УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Калашников В.С. [1], Петров А.В. [1], Коледов В.В. [1], Андреев В.А. [2], Гундеров Д.В. [3]

[1] *ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН*

[2] *ООО "Промышленный центр МАТЭК-СПФ"*

[3] *Институт физики молекул и кристаллов УНЦ РАН*

newballer@mail.ru

Сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ) находят широкое применение в микроэлектронике, радиоэлектронике, медицине и космической технике [1-5]. Среди них наиболее распространенными являются сплавы системы Ti-Ni. Их уникальной особенностью является сочетание высоких эксплуатационных и функциональных свойств, а также биосовместимость [2]. Однако в современной литературе данные о функциональных свойствах этих сплавов не дают полной информации о работоспособности сплавов с ЭПФ в реальных условиях.

Целью настоящей работы является: создание установки для измерения зависимостей деформации от температуры и нагрузки, и реактивного усилия от деформации и температуры, которые позволяют определить свойства сплавов с ЭПФ в условиях близких к экстремальным, то есть когда сплав производит максимальную механическую работу.

Для измерения зависимостей деформации от температуры и нагрузки (ε-T-σ) и реактивного усилия от деформации и температуры (σ_r-T-ε) в диапазоне температур от -150 до 150 °C и механических напряжений 0 – 3000 МПа и деформаций 0 – 10 % спроектирована и изготовлена специальная установка (рис. 1). К настоящему времени в мире уже имеется несколько опытных аналогов такой установки. По своему назначению она представляет собой дилатометр, построенный на оптическом датчике перемещения. Однако имеются и другие варианты такого прибора, описанные в работах [6-8]. В целом, назначение установок, описанных в работах [6-8], заключается в определении коэффициента теплового расширения твердых тел, при которых диапазон значений деформаций колеблется в основном до 1 % при очень больших образцах и температурах нагрева. Однако в сплавах с эффектом памяти формы обратимые деформации, могут достигать 15 % [9] при относительно небольших размерах образца. Наиболее близким аналогом установки предлагаемой в данной статье является

установка, описанная в работе [10], отличие которой заключается в методе деформации образца и контроля температуры.

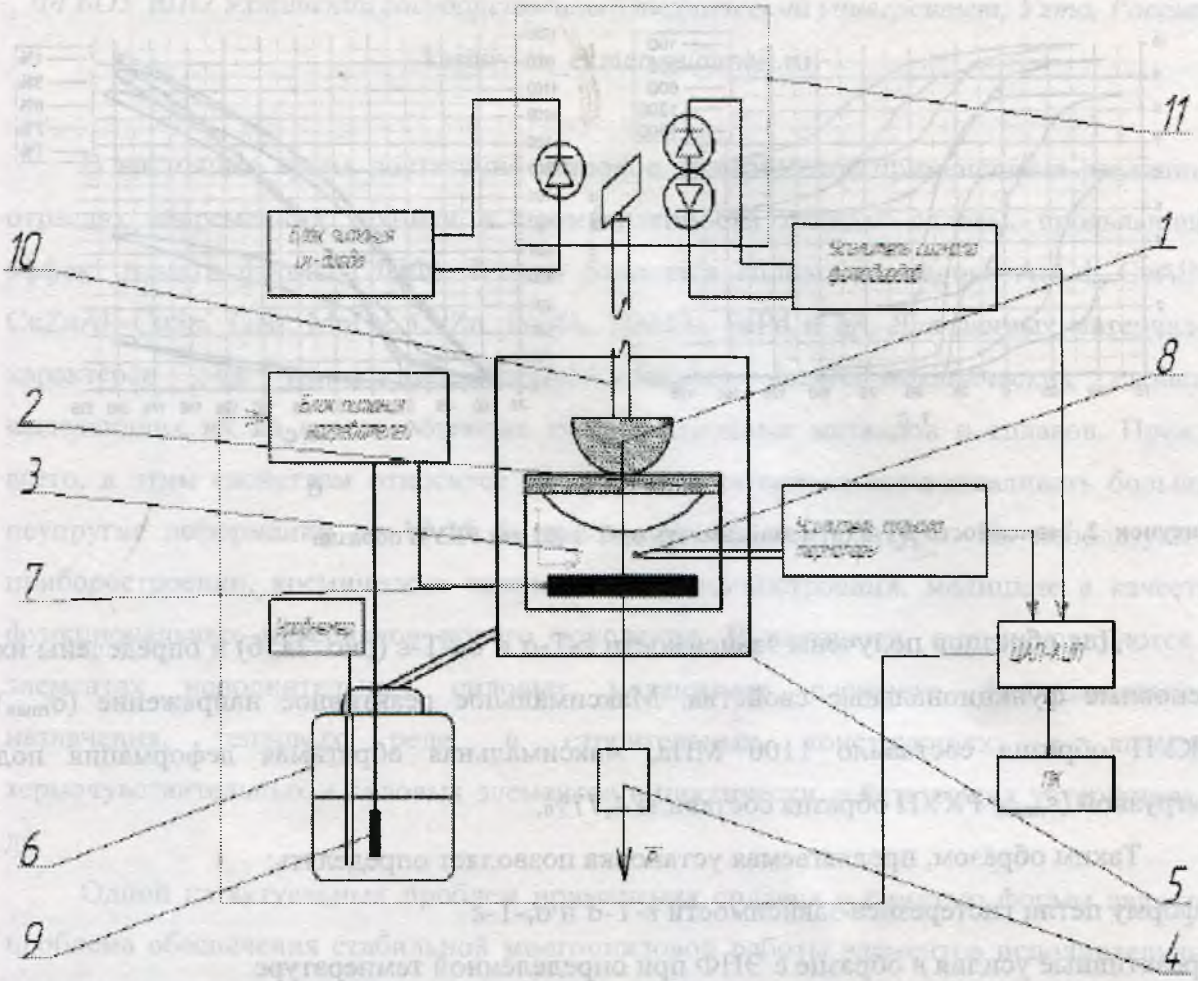

Рисунок 1. Схема установки. 1. Давило, 2. Образец, 3. Оправка, 4. Нагрузка, 5. Криостат, 6. Сосуд Дюара, 7. Нагреватель, 8. Термопара, 9. Нагреватель, 10. Стеклянная трубка, 11. Датчик перемещения или силы (зависит от того, измеряется ли зависимость ε-T-σ или σ_r-T-ε соответственно)

Принцип работы предлагаемой установки основывается на модели трех точного изгиба образца с ЭПФ под постоянной нагрузкой при переменной температуре, при этом входными параметрами являются: сила давления на образец, температурный диапазон измерений, скорость нагрева и охлаждения, величина заданной деформации. Выходными параметрами являются: форма петли гистерезиса, зависимости деформации от температуры, реактивной силы от температуры, напряжения в образце, точки фазовых переходов в сплаве, особенности деформации образца. Схема установки представлена на рисунке 1. Размеры образцов для испытаний - 0,5x2,5x12 мм.

Для тестирования установки исследовались образцы сплава $Ni_{50.2}Ti_{49.8}$ полученном методом вакуумно-индукционной плавки (ООО "Промышленный центр

МАТЭК-СПФ") и обработанные методом равноканального углового прессования (РКУП), с размером зерна 300 нм (СМК состояние) [3].

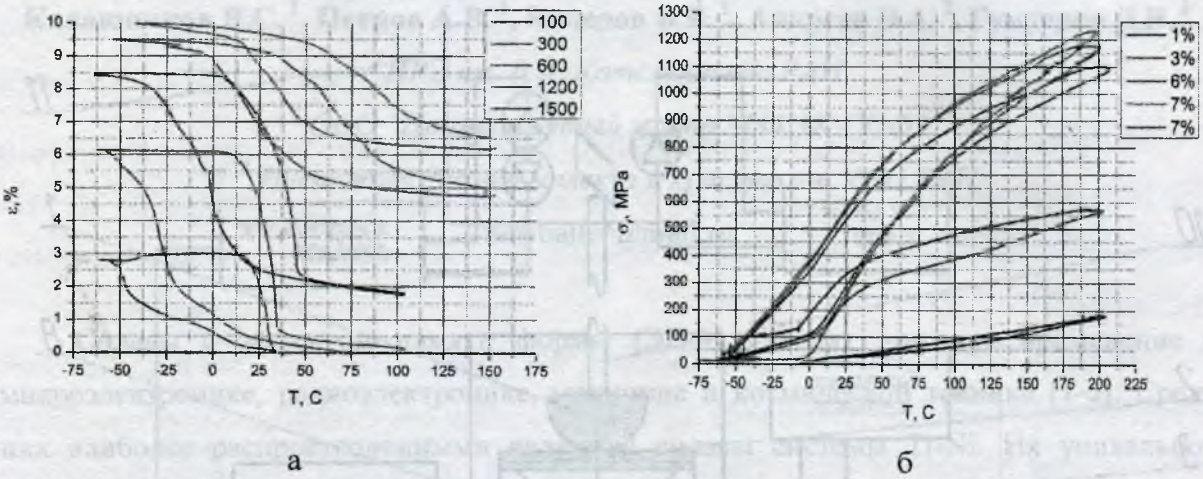

Рисунок 2. Зависимость ε-T-σ (а) и зависимость σ_R-T-ε (б) для РКУП образца

Для образцов получены зависимости ε-T-σ и σ_R-T-ε (рис. 2а, б) и определены их основные функциональные свойства. Максимальное реактивное напряжение (σ_{rmax}) РКУП образца составило 1100 МПа, максимальная обратимая деформация под нагрузкой (ε_{rmax}) РКУП образца составила 4,77%.

Таким образом, предлагаемая установка позволяет определять:

- форму петли гистерезиса-зависимости ε-T-σ и σ_r-T-ε
- реактивные усилия в образце с ЭПФ при определённой температуре
- точки фазовых переходов в образце с ЭПФ
- особенности термоупругого фазового превращения в образце с ЭПФ

1. Otsuka K., Ren X. Progress in Materials, 2005, No 6, v. 50, p. 511–678.
2. V.E. Gunther, G.Ts. Dambaev, P.G. Sysoliatin et al. MA: STT, 2000, p. 432.
3. R. Z. Valiev, D. V. Gunderov, A.V. Lukyanov V. G. Pushin. Journal of Materials Science: Volume 47, Issue 22 (2012), pp. 7848-7853
4. Lorenza Petrini, Francesco Migliavacca. Volume 2011 (2011), Article ID 501483, 15 pages
5. Francesco Butera. ADVANCED MATERIALS & PROCESS-ES/MARCH 2008 pp. 37-40
6. Утюж А.Н., Краснорусский В.Н. Приборы и техника эксперимента. 2011. № 6. С. 133-136.
7. Магомедов М.Р.М., Камилов И.К., и д.р. Приборы и техника эксперимента. 2007. № 4. С. 165.
8. Ивасишин О.М., Черепин В.Т., Колесник В.Н., Гуменяк Н.М. Приборы и техника эксперимента. 2010. № 3. С. 147-151.
9. Рыклина Е.Н., Прокошкин С.Д. Материаловедение. 2012, №11, с.23-30.
10. R. Amireche, et.al. Journal of Alloys and Compounds 516 (2012) 5–8