

ОПТИМИЗАЦИЯ СВОЙСТВ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА “СТАЛЬ – СПЛАВ TiNi С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ”

Беляев С.П.¹, Рубаник В.В.², Реснина Н.Н.¹, Рубаник В.В. (мл.)², Рубаник О.Е.³

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Университетский пр. 28, Санкт-Петербург, 198504 Россия

² Витебский государственный технологический университет, Московский пр. 72, Витебск, 210035, Беларусь

³ Институт технической акустики НАНБ, пр. Людникова 13, Витебск, 210023, Беларусь

Одним из применений сплавов с памятью формы являются приводы многократного действия. Принцип их работы основан на том, что при нагревании элемент из сплава с памятью формы может не только восстанавливать свою первоначальную форму, но и развивать значительные усилия. Для того чтобы это действие повторялось многократно элемент из сплава с памятью формы, предварительно деформированный в низкотемпературном мартенситном состоянии, соединяют с упругим контртелом. При нагревании элемент из сплава с памятью формы восстанавливает свою первоначальную форму, деформирует упругий элемент и в системе возникают напряжения. При охлаждении через интервал прямого мартенситного превращения эти напряжения инициируют в элементе из сплава с памятью формы эффект пластичности превращения. В результате, этот элемент деформируется и накапливает неупругую деформацию, а напряжение в системе релаксирует. При последующих термоциклах все описанные действия повторяются и тем самым обеспечивается многократное срабатывание термомеханического привода. Величина обратимых деформаций и развивающихся усилий будет зависеть от геометрических размеров элемента из сплава с памятью формы и упругого контртела [1].

Обычно в термомеханических приводах элемент из сплава с памятью формы и упругий элемент являются различными телами, соединенными между собой [2]. Однако возможно и иное конструктивное решение, которое заключается в том, что два элемента, один из которых обладает эффектом памяти формы, а другой – упругими свойствами, составляют одно тело. Это может быть реализовано в биметаллическом композите, составленном из сплава с памятью формы и, например, стали. Преимущества такого технического решения заключаются в возможности достижения максимальной компактности и даже миниатюризации привода [3]. В этом случае параметры термомеханического привода будут определяться соотношением толщин слоев сплава с памятью формы и стали, входящих в биметаллическое соединение. Естественно полагать, что когда слой из сплава с памятью формы в биметаллическом композите отсутствует, никакого обратимого формоизменения наблюдаться не будет. В противоположность этому, при отсутствии слоя стали, величина обратимой деформации будет определяться параметрами эффекта обратимой памяти формы [4]. Очевидно, что при некотором соотношении толщин слоев сплава с памятью формы и стали, в биметаллическом композите будут созданы условия для проявления максимальной обратимой деформации. Целью настоящей работы явилось исследование функциональных свойств и механического поведения биметаллического образца при термоциклировании через интервал мартенситных превращений и определение оптимальной геометрии композита.

В качестве объектов исследования использовали биметаллические образцы “сталь X18Ni10T – сплав с памятью формы Ti – 50.6 ат. % Ni”, полученные “холодной” сваркой взрывом. Образцы имели длину 50 мм, ширину 6 мм и различное соотношение толщин

лов стали и сплава TiNi. Перед проведением экспериментов все образцы были одвергнуты отжигу при температуре 600 °С в течение 2 часов. После указанной термообработки в сплаве TiNi, входящем в композит, при охлаждении и нагревании протекают термоупругие мартенситные превращения. Калориметрические исследования, проведенные в дифференциальном сканирующем калориметре Mettler Toledo 822e, показали, что при охлаждении в сплаве TiNi реализуется превращение из кубической B2 фазы в моноклинную B19' при температурах $M_n = 6$ °С и $M_s = -17$ °С, а при нагревании обратный переход из фазы B19' в фазу B2 при температурах $A_n = 8$ °С и $A_s = 26$ °С. Для исследования влияния соотношения толщин слоев стали и сплава TiNi на обратимую деформацию биметаллического композита была выбрана следующая схема эксперимента. При температуре -170 °С, при которой слой из сплава TiNi находился в мартенситном состоянии, биметаллический композит изгибали до деформации 5 % и разгружали. После этого проводили нагревание образца до температуры 120 °С, для того чтобы перевести сплав TiNi в высокотемпературную аустенитную фазу. Далее биметаллический композит термоциклировали в интервале температур 120 °С ÷ -170 °С десять раз. Эксперименты проводили в испытательной машине Lloyd 30k Plus, оснащенной термокамерой.

На рис. 1 приведена типичная кривая изменения деформации, полученная при первом нагревании и в последующем первом термоцикле. Видно, что при первом нагревании реализуется эффект памяти формы и деформация частично восстанавливается. В первом термоцикле при охлаждении наблюдается накопление деформации, а при нагревании ее исчезновение, т.е. в биметаллическом композите реализуется принцип работы термомеханического привода. После деформирования при температуре -170 °С композит обладал некоторой остаточной деформацией. В процессе первого нагревания в слое TiNi реализуется эффект памяти формы, при этом пластина пытается распрямиться, что приводит к упругому деформированию стального слоя и в системе возникают напряжения. В первом термоцикле при охлаждении эти напряжения способствуют реализации эффекта пластичности превращения, в результате чего

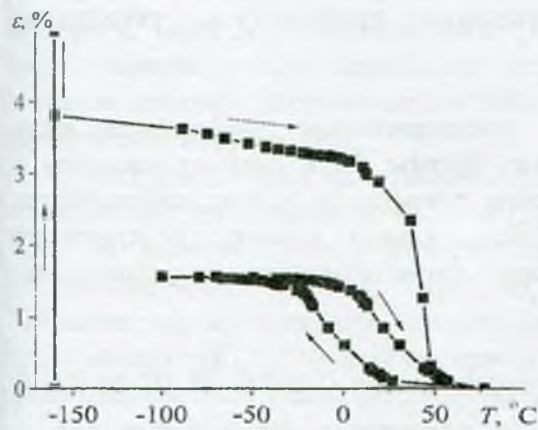


Рис. 1 Зависимость $\epsilon(T)$, полученная при нагревании и первом термоцикле биметаллического композита, с соотношением толщин $h_{TiNi}/h = 65$ %

слой TiNi изгибается, а напряжения в системе релаксируют. При последующем нагревании в сплаве TiNi вновь наблюдается эффект памяти формы, биметаллический образец разгибается, и генерирует в системе напряжения. При последующих термоциклах вся описанная процедура повторится вновь. На рис. 2 представлена зависимость величины обратимой деформации, наблюдаемой в первом и десятом термоциклах, от отношения толщины слоя сплава TiNi к общей толщине образца. На рисунке положение равное 100 % отвечает испытанию сплава TiNi, не входящего в биметаллический композит. Видно, что величина обратимой деформации в этом случае незначительна и составляет всего 0.3 %. В биметаллических композитах, у которых толщина сплава TiNi составляет более 80 %, величина обратимой деформации в первом цикле также незначительна. Это обусловлено тем, что тонкий слой стали не может создать значительные напряжения и обратимое формоизменение определяется, как и в случае чистого сплава TiNi, эффектом обратимой памяти формы. Однако следует отметить, что присутствие в биметаллическом композите

даже незначительных напряжений, способствует более существенной тренировке образца – изменению деформации при последующих термоциклах.

Так, на рис. 2 видно, что обратимая деформация, наблюдаемая в десятом цикле, увеличивается по сравнению с первым термоциклом и по сравнению с деформацией, регистрируемой в сплаве TiNi ($h_{TiNi}/h = 100\%$, где h_{TiNi} – толщина слоя из сплава TiNi, h – полная толщина биметаллической пластины). Полученные результаты показали, что оптимальными условиями для многократного обратимого формоизменения обладают биметаллические композиты с соотношением толщин h_{TiNi}/h от 50 до 70%. Именно в этом интервале толщин величина обратимой деформации существенно увеличивается и достигает максимума при $h_{TiNi}/h = 65\%$, когда эта величина достигает 1.55% в первом термоцикле и 1.85% - в десятом термоцикле. При уменьшении толщины слоя TiNi менее 50% величина обратимой деформации резко уменьшается, а термоциклирование приводит к ухудшению наблюдаемого эффекта.

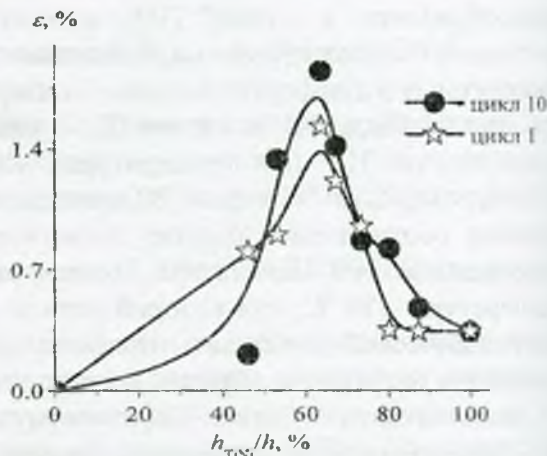


Рис. 2 Зависимость обратимой деформации от соотношения толщины слоя TiNi к общей толщине биметаллической пластины

Таким образом в работе показано, что предварительно деформированный биметаллический композит “сталь – сплав с памятью формы TiNi” при охлаждении и нагревании работает по принципу термомеханического привода и в нем наблюдаются многократные изменения обратимой деформации. Исследовано влияния соотношения толщин слоев стали и сплава TiNi на величину обратимого формоизменения, и установлено, что оптимальные условия достигаются при $h_{TiNi}/h = 65\%$.

Работа выполнена в рамках Российско-Белорусского гранта (РФФИ № 08-08-90010 Бел_а и БФФИ № T08P-225)

Литература

- [1] Shape memory materials Edited by Otsuka K., Wayman C.M. Cambridge University Press, (1998), 284 p.
- [2] Материалы с эффектом памяти формы: /Справ. изд. под ред. Лихачева В. А. –Т 3 – СПб: НИИХ СПбГУ, 1998. –474с.
- [3]. Шеляков А.В., Кирилин А.Г., Коледов В.В., Шавров В.Г., Калашников В.С., Крапошин В.С., Золотарёв В.Ю., Кучин Д.С., Морозов Е.В., Перов Е.Н., Лега П.В.. //Сб. материалов Всеросс. научно-технич. конф. студентов «Студенческая весна 2008: машиностроительные технологии», Москва, апрель 2008, МГТУ им. Н.Э.Баумана, с. 128-130.
- [4]. Лихачев В. А., Кузьмин С. Л., Каменцева З. П. Эффект памяти формы. – Л.: ЛГУ, (1987) 216 с.