

Рисунок 7 – Принципиальная схема гироскопического успокоителя качки активного типа (Г – гироскоп, ВГ – вспомогательный гироскоп, К – контроллер, ДВ – двигатель, Пр – пружина, КГ – контактная группа)

НГС, выполняющие функцию гиродемпфера (амортизатора) колебаний механических систем, как производственных, так и транспортных (автомобили), а также оптических (бинокли, фотоаппараты и т.д.) могут быть построены с применением двухстепенных гироскопов.

Силовые гироскопические комплексы в составе КА, называемые также гиродинами или гироскопами с управляющим моментом, решают задачи их стабилизации и управления угловым положением, обеспечивая решение задач косми-

ческих информационных технологий. Гиродины могут быть построены на базе трёхстепенных (рисунок 8) и двухстепенных гироскопов.

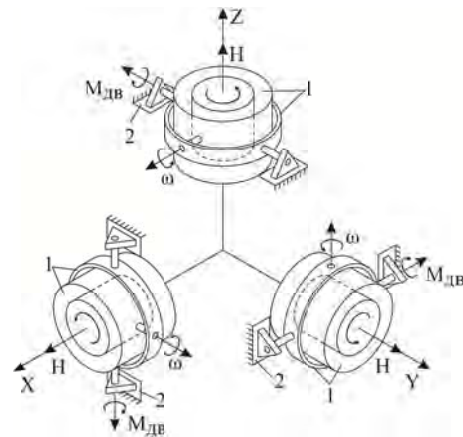


Рисунок 8 – Принципиальная схема установки гиродины: 1 – карданов подвес; 2 – плоскость установки

1. Ривкин С.С. Теория гироскопических устройств. – Ч.П. – Ленинград: Судпромгиз. – 1964. – 547 с.
2. Распопов В.Я. Непосредственные гиросtabilизаторы. – Тула: Издательство ТулГУ. – 2015. – 220 с.

УДК 620.179.1.05

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ПРЯМОМ ФАЗОВОМ ПРЕВРАЩЕНИИ В TiNi СПЛАВЕ

Рубаник В.В.^{1,2}, Рубаник В.В. мл.^{1,2}, Лесота А.В.¹

¹Институт технической акустики НАН Беларуси
Витебск, Республика Беларусь

²Витебский технологический университет
Витебск, Республика Беларусь

Примером возникновения термокинетической ЭДС в однородных материалах служит наведение ЭДС в результате перемещения зоны нагрева вдоль проволочного железного образца. Причиной возникновения такого рода термокинетической ЭДС является реализация фазового превращения в локальной зоне нагрева при температурах 700-800 °С [1]. В ряде материалов фазовые превращения могут протекать при значительно более низких температурах, например, в сплавах, обладающих эффектом памяти формы. При реализации термоупругих фазовых превращений инициирование ЭДС в этом случае возможно, как при перемещении участка нагрева по проводнику [2], так и при перемещении локального участка охлаждения [3].

В процессе перемещения участка охлаждения

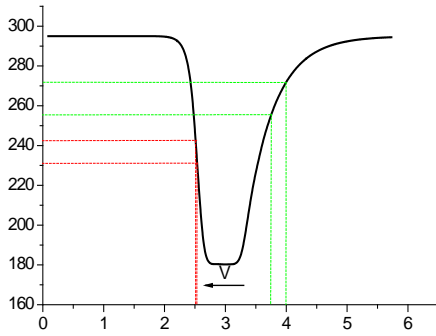
вдоль проволочного образца TiNi, находящегося в высокотемпературном аустенитном состоянии, температурный профиль образца будет несимметричен (рисунок 1).

Величина термокинетической ЭДС, возникающая в результате движения зоны охлаждения вдоль TiNi образца равна контактной разности потенциалов на участках прямого и обратного фазового превращения:

$$\varepsilon(T) = \int_{T=M_H}^T \left[\varphi_{пр}(T) \cdot \frac{\partial \gamma_{пр}(T)}{\partial T} \right] dT - \int_{T=A_H}^{T=A_K} \left[\varphi_{обр}(T) \cdot \frac{\partial \gamma_{обр}(T)}{\partial T} \right] dT, \quad (1)$$

где $\varphi_{пр}(T)$, $\varphi_{обр}(T)$ – контактная разность потенциалов, возникающая на участке прямого и обратного фазового перехода; $\gamma_{пр}$, $\gamma_{обр}$ – доля

мартенсита при прямом и обратном переходе соответственно; T – абсолютная температура на участке фазового перехода.



1 – аустенитная фаза; 2 – двухфазное состояние (прямой фазовый переход); 3 – мартенситная фаза (участок охлаждения); 4 – двухфазное состояние (обратный фазовый переход)

Рисунок 1 – Распределение температуры вблизи зоны охлаждения проволоочного образца TiNi

Так как термокинетическая ЭДС возникает при контакте двух разнородных веществ и изменения температуры, то при движении зоны охлаждения с температурой выше температуры начала прямого фазового перехода ($T \geq M_H$), термо ЭДС в проволоочном образце возникать не будет (образец находится в аустенитном состоянии). При движении зоны охлаждения вдоль проволоочного образца TiNi с температурой ниже температуры конца прямого фазового перехода ($T \leq M_K$), участок охлаждения будет находиться в мартенситном состоянии. При этом, чем ниже температура охлаждения, тем больше градиент температуры на участке 2. В данном случае, уменьшение температуры охлаждения влияет только на градиент температуры этого участка проволоки. При увеличении градиента температуры будет увеличиваться ЭДС, возникающая в результате эффекта Бенедикса [4]. Так как величина данной ЭДС незначительна, ее значением можно пренебречь. Таким образом, граничные условия для функции (1) будут:

$$\varepsilon(T_R) = \varepsilon(T_{M_K}), \quad T_R \in (M_K; \infty),$$

$$\varepsilon(T_L) = 0, \quad T_L \in (\infty; M_H).$$

Для численного расчета величины потенциала на двухфазных участках воспользуемся методом конечных разностей. Для этого интервалы температур, на которых осуществляется прямой и обратный фазовые переходы, разобьем на N равных частей. Для участка прямого и обратного перехода получаем:

$$\Delta T_{np} = M_H - T_{min}; \quad T_{об} = A_K - A_H;$$

$$\frac{\Delta T_{np}}{N} = t_{np}; \quad \frac{\Delta T_{об}}{N} = t_{об}.$$

где $T_{min} \in (M_H; M_K)$ – минимальная температура охлаждения.

После аппроксимации дифференциальных операторов разностными операторами уравнение (1) принимает вид:

$$\varepsilon(T) = \sum_{i=1}^{i=N} (\varphi_{np(i+0.5i)} \cdot \left(\frac{Y_{np(i-1)} - Y_{np(i)}}{t_{np}} \right) t_{np}) - \sum_{i=1}^{i=N_{об}} \left(\varphi_{обр(i+0.5i)} \cdot Y_{np(T_{min})} \times \left(\frac{Y_{обр(i+1)} - Y_{обр(i)}}{t_{обр}} \right) \cdot t_{обр} \right). \quad (2)$$

В работе также изучено влияние деформации изгибом на значение наведенной термокинетической ЭДС. Исследования проводили на проволоочных образцах Ti-50,78at.%Ni, диаметром 0,36 мм, предварительно отожжённых при температуре 700 °С в течении двадцати минут. Характеристические температуры составили: $M_H = -30$ °С, $M_K = -42$ °С, $A_H = -18$ °С и $A_K = -1$ °С. При проведении исследования вдоль проволоочного образца TiNi перемещали участок охлаждения с постоянной скоростью, в котором протекал прямой фазовый переход. Перед проведением эксперимента образцы никелида титана локально деформировали изгибом через различные оправки, таким образом, задавая в месте изгиба разную по величине деформацию (рисунок 2).

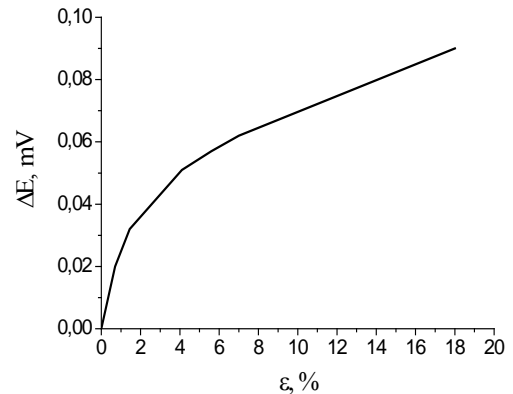


Рисунок 2 – Зависимость изменения величины термокинетической ЭДС от величины пластической деформации изгибом

Можно констатировать, что при увеличении величины пластической деформации проволоочного образца TiNi увеличивается и величина изменения термокинетической ЭДС. Было выдвинуто предположение, что величина термокинетической ЭДС при увеличении заданной деформации будет увеличиваться до определенного значения, после чего она стабилизируется. Для подтверждения данного предположения был

проведен эксперимент, в котором проволоочный образец TiNi локально деформировали изгибом через оправку и разгибали, механическое циклирование повторяли 20 раз на оправках различного диаметра (рисунок 3).

На основании результатов данных исследований разработан метод и устройство определения неоднородных участков протяженных изделий TiNi, изначально находящихся в аустенитном состоянии. Метод определения неоднородных деформационных участков заключается в подаче протяженного TiNi изделия через устройство, в котором оно локально подвергается охлаждению ниже температуры перехода материала в мартенситное состояние, с непрерывным измерением ЭДС, возникающей в проволоке. В случае существования неоднородных участков в проволоочном образце наблюдается резкий скачок значения термокинетической ЭДС. Таким образом, по изменению ЭДС определяют участки изделия, в которых фазовый или химический состав отличается от заданного, а значит, эти участки подлежат выбраковке.

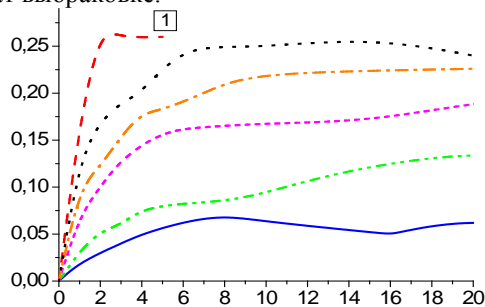


Рисунок 3 – Зависимость изменения величины ЭДС от количества циклов при механическом циклировании через оправки диаметром: 1) 1,1 мм (31%); 2) 2,61 мм (13,4%); 3) 3,5 мм (10%); 4) 4,9 мм (7,1%); 5) 6,8 мм (5,1%); 6) 12 мм (2,9%)

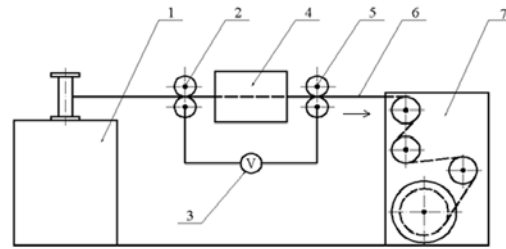


Рисунок 4 – Устройство для контроля качества протяженных TiNi изделий

Устройство, реализующее предложенный способ контроля (рисунок 4) состоит из подающего и принимающего блоков 1 и 7, термостатной камеры 4 и вольтметра 3 с двумя роликовыми контактами 2 и 5, соединяющими с протяженным изделием из никелида титана 6.

1. Фурмаков Е.Ф. Электрический ток, вызванный движением поверхности раздела фаз в металле // *Фундаментальные проблемы естествознания*. – С.-Пб. – 1999. – Т.1, – Вып. 21. – С. 377-378.
2. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Петрова-Буркина О.А. Электросопротивление никелида титана при нестационарном нагреве // *Письма о материалах*. – Уфа. – 2012. – Т.2. – №2. – С.71-73.
3. Рубаник В.В., Рубаник В.В. мл., Лесота А.В. Термоэлектрические явления при прямом фазовом превращении в TiNi сплав // *Сборник тезисов международной научной конференции «Сплавы с ЭПФ: свойства, технологии, перспективы*. Витебск – 2014. – С.33-35.
4. Anatyshuk L.I., Bulat L.P. Thermoelectric Phenomena under Large Temperature Gradients, *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano-Structured Materials*, CRC Press: New York, London, Tokyo. – Ch. 3. – 2005.

УДК 535.241

ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ЛЮКСМЕТРОВ

Скумс Д.В.¹, Данильчик А.В.², Ждановский В.А.², Крейдич А.В.², Луценко Е.В.², Никоненко С.В.²

¹Белорусский государственный институт метрологии

Минск, Республика Беларусь

²Институт физики НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Одной из основных задач определения эксплуатационных характеристик светотехнических изделий является измерение создаваемой ими освещенности. Это обусловлено тем, что согласно ряду технических нормативных правовых актов, освещенность подлежит обязательному контролю [1-4].

В соответствии с процедурой, установленной Международной комиссией по освещению (CIE),

фотометры, фотометрические головки (ФГ) и люксметры калибруются по чувствительности к освещенности в амперах на люкс, в вольтах на люкс или в делениях шкалы на люкс [4]. Измерения, согласно [4] должны выполняться на фотометрической скамье с использованием в качестве источника излучения светоизмерительные лампы силы света, которые соответствуют стандартному источнику излучения CIE A, при