

УДК 669.017.3

МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И ОБРАТИМАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОМ КОМПОЗИТЕ $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$

© С.П. Беляев, В.В. Рубаник, Н.Н. Реснина, В.В. Рубаник мл., И.В. Ломакин

Ключевые слова: биметаллический композит, никелид титана, эффект памяти формы, сварка взрывом. Исследована кинетика мартенситных превращений и изменение величины обратимой деформации в биметалле $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$, изготовленном сваркой взрывом и подвергнутом отжигу при температуре 600 °С.

В работе [1] было показано, что метод сварки взрывом может быть успешно использован для соединения сплава $TiNi$ и стали. Это открыло перспективы для создания термочувствительных биметаллических элементов с памятью формы, способных работать в качестве термомеханических приводов. При термоциклировании предварительно деформированного биметаллического композита с эффектом памяти формы через интервал мартенситного превращения наблюдается обратимое формоизменение [2, 3]. Это обуславливается тем, что при нагревании сплав с памятью формы восстанавливает заданную деформацию и деформирует упругий стальной слой. В композите возникает напряжение. При охлаждении в напряженном слое сплава $TiNi$ реализуется эффект пластичности превращения, вследствие чего биметалл деформируется в противоположном направлении, а напряжение релаксирует. В ходе последующих термоциклов описанные процессы повторяются, и наблюдается обратимое формоизменение композита. Влияние величины предварительной деформации на функциональные свойства биметаллического композита « $TiNi$ –сталь» описано в работах [2, 3]. Установлено, что величина обратимой деформации биметалла при термоциклировании может достигать 1 %, что в пять раз больше, чем величина эффекта обратимой памяти формы в сплаве $TiNi$ при прочих равных условиях.

Из самых общих соображений становится очевидным, что величина обратимой деформации зависит от способности «пассивного» компонента биметалла упруго деформироваться. В связи с этим представляется эффективным использование в качестве такого компонента псевдоупругого материала, который при активном деформировании аккумулирует большую упругую энергию. Таким материалом может являться сплав $TiNi$ с небольшим избытком никеля относительно эквивалентного состава. Его химический состав должен быть подобран таким образом, чтобы при предварительном деформировании и в процессе термоциклирования сплав находился в аустенитном состоянии.

В настоящей работе представлены результаты изучения мартенситных превращений и способности обратимо деформироваться при термоциклировании в интервале температур мартенситных переходов биметаллического композита $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$. Соединение двух сплавов получено сваркой взрывом.

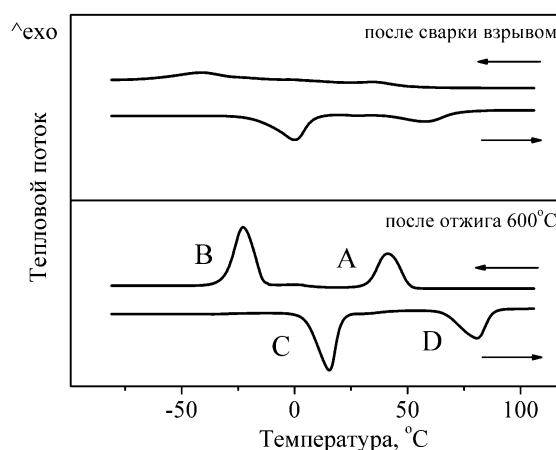


Рис. 1. Калориметрические кривые, полученные при охлаждении и нагреве биметаллического композита сразу после сварки и после отжига при температуре 600 °С в течение одного часа

Результаты исследования фазовых превращений с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии показали, что после сварки мартенситные превращения в значительной степени подавлены, однако последующая термообработка способствует их восстановлению (рис. 1). Подобное изменение кинетики мартенситных превращений, протекающих в композите, связано с тем, что отжиг приводит к устранению дефектов кристаллической структуры, возникших при пластической деформации в процессе сварки [4]. После отжига при температуре 600 °С в течение одного часа в биметалле наблюдается следующая картина мартенситных превращений: пик А на рис. 1, соответствует $B2 \rightarrow B19'$ превращению в слое $Ti_{50}Ni_{50}$ с температурами $M_n = 52$ °С и $M_k = 31$ °С, пик В соответствует $B2 \rightarrow B19'$ превращению в слое $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$ с температурами $M_n = -13$ °С и $M_k = -33$ °С. Пик С, соответствующий обратному превращению $B19' \rightarrow B2$ в слое $Ti_{49,3}Ni_{50,7}$, имеет температуры $A_n = 3$ °С и $A_k = 23$ °С, а пик D, соответствующий обратному превращению $B19' \rightarrow B2$ в слое $Ti_{50}Ni_{50}$, имеет температуры $A_n = 65$ °С и $A_k = 88$ °С.

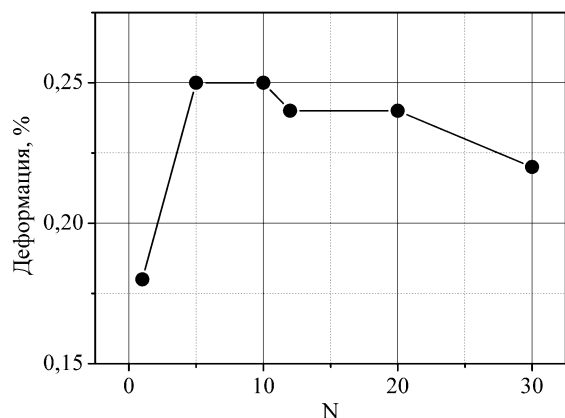


Рис. 2. Зависимость величины обратимой деформации биметаллического композита от числа термоциклов

Для того чтобы исследовать способность биметалла накапливать деформацию при охлаждении и восстанавливать при нагреве, проводили следующие эксперименты. Биметаллический композит деформировали методом трехточечного изгиба в испытательной машине Lloyd LR30k при температуре 55 °С, при которой слой с избытком никеля находился в аустенитном состоянии, а эквиатомный слой – в мартенситном, до величины деформации 4,2 %. После предварительного деформирования образец нагревали до температуры 120 °С для того, чтобы реализовать в нём эффект памяти формы. Далее производили термоциклирование в интервале температур от +20 до +120 °С так, чтобы в слое эквиатомного состава происходило обратимое превращение $B2 \leftrightarrow B19'$, а слой с избытком никеля находился в аустенитном состоянии. При этом последний выполнял роль упругого (псевдоупругого) элемента в композите. Термоциклирование производили тридцать раз.

На рис. 2 представлена зависимость величины обратимой деформации образца от номера термического цикла. Видно, что в первом термоцикле величина обратимой деформации составляет 0,18 % и ее значение увеличивается к десятому циклу до 0,25 %. Далее значение этой величины несколько снижается, и в тридцатом цикле величина обратимой деформации составила 0,22 %. На зависимостях температур начала и окончания формоизменения от числа циклов (рис. 3) видно, что температуры понижаются на 5–10 °С с увеличением числа циклов.

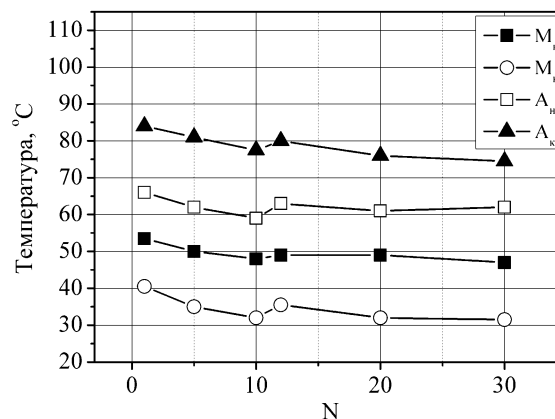


Рис. 3. Зависимость температур начала и окончания формоизменения биметаллического композита от числа термоциклов

Таким образом, результаты работы показали, что биметаллический композит $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$, полученный сваркой взрывом, обладает способностью к обратимому формоизменению при переменах температуры в интервале температур мартенситных переходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stainless Steel Compound Material, made by Explosive Welding. Rolf Prummer, Dieter Stuckel in Fundamental issues and applications of shock-wave and high-strain-rate phenomena / ed. by K.P. Staundhammer, L.F. Murr, M.A. Meyers. Elsevier, 2001.
2. Belyaev S., Rubanik V., Resnina N., Rubanik V.(jr), Rubanik O., Borisov V., Lomakin I. Functional properties of bimetal composite of "stainless steel – TiNi alloy" produced by explosion welding // Physics Procedia. 2010. V. 10. P. 52-57.
3. Беляев С.П., Рубаник В.В., Реснина Н.Н., Рубаник мл. В.В., Ломакин И.В., Рубаник О.Е. Влияние предварительной деформации на функциональные свойства биметаллического композита «TiNi-сталь» // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 1152-1155.
4. Belyaev S., Rubanik V., Resnina N., Rubanik V.Jr., Rubanik O., Borisov V. Martensitic transformation and physical properties of "steel-TiNi" bimetal composite, produced by explosion welding // Phase Transitions. 2010. V. 83. № 4. P. 276-283.

Поступила в редакцию 10 апреля 2013 г.

Belyayev S.P., Rubanik V.V., Resnina N.N., Rubanik jr V.V., Lomakin I.V. MARTENSITIC TRANSFORMATIONS AND RECOVERABLE STRAIN IN $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$ BIMETAL COMPOSITE

Martensitic transformation kinetics and values of recoverable strain in bimetal composite $Ti_{49,3}Ni_{50,7}-Ti_{50}Ni_{50}$ at 600 °C welding are investigated.

Key words: bimetal composite; TiNi; shape memory effect; explosion welding.