УДК 669.295:621.785

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ СПЛАВОВ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ С ТОКОМ

© В.В. Столяров

РАН, Москва, Россия

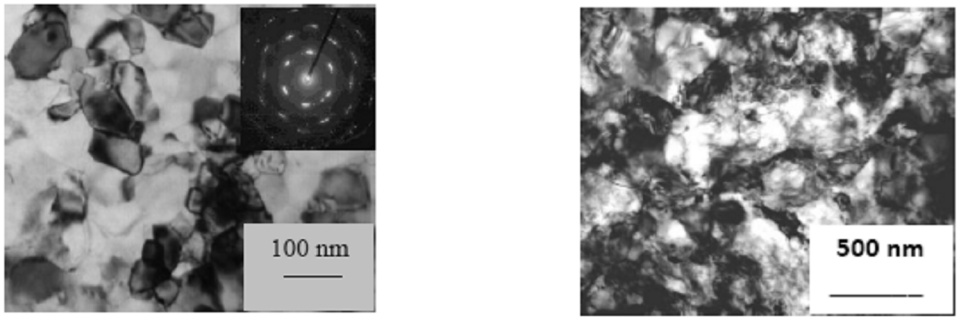
vlst@yauza.ru

Аннотация. *Представлены результаты исследования природы электропластического эффекта и его проявления в наноструктурном сплаве с памятью формы. Показана роль фазовых превращений и размера структурных элементов на величину и направление скачков напряжения на кривых растяжения.*

Ключевые слова: *сплав с памятью формы TiNi, растяжение, фазовые превращения, деформация, импульсный ток.*

1. Введение Одним из подходов к увеличению технологической пластичности материалов является метод, основанный на электропластическом эффекте (ЭПЭ) [1, 2]. Недавно было показано, что ЭПЭ не только повышает деформируемость, но и обеспечивает формирование наноструктуры, например, в сплавах TiNi с фазовым превращением [3]. Важным аспектом является выяснение природы ЭПЭ, который первоначально был обнаружен в монокристаллах чистых металлов или крупнозернистых (КЗ) однофазных сплавах без фазовых превращений [4, 5, 6]. Авторы работ [7, 8] исследовали ЭПЭ в крупнозернистом (КЗ) сплаве TiNi. В данной работе исследуется феноменология ЭПЭ при растяжении с импульсным током в ультрамелкозернистых (УМЗ) Ti-сплавах, полученных методом ЭПД.

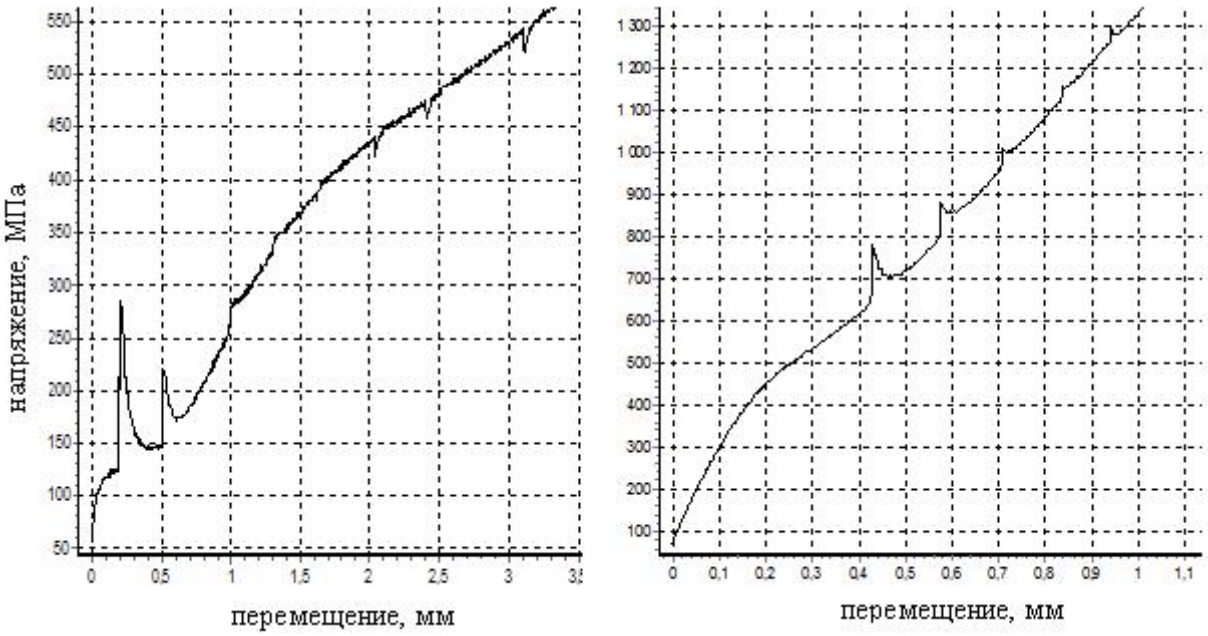
2. Материалы и методика УМЗ (нано и субмикрокристаллическая) структура в сплавах ВТ1-0 и $Ti_{49.3}Ni_{50.7}$ была получена комбинацией методов РКУП, ЭПД (e=1.81, j=168 А/мм^2) и отжига, описанных в [3, 9] (рис. 1).



а) TiNi б)ВТ1-0

рис.1 Микроструктура сплавов, подвергнутых ЭПД (а) или РКУП + ЭПД (б) и последующему отжигу.

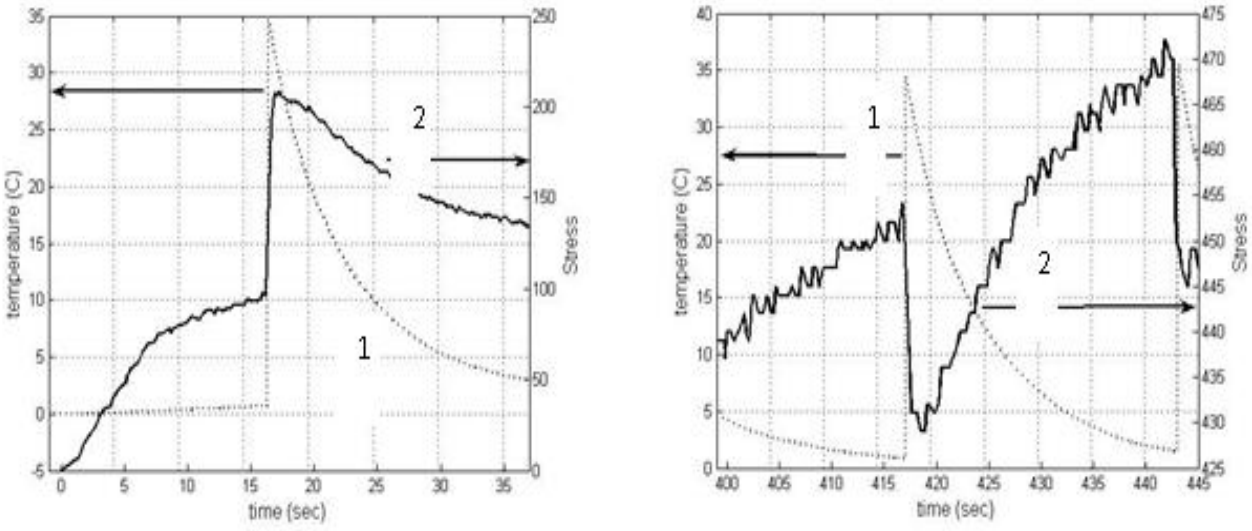
Кривые растяжения при воздействии одиночных или множественных импульсов тока, записанные одновременно с измерением температуры методом инфракрасной камеры [10], для разных структурных состояний показаны на рис. 2. Их особенностью является возникновение скачков напряжения, соответствующих отдельным импульсам тока. Направление (вверх-вниз) и амплитуда скачка (25-300 МПа) зависят от структурного состояния сплава и типа импульсов. Скачки напряжения вниз с амплитудой < 50 МПа наблюдались только в КЗ сплаве (рис. 2а). Они появляются за пределами напряжения фазового превращения σ_m после дислокационного предела текучести. Скачки вверх наблюдались при $\sigma \geq \sigma_m$ для КЗ и НК состояний. Максимальная амплитуда скачка напряжения 200 МПа соответствует КЗ сплаву. Амплитуда скачков уменьшается с деформацией от максимального до ноля при $j = 3x10^3$ А/мм^2 и τ = 1мкс (рис. 2а). Уменьшение длительности импульса от 1 до 0.1 мкс и плотности единичных импульсов тока менее $3.0x10^3$ А/мм^2 (рис. 2б) вызывает уменьшение в амплитуде скачка напряжения до его исчезновения. Напротив, переход от единичных к множественным импульсам резко повышает амплитуду скачка напряжения до 500 МПа.



а) б)

Рис. 2 Кривые растяжения с одиночными импульсами для сплава TiNi в КЗ (а) и НС состояниях (б).

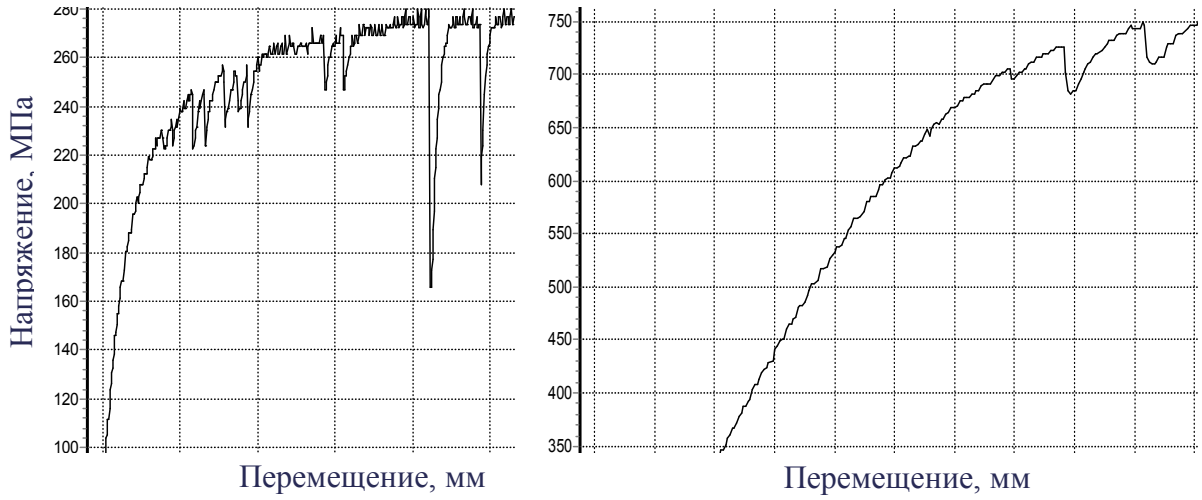
Относительно небольшой прирост температуры (<45°С) от каждого импульса тока приводит к значительным амплитудам напряжения (рис.3а, б). Видно также, что релаксация напряжений для скачков обоих типов происходит быстрее (15-20 с), чем релаксация температуры (25-30 с). Скачки напряжений вверх релаксируют медленнее (20 с), чем скачки вниз (15 с).



(а) (б)

Рис.3. Релаксация температуры (кривая 1) и напряжения (кривая 2) на начальной (а) и конечной стадии (б) при растяжении КЗ TiNi (в увеличенном масштабе).

На рис. 4 (а, б) показаны кривые растяжения с током для чистого Ti в КЗ и СМК состояниях. Видно, что различие кривых состоит не только в уровне напряжений течения, но и в амплитуде скачков напряжения. Амплитуда скачков напряжения для КЗ Ti (100-120 МПа) выше, чем для СМК Ti (50 МПа), что указывает на уменьшение ЭПЭ с уменьшением размера зерна. Этот факт подтверждается очень слабым ЭПЭ и даже его отсутствием в НК TiNi [10].



(а) (б)

Рис.4. Кривые растяжения с током в КЗ (а) и УМЗ (б) Ti

Т.о. введение импульсного тока при растяжении вызывает скачки напряжений «вверх-вниз», связанные либо с фазовым превращением (TiNi), либо с эффектом электропластичности (Ti). ЭПЭ является структурно-чувствительным свойством, величина которого уменьшается при измельчении структуры и даже исчезает в нанокристаллическом состоянии.

Работа поддержана РФФИ (гранты 08-08-00497-а, 08-08-92202) и Рособразованием (проекты 2.1.2./385 и П340).

Литература

[1] О.А. Троицкий, Ю.В. Баранов, Ю. Авраамов, А.Д. Шляпин, «Физические основы и технологии современных материалов» Москва-Ижевск, 2004.
[2] Y. Jiang, G. Tang, L. Guan, et al // J. Mater. Res., 23, 10 (2008) 2685.
[3] В.Столяров, У. Угурчиев, И. Трубицына, и др // ФТВД, 4, 16, (2006) 64.
[4] О.А. Троицкий, Письма в ЖТФ, 10, (1969)18-22
[5] Okazaki K., Kagawa M., Conrad H., Scr. Met., 12, 11 (1978) 1063-1068
[6] H. Conrad // Mater. Sci. Eng. A, 287, (2000) 276.
[7] V. Stolyarov // Trans Tech Publications, Switzerland Mater. Sci. Forum 584-586, (2008) 507.
[8] V. Stolyarov // Mater. Sci. Eng. A, 503, 15, (2009) 18.
[9] В. В. Столяров, Е. А. Прокофьев, С. Д. Прокошкин и др. ФММ, 100, 6 (2005) 91-102
[10] У. Угурчиев, И.А. Пантелеев, О.А. Плехов и др., Тезисы «Бенштейновские чтения по термомеханической обработке металлических материалов», МИСиС, 28.10.09, с.123.

Поступила: 4.04.11.