

05;12

Изменение электрического сопротивления при изотермическом деформировании сплава титан–никель

© С.А. Егоров, М.Е. Евард

НИИ математики и механики им. В.И. Смирнова, Петродворец

Поступило в Редакцию 6 марта 2000 г.

Проведено одновременное измерение изменения электросопротивления и деформации при изотермическом кручении образца из сплава титан–никель. Обнаружено, что неупругое деформирование в аустенитном состоянии не сопровождается структурной перестройкой решетки.

В работах [1,2] был исследован эффект псевдоупругости в сплаве TiNi при растяжении проволочных образцов с одновременным измерением изменения деформации ε и электросопротивления R . Однако вследствие изменения геометрии образца при растяжении выявленные в этих работах особенности на кривых $R(\varepsilon)$ оказались слабовыраженными, и попытка выяснения физики процессов в значительной степени не реализовалась. Представляется, что испытания на кручение позволяют в полной мере реализовать потенциальную эффективность метода *in situ* и углубить понимание физических процессов, протекающих при изотермическом деформировании никелида титана.

Для проведения экспериментов использована установка, описанная в работе [3]. В качестве объекта исследований выбран сплав Ti_{50.5}Ni_{49.5} (ат. доли). Проволочные образцы диаметром 0.5 mm и рабочей длиной 110 mm перед опытами отжигали при 753 K в течение 40 min с последующим медленным охлаждением до 250 K. Температуру T изменяли со скоростью приблизительно 0.5 K/min, а ее измерение осуществляли с помощью термомпары. Для изучения закономерностей изменения электросопротивления во время деформирования образец был подключен в схему моста.

Перед началом проведения экспериментов определяли зависимость $R(T)$ при нагревании и охлаждении без нагрузки в интервале температур от 270 до 120 K. Результаты этого тестирования представлены

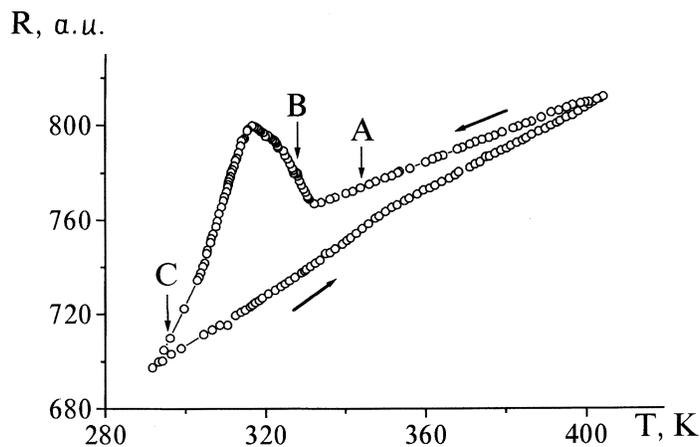


Рис. 1. Зависимость электросопротивления от температуры при охлаждении и нагреве отожженного образца из сплава TiNi без нагрузки.

на рис. 1. Опыты выполняли следующим образом. Ненагруженный образец переводили в высокотемпературное состояние (аустенитная фаза, структура $B2$), охлаждали до некоторой температуры, нагружали образец сдвиговыми напряжениями τ , разгружали, производили нагревание приблизительно до 400 К и охлаждали до 270 К (мартенситная фаза, структура $B19'$). Без промежуточных отжигов было выполнено три цикла испытаний при температурах изотермического нагружения (рис. 1): 344 (точка A), 327 (точка B) и 296 К (точка C), соответствующих аустенитной фазе и многофазному состоянию в начале цепочки прямых превращений и в ее конце. Результаты этих экспериментов представлены на рис. 2, $a-c$.

Анализ полученных результатов показывает, что при любых температурах испытания на кривой зависимости напряжения τ от деформации кручения γ при нагружении присутствуют линейный и нелинейный участки. После разгрузки имеется остаточная деформация, но при дальнейшем нагревании происходит полный возврат деформации. Обычно такое поведение сплавов с эффектом памяти связывают с наведением при нагружении мартенсита. Возврат деформации при нагреве объясняют протеканием обратного мартенситного превращения. Однако в

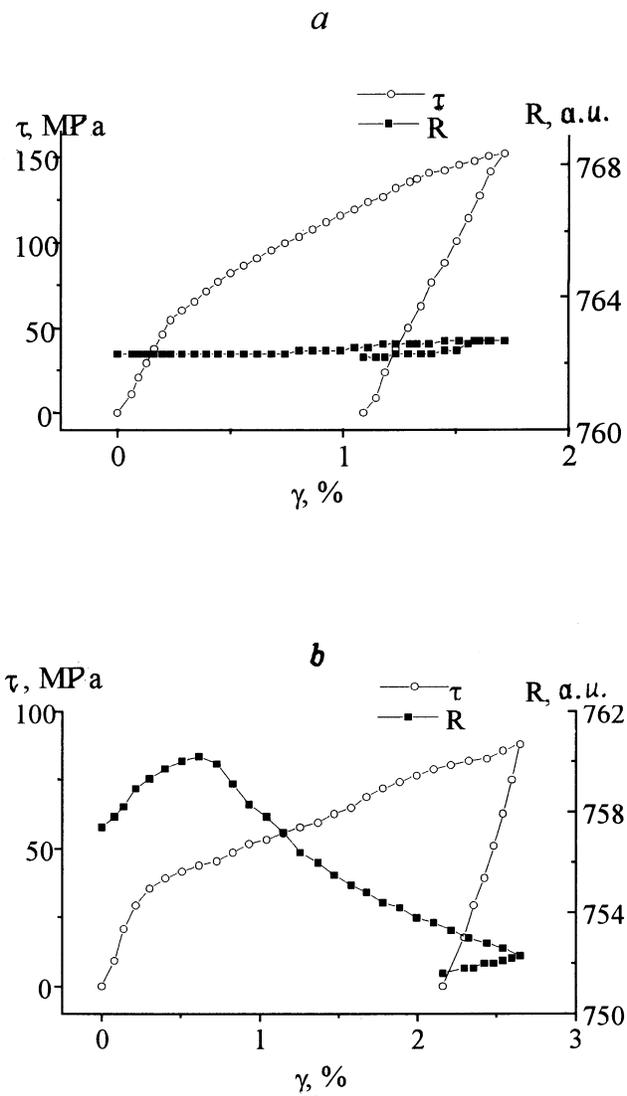


Рис. 2. Зависимости $R(\gamma)$ и $\tau(\gamma)$ при нагружении и разгрузке образца при температурах 344 (*a*), 327 (*b*), 296 К (*c*).

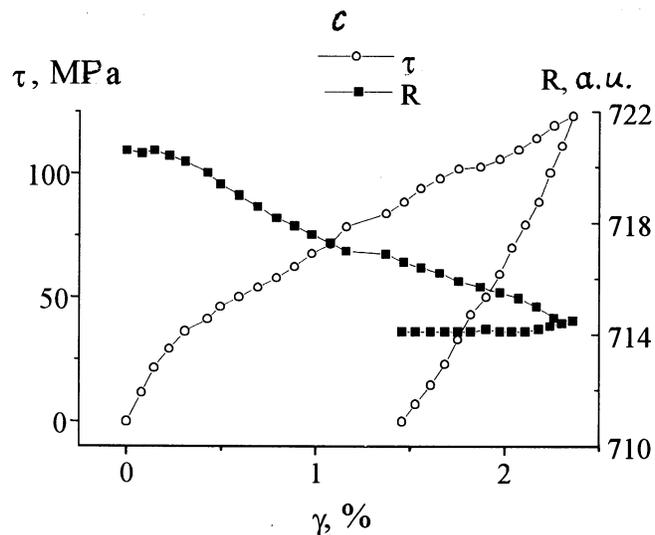


Рис. 2 (продолжение).

наших экспериментах это не всегда так. На рис. 2, *a* видно, что когда сплав находится в аустенитном состоянии, механическое нагружение не приводит к изменению электросопротивления, т.е. не ведет к структурной перестройке кристаллической решетки как на этапе упругого, так и на этапе неупругого деформирования. В то же время нагружение при температурах, когда материал находится в многофазном состоянии (рис. 2, *b, c*), приводит к возникновению на кривых $R(\gamma)$ существенных особенностей, что указывает на инициирование напряжениями мартенситных превращений. Однако на рис. 2, *b* видно, что при температуре 327 К ($B2 \rightarrow R$ превращение) наложение нагрузки не вызывает значительного повышения величины сопротивления. Происходит лишь слабое ее увеличение (на 4% от высоты пика кривой $R(T)$ на рис. 1) на начальной стадии неупругого деформирования, а при деформации, большей 0.6%, наблюдается заметное падение электросопротивления (на 23% от высоты пика). Это свидетельствует о том, что в исследуемом сплаве механические напряжения практически не способствуют инициированию превращения $B2 \rightarrow R$, но могут вызвать переходы $B2 \rightarrow B19'$,

$R \rightarrow B19'$ или оба эти процесса. При температуре 296 К (рис. 2, с) увеличение напряжений стимулирует превращение $R \rightarrow B19'$.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы:

1. Изотермическое нагружение в изученном сплаве инициирует превращения $B2 \rightarrow B19'$ и $R \rightarrow B19'$.

2. Приложенные напряжения не оказывают существенного влияния на переход $B2 \rightarrow R$.

3. В аустенитном состоянии вблизи температуры начала прямого мартенситного превращения нагружение образца не приводит к структурным изменениям, которые сказались бы на величине электросопротивления, но вызывает накопление неупругой деформации, вероятнее всего двойникового характера, полностью восстанавливаемой при нагревании. Возможность такого двойникования была экспериментально обнаружена в [4].

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 99-01-00987 и 96-15-96066 (программа поддержки ведущих научных школ).

Список литературы

- [1] *Airoldi G., Ranucci T., Riva G.* // J. de Phys. III. 1991. V. 1. N 11. P. C4-439-444.
- [2] *Airoldi G., Pozzi M.* // J. Engn. Mater. and Technology. 1999. V. 121. N 1. P. 108-111.
- [3] *Егоров С.А., Евард М.Е.* // ФММ. 1999. Т. 88. N 5. С. 78-83.
- [4] *Goo E., Duerig T., Melton K., Sinclair R.* // Acta metall. 1985. V. 33. N 9. P. 1725-1733.