

БИМЕТАЛЛЫ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ: ЭКСПЕРИМЕНТ И РАСЧЕТ

Беляев С.П.¹, Волков А.Е.¹, Евард М.Е.¹, Ломакин И.В.¹, Реснина Н.Н.¹,

Рубаник В.В.², Рубаник В.В. (мл)³

¹ Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

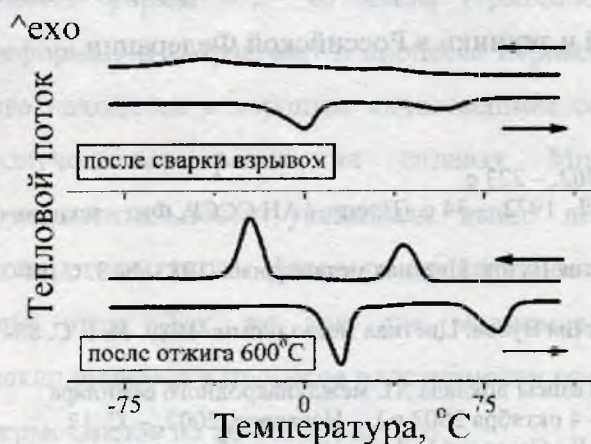
² Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

³ Витебский государственный технологический Университет, Витебск, Беларусь

Farad2005@yandex.ru

Одним из применений сплава TiNi с памятью формы является его использование в качестве активного компонента термомеханических приводов многократного действия [1]. Такие термоприводы состоят из элемента с памятью формы и соединённого с ним упругого элемента. Наиболее компактная конфигурация термопривода с памятью формы может быть получена при использовании биметаллической пластины, в которой один из слоёв обладает эффектом памяти формы, а другой – проявляет упругие свойства. Механическое поведение биметаллов, имеющих в составе материал с памятью формы, не изучено. В связи с этим цель настоящей работы заключалась в экспериментальном исследовании функционально-механических свойств биметаллов на основе сплава TiNi и разработке модели для описания их термо-механического поведения.

В качестве объектов исследования были выбраны композиции «нержавеющая



сталь 10X18H10T – сплав Ti_{49.4}Ni_{50.6}» и «сплав Ti₅₀Ni₅₀ – сплав Ti_{49.3}Ni_{50.7}». В первом композите роль упругого слоя выполняла нержавеющая сталь, а во втором – сплав TiNi с избытком никеля, проявляющий псевдоупругие свойства. Соединение двух металлов производили холодной сваркой взрывом по методике, изложенной в работе [2].

Рисунок 1. Влияние отжига на кинетику мартенситных превращений в биметалле TiNi-TiNi

Оптическая микроскопия показала отсутствие каких-либо

видимых металлографических дефектов (трещин, пор и т.д.) на поверхности раздела слоёв. Результаты калориметрических исследований свидетельствуют о том, что, после сварки пики выделения и поглощения тепла при мартенситных превращениях имеют небольшую амплитуду и превращения реализуются в широком интервале температур.

Такое поведение обусловлено большой пластической деформацией, происходящей при соударении двух пластин. Это подтверждается измерениями распределения микротвердости в направлении, перпендикулярном сварному шву. Установлено, что последующий отжиг приводит к полному восстановлению кинетики мартенситных превращений (рисунок 1). Использовали два режима отжига: 600 °С – 1 час и 450°С -2 часа. При первом режиме сплавы с избытком никеля претерпевали при охлаждении превращение $B2 \rightarrow B19'$, а при втором - $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$.

Для исследования функциональных свойств композитов использовали следующую методику. Образцы, подвергнутые разным термообработкам (600°С 1 час и 450°С 2 часа), деформировали методом трехточечного изгиба до различных значений предварительной деформации при температуре, при которой функциональный слой находился в мартенситном состоянии, и разгружали. Далее образец нагревали выше температуры окончания обратного мартенситного перехода для реализации в слое TiNi эффекта памяти формы. После этого образцы термоциклировали в интервале температур мартенситных превращений, регистрируя величину обратимой деформации.

Установлено, что максимальная величина обратимой деформации наблюдается в образцах, у которых толщина функционального слоя TiNi составляла ~ 60 % от общей толщины образца. Функциональные свойства биметаллов с оптимальным соотношением толщин оценивали по зависимостям величины остаточной деформации после разгрузки от величины обратимой деформации в процессе термоциклирования. Обнаружено, что материал упругого (псевдоупругого) контрслоя, как и режим предварительной термообработки, оказывают существенное влияние на функциональные свойства. Величина обратимой деформации в каждом из композитов не превышала 1%.

Для описания и прогнозирования деформационного поведения биметаллов с памятью формы было выполнено компьютерное моделирование их функциональных свойств с использованием кусочно-линейной модели, описанной в [3]. Предполагали, что справедлива гипотеза плоских сечений и оба слоя деформируются совместно. При этом напряжения на границе слоёв терпят разрыв. Выведены определяющие соотношения, связывающие напряжения с деформацией в каждом из слоев:

$$d\varepsilon_1 = \left\{ \frac{1}{E_1^A} + \left[\left(\frac{1}{H_1^A} - \frac{1}{E_1^A} \right) H(|\sigma_1^*| - \sigma_1^y) H(d|\sigma_1^*|) \right] (1 - \Phi) \right\} d\sigma^* + \left\{ \frac{1}{E_1^M} - \left(\frac{1}{H_1^A} - \frac{1}{E_1^A} \right) H(|\sigma_1^*| - \sigma_1^y) H(d|\sigma_1^*|) \right\} \sigma^* d\Phi + \varepsilon_0 d\Phi + d(\alpha_1 T) \quad (1)$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{1}{E_2} d\sigma_2^i + \left(\frac{1}{H_2} - \frac{1}{E_2} \right) H(|\sigma_2^i| - \sigma_2^Y) H(d|\sigma_2^i|) + \alpha_2 dT \quad (2)$$

где ε_i – деформация в i -ом слое, E_i – модуль упругости в i -ом слое, σ_i – напряжение в i -ом слое, Φ – объемная доля мартенситной фазы, σ^Y – предел текучести, α – коэффициент термического расширения. В формулах переменные с индексом $i = 1$ соответствуют функциональному слою из сплава с эффектом памяти формы, а переменные с индексом $i = 2$ соответствуют упругому (псевдоупругому) слою. В результате компьютерного моделирования получены зависимости величины деформации от температуры для модельных материалов подвергнутых различным величинам предварительной деформации. Также получены расчетные зависимости величины обратимой деформации от предварительно заданной деформации. Экспериментальные и расчетные данные представлены на рисунке 2. Теоретические результаты находятся в качественном соответствии с экспериментальными.

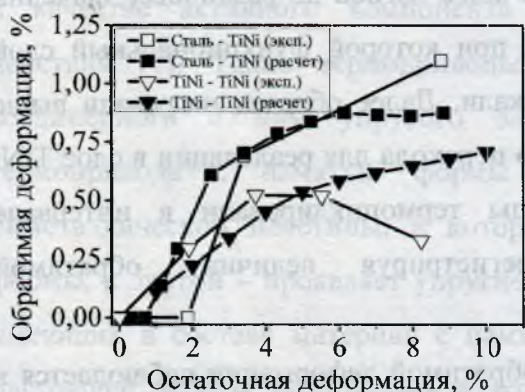


Рисунок 2. Сравнение экспериментальных данных результатами моделирования для биметаллов Сталь-TiNi и TiNi-TiNi, подвергнутых отжигу при температуре 600°C в течение 1 часа

достаточной точностью описать и прогнозировать функциональное поведение биметаллов с памятью формы.

Результаты работы показывают, что биметаллические композиты могут быть использованы в качестве термомеханических приводов. Предложенная модель позволяет с достаточной точностью описать и прогнозировать функциональное поведение биметаллов с памятью формы.

1. Tautzenberger P. // Eng. Asp. Shape Mem. Alloy. ed. Duerig T.W., Melton K.N., Stokel D. Verlag: Butterworth-Heinemann Ltd, 1990.
2. Рубаник О. Е., Клубович В. В., Рубаник В. В. (мл.). Получение сваркой взрывом и свойства композитов TiNi сталь//8 Международная конференция «Авангардні машиностроительні обработки», Кранево, Беларусь, 2008, С. 185-189. <http://amo.dmt-product.com/amo-08/pdfamo08/27.pdf>.
3. Волков А.Е., Евард М.Е. // Актуальные проблемы прочности: сборник материалов Международного научного симпозиума (27 сентября – 1 октября 2010 года. Витебск, Беларусь). 2010. Vol. 1. P. 69–72.