

Научная статья

УДК 669.295

Влияние химического состава на фазовый состав титановых сплавов при температурах $\alpha+\beta$ -области

**Федор Валерьевич Водолазский¹, Ирина Александровна Новоселова²,
Максим Александрович Шабанов³, Дарья Олеговна Стругова⁴,
Евгения Евгеньевна Безрук⁵**

^{1,2,3,4,5} Уральский федеральный университет им. первого Президента
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

¹ f.v.vodolazskiy@urfu.ru

Аннотация. В настоящей статье построена математическая модель содержания α -фазы в титановых сплавах в зависимости от химического состава сплава (при температуре полиморфного превращения $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Ключевые слова: титановые сплавы, температура полиморфного превращения, фазовый состав

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-10107-п).

Original article

Influence of Chemical Composition on the Phase Composition of Titanium Alloys at Temperatures of $\alpha+\beta$ -Region

**Fedor V. Vodolazsky¹, Irina A. Novoselova², Maxim A. Shabanov³,
Daria O. Strugova⁴, Evgeniya E. Bezruk⁵**

^{1,2,3,4,5} Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

¹ f.v.vodolazskiy@urfu.ru

Abstract. In this article, a mathematical model of the α -phase content in titanium alloys is constructed depending on the chemical composition of the alloy (at a polymorphic transformation temperature of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Keywords: titanium alloys, β -transus temperature, phase composition

Funding. The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 18-79-10107-p).

Титановые сплавы благодаря уникальному сочетанию высокой удельной прочности, коррозионной стойкости, жаропрочности, биосовместимости и др. широко используются в качестве конструкционных и функциональных материалов [1] в авиационно-космической технике [2; 3], судостроении [4], нефтедобывающей промышленности [5]. Одной из основных задач при получении изделий из титановых сплавов является получение однородной мелкозернистой структуры, которая обеспечивает высокий уровень механических свойств. Для достижения подобной структуры чаще всего используется температура $\alpha+\beta$ -области $T_{\text{пп}} -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Выбор данной температуры обусловлен тем, что при ней сплав гарантировано находится в $\alpha+\beta$ -области, и даже в случае локальных перегревов велика вероятность того, что в структуре останется некоторое количество α -фазы, которая будет препятствовать протеканию процесса рекристаллизации и, как следствие, укрупнению структуры. На $T_{\text{пп}}$ влияет легирование сплавов, которое можно оценить по значениям алюминиевого ($[\text{Al}]_{\text{экв}}$) и молибденового ($[\text{Mo}]_{\text{экв}}$) эквивалентов, широко используемых в научной литературе [6].

В настоящей проводилось исследование фазового состава от температуры в интервале температур $T_{\text{пп}} -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для этого выбирали сплав с известным химическим составом и фазовым составом при необходимых температурах. Из полученных данных в ходе исследования были посчитаны алюминиевый ($[\text{Al}]_{\text{экв}}$) и молибденовый ($[\text{Mo}]_{\text{экв}}$) эквиваленты, а также проанализировано количество α -фазы при температуре $T_{\text{пп}} -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\%\alpha$). Также была подобрана зависимость процентного содержания α -фазы при $T_{\text{пп}} -40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\%\alpha$) от $\ln ([\text{Al}]_{\text{экв}}/[\text{Mo}]_{\text{экв}})$, которая наиболее точно описывает влияние алюминиевого и молибденового эквивалентов (рис. 1).

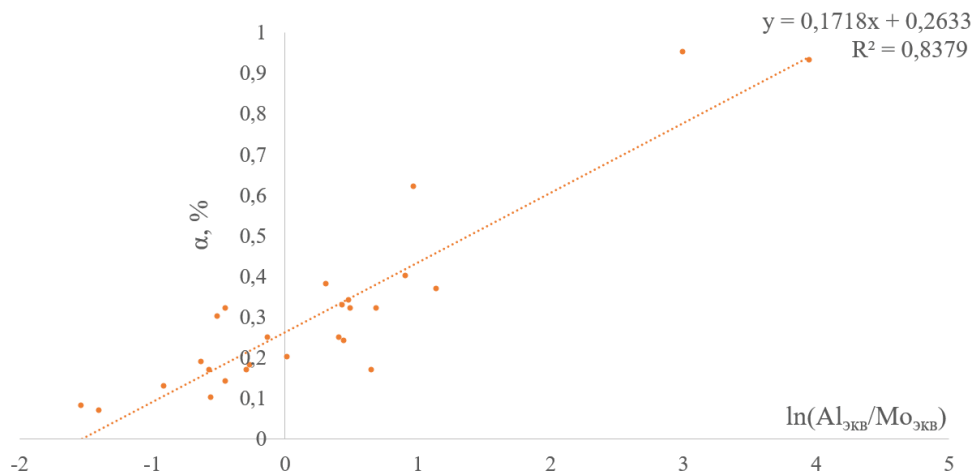


Рис. 1. Зависимость процентного содержания α -фазы при температуре $T_{\text{пп}} -40$ ($\% \alpha$) от параметра $\ln ([\text{Al}]_{\text{ЭКВ}}/[\text{Mo}]_{\text{ЭКВ}})$

Таким образом, построена модель содержания α -фазы при $T_{\text{пп}} -40$ °C в зависимости от алюминиевых и молибденовых эквивалентов, которая имеет следующий вид: $\% \alpha_{T_{\text{пп}}-40} = 0,1718 \cdot \ln (\text{Al}_{\text{ЭКВ}}/\text{Mo}_{\text{ЭКВ}}) + 0,2633$ ($p=0,95$; $R^2 = 0,84$). Полученная модель адекватна, исходя из проверки по критерию Фишера: $F_{\text{расч}} (0,184) < F_{\text{теор}} (2,003)$. Что позволяет ее использовать для прогнозирования содержания объемной доли α -фазы при температуре $T_{\text{пп}} -40$ °C.

Список источников

1. Banerjee D., Williams J. C. Perspectives on titanium science and technology // *Acta Materialia*. 2013. Vol. 61, no. 3. P. 844–879.
2. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry // *Materials Science and Engineering A*. 1996. Vol. 213, no. 1–2. P. 103–114.
3. Структура и свойства металла горячепрессованной трубы из сплава Ti–3Al–2,5V / И. Ю. Пышминцев [и др.] // *Металлург*. 2019. № 7. С. 71–77.
4. Gorynin I. V. Titanium alloys for marine application // *Materials Science and Engineering A*. 1999. Vol. 263, no. 2. P. 112–116.

5. Schutz R. W., Watkins H. B. Recent developments in titanium alloy application in the energy industry // *Materials Science and Engineering A*. 1998. No. 1–2. P. 305–315.
6. Колачев Б. А., Ливанов В. А., Елагин В. И. *Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов*. 4-е изд., перераб. и доп. М. : МИСИС, 2005. 427с.

References

1. Banerjee D., Williams J. C. Perspectives on titanium science and technology // *Acta Materialia*. 2013. Vol. 61, no. 3. P. 844–879.
2. Boyer R. R. An overview on the use of titanium in the aerospace industry // *Materials Science and Engineering A*. 1996. Vol. 213, no. 1–2. P. 103–114.
3. Structure, Phase Composition and Mechanical Properties of Hot-Extruded Ti–3Al–2.5V Pipe After Vacuum Annealing / I. Yu. Pyshmintsev [et al.] // *Metallurgist*. 2019. Vol. 63, no. 7–8. P. 751–758.
4. Gorynin I. V. Titanium alloys for marine application // *Materials Science and Engineering A*. 1999. Vol. 263, no. 2. P. 112–116.
5. Schutz R. W., Watkins H. B. Recent developments in titanium alloy application in the energy industry // *Materials Science and Engineering A*. 1998. No. 1–2. P. 305–315.
6. Kolachev B. A., Livanov V. A., Yelagin V. I. *Metal science and thermal processing of non-ferrous metals and alloys. Textbook for universities*. 4th, revised. and additional. M. : MISIS, 2005. 427 p.