

УДК 669.715

Д-р техн. наук Н. Є. Калініна<sup>1</sup>, М. В. Грекова<sup>1</sup>, В. Т. Калінін<sup>2</sup>, А. В. Кашенкова<sup>1</sup><sup>1</sup> Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро<sup>2</sup> Національна металургійна академія України, м. Дніпро

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КУЛЕБАЛОНІВ З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

В результаті проведеної роботи розроблено енергозберігаючий режим термозміцнюючої сходиноквої обробки. Це дозволило знизити температури гартування та старіння, що істотно знижує витрати на електроенергію, а також зменшити утворення альфірованого шару, що підвищує якість титанового сплаву і знижує витрати на механічну обробку. В результаті запропонованої технології термозміцнюючої обробки підвищено комплекс механічних властивостей титанового сплаву ВТ6С:  $\sigma_b$  на 10%,  $\delta$  на 8%.

**Ключові слова:** кулебалон, титановий сплав, енергозбереження, термозміцнююча обробка, структура, властивості.

### Вступ

В даний час титанові сплави застосовуються практично у всіх літаках цивільної та військової авіації для виготовлення вузлів шасі, шпангоутів, лонжеронів та інших силових конструкцій відповідального призначення, що дозволяє зменшити масу конструкції на 10...25%.

У ракетних установках з високоміцних титанових сплавів виготовляють кулебалони для зберігання зріджених газів під високим тиском при криогенних температурах до  $-200$  °С. Матеріалами для виготовлення кулебалонів служать деформовані двофазні ( $\alpha + \beta$ ) – титанові сплави марок ВТ6, ВТ6С, ВТ14, ВТ8, з межею міцності  $\sigma_b > 800$  МПа при задовільній пластичності [1–3]. Виходячи з умов тривалого зберігання кулебалонів, титанові сплави повинні мати однорідну структуру, що забезпечує стабільність розмірів і механічних властивостей. Для забезпечення необхідних вимог, зокрема, енерго-, ресурсозбереження, надійності і довговічності застосовують термозміцнюючу обробку двофазних титанових сплавів, яка полягає в гартуванні і старінні [4–6]. Однак, стримуючим фактором застосування деформованих титанових сплавів є їх висока вартість через енергоємні технології отримання і обробки, а також дефіцит легуючих елементів.

### Постановка задачі

Виходячи з умов роботи кулебалонів і вимог, що пред'являються до титанових сплавів, завданням роботи була розробка ресурсо- і енергозберігаючої обробки деформованих титанових сплавів за рахунок раціонального хімічного складу і ефективної термозміцнюючої обробки.

### Результати дослідження

Двофазні титанові сплави відносяться до високоміцних, мають хорошу технологічну пластичність в гарячому стані, що дозволяє отримувати з них різні напівфабрикати: листи, плити, поковки, штамповки. Сплави ВТ6С і ВТ14, з межею міцності до 850 МПа, можуть також піддаватися холодному штампуванню [7–9]. У даній роботі розглянуто сплав ВТ6С для виготовлення кулебалонів об'ємом 1,85...130 л; діаметром 154...632 мм; масою 1,95...41,5 кг. Робочий тиск становить 230...330 кгс/см<sup>2</sup> при температурах зріджених газів азоту або гелію до  $-196$  °С. Сплав ВТ6С відноситься до зварювальних титанових сплавів. Хімічний склад сплаву в % мас.: Al-5,0...6,5; V-3,0...4,5. Алюміній – основний зміцнювач титанових сплавів, діє як ефективний  $\alpha$  - стабілізатор, що розширює межі розчинності в  $\beta$ - твердому розчині титану. Крім того, алюміній підвищує питому міцність, жаростійкість, жароміцність і модуль пружності сплаву. Однак алюміній утворює з титаном інтерметалідні фази  $Ti_3Al$  і  $TiAl$ , які можуть окрихчувати сплав. Ванадій знижує температуру поліморфного перетворення  $Ti\alpha \rightarrow Ti\beta$ , розширює область твердих розчинів і підвищує міцність і термічну стабільність сплаву ВТ6С.

Рекомендовані режими термічної обробки титанових сплавів приведені в табл. 1 [10–12].

Повна прогартваність забезпечується для заготовок зі сплаву ВТ6С з максимальним перетином 40...45 мм, що відповідає товщині листів зварюваного сплаву ВТ6С для виготовлення кулебалонів.

В даний час на промислових підприємствах застосовують наступну технологію термозміцнюю-

ючої обробки титанового сплаву ВТ6С: гартування від 970 °С; старіння при температурі 500 °С, витримка 2 години, охолодження на повітрі.

**Таблиця 1** – Режими термічної обробки промислових титанових сплавів

Марка сплаву	Температура п. п. $T_{\text{п.п.}}$ , °С	Температура нагріву під гартування, °С	Температура старіння, °С	Час витримки, год
ВТ6	880–900	900–950	450–550	2–4
<b>ВТ6С</b>	<b>950–990</b>	<b>880–980</b>	<b>450–500</b>	<b>2–4</b>
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

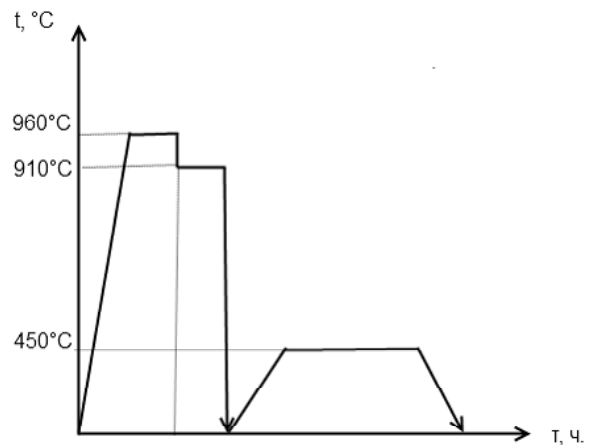
Сплав ВТ6С відноситься до двофазних ( $\alpha + \beta$ ) сплавів. Для забезпечення задовільного поєднання міцності і пластичності двофазних сплавів з ( $\alpha + \beta$ ) – структурою після гартування і старіння необхідно, щоб їх структура перед термічною обробкою була рівноосною. Тому перед термозміцнюючою обробкою проводили рекристалізаційний відпал при температурі 800 °С.

У даній роботі запропоновано проводити охолодження після гартування в підсоленій воді, це скорочує час охолодження і сприяє диспергуванню мікроструктури. Штучне старіння проводили, з метою розпаду метастабільних фаз, отриманих в результаті гартування; воно складається з нагріву при температурі значно нижчій від температури поліморфного перетворення і подальшого охолодження на повітрі.

Отримати оптимальне поєднання міцності і пластичності сплавів з ( $\alpha + \beta$ ) – структурою в результаті гартування і старіння можна лише в разі присутності в структурі первинної  $\alpha$  - фази, яка утворилася при гарячій деформації заготовок. Тому, для сплаву ВТ6С оптимальною термообробкою є гартування в ( $\alpha + \beta$ ) – області і старіння.

Для поліпшення структури і підвищення комплексу механічних властивостей сплаву ВТ6С в роботі запропоновано 2 способи. Перший спосіб: модифікування розплаву в лабораторних умовах дисперсним порошком карбонітриду титану Ті (С, N) з розміром частинок 0,5 мкм. Частинки дисперсного Ті (С, N) служать додатковими центрами кристалізації і тому сприяють подрібненню зерна сплаву. Модифікатор на основі Ті (С, N) вибраний за умови відповідності кристалізаційної ґратки з матрицею сплаву та близького атомного радіусу. Другий спосіб: проведення сходінкового гартування ВТ6С відносно темпера-

тури поліморфного перетворення  $T_{n,n'}$  за схемою: нагрів до 960 °С → 910 °С, витримка 30 хв, охолодження в воді. Нагрівання проводили в печі СНО - 6.12.6/10 із застосуванням захисної атмосфери для зменшення утворення альфірованого шару на поверхні заготовок. Схема термозміцнюючої обробки представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема розробленого режиму термічної обробки сплаву ВТ6С

### Висновок

В результаті запропонованої термозміцнюючої обробки – ступінчастого гартування і старіння, отримана дисперсна структура сплаву ВТ6С, однорідна по товщині листової заготовки. Зменшено утворення альфірованого шару, що знижує технологічну пластичність сплавів при зварюванні півкуль кулебалону. Досягнуто підвищення міцності властивостей сплаву ВТ6С:  $\sigma_s$  на 10%, при задовільній пластичності  $\delta$  8%, що забезпечило надійність і довговічність конструкції кулебалону.

### Список літератури

1. Богуслаєв В. О. Авіаційно-космічні матеріали та технології / [Богуслаєв В. О., Качан О. Я., Калініна Н. Є.] – Запоріжжя : Мотор Січ, 2009. – 383 с.
2. Колачев Б. А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов / Колачев Б. А. – М. : Металлургия, 1972. – 480 с.
3. Калинина Н. Е. Экологические аспекты получения шаробаллонов из титановых сплавов / Н. Е. Калинина, М. В. Грекова, Е.А. Мусина, А. Е. Юхименко // Матеріали VIII наукових читань «Дніпровська орбіта – 2013». – Дніпропетровськ, 2013. – С. 153–155.
4. Калинина Н. Е. / Н. Е. Калинина, А. Е. Калиновская // Збірка тез III науково-технічної конференції «Титан-2012 : виробництво і застосування». – Запоріжжя, 2012. – С. 69–70.

5. Хорев А. И. Термическая, термомеханическая обработка и текстурное упрочнение свариваемых титановых сплавов» / Хорев А. И. // Сварочное производство. – № 10. – 2012. – 20 с.
6. Шаповалова О.М. Повышение и стабилизация характеристик механических свойств титановых сплавов путем термической и термоциклической обработки / О. М. Шаповалова, Т. И. Ивченко, А. В. Шаповалов // Аэрокосмическая индустрия и экология, проблемы конверсии и безопасности. – Д. – 1997. – С. 55–57.
7. Шаповалов А. В. Влияние микролегирования на структуру и свойства сложнолегированного титанового сплава аэрокосмической техники / А. В. Шаповалов // Вісник дніпропетровського університету. – Д., 1999. – С. 127–130.
8. Хорев А. И. Разработка конструкционных титановых сплавов для изготовления деталей и узлов авиакосмической техники / А. И. Хорев // Сварочное производство. – 2009. – № 3. – С. 13–23.
9. Лусенко А. Ф. Формирование структуры и свойств титановых сплавов по механическим свойствам в процессах обработки металлов давлением / Лусенко А. Ф., Первишин А. Н. // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва. – М. : 2011. – №1. – С. 12–16.
10. 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.
11. Экологические аспекты получения шаробаллонов из титановых сплавов / Н. Е. Калинина, М. В. Грекова, Е. А. Мусина, А. Е. Юхименко // Матеріали VIII наукових читань «Дніпровська орбіта – 2013». – Дніпропетровськ, 2013. – С. 153–155.
12. Хорев А. И. Термическая, термомеханическая обработка и текстурное упрочнение свариваемых титановых сплавов / А. И. Хорев // Сварочное производство. – 2012. – № 10. – С. 11–20.

Поступила в редакцию 24.03.2017

**Калинина Н.Е., Грекова М.В., Калинин В.Т., Кашенкова А.В. Ресурсосберегающая технология изготовления шаробаллонов из титановых сплавов**

*В результате проведенной работы разработан энергосберегающий режим термоупрочняющей ступенчатой обработки. Это позволило снизить температуры закалки и старения, что существенно снижает расходы на электроэнергию, а также уменьшить образование альфированного слоя, что повышает качество титанового сплава и снижает затраты на механическую обработку. В результате предложенной технологии термоупрочняющей обработки повышен комплекс механических свойств титанового сплава VT6S  $\sigma_g$  на 10%,  $\delta$  на 8%.*

**Ключевые слова:** шаробаллон, титановый сплав, энергосбережение, термоупрочняющая обработка, структура, свойства.

**Kalinina N., Grekova M., Kalinin V., Kashenkova A. Resource-saving technology production шаробаллон of titanium alloy**

*As a result of the conducted work the energy-saving mode of thermostrengthening step treatment is worked out. It has allowed to reduce temperature quenching and aging, that significantly reduces electric power costs and reduces formation of layer, that improves quality of titanic alloy and reduces tooling costs. As a result of the proposed technology of thermally strengthened processing complex of mechanical properties of titanium alloy VT6S was increased ( $\sigma_g$  by 10%,  $\delta$  by 8%).*

**Key words:** шаробаллон, a titanic alloy, energy saving, thermostrengthening, structure, properties.