

МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СВЕРХЭЛАСТИЧНЫХ ОРТОДОНТИЧЕСКИХ TiNi ДУГАХ

Милюкина С.Н.², Рубаник В.В.^{1,2}, Рубаник В.В. мл.^{1,2}, Андреев В.А.³,

Дородейко В.Г.⁴

¹Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь

²Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь

³Промышленный центр МАТЭК-СПФ, Москва, Россия

⁴Медицинское предприятие Сымург, Витебск, Беларусь

ita@vitebsk.by

Сверхэластичные ортодонтические дуги на основе TiNi работают на эффекте сверхупругости [1]. Изначально дуге придают форму идеального зубного ряда, которую она имеет в аустенитном состоянии, а затем устанавливают на содержащий дефекты зубной ряд, деформируя её при этом. Вследствие реализации эффекта сверхупругости дуга создаёт постоянные направленные усилия, перемещая зубы в правильное положение. Усилия, развиваемые дугой, определяются функциональными свойствами материала, которые в сплавах TiNi с памятью формы, прежде всего, характеризуются температурами начала и окончания прямого и обратного фазовых переходов.

Целью настоящей работы является исследование температурного диапазона реализации прямого и обратного мартенситных превращений в сверхэластичных ортодонтических TiNi дугах зарубежных производителей, а также TiNi проволоке производства ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ» (г. Москва) в режиме поставки и после термообработки с целью формирования в материале требуемых функциональных свойств для изготовления из неё отечественных стоматологических дуг.

Характеристические температуры фазовых переходов: начальную, конечную и пиковую измеряли с помощью дифференциального сканирующего калориметра DSC822° (Mettler Toledo, Швейцария), в соответствии со стандартом ASTM F2004-00. Скорость нагрева и охлаждения образцов составляла 10°С/мин. Образцы массой ~ 5-7 мг вырезали из различных участков дуги: с центра и по краям.

Установлено, что в температурном диапазоне от -60 °С до +60 °С в образцах исследуемых сверхэластичных дуг, наиболее широко используемых в клинической практике на территории стран СНГ, реализуется мартенситное превращение B2 ↔ R, что подтверждается небольшим гистерезисом перехода (~ 3°С) и значением скрытой теплоты превращения (~ 4-6 Дж/г). Переход из ромбоэдрической R-фазы в моноклинную B19' при охлаждении осуществляется при более низких температурах.

Анализ калориметрических зависимостей (рис. 1) показывает, что характеристические температуры B2↔R перехода у исследуемых дуг довольно сильно различаются. Так, у бразильской дуги (№1) превращения реализуются в температурном диапазоне $5 \div 22^\circ\text{C}$, у немецкой (№2) этот диапазон составляет $10 \div 35^\circ\text{C}$, а у американской (№3) — $24 \div 60^\circ\text{C}$ (наиболее широкий диапазон). Значения характеристических температур для исследуемых дуг представлены в таблице 1, где: M_n' , M_p' , M_k' — температуры начала, пика и окончания прямого мартенситного превращения из фазы B2 в R-фазу соответственно; A_n , A_p , A_k — температуры начала, пика и окончания обратного мартенситного превращения из R-фазы в B2 соответственно.

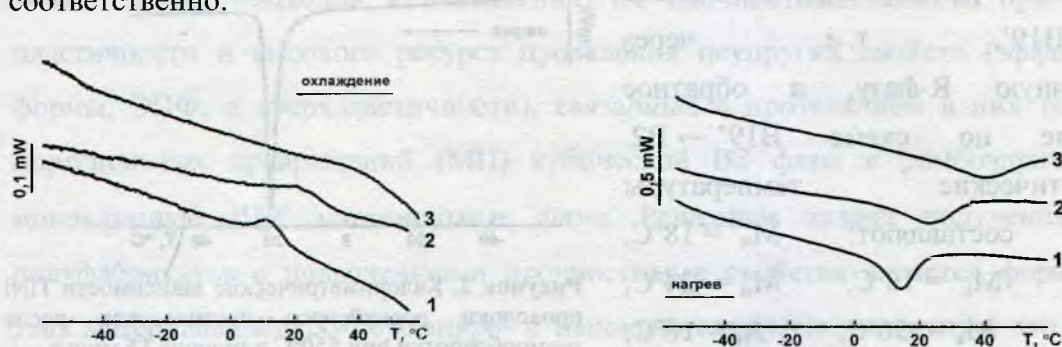


Рисунок 1. Калориметрические зависимости образцов сверхэластичных дуг зарубежных производителей: 1 – Morelli, 2 – Ortho Organizers, 3 – 3M Unitek

Таблица 1. Характеристические температуры исследуемых дуг.

№	Название фирмы производителя	Страна-производитель	M_n' , °C	M_p' , °C	M_k' , °C	A_n , °C	A_p , °C	A_k , °C
1	Morelli	Бразилия	17	11	5	6	14	22
2	Ortho Organizers	Германия	32	21	10	11	23	35
3	3M Unitek	США	58	40	24	27	41	60

Из приведенных данных видно, что температура A_k у сверхэластичных дуг различных производителей может принимать значения от 22°C до 60°C , а температурный диапазон превращения составляет от 17°C до 36°C . Такое значительное различие в значениях характеристических температур свидетельствует о том, что и их механические характеристики, в частности, развиваемые усилия, должны достаточно сильно различаться.

В результате становится неясным, как ориентироваться в выборе дуги для соответствующего этапа лечения, если сверхэластичные дуги различных производителей имеют такой большой разброс в значениях функциональных параметров, и какие из этих значений можно принять за эталонные при создании собственной продукции. Учитывая, что главным определяющим параметром является развиваемое дугой усилие, становится очевидным, что наиболее оптимальным набором функциональных параметров обладают бразильская и немецкая дуги.

Для изготовления дуг использовали проволоку диаметром 0,5 мм состава Ti-55,77 вес.% Ni (производитель МАТЭК-СПФ), которой необходимо было придать высокотемпературную форму и необходимые функциональные свойства в требуемом диапазоне температур, для чего на основании проведенных нами ранее исследований [2] был выбран режим тепловой обработки при температуре 550°C в течение 15 минут с последующей закалкой в воде, — после чего были проведены калориметрические исследования (рис. 2).

Прямое мартенситное превращение в материале реализуется по схеме $B2 \rightarrow R \rightarrow B19'$, т. е. через промежуточную R-фазу, а обратное превращение по схеме $B19' \rightarrow B2$. Характеристические температуры переходов составляют: $M_H' = 18^\circ\text{C}$, $M_H = -24^\circ\text{C}$, $A_H = 16^\circ\text{C}$, $M_H'' = 14^\circ\text{C}$, $M_K' = 10^\circ\text{C}$, $A_K = 23^\circ\text{C}$, $M_H''' = -29^\circ\text{C}$, $M_K = -36^\circ\text{C}$, $A_K = 23^\circ\text{C}$.

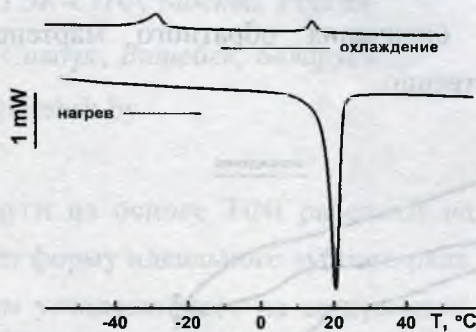


Рисунок 2. Калориметрические зависимости TiNi проволоки российского производства после термообработки при 550°C в течение 15 минут

Видно, что температурный диапазон реализации мартенситных превращений в нитиноле российского производства схож со значениями температур в бразильских ортодонтических дугах, а температура окончания обратного мартенситного превращения совпадает с A_K бразильской дуги. Кроме того, механические испытания показали, что и усилия, развиваемые дугой, принимают оптимальные значения.

Таким образом, термообработка при температуре 550°C в течение 15 минут с последующей закалкой в воде может быть использована при изготовлении сверхэластичных ортодонтических дуг для задания высокотемпературной формы и рабочего диапазона температур одновременно.

Сверхэластичные ортодонтические TiNi дуги разных производителей в режиме поставки значительно различаются по своим функциональным параметрам — так, температура A_K может принимать значения от 22 °C до 60 °C, а, следовательно, отличаются и их механические характеристики, в частности, развиваемые усилия. Установлено, что проволоке TiNi российского производства (МАТЭК-СПФ) можно задавать требуемый рабочий диапазон температур посредством термообработки при температуре 550°C в течение 15 минут с последующей закалкой, а, значит, использовать её для изготовления отечественных сверхэластичных ортодонтических дуг.

1. Никелид титана. Медицинский материал нового поколения / В.Э. Гюнтер [и др.] — Томск: Изд-во МИЦ, 2006. — 296 с.
2. С.Н. Милюкина, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл. // Сборник докладов 8-й международной конференции «Авангардные машиностроительные технологии», Болгария, 18-20 июня 2008 г. — С. 199-203.