

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Головин С. А., Пушкар А., Левин Д. М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных материалов.—М.: Металлургия, 1987.—190 с.
 2. Никаноров С. П., Кардашев Б. К. Упругость, дислокационная неупругость кристаллов.—М.: Наука, 1985.—250 с.
 3. Полоцкий И. Г., Голуб Т. В., Кашевская О. Н. В сб. «Внутреннее трение в исследовании металлов, сплавов и неметаллических материалов»—М.: Наука, 1989.—С. 133—137.
 4. Jon M. C., Mason W. P., Beshar D. N. J. Appl. Phys, 1976, v47, № 6, p 2337—2349.
 5. Van den Beukel A., den Otter G. I. Phys. Stat. Sol. (a), 1979, v56, № 3, p 117—127.
 6. Granato A. V., Lücke K. J. Appl. Phys. 1956, v27, № 2, p 583—592.
 7. Ishii K. J. Phys. Soc. Japan. 1983, v52, № 1, p 141—148.
 8. Платков В. Я., И. К. Носолев. Известия АН. Сер. физическая. 1993, т. 57, № 11, с. 26—30.
 9. Левин Д. М. В Сб. «Взаимодействие дефектов кристаллической решетки и свойства металлов», Тула, ТПИ, 1983, с. 17—21.
 10. Surpin I. T. Phys. Stat. Sol. (a), 1988, v107, № 1, p 141—152.
 11. Петухов Б. В., Поляков Ю. И. Кристаллография, 1990, т. 35, № 3, с. 559—563.
 12. Наими Е. К. ФММ, 1982, т. 54, № 3, с. 601—604.
 13. Stern R. M., Granato A. V. Acta metallurg., 1962, v10, № 4, p 358—369.
 14. Грузин П. Л., Жаров Ю. Д. ДАН СССР, 1965, т. 164, № 6, с. 1280 — 1286.
 15. Полоцкий И. Г., Бениева Т. А., Скопин В. С. УФЖ, 1968, т. 13, № 11, с. 1862—1867.
 16. Криштал М. А., Троицкий И. В. Физ. ХОМ, 1971, т. I, с. 55—63:
- УДК 669.295:620.18.620.17

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТЕПЛОСМЕНЫ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СПЛАВА ЗМ

ЛАВРЕНТЬЕВ Ф. Ф., профессор, доктор физ.-мат. наук, **НИКИ-
ФОРЕНКО В. Н.**, канд. техн. наук, **ПЛАТКОВ В. Я.**, профессор,
докт. физ.-мат. наук

Низкотемпературное термоциклирование и особенно циклирование под нагрузкой является перспективным методом формирования механических свойств металлических материалов. Особый интерес представляет изучение изменения при термоциклировании прочностных и пластических свойств высокоанизотропных металлов и сплавов. Тем не менее, такие сведения ограничены. В связи с этим целью нашей работы явилось исследование влияния теплосмен $300 \rightleftharpoons 77$ К на пластические и прочностные свойства промышленного титанового сплава ЗМ, который нашел широкое применение в различных областях техники.

1. Объект и методы исследования

Объектом исследования явился однофазный сплав титана (Ti+5% Al). Использовались стандартные круглые и плоские образцы, которые после приготовления отжигались при $T=1000$ °С

в инертной атмосфере в течение 30 мин. Затем образцы полировались электролитически. Структура исходных образцов представляла собой полигональные зерна со средним размером ≈ 25 мкм.

Теплосмены, т. е. периодическое изменение температуры, проводилось на установке [1] по схеме $300 \rightarrow 77 \rightarrow 300$ К. В процессе термоциклирования образцы находились под действием постоянного растягивающего напряжения, равного $0,8 \div 0,9$ от условного предела текучести σ_{02} при 300 К. Для сопоставления отдельные образцы термоциклировались без нагрузки. Термоцикл состоял в охлаждении до 77 К, выдержке в жидком азоте в течение 15 мин и отогреве в воде до 300 К. Этот режим обеспечивал протекание релаксационных процессов и изменения структурного состояния образцов. После термоциклирования образцы деформировались растяжением со скоростью $\dot{\epsilon} = 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ при 77 и 300 К. Из кривых деформации $\sigma(\epsilon)$ определялись σ_{02} , предел прочности σ_B и относительное удлинение δ после определенного числа термоциклов N.

2. Результаты и их обсуждение.

На рис. 1 приведены характерные кривые деформационного упрочнения для образцов после 100-кратного термоциклирования при температурах 77 и 300 К (кривые 1 и 2, соответственно). Для сравнения приведена деформационная кривая, соответствующая исходному нециклированному состоянию (кривая 3). Термоциклирование вызывает существенное ($15 \div 20\%$) увеличение предела текучести, деформирующего напряжения, предела прочности и относительного удлинения (см. табл. 1).

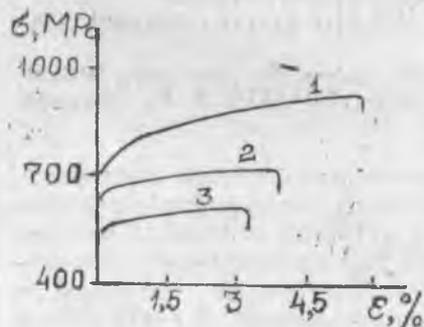


Рис. 1.

Деформационное упрочнение термоциклированного и нетермоциклированного титанового сплава 3М.

- 1— $T=77$ К, количество термоциклов—100
 2— $T=300$ К, количество термоциклов—100,
 3— $T=300$ К, количество термоциклов—0

Таблица 1

T, К	N	$\sigma_{02} \cdot 10^7$, Па	$\sigma_B \cdot 10^7$, Па	δ , %
300	100	54,0	61,0	5,2
77	100	79,3	103,0	7,0

Изменение механических свойств сплава при термоциклировании связано с изменением структурного состояния сплава при теплосменах. Электронномикроскопические исследования на просвет [2] свидетельствуют, что при НТЦО имеет место базисное скольжение с увеличением плотности дислокаций почти на порядок: от $\leq 10^8$ до $7 \cdot 10^8$ см⁻². Скольжение и размножение дислокаций происходит из-за возникновения внутренних напряжений, которые, как показывает ПЭМ, образуются на границах зерен из-за разности значений коэффициентов линейного расширения в различных кристаллографических направлениях. Эти напряжения можно оценить по формуле [3]:

$$\sigma_T = E \cdot \Delta\alpha \cdot \Delta T$$

где E — модуль Юнга, $\Delta\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ — разница значений коэффициента линейного расширения, ΔT — разность температур верхней и нижней границ термоциклирования. Оцененные значения термомеханических напряжений приведены в табл. 2. Видно, что величина термомеханических напряжений сопоставима с пределом текучести. Отметим, что релаксация напряжений, возникающих при термоциклировании, может происходить не только посредством скольжения, как в нашем случае, но и в результате двойникования [4].

Таблица 2

Материал	σ_T (МПа)	E , МПа $\cdot 10^3$	$\Delta\alpha$, К ⁻¹	T , К
T+5% Al	70	135	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$2,23 \cdot 10^2$

Таким образом показано, что НТЦО позволяет существенно улучшить механические свойства титанового сплава ЗМ. Представляется, что НТЦО может успешно применяться для улучшения прочностных и пластических свойств других металлов и сплавов, особенно тех, которые характеризуются высокой степенью анизотропии коэффициента линейного расширения.

Авторы признательны А. И. Захарченко за помощь в эксперименте.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Е. М. Медведев. Зав. лаб., 42, № 8, 1011—1013, 1976.
2. F. F. Lavrentev et al. Effect of helical dislocations produced by low temperatures cycling, Cryst. Res. Techn., 17, 1071—1075, 1982.
3. Т. А. Малыгин, В. А. Лихачев. Зав. лаб., 32, № 3, 335—347, 1966.
4. В. И. Verkin, F. F. Lavrentev et al., Cryst. Res. Techn., 19, 325—343, 1984.