

Рисунок 4 – Зависимость усилия волочения от времени при волочении TiNi проволоки

Список использованных источников

- Северденко В.М., Клубович В.В., Степаненко А.В.: Ультразвук и пластичность. – Минск, 1976, – 536с.
- Кулемин, А.В. Ультразвук и диффузия в металлах / А.В. Кулемин. – Москва: Metallurgiya, 1978. – 200 с.
- Система трехмерного моделирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kompas.ru/kompas-3d/about/>. – Дата доступа : 28.04.2017.
- Промышленный центр Матэк-СПФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://matek-spa.ru>. – Дата доступа : 28.04.2017.

УДК 621.78

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СОЕДИНЕНИЙ TiNi СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКОЙ

Рубаник В.В.^{1,2}, д.т.н., проф., Рубаник В.В.^{1,2}, к.ф.-м.н., доц.,

Милюкина С.Н.¹, к.т.н., доц.

¹ Витебский государственный технологический университет,

² ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,

г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В статье представлены результаты исследований функциональных свойств соединений TiNi сплавов, полученных лазерной сваркой. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии проведены исследования зоны сварки, а также изменение свойств на различных расстояниях от неё.

Ключевые слова: память формы, лазерная сварка, сплав TiNi, дифференциальная

сканирующая калориметрия.

Сплавы с эффектом памяти формы (СПФ) широко используются в различных областях медицины и техники, и лидером по практическому применению среди СПФ является никелид титана [1]. Однако изготовление различных изделий очень часто предполагает соединение отдельных элементов в конструкции, а соединение элементов из сплава TiNi как между собой, так и с другими металлами, представляет настоящую научно-техническую проблему. Одним из возможных технических решений для соединения TiNi сплавов является использование лазерной сварки, главное достоинство которой – высокая концентрация энергии, что позволяет сваривать как одинаковые, так и разнородные материалы с толщинами от нескольких микрон до десятков миллиметров [2]. Работы, посвященные исследованию свойств соединений TiNi сплавов, полученных лазерной сваркой, довольно многочисленны [3-5], однако дают далеко не исчерпывающее представление о проблеме, ввиду различия как режимов и способов реализации лазерной сварки, так и последующей термической обработки для восстановления функциональных свойств материала. Целью данной работы является исследование соединений проволоочных элементов из сплава TiNi, полученных лазерной сваркой и подвергнутых термообработке, и изменений кинетики мартенситных превращений в материале по мере удаления от зоны сварки методами дифференциальной сканирующей калориметрии.

Исследуемые образцы представляют собой по два отрезка медицинской TiNi проволоки диаметром 0,45 мм, соединённых на конце лазерной сваркой (рисунок 1). Место соединения (зона сварки) имеет размер ~ 1 мм. После осуществления лазерной сварки образцы подвергали термической обработке (ТО) при температуре 530 °С в течение 15 минут с последующей закалкой в воде или в воздушной среде при комнатных температурах. Исследуемые образцы делили на отрезки таким образом, чтобы отделить само место сварки, а также исследовать изменение свойств материала на различных расстояниях от места сварки.

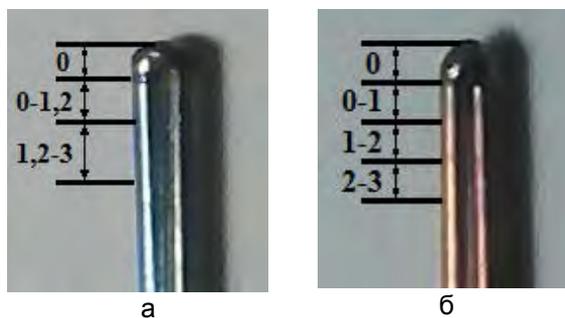


Рисунок 1 – Фото TiNi образцов, полученных лазерной сваркой, после ТО с закалкой: а – в воде; б – на воздухе (цифрами указано расстояние от зоны сварки в мм)

Функциональные свойства полученных образцов исследовали методами дифференциальной сканирующей калориметрии, термоциклируя их в диапазоне температур от +60 °С до -60 °С, при этом охлаждение и нагревание осуществляли со скоростью 2 °С/мин.

Калориметрические исследования зоны сварки показали, что в образцах в зависимости от способа закалки наблюдается различная кинетика мартенситных превращений (рисунок 2). Так, в образце, охлажденном в воде, реализуется только одно мартенситное превращение, энтальпия которого составляет ~ 1 Дж/г, а характеристические температуры: $M_n = -35$ °С, $M_p = -40$ °С, $M_k = -44$ °С, $A_n = -19$ °С, $A_p = -17$ °С, $A_k = -16$ °С. В образце, охлажденном в воздушной среде, реализуются два мартенситных превращения, как при охлаждении, так и при нагревании, причём одно из них в том же температурном интервале, что и в предыдущем образце, только с более размытыми границами: $M_n' = 39$ °С, $M_p' = 25$ °С, $M_k' = 13$ °С, $M_n = -32$ °С, $M_p = -43$ °С, $M_k = -54$ °С, $A_n' = -29$ °С, $A_p' = -17$ °С, $A_k' = -10$ °С, $A_n = 9$ °С, $A_p = 26$ °С, $A_k = 39$ °С. При этом энтальпия превращения при более высоких температурах составляет ~ 3 Дж/г, а при более низких ~ 1,3 Дж/г. По значениям температурных гистерезисов мартенситных переходов можно предположить, что в образце, охлажденном в воде, реализуется превращение $B2 \leftrightarrow B19'$, а в образце, охлажденном на воздухе, – последовательность превращений $B2 \leftrightarrow R$ и $R \leftrightarrow B19'$.

Далее изложены результаты калориметрических исследований обоих образцов на различных расстояниях от зоны сварки. Так, в образце, охлажденном в воде, уже в соседнем с зоной сварки участке (до ~ 1,2 мм) появляется $B2 \rightarrow R$ переход с характеристическими температурами: $M_n' = 19$ °С, $M_p' = 15$ °С, $M_k' = 8$ °С, $A_n = 11$ °С, $A_p = 17$ °С, $A_k = 20$ °С, энтальпия которого составляет ~ 2,1 Дж/г, а переход $R \leftrightarrow B19'$ начинается при температуре $M_n = -46$ °С и его энтальпия ~ 1 Дж/г (рисунок 3).

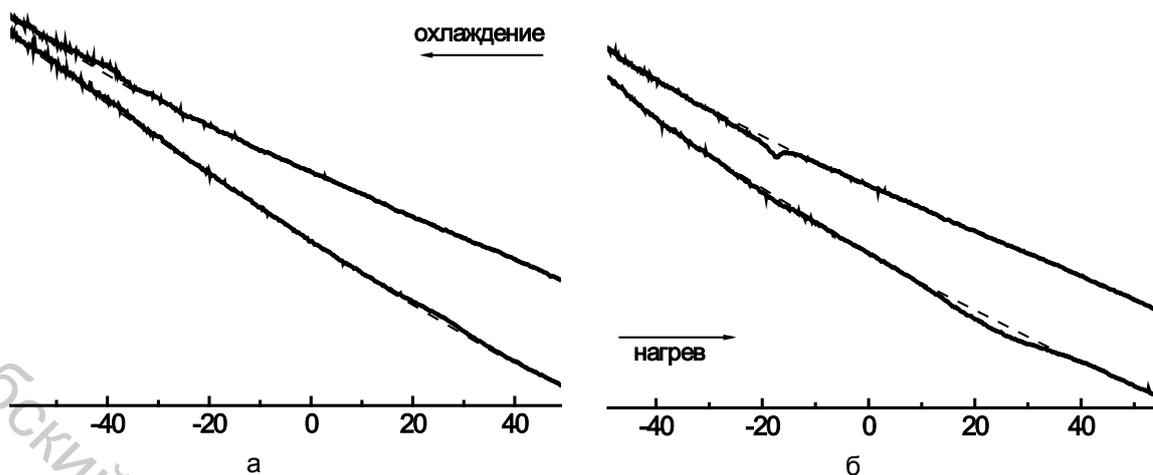


Рисунок 2 – Калориметрические зависимости для образцов TiNi сплава (зона сварки), после ТО при температуре 530°C в течение 15 мин с закалкой (1 – в воде, 2 – на воздухе) при охлаждении (а) и нагревании (б)

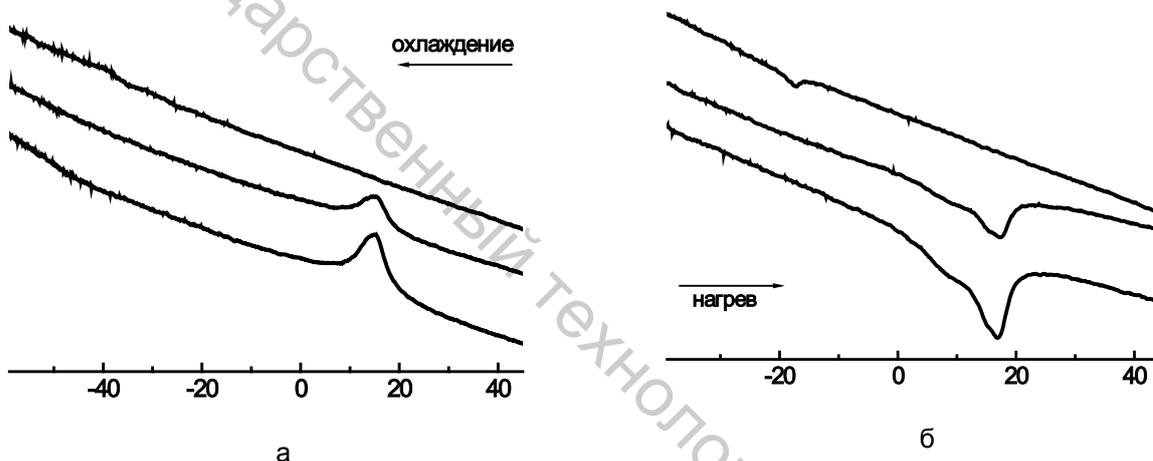


Рисунок 3 – Калориметрические зависимости для образца TiNi сплава после ТО при температуре 530°C в течение 15 мин с закалкой в воде при охлаждении (а) и нагревании (б) (цифры справа указывают расстояние от зоны сварки в мм)

При нагревании реализуется последовательность мартенситных превращений $B19' \rightarrow R \rightarrow B2$. В более отдалённом от зоны сварки участке (~1,2-3 мм) кинетика мартенситных превращений аналогичная, только энтальпия $B2 \rightarrow R$ превращения больше ~ 4 Дж/г.

В образце, охлаждённом в воздушной среде, в соседнем с зоной сварки участке наблюдается снижение температур $B2 \rightarrow R$ перехода на ~ 20 °С, – они составляют: $M_{H'} = 13$ °С, $M_{H'} = 8$ °С, $M_{K'} = -1$ °С, $A_H = 0$ °С, $A_H = 9$ °С, $A_K = 14$ °С (рисунок 4). Температура начала превращения в мартенситную фазу $B19'$ снижается на ~ 15 °С и составляет ~ -48 °С. В более удалённых от зоны сварки участках температурные диапазоны реализации мартенситных превращений остаются такими же как в соседнем со сваркой участке, только энтальпии их превращений увеличиваются.

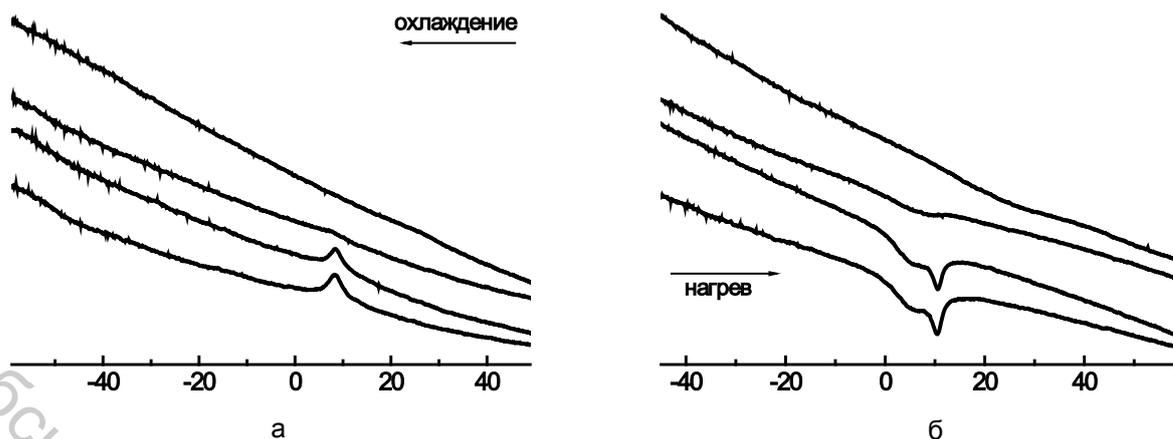


Рисунок 4 – Калориметрические зависимости для образца TiNi сплава после ТО при температуре 530°C в течение 15 мин с закалкой на воздухе при охлаждении (а) и нагревании (б) (цифры справа указывают расстояние от зоны сварки в мм)

Таким образом, в результате проведенных исследований соединений TiNi, полученных лазерной сваркой, установлено, что в зоне сварки мартенситные превращения в значительной мере подавлены, и функциональные характеристики материала не только отличаются от соседних участков, но и различаются в зависимости от способа закалки. Так, при охлаждении образцов в воздушной среде энтальпия мартенситных превращений, реализуемых в материале больше, чем при охлаждении образцов в воде. При удалении от зоны сварки наблюдается увеличение энтальпии мартенситных переходов – примерно в два раза на каждый мм, при этом их характеристические температуры остаются практически без изменений.

Список использованных источников

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.Э. Гюнтер [и др.] – Томск: Изд-во МИЦ, 2006. – 296 с.
2. Григорьянц, А. Г. Лазерная сварка металлов / А.Г. Григорьянц // М.: "Высшая школа", 1988. — 207 с.
3. Gong, W. Microstructure and properties of laser micro welded joint of TiNi shape memory alloy / W. Gong, Y. Chen, L. Ke // Trans. Nonferrous Met. Soc. – China, 21. – 2011. – P. 2044-4028.
4. Schlossmacher, P. Laser welding of a Ni-rich TiNi shape memory alloy: mechanical behavior / P. Schlossmacher, T. Haas, A. Schussler // J. Phys. IV, France, 7. – 1997. – P. 251-256.
5. Li, H.M. Laser welding of TiNi shape memory alloy and stainless steel using Ni interlayer / H.M. Li, D.Q. Sun, X.L. Cai, P. Dong, W.Q. Wang // Materials and Design, V.39. – UK, 2012. – P. 285—293.

УДК 537.868

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЧЕЛОВЕКА

Милюкина С.Н., к.т.н., доц., Григорьева М.В., студ., Ващенко О.Д., студ.

Витебский государственный технологический университет,

г. Витебск, Республика Беларусь

Реферат. В статье рассмотрены некоторые особенности физических полей человека, их источники и характеристики. Проведен анализ научной литературы, посвящённой современному состоянию вопроса, и дальнейших перспективных направлений исследований.