

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭДС ПРИ ГРАДИЕНТЕ ТЕМПЕРАТУР В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА

Рубаник В.В.<sup>1,2</sup>, Рубаник В.В. мл.<sup>1,2</sup>, Буркина О.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь, [ita@vitebsk.by](mailto:ita@vitebsk.by)

<sup>2</sup>Витебский государственный технологический университет, Беларусь

Термоэлектрические явления, происходящие на границе раздела между разнородными металлами, такие как эффекты Пельтье, Зеебека, Томпсона, достаточно хорошо изучены и находят широкое практическое применение. Наряду с классическими возможны и термоэлектрические явления, наблюдаемые в однородном изотропном материале, такие как эффект Бенедикса [1]. Суть этого явления заключается в возникновении потенциала между двумя точками образца, находящимися при одинаковой температуре, но отделенных двумя различными и противоположно направленными температурными градиентами. Появление этой ЭДС связывают с возникновением неравновесной концентрации носителей заряда в областях резкого перепада температур, т.е. носители тока диффундируют из области с высокой температурой в область с более низкой. При этом эффект Бенедикса возникает, если градиент температуры достаточно велик, так что происходит заметное изменение концентрации носителей на расстояниях меньше, чем их длина диффузии. ЭДС Бенедикса мала по сравнению с обычной термоЭДС и быстро растет с увеличением градиента температуры [2]. При первых экспериментальных проверках, проведенных на металлах, были получены значения ЭДС Бенедикса порядка всего 7 мкВ. В силу незначительного значения величины ЭДС ставилась под сомнение возможность наблюдения эффекта. Более систематизировано эффект Бенедикса изучен в полупроводниковых материалах (Ge), для которых величина эффекта на порядок выше [3, 4].

Сплавы с эффектом памяти формы, которые широко применяются в качестве силовых термоэлементов, микроприводов, чувствительны к изменению температуры в узком диапазоне. Изменение даже на  $5\div 10^\circ\text{C}$  может приводить к неупругим деформациям материала порядка 10%. Эффект восстановления формы или генерации механических напряжений в таких сплавах могут вызывать возникновение устойчивой во времени ЭДС [5]. Природа этого явления окончательно не изучена.

Исследования возникновения ЭДС проводили на проволочных образцах равноатомного никелида титана Ti-50ат.%Ni диаметром 0,6 мм, который обладает эффектом памяти формы. Предварительно образцы подвергались отжигу при температуре  $700^\circ\text{C}$  в течение получаса на воздухе. Характеристические температуры и кинетика мартенситных переходов определялись методом дифференциальной сканирующей калориметрии. Анализ зависимости теплового потока от температуры указывает, что в образцах прямой фазовый переход осуществляется по схеме  $B2 \rightarrow B19'$  при температурах  $M_n=43^\circ\text{C}$ ,  $M_k=30^\circ\text{C}$ . Обратный фазовый переход идет по схеме  $B19' \rightarrow B2$  при температурах  $A_n=59^\circ\text{C}$ ,  $A_k=74^\circ\text{C}$ . При комнатной температуре материал находится в низкотемпературном мартенситном состоянии.

Температуру на поверхности образца контролировали тепловизором NEC9100 с точностью  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Максимальная температура в зоне нагрева образца не превышала  $80^\circ\text{C}$ , что выше температуры окончания обратного фазового перехода. Концы образца для компенсации обычной ЭДС были термоизолированы и находились при комнатной температуре, т.е. в низкотемпературном мартенситном состоянии. С помо-

щью термовоздушной станции в центральной части образца создавали зону нагрева, так, что существовало два градиента температуры противоположного направления:  $27^{\circ}\text{C}/\text{см}$  и  $53^{\circ}\text{C}/\text{см}$ . Зона нагрева, в которой температура образца выше температуры фазового перехода, т.е. область в которой образец находится в фазе В2 (аустените), составляла около 1 см. На рис. 1 представлено распределение температуры, полученное при анализе термограмм зоны нагрева.

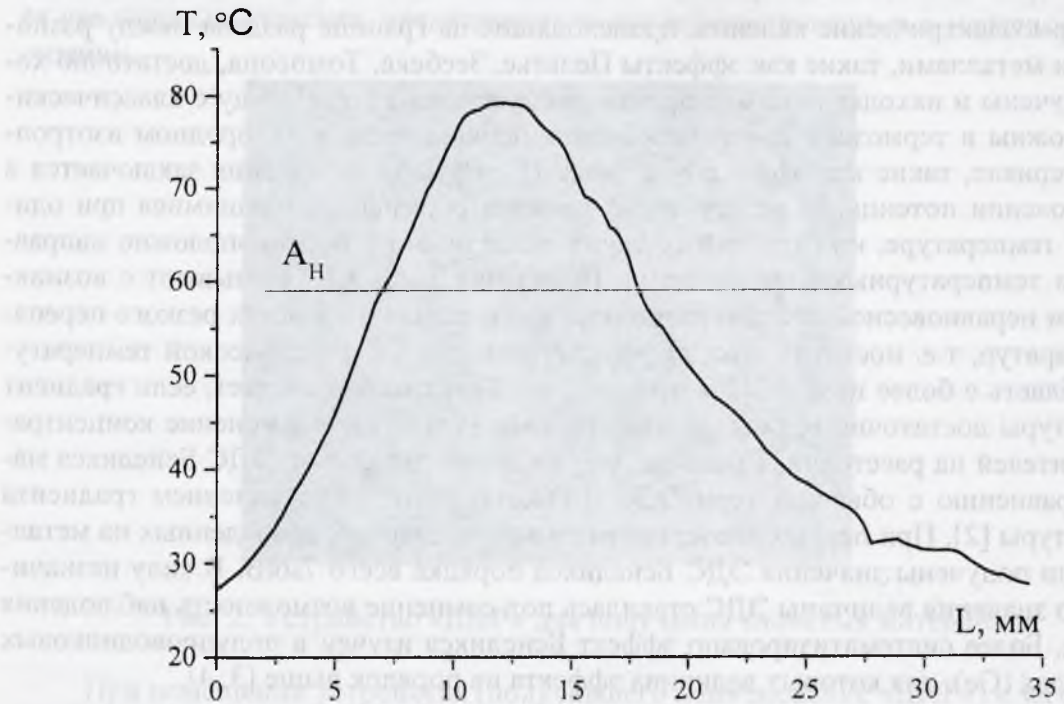


Рис. 1. Распределение температуры в зоне нагрева образца

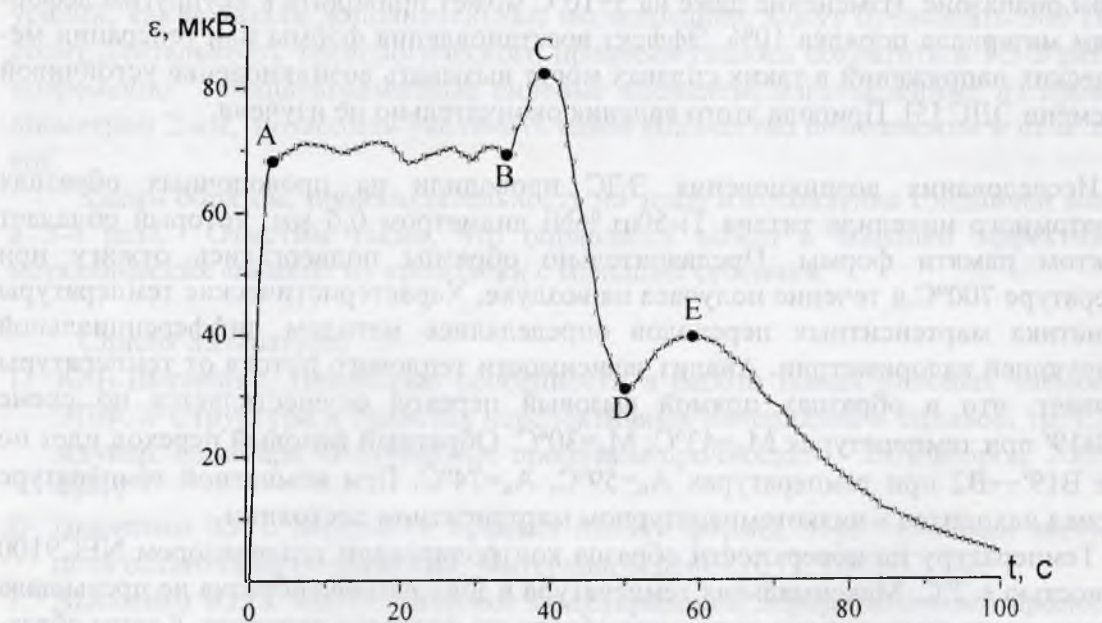


Рис. 2. Зависимость термоЭДС от времени



Можно отметить, что существует зона роста ЭДС от нуля до установившегося значения (точка А, рис.2), соответствующая процессу нагрева рабочей области образца. На участке АВ максимальная температура образца и значения градиентов постоянны, при этом и величина ЭДС также постоянна. Значения ЭДС, измеренные цифровым милливольтметром, составили порядка 70мкВ. Прекращение нагрева сопровождается ростом значения ЭДС (участок ВС). Максимальна температура в образце в момент времени, соответствующий точке С составляет 50°C. Участок ВD отвечает реализации прямого фазового превращения в исследуемой области образца, при этом температура понижается до 30°C (соответствует точке С). Точка перегиба на участке CD соответствует температуре, при которой наблюдается максимальное тепловыделение при фазовом переходе на калориметрической кривой сплава. Ниже точки D весь материал образца находится в низкотемпературной мартенситной фазе. Уменьшение температуры образца вызывает падение значения термоЭДС до нуля.

Наведение термоЭДС в никелиде титана, обладающего эффектом памяти формы, вероятно, обусловлено как протеканием термоупругих фазовых переходов, так и существованием температурных градиентов в зоне нагрева. Эти причины способствуют созданию неравновесной концентрации носителей электрического заряда в материале и формированию разности потенциалов на концах образца, находящихся при одинаковой температуре.

#### Список литературы

1. Benedicks, C. Tetziger Stand grundlegenden Keuntrisse der Thermoelektrizität / C. Benedicks // Erg. Exact. Naturwiss. - 1929. - Bd. 8. - P. 26-67.
2. Tauc, J. The theory of the thermal EMF of semi-conductors (Теория термоэлектрического напряжения полупроводников) / J. Tauc // Czechoslovak Journal of Physics. - 1953. - V.3, N.4. - P. 282-304.
3. Trousil, Z. Proof of the anomalous thermal EMF on germanium / Z. Trousil // Czech. J. Phys. - 1956. - V.6, N.2. - P. 170-172.
4. Anatyhuk, L.I. Thermoelectric Phenomena under Large Temperature Gradients / L.I. Anatyhuk, L.P. Bulat // Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano-Structured Materials / D.M. Rowe; editor by D.M. Rowe. - CRC Press: New York, London, Tokyo, 2005. - Chapter 3. - С. 3-1-3-11.
5. Шушкевич, В.Л. Термоэлектронные явления в TiNi / В.Л. Шушкевич, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл. // XLIII Международный научный симпозиум «Актуальные проблемы прочности»: сборник материалов, Витебск, 27 сентября - 1 октября 2004 г.: в 2 ч. / УО «ВГТУ». - Витебск, 2004. - Ч.1. - С. 345-346.