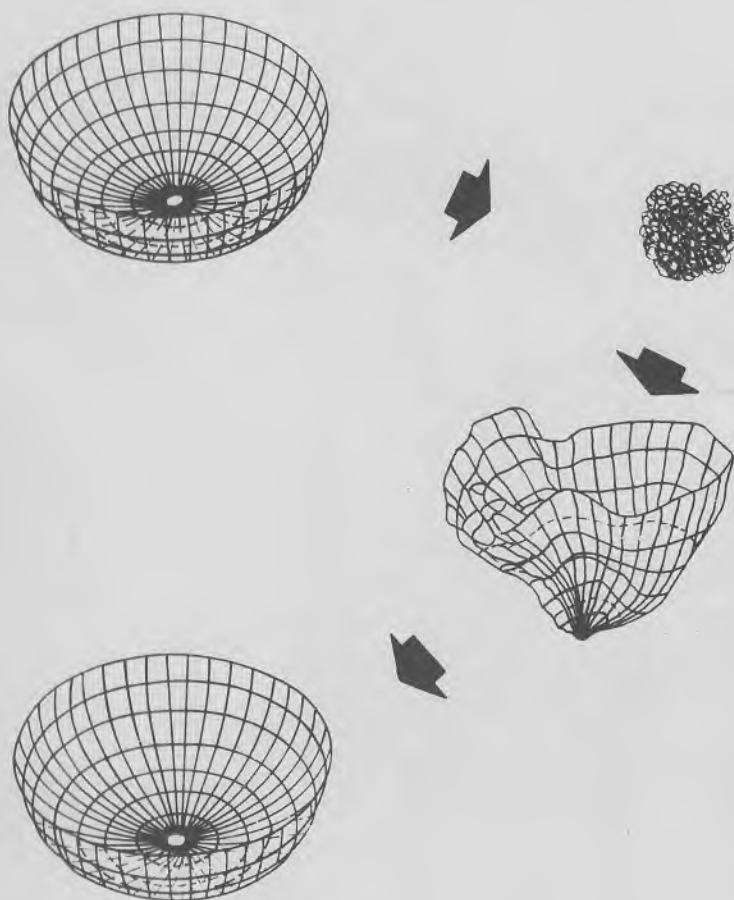

СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ
НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА
«ПАМЯТИ ФОРМЫ»



Предприятие п/я А-7844

Для служебного пользования
Экз. № 10

**СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ
НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА
«ПАМЯТИ ФОРМЫ»**

Под научной редакцией Д.Б.Чернова

1986

Ю.П. Чугунов	МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕРМОМЕХА-	
А.П. Паперский	НИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ	
Е.Н. Данилов	100
Е.Д. Семенов		
В.И. Гаврилов		
В.К. Королев		
Д.Б. Чернов		

Г.В. Струнина	СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ	
А.А. Миненков	К МОНТАЖУ ТРУБОПРОВОДОВ С	
В.К. Королев	НЕРАЗЪЕМНЫМИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕС-	
В.М. Сапожников	КИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ	
В.Н. Финогенов	108
В.Н. Гапошкин		
Д.Б. Чернов		

**НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА
«ПАМЯТИ ФОРМЫ»** 128

Д.Б. Чернов	РАБОТА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО	
	ВОЗВРАТА НИКЕЛИДА ТИТАНА	128

Д.Б. Чернов	РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕРМОЧУВ-	
Б.П. Стойков	СТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РЕГУ-	
Г.В. Самойлова	ЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ	
В.С. Бочков	151
А.Э. Прутков		
В.К. Королев		
А.А. Уваров		

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ... 17

В.М. Ермаков	ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ СПЛАВОВ	
Д.Б. Чернов	С ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПАМЯТЬЮ	
А.А. Уваров	17
А.С. Алексеева		
О.И. Лешинская		

Н.Н. Башанова	ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕГИРО-	
Н.Н. Жебынева	ВАНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ МАРТЕН-	
С.Г. Федотов	СИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ И ФОРМО-	
Д.Б. Чернов	ИЗМЕНЕНИЯ НИКЕЛИДА ТИТАНА	18

С.Е. Вакуленко	К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИ-	
А.Г. Мазуренко	ЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕР-	
Л.П. Фаткуллина	МОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВА-	
	ТЕЛЕЙ	18

3. Башанова Н.Н., Жебышева Н.Ф., Федотов С.Г., Чернов Д.Б. Исследование эффекта "памяти формы" и мартенситное превращение в легированном никелиде титана. *Металловедение и термобработка металлов*, 1985.
4. Чернов Д.Б., Белоусов О.К., Савицкий Е.М. Влияние легирования на критические точки мартенситного превращения в никелиде титана. *ДАН СССР*, 1979, т. 245, № 2, с. 360-363.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

С.Е. Вакуленко, А.Г. Мазуренко, Л.П. Фаткулина

Об эффективности термомеханических преобразователей можно судить по величине коэффициента полезного действия (КПД) [1], [2]

$$\eta = \frac{W}{Q}, \quad (1)$$

где W - работа, совершаемая материалом;
 Q - количество подведенной теплоты.

Согласно [1] работа, совершаемая при нагревании, может быть рассчитана по уравнению:

$$W = \sigma V \ln(1+\varepsilon) \quad (2)$$

или для единицы массы:

$$W = \Delta q \frac{\Delta T_0}{T_0(0)} \cdot \frac{\ln(1+\varepsilon)}{\varepsilon}, \quad (3)$$

где σ - усилие, генерируемое при восстановлении формы;
 V и ε - объем и относительная линейная деформация;
 ΔQ - скрытая теплота мартенситного превращения;
 $T_0(0)$ и ΔT_0 - температура термодинамического равновесия и ее смещение, вызванное внешней нагрузкой.

Количество теплоты, которую необходимо подвести к рабочему элементу преобразователя для совершения механической работы W рассчитывают по уравнению [1]:

$$Q \approx \left(\Delta Q + \int_{M_K(0)}^{A_H(\sigma)} C_p dT + \int_{A_H(\sigma)}^{A_K(\sigma)} C_p dT \right) \approx m(\Delta Q + C_p \Delta T_0), \quad (4)$$

где m — масса материала;
 A_H, A_K и M_K — температура начала и окончания обратного превращения и температура окончания прямого мартенситного превращения;
 C_p — истинная теплоемкость.

В этом случае выражение для расчета КПД термомеханического преобразователя будет иметь вид:

$$\eta = \frac{\ln(1+\varepsilon)}{\varepsilon} \cdot \frac{1}{T_0(0)} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\Delta T_0} + \frac{C_p}{\Delta \varphi}} \quad (5)$$

При расчете параметров (сечение, объем) рабочего элемента и КПД преобразователя под W следует понимать максимально возможную работу, которую может совершить материал. Для никелида титана, близкого по составу к эквиаtomному, эту величину можно считать равной $2 \cdot 10^4$ кДж/м³ [3]. При расчете преобразователей циклического действия следует исходить из величины внешней нагрузки, соответствующей пределу выносливости при заданном числе циклов и условия полного (практически полного) возврата начальной формы материалом, который для никелида титана при числе циклов $n = 10^7$ приблизительно равен 200 МПа [4].

Из уравнений (2) — (5) видно, что КПД термомеханического преобразователя зависит от вида материала и внешней нагрузки. Изменение σ вызывает некоторое смещение A_K .

Вместе с тем, как следует из результатов исследований функции эффективной теплоемкости C никелида титана эквиаtomного состава от среднеобъемной температуры T и скорости ее изменения

$\frac{dT}{dt} = u$ (рис. 1), проведенных авторами, A_K и M_K существенно зависят от u .

Опыты по исследованию функции $C(T, u)$ при нагревании от 173 до 383 К и последующем охлаждении проводились на калориметрической установке, снабженной автоматическим регулятором температуры. Удовлетворительное совпадение результатов ($\pm 4\%$) определения $C(T)$ образцов проволоки никелида титана диаметром 1,5 мм и отличающихся по массе при $u = const$ в интервале $0,45 \leq u \leq 10,0$ К/мин позволяет исключить влияние кривизны температурного поля по сечению материала на достоверность полученной информации о $C(u)$.

Установлено, что истинная теплоемкость материала в диапазоне $173 \leq T \leq 383$ К практически постоянна, скрытая теплота превращения $\Delta Q = 21,8 \pm 2$ кДж/кг, а температура точек A_H и M_H не зависит от u . При уменьшении u значения A_H и A_K , M_H и M_K сближаются между собой.

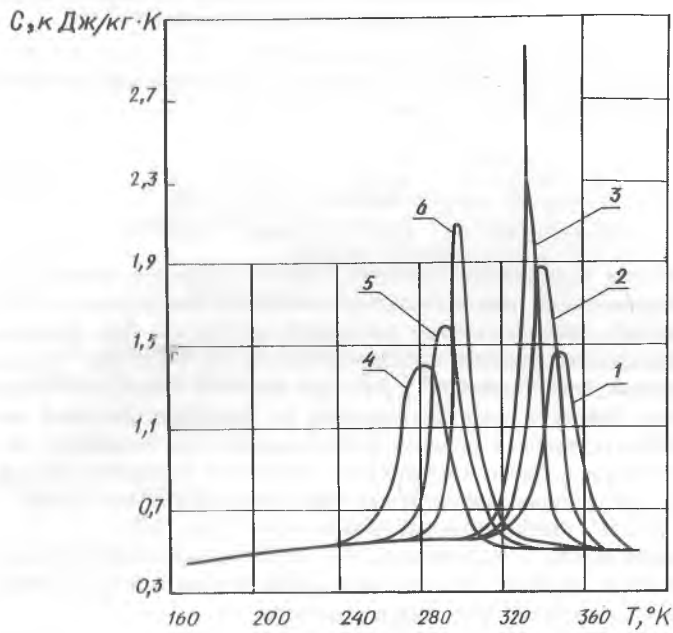


Рис. 1. Зависимость эффективной теплоемкости никелида титана (проволока диаметром 2 мм) от температуры и скорости ее изменения:

U , К/мин при нагревании: 1 - 10,3; 2 - 4,6; 3 - 0,4;
при охлаждении: 4 - 7,9; 5 - 3,1; 6 - 0,48

Становится очевидным, что в уравнения (4) и (5) необходимо вводить поправки на скорость изменения температуры рабочего органа термомеханического преобразователя при нагревании (охлаждении) от внешнего источника теплоты.

На рис. 2 показан вариант кусочно-ступенчатой аппроксимации зависимости энтальпии $i(T)$ при различной скорости нагрева.

Рассмотрим рабочий орган массой m термомеханического преобразователя, находящийся при температуре $T_1 \leq M_K$. Для совершения работы W его необходимо нагреть до $T_2 \geq A_K$, т.е. подвести количество теплоты:

$$Q = m (i_{T_2} - i_{T_1}), \quad (6)$$

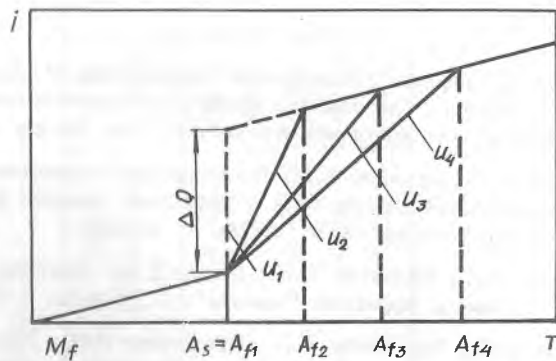


Рис. 2. Расчетная аппроксимация зависимости энтальпии никелида титана от температуры при нагреве: $u_1 = u, u_2 < u_3 < u_4$

Поскольку при температуре ниже A_H и выше A_K зависимости $i(T)$ могут быть описаны линейными уравнениями:

$$i = c_p T \quad \text{и} \quad i = c_p T + \Delta Q,$$

то в интервале температур $A_H - A_K$ $\Delta i = i_{A_K} - i_{A_H} = f(u)$, запишем уравнение (6) в виде:

$$Q = m(i_{A_H} - i_{M_K} + i_{A_K} - i_{A_H}) = m[\Delta Q + c_p[A_K(u) - M_K]]. \quad (7)$$

Тогда КПД этого преобразователя может быть рассчитан по уравнению:

$$\eta = \frac{\sigma V(n(1+\varepsilon))}{m[\Delta Q + c_p[A(u) - M_K]]} \quad (8)$$

Как следует из анализа результатов исследования $C(T, u)$ и уравнения (8) для достижения большего КПД и быстродействия преобразователя разового действия интервал температур от $T = M_K$ до A_H нужно проходить по возможности с большей, а интервал от A_H до $A_K = T_2$ с наименьшей скоростью изменения температуры рабочего органа. Это объясняется уменьшением величины $c_p[A_K(u) - M_K]$ при снижении скорости u .

Для расчета преобразователей циклического действия помимо поправки $A_K(u)$ необходимо введение поправки $M_K(u)$.

Для достижения большего КПД и быстродействия преобразователя циклического действия интервалы температур от M_K до A_H при прямом и от A_K до M_H при обратном срабатывании преобразователя необходимо проходить по возможности с большей скоростью и интервалы от A_H до A_K и от M_H до M_K по возможности с меньшей скоростью изменения температуры рабочего органа.

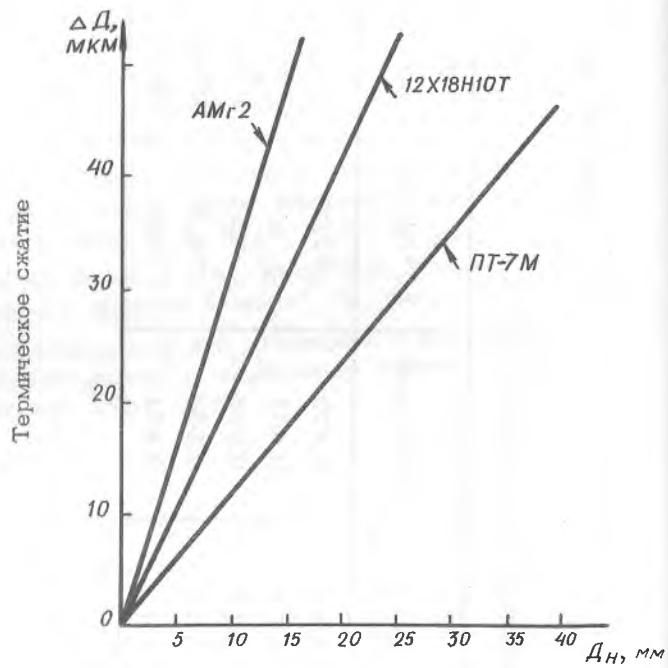
Список литературы

1. H.C. Tong, C.M. Waymann, *Thermodynamic Considerations of "Solid State Engines" Based on Thermoelastic Martensitic Transformations and the Shape Memory Effect*, *Metalurgical Transactions A*, V.6A, January 1975, 29-32.
2. Десятов А.Т., Архаров А.М. Исследование термомеханических преобразователей нового типа с эффектом "памяти формы". Холодильная техника, № 2, 1978, с. 24-28.
3. Корнилов И.И., Белоусов О.К., Качур Е.В. Никелид титана и другие сплавы с эффектом "памяти". М., Наука, 1977, с. 179.
4. Тихонов А.С., Герасимов А.П., Прохорова И.И. Применение эффекта "памяти формы" в современном машиностроении. М., Машиностроение, 1981, с. 81.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Физические свойства материалов труб и сплава ТН1К

Материал	$\alpha \cdot 10^6$ 1/град 20-100 °С	λ , Вт/м·град 100 °С	c , кДж/кг·град	ρ , 10^6 Ом·см	d , кг/м ³
12X18H10T	16,7	16,4	0,470	75,00	7900
X15H5Д2T	9,9	17,6	0,461	-	7760
AMg2	24,2	159,0	0,963	4,76	2680
OT4-0	8,0	13,0	0,544	76,70	4510
ТН1К	10,3	-	0,471	70,00	6500



Термическое сжатие труб из различных материалов при охлаждении от 20°C до -196°C в зависимости от внешнего диаметра