

УДК 669.295:669.018

Е.В. Миронова

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ
ТИТАНОВОГО СПЛАВА BT20
С ПРИМЕНЕНИЕМ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ
И АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ФАЗ**

E.V. Mironova

**CHOICE OF OPTIMUM MODE OF HEAT TREATMENT
OF THE TITANIC BT20 ALLOY
WITH APPLICATION OF A QUANTITATIVE METALLOGRAPHY
AND ANALYSIS OF CHEMICAL PHASES COMPOSITION**

В работе представлены результаты структурно-фазовых, химических и физико-механических свойств промышленных заготовок из сплава BT20. Изучены особенности структурно-фазовых превращений и сопутствующего перераспределения легирующих элементов в зависимости от широкого интервала температур нагрева. Предложен оптимальный режим термической обработки. СПЛАВЫ ТИТАНА. СТРУКТУРА. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ТЕРМООБРАБОТКА.

In work results of structural and phase, chemical and physicommechanical properties of industrial preparations from BT20 alloy are presented. Features of structural and phase transformations and accompanying redistribution of alloying elements depending on a wide interval of temperatures heating are studied. The optimum mode of heat treatment is offered.

ALLOYS OF THE TITAN. STRUCTURE. CHEMICAL COMPOSITION. MECHANICAL PROPERTIES. HEAT TREATMENT.

Титановые сплавы — перспективные материалы для отдельных элементов конструкций авиастроения, что обусловлено их большой удельной прочностью, немагнитностью, коррозионной стойкостью [1].

Целью работы было установление зависимостей между параметрами структуры, химического состава отдельных фаз и механическими свойствами сплавов титана.

Материалом для исследования служили заготовки из сплава титана BT-20, полученные в результате деформации со степенью 80 % в β -(α + β)-областях и последующего ускоренного охлаждения — душирования (исходное горячедеформированное состояние). После этого заготовки повторно нагревали в интервале температур 700–1050 °С в течение 5 часов с охлаждением на воздухе [2–6].

Исследования проводились с применением качественной и количественной металлографии, а также микрорентгеноспектрального анализа. Применение микровизора μ Vizo-MET позволило работать при увеличениях до 3000 раз благодаря большой глубине резкости. Применение инвертированного металлургического микроскопа серии IM7000 MEIJI TECHNO с анализатором изображения Thixomet дало возможность получить количественные характеристики параметров структуры и панорамные изображения размером в несколько десятков полей зрения (рис. 1).

В таблице представлены результаты оценки следующих структурных параметров: ширины пластин α -фазы, толщины прослоек β -фазы, содержания и дисперсности прослоек β -фазы.

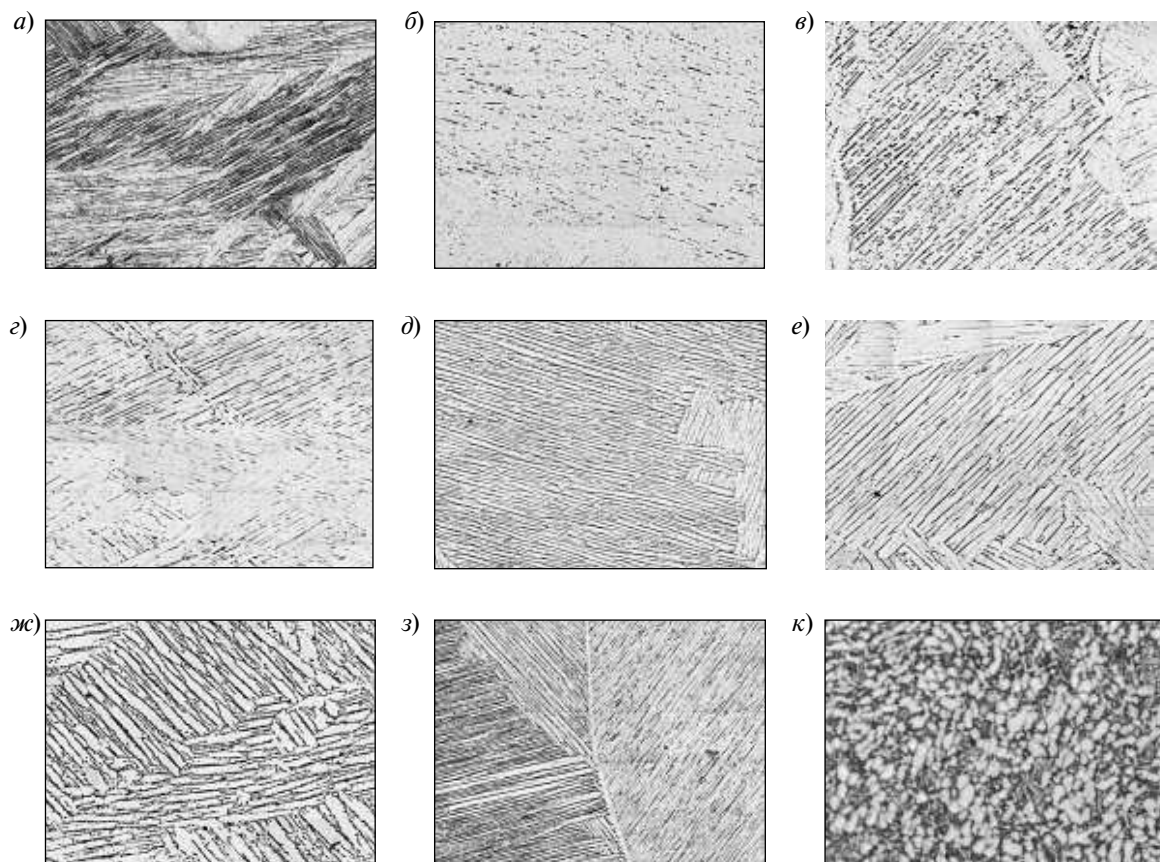


Рис. 1 Панорамные изображения ($\times 200$) сплава титана ВТ20 как в исходном состоянии (а), так и после отжига при температурах 800 (б), 850 (в), 880 (г), 950 (д), 970 (е), 1000 (ж) и 1050 (з); бимодальная структура сплава ВТ20

Числовые параметры оценки ширины пластин α -фазы, толщины прослоек β -фазы, содержания и дисперсности прослоек β -фазы

Образец	Средняя ширина пластин α -фазы, мкм	Средняя толщина β -прослоек, мкм	Средняя дисперсность β -фазы, мм^{-1}	Среднее содержание β -фазы, %
Исходный	2,09	0,45	11,94	20
После отжига при 800 °С	6,66	0,78	27,93	4,3
После отжига при 820 °С	4,07	0,88	23,64	5,2
После отжига при 850 °С	3,95	1,06	14,38	8,8
После отжига при 880 °С	2,99	0,55	31,57	5,3
После отжига при 950 °С	3,64	0,68	8,57	16
После отжига при 970 °С	4,35	0,91	8,84	13
После отжига при 1000 °С	5,54	0,9	4,52	20
После отжига при 1050 °С	1,24	0,47	15,53	26

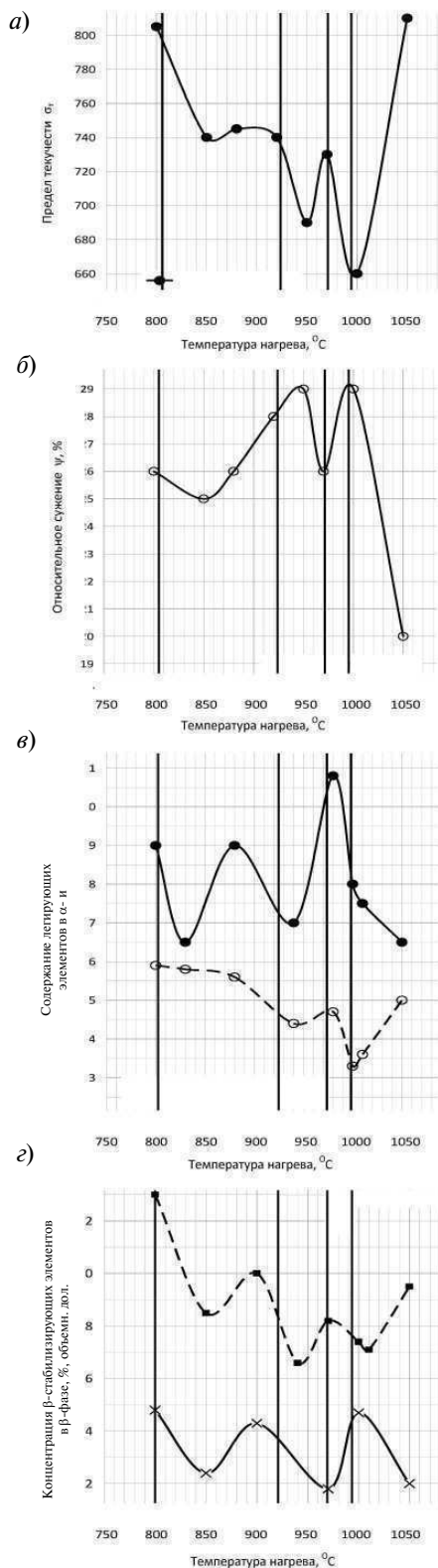


Рис. 2. Зависимости от температуры нагрева предела текучести (а), относительного сужения (б), содержания Al в α -фазе (—●—) и β -фазе (—○—) (в), концентрации V (—×—) и Zr (—■—) в β -фазе (з)

Как показали результаты, полученные с помощью микровизора μ Vizo-MET и анализатора изображения Thixomet, в сплаве оптимальные структурные составляющие были получены после отжига при температуре 800 °C, т. е. нагрева в верхней части α -области, вблизи нижней точки фазового $\alpha \rightarrow (\alpha + \beta)$ -превращения.

Анализ полученных результатов (см. табл.) показал, что при этом достигались максимальная ширина пластин α -фазы (6,66 мкм), средняя толщина β -прослоек (0,8 мкм) и их дисперсность (155 мм^{-1}), а также минимальное содержание β -прослоек (4,3 %).

Как показал микрорентгеноспектральный анализ (рис. 2) в прослойках β -фазы содержалось повышенное количество β -стабилизирующих элементов (например, ванадия 4,3 %). Это свидетельствует о распаде малолегированной β -фазы и увеличении концентрации β -стабилизирующих элементов в оставшихся β -прослойках. Такая β -фаза оказывается более мягкой, повышает пластические и эксплуатационные свойства.

На рис. 2 представлены результаты изменения кратковременных механических свойств сплава VT-20 — прочностных (σ_T) и пластических (ψ) — после различных температур отжига (800, 850, 880, 950, 970, 1000 и 1050 °C).

Известно, что эксплуатационные свойства двухфазных ($\alpha + \beta$)-сплавов титана оказываются оптимальными в случае, когда α - и β -фазы равнопрочные, т. е. при эксплуатации длительное время не происходит локализации пластической деформации в отдельных структурных и фазовых составляющих [1, 9–10].

В работе установлен оптимальный температурно-временной интервал термической обработки исследуемого горячедеформированного титанового сплава — 800 °C, 5 ч., воздух, соответствующий распаду твердых β -прослоек обогащенных α -стабилизирующими элементами и сохранению мягких прослоек β -фазы, обогащенных одноименными β -стабилизирующими легирующими элементами. Формирование оптимальной структуры в титановых сплавах дало возможность получить при высоких прочностных характеристиках повышенные значения их вязко-пластических и служебных свойств [6–8].

Проведенные комплексных исследования температурно-временных особенностей форми-



рования и распада неравновесных твердых растворов позволили осуществить повышение качества титановых заготовок путем создания

регламентированной структуры металла с заданными и стабильными физико-механическими свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов, С.Г. Конструкционные титановые сплавы [Текст] / С.Г. Глазунов, В.Н. Моисеев // М.: Metallurgy, 1974.— С. 368.

2. Parshin A.M., Ushkov S.S., Skotnikova M.A. Decomposition Diagram and Heat-treatment Schedule of α -alloy of Titanium [Text].— Eighth World Conference «Titanium 95», Birmingham, UK.— 1996.— P. 2515–2522.

3. Skotnikova, M.A. Decomposition of Nonequilibrium Solid Solutions and Mechanical Properties of Titanium Alloys [Text] / M.A. Skotnikova, S.S. Ushkov // Proc. of the 9th World Conference on Titanium.— Saint-Petersburg, Russia 1999.— Science and Technology.— 2000. Vol. 1.— P. 414–421.

4. Скотникова, М.А. Диаграмма распада и режим термической обработки двухфазных сплавов титана [Текст] / М.А. Скотникова, А.М. Паршин // Metallurgy and Materials Science.— 1997. № 7.— С. 31–37.

5. Скотникова, М.А. Разработка научного принципа выбора окончательной термической обработки двухфазных горячедеформированных полуфабрикатов из сплавов титана [Текст] / М.А. Скотникова, С.С. Ушков // Прогрессивные материалы и технологии ЦНИИ КМ Прометей.— 1999. Вып. 3.— С. 91–98.

6. Скотникова, М.А. Изучение структурно-фазовых превращений и свойств, как способ совершенствования технологии производства и термообработ-

ки деформированных полуфабрикатов из сплавов титана [Текст] / М.А. Скотникова // MORINTECH-97 The Second International Conference and Exhibition On Marine Intellectual Technologies.— Russia, Saint-Petersburg.— 1997. Vol. 4.— P. 251–255.

7. Скотникова, М.А. Выбор оптимальной структуры и свойств деформированных полуфабрикатов титана после термической обработки [Текст] / М.А. Скотникова // Новые материалы и технологии машиностроения: Сб. статей / МГТУ.— М., 1994.— С. 44.

8. Скотникова, М.А. Повышение вязко-пластических свойств сплавов титана в связи с особенностями микрораспределения легирующих элементов [Текст] / М.А. Скотникова, Е.З. Степанов // Новые стали и сплавы, режимы их термической обработки.— Л., ЛДНТП, 1989.— С. 87–90.

9. Скотникова, М.А. Использование титановых сплавов в качестве материала лопаток паровых турбин [Текст] / М.А. Скотникова, Т.А. Чижик, А.А. Ланина, [и др.] // Вопросы материаловедения, №3(51).— 2007.— С. 61–70;

10. Скотникова, М.А. Исследование рабочих лопаток турбин большой мощности с учетом структурно-фазовых превращений в металле штамповок из титанового сплава ВТ6 [Текст] / М.А. Скотникова, Т.А. Чижик, А.С. Лисянский [и др.] // Журнал «Металлообработка».— СПб.— 2009. № 6(54).— С. 12–21.

REFERENCES

1. Glazunov S.G., Moiseyev V. N. Constructional titanium alloys [Text].— M: Metallurgy, 1974.— P. 368. (rus.)

2. Parshin A.M., Ushkov S.S., Skotnikova M.A. Decomposition Diagram and Heat-treatment Schedule of α -alloy of Titanium [Text].— Eighth World Conference «Titanium 95», Birmingham, UK.— 1996.— P. 2515–2522.

3. Skotnikova M.A., Ushkov S.S. Decomposition of Nonequilibrium Solid Solutions and Mechanical Properties of Titanium Alloys [Text] / Proceeding of the «9th World Conference on Titanium», Saint-Petersburg, Russia, 1999, Science and Technology.— 2000. Vol. 1.— P. 414–421.

4. Skotnikova M. A. Parshin A.M. Chart of disintegration and mode of a thermal obrakbotka of two-phase alloys of the titan [Text] // Metallurgical science and heat treatment of metals, 1997, No. 7, 31–37. (rus.)

5. Skotnikova M. A. Ushkov S. S. Development of the scientific principle of a choice of final heat treatment of

two-phase hot-rolled semi-finished products from alloys of the titan [Text] // Progressive materials and technologies / Central Research Institute KM Prometheus.— 1999. № 3.— P. 91–98. (rus.)

6. Skotnikova M. A. Studying structural phase transformations and properties, as a way of improvement of a tekhkknologiya of production and heat treatment of the deformed semi-finished products from alloys of the titan [Text] // MORINTECH-97 The Second International Conference and Exhibition On Marine Intellectual Technologies. Russia, Saint-Petersburg.— 1997. Vol. 4.— P. 251–255.(rus.)

7. Skotnikova M. A. Choice of optimum structure and properties of the deformed half-finished products of the titan after thermal processing // New materials and technologies of mechanical engineering / MGATU.— M., 1994.— P. 44 (rus.)

8. Skotnikova M.A., Stepanov E.Z. Increase of is viscous-plastic properties of alloys of the titan in connec-

tion with features of microdistribution of alloying elements [Tekst] // New steels and alloys, modes of their thermal processing.— L.: LDNTP, 1989.— P. 87–90. (rus.)

9. **Skotnikova M.A., Chizik T.A., Lanina A.A., Krylov N.A.** Use of titanic alloys as a material of shovels of steam turbines [Tekst] // Questions of materials science.— 2007. № 3(51).— P. 61–70. (rus.)

10. **Skotnikova M.A., Chizik T.A., Lisyansky A.S., Simin O.N., Tsybulina I.N., Lanina A.A.** Research of working shovels of turbines of big power taking into account structural and phase transformations in metal of stampings from a titanic alloy of VT6 [Tekst] // The Metalloobrabotka Magazine.— SPb.— 2009. № 6(54).— P. 12–21.(rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

МИРОНОВА Екатерина Викторовна — аспирант кафедры машиноведения и основ конструирования Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 195251, ул. Политехническая, 29, Санкт-Петербург, Россия; e-mail: etyagunova@mail.ru

AUTHORS

MIRONOVA Ekaterina V. — St. Petersburg State Polytechnical University; 195251, Politekhnicheskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia; e-mail: etyagunova@mail.ru