимов, Ю. С. Елисеєв, В. В. Крымов //

- 
- Учебное пособие для авиационных вузов. – М: Высшая школа, 1998. – 444 с.
2. *Бецофен С. Я.* Текстура и конструкционная прочность сферических сосудов давления из сплавов титана / С. Я. Бецофен, А. А. Ильин, А. Д. Плотников А. А. Таранишин // *Авиационная промышленность*, 2006, № 4. – С. 26–32.
  3. *Богуслаев В. О.* Авіаційно-космічні матеріали та технології / В. О. Богуслаєв, О. Я. Качан, Н. Є. Калініна, В. Ф. Мозговий, В. Т. Калінін– Запоріжжя: Видавництво ВАТ Мотор Січ.– 2009 – 383 с.
  4. *Гуляев А. П.* *Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., М.: Металлургия, 1986.– 544 с.*
  5. *Колачев Б. А.* *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Б. А. Колачев, В. А. Ливанов, В. И. Елагин– М.: Металлургия, 1972.– 480 с.*
  6. *Линник А. К.* *Основи конструювання ракет-носіїв: Навчальний посібник. Дніпропетровський національний університет, 2008.– 394 с.*
  7. *Манько Т. А.* *Спеціальне матеріалознавство: Підручник / Т. А. Манько, Л. Д. Кучма, С. І. Губенко, Є. О. Джур, В. Г. Сітало– Д.: АРТ-ПРЕС, 2004.– 216 с.*
  8. *Походня І. К.* *Сучасне матеріалознавство ХХІ сторіччя / І. К. Походня, А. Г. Косторнов, В. І. Махненко– Київ, 1998. – 657 с.*
  9. *Солонина О. П.* *Титановые сплавы. Жаропрочные титановые сплавы / О. П. Солонина, С. Г. Глазунов– М.: Металлургия, 1976. – 448 с.*
  10. *Хорев А. И.* *Термическая, термомеханическая обработка и текстурное упрочнение свариваемых титановых сплавов» [Текст] // Сварочное производство. № 10. – 2012. – 20 с.*
  11. *Калинина Н. Е.* *Монографія «Наноматериалы и нанотехнологии», 2012. – 185 с.*