



Влияние редкоземельных металлов на  
механические свойства и структуру  
жаропрочного титанового  $\alpha$ -сплава

Н.М. Улякова

Октябрь 1993

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Металловедение и термическая обработка металлов», №3, 1994г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

# **Влияние редкоземельных металлов на механические свойства и структуру жаропрочного титанового $\alpha$ -сплава**

Н.М. Улякова

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*Исследовано влияние микролегирования некоторыми редкоземельными металлами (La, Dy, Y, Ce) на количество  $\beta$ -фазы, механические свойства при 20°C, длительную прочность и ползучесть при 600°C жаропрочного титанового сплава типа VT18У.*

В нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание изучению влияния редкоземельных металлов (РЗМ) на свойства титановых сплавов. Показано [1], что РЗМ оказывают положительное влияние на высокотемпературные свойства титановых сплавов. В работе [2] рассмотрены механизмы влияния малых добавок РЗМ на структуру и свойства титана и его сплавов. При этом отмечается улучшение деформируемости сплавов вследствие измельчения зерна, повышение температуры  $(\alpha+\beta)\rightarrow\beta$ -превращения и, как следствие, температуры рекристаллизации, увеличение жаропрочности, улучшение защитных свойств окисных пленок, эффективно влияющих на жаростойкость титановых сплавов.

В данной работе приведены результаты исследования влияния РЗМ – диспрозия, лантана, церия, иттрия – на механические свойства жаропрочного титанового  $\alpha$ -сплава типа VT18У. В качестве исходного материала использовали кованные прутки диаметром 14 мм, полученные из лабораторных слитков массой 4 кг. Слитки получали в вакуумной дуговой печи методом двойного переплава расходоуемого электрода. Химический состав слитка (по расчету): 6,7% Al; 4% Zr; 2,5% Sn; 0,8% Mo; 0,12% Si. В отличие от серийного сплава VT18У в составе исследуемого сплава отсутствует ниобий.

Лантан и иттрий вводили в сплав в виде лигатур с алюминием, остальные элементы – в виде стружки чистых металлов\*. Минимальное содержание РЗМ (по расчету) – 0,005%, максимальное – 0,2%. Для шихты использовали титановую губку ТГ100.

Ковку прутков осуществляли в  $\beta$ -области при 1080°C. Термическую обработку также проводили в  $\beta$ -области по режиму: 1040°C 5 мин, воздух + 600°C 24 ч, воздух. Температура полиморфного превращения сплавов 1020°C.

Исследовали механические свойства ( $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $a_1$ ) сплавов при 20°C, а на отдельных образцах и при 600°C ( $\sigma_{\text{в}}$ ,  $\sigma_{0,2}$ ), и жаропрочность (длительную прочность и ползучесть) при 600°C. При испытаниях на длительную прочность определяли время до разрушения ( $\tau_{\text{р}}$ ) образцов под воздействием напряжения 350 Н/мм<sup>2</sup>, при испытаниях на ползучесть – деформацию ( $\delta_{\text{ост}}$ ) образцов за 100 ч при напряжении 150 Н/мм<sup>2</sup>. В некоторых сплавах методом рентгеноструктурного фазового анализа определяли количество  $\beta$ -фазы. Микроструктурный анализ сплавов проводили на световом микроскопе.

Из рис. 1 видно, что легирование РЗМ в исследованных количествах приводит к некоторому повышению  $\sigma_{\text{в}}$ , в большей степени – легирование лантаном, церием и диспрозием в количестве до 0,01%. Церий и иттрий повышают пластические свойства и ударную вязкость. Диспрозий и лантан в небольших количествах снижают пластичность и ударную вязкость. При легировании лантаном наблюдается снижение относительного сужения и ударной вязкости при одновременном повышении временного сопротивления разрыву.

---

\* Образцы лигатур и чистых металлов получены в Гиредмете при участии А.А. Горбачевича.

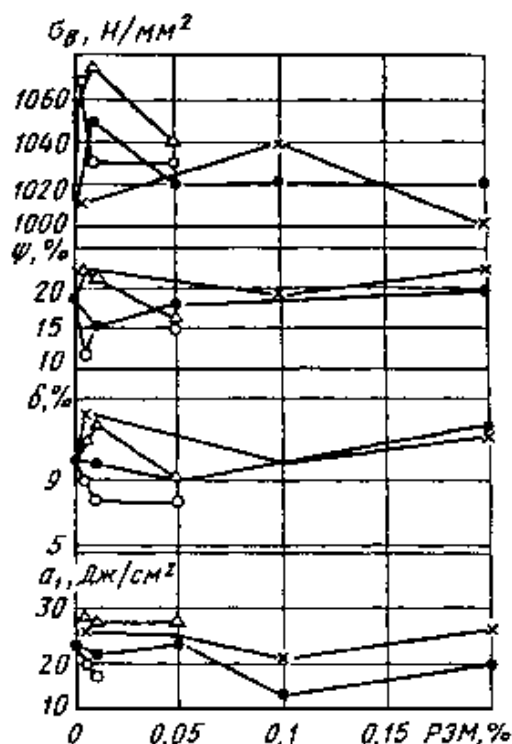


Рисунок 1. Влияние РЗМ на механические свойства сплава типа ВТ18У при 20°C:

$\Delta$  – Ce;  $\circ$  – La;  $\bullet$  – Dy;  $\times$  – Y

На рис. 2 представлены результаты испытания образцов на длительную прочность и ползучесть при 600°C. Все исследуемые РЗМ в определенных концентрациях повышают жаропрочные характеристики сплава типа ВТ18У. Максимальный эффект достигается при микролегировании лантаном в количестве 0,005% и диспрозием в количестве 0,2%. При этом время до разрушения образцов возрастает от 50 ч для сплава без РЗМ до 140 ч при легировании его лантаном в количестве 0,005% (рис. 2, а). При испытании на ползучесть за 100 ч остаточная деформация образцов уменьшается от 0,3% для сплава без РЗМ до 0,05% для сплава, легированного 0,005% La (рис. 2, б). Увеличение содержания лантана до 0,05% приводит к снижению жаропрочности сплавов. Менее эффективно влияние иттрия и церия.

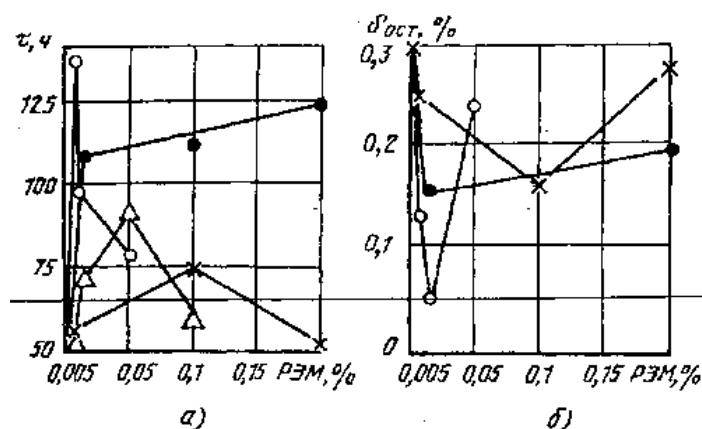


Рисунок 2. Влияние РЗМ на длительную прочность ( $\tau$  – время до разрушения) и ползучесть ( $\delta_{ост}$ ) сплава типа VT18У при 600°C:  $\Delta$  – Ce;  $\circ$  – La;  $\bullet$  – Dy;  $\times$  – Y

В табл. 1 приведены оптимальные значения прочностных свойств сплавов, легированных РЗМ, при 600°C. Видно, что  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  при введении РЗМ во всех случаях повышаются, причем в большей степени при добавке 0,005% La.

Таблица 1.

РЗМ, %	$\sigma_b$	$\sigma_{0,2}$
	Н/мм <sup>2</sup>	
0	670	550
0,1 Y	690	590
0,2 Y	705	565
0,005 La	725	660
0,2 Dy	695	565
0,05 Ce	670	570

Микроструктурный анализ показал, что введение в сплав РЗМ приводит к образованию более дисперсной структуры. Микроструктура в зоне разрушения образцов, испытанных на длительную прочность (рис. 3), свидетельствует о том, что разрушение происходит по границам зерен. Причем, в сплаве, содержащем РЗМ (в данном случае лантан), не наблюдается участков катастрофического разрушения, как в сплаве без РЗМ, несмотря на то, что образец сплава, легированного лантаном, выдержал испытание в течение более длительного времени (146 ч), чем без лантана (46 ч). По-видимому, лантан, как сильный поверхностно-активный элемент, располагается по границам зерен, упрочняет их и тем самым тормозит разрушение.

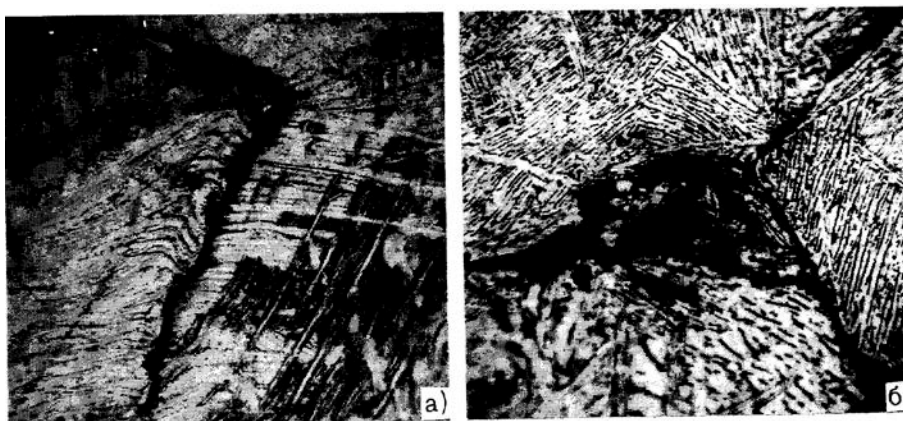


Рисунок 3. Микроструктура образцов в зоне разрушения после испытания на длительную прочность при  $600^{\circ}\text{C}$  и  $\sigma=350 \text{ Н/мм}^2$  ( $\times 500$ ): *a* – без РЗМ ( $\tau=46$  ч); *б* –  $0,005\% \text{ La}$  ( $\tau=145$  ч)

Рентгеноструктурным количественным фазовым анализом\* установлено, что при легировании сплава РЗМ количество  $\beta$ -фазы в отожженном состоянии увеличивается от 2,3 до 3,1–3,6% (табл. 2). После испытаний на длительную прочность количество  $\beta$ -фазы уменьшается в 1,5–2 раза в результате ее распада.

Таблица 2.

РЗМ, %	$\beta$ -фаза, %	
	после испытания при $20^{\circ}\text{C}$	после испытания на длительную прочность при $600^{\circ}\text{C}$ и $\sigma=350 \text{ Н/мм}^2$
0	2,3	2,2 (57 ч)
0,009 La	3,6	1,9 (88 ч)
0,2 Dy	3,6	1,8 (104 ч)
0,05 Ce	3,1	–
0,1 Y	3,1	1,8 (85 ч)

Примечание. В скобках указана длительность испытания

Таким образом, повышение жаропрочности и прочностных свойств титановых  $\alpha$ -сплавов при легировании РЗМ может быть связано с упрочнением границ зерен и небольшим увеличением количества  $\beta$ -фазы.

\* Данные получены И.Г. Карповой.



## **Выводы**

Легирование титановых  $\alpha$ -сплавов типа ВТ18У редкоземельными металлами (La, Ce, Y, Dy) приводит к повышению прочностных свойств при комнатной и повышенной температурах. Наибольший эффект достигается при микролегировании лантаном в количестве 0,005%, но с одновременным уменьшением пластичности и ударной вязкости, и церием в количестве до 0,1% при сохранении достаточно высоких пластичности и ударной вязкости.

При легировании лантаном в количестве 0,005% и диспрозием в количестве 0,2% значительно повышается жаропрочность сплава при 600°C.

Добавки в сплав до 0,09% La повышают сопротивление ползучести при 600°C: при  $\sigma=150$  Н/мм<sup>2</sup> и  $\tau=100$  ч остаточная деформация уменьшается от 0,3 до 0,05%. Иттрий и диспрозий также оказывают положительное влияние на сопротивление ползучести, но в меньшей степени.

## **Список литературы:**

1. Sastry S.M.L., Peng T.C., Meschter P.J., O'neal J.E. Rapid solidification Processing of Titanium alloys // J. of Metals. 1983. V. 35. № 9. P. 21–28.
2. Савицкий Е.М. Перспективы исследования и применения редкоземельных металлов, сплавов и соединений // Редкоземельные металлы и сплавы: Сборник. М.: Наука, 1971. С. 5.