

Изменение физико-механических характеристик титанового сплава ВТ14 в процессе длительного нагружения

Е. С. Переверзев, Д. Г. Борщевская, И. А. Дисковский, Т. Я. Эвина

Институт технической механики НАН Украины, Днепропетровск, Украина

Исследовано влияние длительного нагружения на изменение физико-механических характеристик высокопрочного титанового сплава ВТ14. Длительная выдержка образцов (до 21 года) под нагрузкой, близкой к разрушающей, подтвердила стабильность характеристик длительной прочности материала.

При разработке современных конструкций долгосрочного функционирования (в частности, сосудов давления, находящихся в заправленном состоянии на длительном хранении) широко применяются титановые сплавы, что обусловлено их высокой прочностью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, малым удельным весом, достаточной пластичностью при криогенных температурах и т.п. [1, 2]. В процессе производственной отработки таких изделий используются, как правило, традиционные методы ускоренных испытаний. Однако при таком подходе трудно учесть все многообразие физико-химических процессов, которые протекают в материалах в реальных условиях длительной эксплуатации и могут служить причиной преждевременного выхода конструкции из строя [3, 4].

В связи с этим несомненный интерес представляет постановка таких экспериментов, которые могли бы подтвердить достоверность замены длительных испытаний ускоренными. К сожалению, в литературных источниках недостаточно данных об испытаниях в реальном масштабе времени конструкций долгосрочного функционирования.

Цель настоящей работы заключалась в исследовании явления замедленного разрушения в титановом сплаве ВТ14 при длительном действии постоянной нагрузки, близкой к разрушающей. Другими словами, изучалось влияние естественного деформационного старения на физико-механические характеристики указанного сплава.

В качестве объекта исследований использовали цилиндрические образцы, вырезанные из листового материала в направлении проката (размеры рабочего участка образца: $d = 7,0$ мм; $l = 50,0$ мм).

Сплав марки ВТ14 является высокопрочным термически упрочняемым титановым $\alpha + \beta$ -сплавом мартенситного типа [5], сочетающим очень хорошую технологическую пластичность в закаленном состоянии с высокими прочностными характеристиками после закалки и старения. Упрочнение при старении обусловлено частичным распадом нестабильной β -фазы с образованием дисперсных выделений α -фазы. Старение можно производить на готовых изделиях.

В термически упрочняемых титановых сплавах в качестве легирующих добавок применяются изоморфные β -титану элементы: молибден и ванадий. Метастабильная α -фаза в этих сплавах является пластичной, так как при

$\alpha \leftrightarrow \beta$ -превращениях не образуются побочные продукты, которые охрупчивают сплавы. Алюминий как легирующий элемент используется для повышения теплопрочности (т.е. способности длительное время работать при повышенной температуре $\sim 400...500^\circ\text{C}$) сплава ВТ14.

Испытания на длительное одноосное статическое растяжение проводили с помощью специально изготовленной рамы для вертикального крепления образцов в виде последовательной цепочки. Образцы выдерживали при комнатной температуре в напряженном состоянии, составляющем $0,93\sigma_{\text{в}}$, т.е. равном 1001,4 МПа, в течение 16–21 года, после чего подвергали комплексному исследованию, включающему:

определение характеристик прочности (предела текучести $\sigma_{0,2}$, предела прочности $\sigma_{\text{в}}$, относительного удлинения δ);

оценку акустико-эмиссионных характеристик (числа импульсов акустической эмиссии (АЭ) N_{Σ} , активности АЭ \dot{N}_{Σ});

измерение твердости по Роквеллу (H_{Rc});

определение работы разрушения A (площади под кривой деформирования).

Механические испытания проводили на разрывной машине “Tira Test-2300”. Сигналы акустической эмиссии регистрировали с помощью дефектофона NEZ-200, работающего в автоматическом режиме.

Результаты исследований (усредненные по трем образцам на каждый режим выдержки) представлены в таблице, а также на рис. 1–5.

Как следует из полученных данных, наиболее чувствительной к деформационному старению характеристикой материала оказалось относительное удлинение: уменьшается относительно исходного состояния на 46,2%. Предел текучести при этом возрастает до 19,4%, предел прочности – до 13%. Твердость материала увеличивается примерно до 27%, что свидетельствует о снижении пластических характеристик материала. Относительная деформация образцов к концу срока выдержки составила 2,5...3,0%.

При длительной выдержке под нагрузкой исследуемого сплава наблюдается существенное уменьшение (до 29%), по сравнению с исходным состоянием, характеристики, связанной с процессом разрушения, – работы разрушения A , т.е. площади под кривой деформирования (таблица).

Изменение физико-механических характеристик сплава ВТ14
после длительной выдержки под нагрузкой

Режим выдержки		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\Delta\sigma_{\text{в}}$, %	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\Delta\sigma_{0,2}$, %	δ , %	$\Delta\delta^*$, %	H_{Rc}	ΔH_{Rc} , %	A , $\text{м}^2 \cdot 10^{-4}$	ΔA^* , %
Напря- жение σ , МПа	Время τ , годы										
0	0	1076,8	–	950,0	–	6,5	–	30,0	–	40,0	–
1001,4	16	1143,0	6,0	1110,0	16,8	4,0	38,5	36,0	20,0	35,4	–11,5
1001,4	19	1196,0	11,1	1125,0	18,4	3,7	43,1	37,4	24,7	33,6	–16,0
1001,4	21	1217,0	13,0	1134,0	19,4	3,5	46,2	38,0	26,7	32,0	–29,0

Примечание. $\Delta\delta^*$, ΔH_{Rc} , ΔA^* – изменение величин δ , твердости и A соответственно деформационно состаренного сплава ВТ14 относительно исходного состояния.

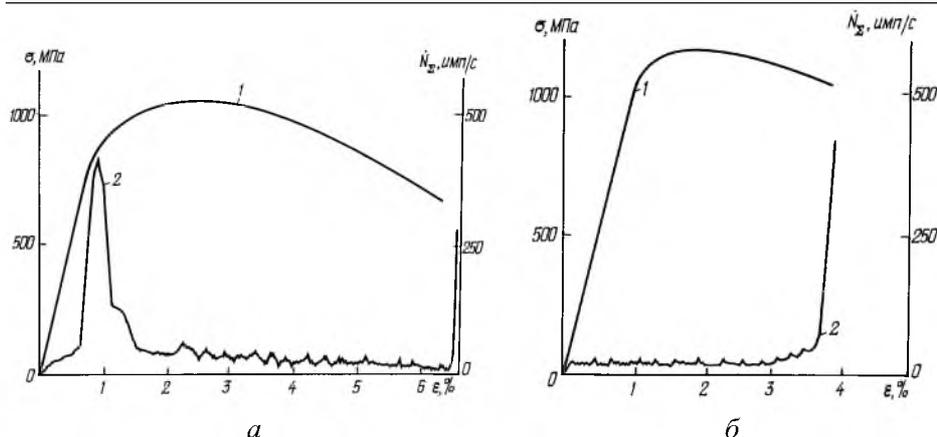


Рис. 1. Совмещенные кривые деформирования (1) и активности АЭ (2) сплава ВТ14 в исходном состоянии (а) и после выдержки под нагрузкой в течение 21 года, $\sigma_B = 1217$ МПа (б).

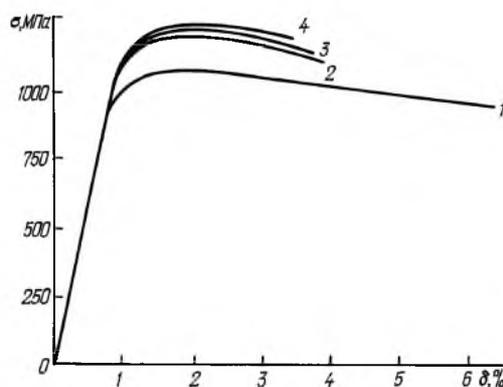


Рис. 2. Совмещенные кривые деформирования сплава ВТ14 в исходном состоянии (1) и после выдержки под нагрузкой в течение 16 лет (2), 19 лет (3) и 21 года (4).

На рис. 1 и 2 показаны характерные кривые деформирования и акустической активности образцов из сплава ВТ14 в исходном состоянии и после длительной (в течение 21 года) выдержки под нагрузкой. Нетрудно убедиться в том, что при длительном воздействии на материал постоянной нагрузки на уровне напряжений интенсивной пластической деформации акустическая активность титанового сплава ВТ14 практически подавляется.

Для облегчения сравнительной оценки результатов испытаний образцов, подверженных различной длительности нагружения, деформационные кривые представлены на одном графике (рис. 2).

Наиболее важным следствием деформационного старения материала являются эффекты упрочнения и охрупчивания. На рис. 3 приведена схема определения основных показателей деформационного старения при растяжении сплава ВТ14. Характер изменения твердости в процессе длительной выдержки под нагрузкой иллюстрирует рис. 4. Максимальный прирост твердости при естественном старении по отношению к исходному состоянию (ΔH_{Rc}) составил $\sim 26,7\%$. На рис. 5 представлена кинетика изменения механических характеристик сплава ВТ14 при естественном старении.

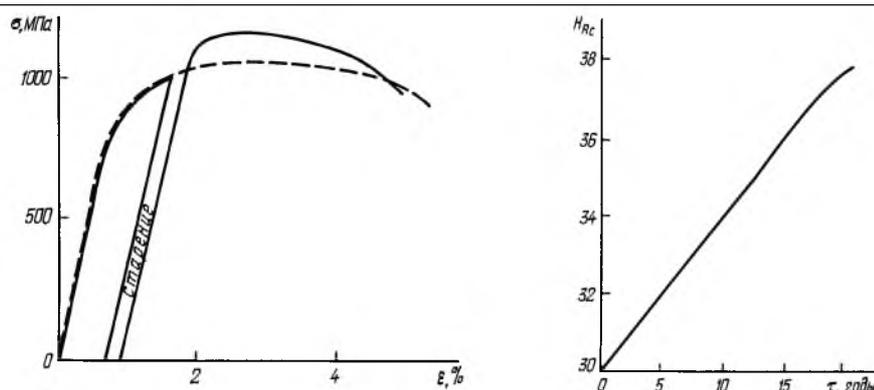


Рис. 3. Схема определения механических свойств материала при статическом растяжении в процессе деформационного старения.

Рис. 4. Изменение твердости сплава ВТ14 в процессе длительной выдержки под нагрузкой.

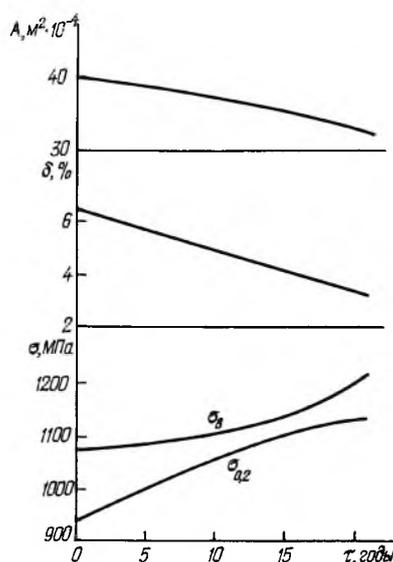


Рис. 5. Кинетика изменения механических характеристик сплава ВТ14 при естественном деформационном старении.

Таким образом, длительная выдержка (до 21 года) образцов при статической нагрузке, близкой к разрушающей ($0,93\sigma_B$), свидетельствует о высоком уровне стабильности механических характеристик сплава ВТ14. Полученные результаты по изменению основных показателей деформационного старения этого сплава могут быть использованы при разработке конструкций, рассчитанных на длительные сроки эксплуатации.

Резюме

Досліджено вплив тривалого навантаження на зміну фізико-механічних характеристик високоміцного титанового сплаву ВТ14. Тривала витримка зразків (до 21 року) під навантаженням, близьким до руйнівного, підтвердила стабільність характеристик тривалої міцності матеріалів.

1. *Пульцин Н. М.* Титановые сплавы и их применение в машиностроении. – М.; Л.: Машгиз, 1962. – 167 с.
2. *Колачев Б. А., Ливанов В. А., Буханова Р. Ф.* Механические свойства титана и его сплавов. – М.: Металлургия, 1974. – С. 131 – 136.
3. *Бернштейн М. Л., Займовский В. А.* Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1979. – 495 с.
4. *Федоров А. С.* Закономерности разрушения титановых сплавов с различной микроструктурой // *Металловедение и терм. обраб. металлов.* – 1984. – № 4. – С. 55 – 57.
5. *Металлография титановых сплавов* / Отв. ред. Глазунов С. Г., Колачев Б. А. – М.: Металлургия, 1980. – 464 с.

Поступила 24. 05. 99