

## ДЕФОРМАЦИОННО-СИЛОВЫЕ СВОЙСТВА КОЛЬЦЕВЫХ СИЛОВЫХ ЛЕНТОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СПЛАВА TiNi

<sup>1</sup>Вьюненко Ю.Н., <sup>2</sup>Турзаков А.С., <sup>3</sup>Хлопков Е.А., <sup>4</sup>Волков Г.А.

<sup>1</sup>ООО «Оптимикст Лтд», г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>АО «ГосНИИхиманалит», г. Санкт-Петербурге, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия, E-mail: hlopkovelisey@mail.ru

<sup>4</sup>Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Применение «металлических мышц», действующих на эффекте памяти формы (ЭПФ), в технологических процессах изготовления слоистых материалов показало их высокую эффективность [1]. Однако, наряду с проволоочной конструкцией кольцевых силовых пучковых элементов (КСПЭ) в установках Шер принципиально возможно использовать, представленные на рисунке 1, кольцевые силовые ленточные элементы (КСЛЭ). Изготовлены они из узкой полосы никелида титана шириной 11.5мм и толщиной 1.5мм. Содержание никеля в сплаве составило 49.9ат.%.

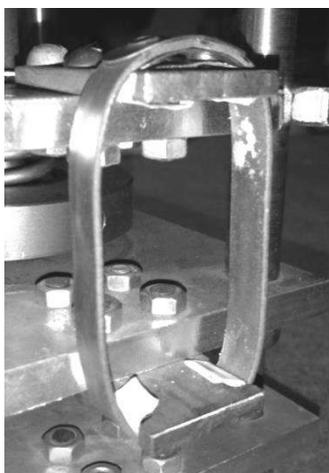


Рисунок 1 – Внешний вид КСЛЭ в нагруженном состоянии

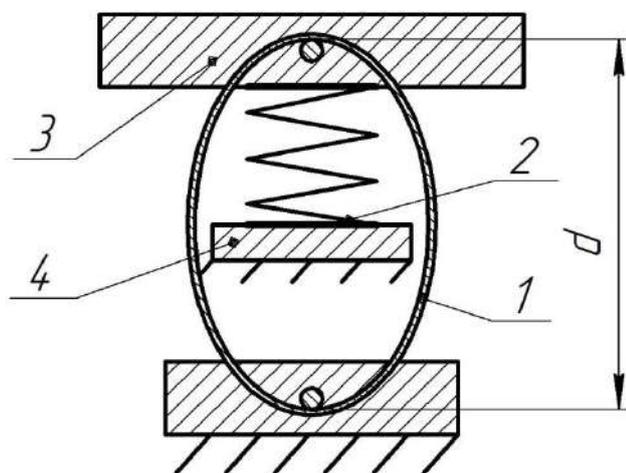


Рисунок 2 – Схема нагружения КСЛЭ в динамометре ЛИНД: 1 – КСЛЭ, 2 – контртело, 3 – подвижная пластина, 4 – регулирующая фиксируемая пластина, d – характеристический размер

Исследование деформационно-силовых свойств «металлических мышц» проводили в динамометре ЛИНД, принципиальная схема которого приведена на рисунке 2. Начальное силовое взаимодействие КСЛЭ с контртелом, в качестве которого использовалась спиральная пружина, было задано на уровне  $F_0 \sim 800\text{Н}$ . В результате силовой элемент правильной круговой формы диаметром 63мм продеформировался, и величина  $d$  установилась на уровне  $d_0=73.8\text{мм}$ . При этих условиях ЛИНД был помещен в термостат, камера которого была разогрета до температуры  $130^\circ\text{C}$ . Наблюдение вели за изменением характеристического размера  $d$  и температурой. На рисунке 3 приведены временные зависимости  $\Delta=d(t)-d_0$  и  $T$ . Через 10 минут после начала наблюдения стал изменяться параметр  $\Delta$ . Расстояние между крайними точками вытянутого овала КСЛЭ увеличивалось (кривая 1, рис.3). При этом, отмечено незначительное понижение температуры ( $\sim 1^\circ\text{C}$ ) в камере термостата (кривая 2, рис.3). Максимальное смещение контрольной точки отмечено на 50 минуте. Величина  $\Delta$  достигла 1мм. Затем, значение  $\Delta$  стало уменьшаться. Температура с 30 минуты постепенно увеличивалась от  $131^\circ\text{C}$  до  $147^\circ\text{C}$  на 130 минуте. Зависимость  $T$  от времени оказалось близкой к линейной. Величина  $\Delta$  с 90 минуты не менялась, оставаясь равной 0,2мм. Таким образом, был зафиксирован деформационный эффект, обусловленный, по-видимому, «дефектом» модуля упругости [3]. Эффект памяти формы отсутствовал, т.к. деформирование КСЛЭ во взаимодействии с контртелом при комнатной температуре скорее всего было чисто упругим.

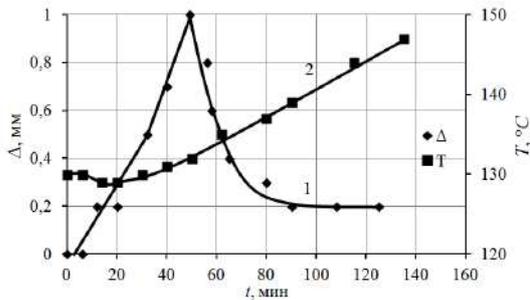


Рисунок 3 – Развитие деформационного поведения КСЛЭ в течение времени при нагреве от 130°C до 147°C и  $F_0 \sim 800\text{Нв}$  термоцикле №1

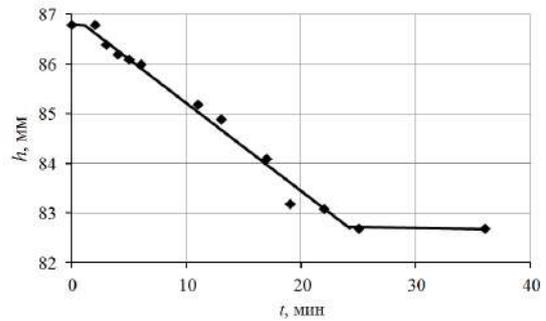


Рисунок 4 – Положение контрольной точки в течение времени в процессе охлаждения при  $T \sim 25^\circ\text{C}$  в термоцикле №1

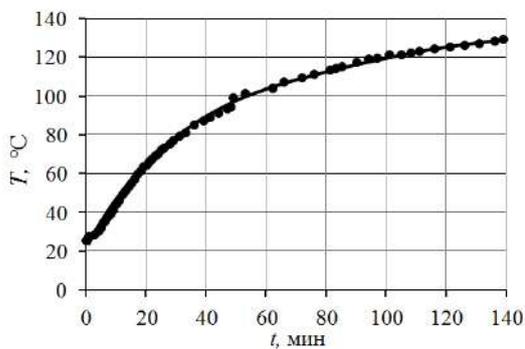


Рисунок 5 – Режим нагрева во 2 и 3 циклах

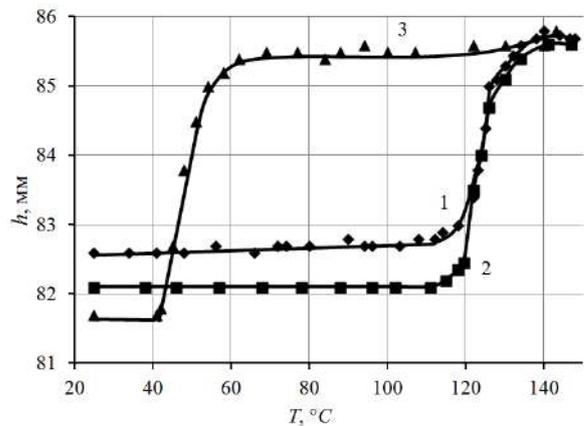


Рисунок 6 – Зависимость положения контрольной точки *hot T*

Охлаждение ЛИНДа проводили на воздухе при комнатной температуре  $\sim 25^\circ\text{C}$  (рис.4). Через 2 минуты после начала остывания было замечено начало деформационного процесса. В течение 22 минут происходило смещение контрольной точки с отметки 86.8мм до значения 82.6мм. При этом значение  $d_0$  возросло на 4.2мм. Причиной наблюдаемого деформационного процесса, вероятнее всего, была пластичность превращения, характерная для никелида титана в интервале температур прямого мартенситного превращения.

Во время повторного нагрева, который проводили вместе с термостатом от комнатной температуры до  $147^\circ\text{C}$ , наблюдали развитие ЭПФ в интервале температур от  $115^\circ\text{C}$  до  $135^\circ\text{C}$  (кривая 1, рис.6). Режим нагрева представлен на рисунке 5. После этого охлаждения проводили при комнатной температуре. Изменение геометрических параметров КСЛЭ было очень близким зависимости приведенной на рисунке 4.

Во время третьего термоцикла нагрев и охлаждение проводили вместе с термостатом. Деформация ЭПФ, как и во время второго нагрева, развивалась в интервале температур  $115^\circ\text{C} - 135^\circ\text{C}$  (кривая 2, рис.6). При охлаждении от  $60^\circ\text{C}$  до  $40^\circ\text{C}$  развивалось формоизменение «металлических мышц», обусловленное состоянием пластичности превращения сплава  $TiNi$  и силовым воздействием на КСЛЭ со стороны контртела (кривая 3, рис.6).

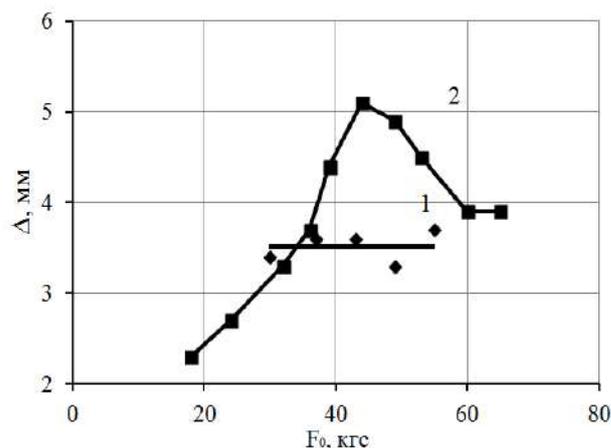


Рисунок 7 – Взаимозависимость параметра  $\Delta$  и  $F_0$

В результате деформационных процессов, происходивших в течение трех термоциклов, силовое взаимодействие исследуемых образцов с контртелом при комнатной температуре установилось на уровне  $\sim 300\text{Н}$ . В следующих пяти термоциклах постепенно увеличивали значение  $F_0$  во взаимодействии «металлических мышц» со спиральной пружиной с  $300\text{Н}$  до  $550\text{Н}$ . На рисунке 7 кривая 1 показывает, что в этом диапазоне начальных силовых нагрузок на КСЛЭ деформация эффекта памяти формы приводит к смещению  $\sim 3.5\text{мм}$ . На проволочных силовых элементах из сплава  $TiNi50.8\text{ат.}\%$  формоизменение существенно меняется в указанном диапазоне  $F_0$ , и эта зависимость немонотонна (кривая 2, рис.7).

Таким образом, полученные результаты демонстрируют близость деформационно-силовых характеристик ленточных и пучковых силовых элементов. Несколько уступая КСПЭ в деформационных свойствах, КСЛЭ (масса  $\sim 23\text{г}$ ) достигают приблизительно того же уровня силовых возможностей. Коэффициент  $K_{Fm} = F_{max}/m$ , где  $F_{max}$  – максимальное значение генерируемой силы,  $m$  – масса силового элемента, достигает величины  $\sim 2\text{кгс/г}$ . Поэтому, кольцевые силовые ленточные элементы могут использоваться в устройствах типа ШеР.

#### Список литературы:

1. Вьюненко Ю.Н. Применение ЭПФ в производстве слоистых материалов // Перспективные материалы и технологии: сб.статей Междунар. науч. симпозиума. Витебск, УО «ВГТУ», 2011. - с.182-184.
2. Вьюненко Ю.Н. Особенности деформационно-силового поведения «металлических мышц» из сплава  $TiNi$  // Вест. Тамб. ун. Серия: Естественные и технические науки. – 2016. - Т.21, вып.3. - С.791-793.
3. Вьюненко Ю.Н. и др. Исследование внутреннего трения в никелиде титана // ФММ. -1980. - Т.49, №5. - С.1032-1038.