

ОСОБЕННОСТИ ЗАДАНИЯ ФОРМЫ TiNi СПЛАВАМ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ

Багрец Д.А.¹, Рубаник В.В.^{1,2}, Рубаник В.В. мл.^{1,2}, Дорудейко В.Г.³

¹ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,
г. Витебск, Республика Беларусь, ita@vitebsk.by

²УО «Витебский государственный технологический университет»,
Республика Беларусь

³ЗАО «Медицинское предприятие «Симург»,
г. Витебск, Республика Беларусь

К медицинским традиционно относят TiNi сплавы с содержанием никеля от 50,5 до 51,0 ат.% [1], что обусловлено их сверхэластичными свойствами и «удобным» температурным диапазоном реализации мартенситных превращений. Для проведения исследований использовали проволоочные образцы никелида титана Ti-50,8 ат.% Ni диаметром 0,5 мм, изготовленного в ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ» (г. Москва). Выбор указанного материала обусловлен широким его использованием для изготовления сверхэластичных ортодонтических дуг [2-4].

Метод конденсации вещества из плазменной фазы в вакууме с ионной бомбардировкой поверхности (КИБ) обеспечивает нагрев обрабатываемой поверхности, что легло в основу разработанного в «ИТА НАН Беларуси» совместно с ЗАО «Медицинское предприятие «Симург» (г. Витебск, Беларусь) способа задания формы для ортодонтических дуг из TiNi сплава с одновременным нанесением методом КИБ биоинертного покрытия нитрида титана [5], при котором высокотемпературное воздействие обеспечивается бомбардировкой обрабатываемой поверхности ионами титановой плазмы, а осажденное покрытие выступает в роли барьерного слоя для повышения биосовместимости изделия из TiNi сплава.

Целью работы являлось исследование параметров формовосстановления для сплава Ti-50,8 ат.% Ni с нанесенными в течение различного времени покрытиями нитрида титана.

При проведении испытаний прямолинейные образцы проволоки из сплава TiNi предварительно обезжировали в ультразвуковой ванне в среде Нефрас С2-80/120, затем деформировали вокруг цилиндрических оправок разного диаметра D (рис. 1а). Полную наводимую деформацию ε_t определяли по формуле:

$$\varepsilon_t = \frac{d}{D} \cdot 100\%, \tag{1}$$

где d — диаметр проволоочного образца.

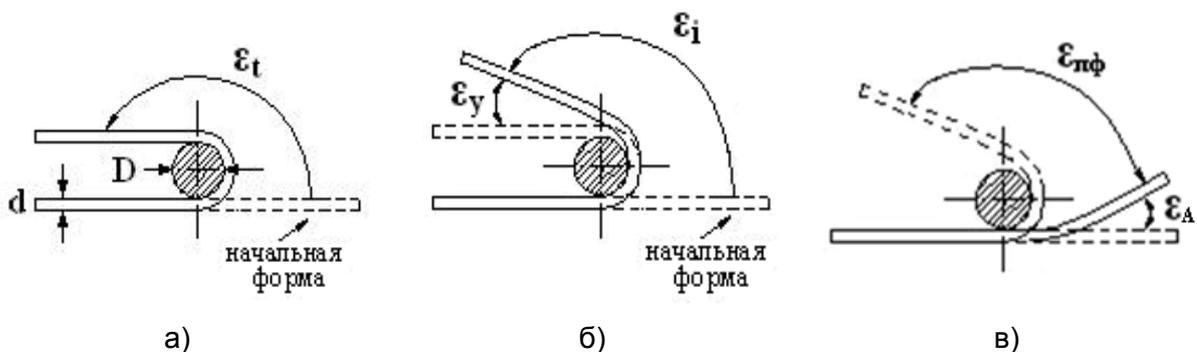


Рисунок 1 - Схема определения параметров формовосстановления при наведении деформации изгибом

Зафиксированные на оправке образцы помещали в камеру установки для нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий «Булат-6». Непосредственно перед

осаждением образцы подвергали ионной бомбардировке при потенциале 800 В с целью нагрева и активации поверхности. Затем потенциал снижали до 100 В и осуществляли осаждение покрытия нитрида титана (TiN) при токе дуги 110 А, давлении реакционного газа (азота) $0,3 \pm 0,4$ Па в течение 2; 5; 15 и 45 мин.

После снятия образца с оправки определяли значения наведенной деформации ε_i (рис. 1б) и рассчитывали эффективность наведения деформации:

$$N = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_t} \cdot 100\%. \quad (2)$$

После нагрева образца до температуры, превышающей температуру окончания обратного мартенситного превращения по крайней мере на 10 °С, определяли значения остаточной ε_A и восстанавливаемой деформации $\varepsilon_{пф} = \varepsilon_i - \varepsilon_A$ (рис. 1в) [1]. Степень недовозврата η при проведении исследований на задание памяти формы рассчитывали по формуле:

$$\eta = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{пф}}{\varepsilon_i} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_A}{\varepsilon_i} \cdot 100\%. \quad (3)$$

В работе были использованы оправки трех различных диаметров, обеспечивающие наводимую деформацию 0,9; 1,3 и 1,7 %. Значение ε_i возрастает с увеличением продолжительности цикла ионно-плазменной обработки (времени термического воздействия при ионной бомбардировке и осаждении покрытия), как это видно на рис. 2а.

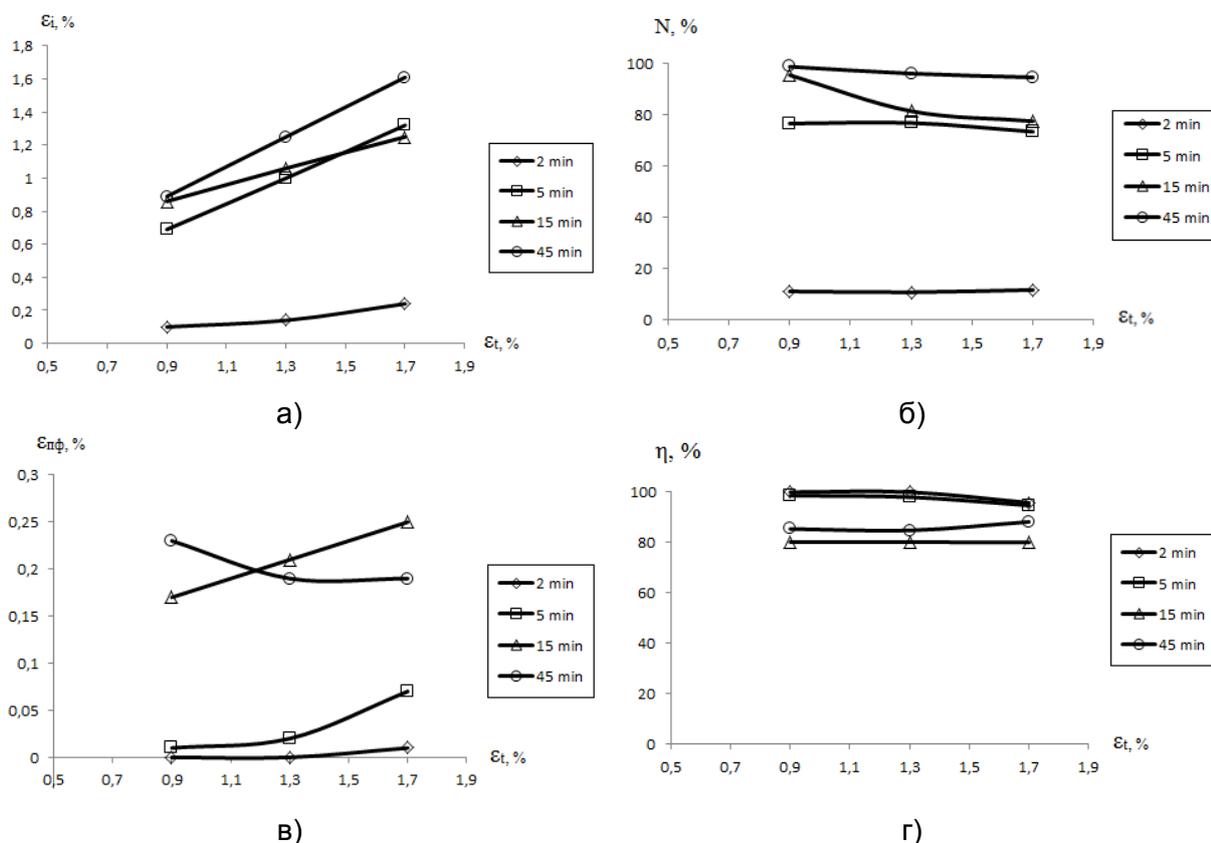


Рисунок 2 - Зависимости параметров формовосстановления TiNi образцов от величины наводимых изгибных деформаций

Для режима осаждения в течение 2 мин эффективность наведения деформации была невысока (от 10 до 12 %) независимо от величины ε_t (рис. 2б). Далее параметр N резко возрастает: 73 ± 77 % для 5 мин, 77 ± 95 % для 15 мин и достигает максимума (от

95 до 97 %) при 45 мин, что свидетельствует о крайне высокой эффективности наведения деформации для данного режима.

Величина $\varepsilon_{пф}$ характеризует способность материала к формовосстановлению после наведения деформации ε_t , а ее распределение для разного времени осаждения представлено на рис. 2в. Наиболее важной характеристикой, оценивающей задание памяти формы при обработке TiNi сплавов, является степень недовозврата: $\eta \rightarrow 100\%$, когда $\varepsilon_d \rightarrow \varepsilon_t$, что означает для материала невозможность «вспомнить» свою первоначальную форму. Близкую к 100 % эффективность запоминаемой деформации продемонстрировали режимы осаждения в течение 2 и 5 мин (рис. 2г), причем с небольшим градиентом в сторону уменьшения по мере роста ε_t . Более длительный цикл ионно-плазменной обработки (от 15 до 45 мин) характеризовался степенью недовозврата η порядка 80÷85 %, что, впрочем, является весьма высоким показателем.

Таким образом, осаждение в течение различного времени покрытий методом вакуумного ионно-плазменного осаждения за счет температурного воздействия позволяет варьировать задаваемую деформацию и параметры формовосстановления конструкции из TiNi сплава. Наиболее оптимальным видится режим осаждения в течение 5 мин, при котором обеспечивается стопроцентное «запоминание» формы с эффективностью наведения деформации 80 %.

Литература

1. Shape memory alloys: Fundamentals, modeling and applications / V. Brailovski, S. Prokoshkin, P. Terriault, F. Trochu. – Montreal: ETS Publ., 2003. – 844 p.
2. Transformation Behavior, Chemical Composition, Surface Topography and Bending Properties of Five Selected 0.016x0.022" NiTi Archwires / M. Es-Souni, H. Fischer-Brandies, N. Kock, K. Raetzke, O. Bock // J Orofac Orthop. – 2003. – Vol.64. – P.88-99.
3. Load–deflection characteristics of superelastic and thermal nickel–titanium wires / E. Gatto, G. Matarese, G. Di Bella, R. Nucera, Ch. Borsellino and G. Cordasco // Eur J Orthod. – 2013. – Vol.35 (1). – P.115-123.
4. Технологические особенности получения сверхэластичных ортодонтических дуг на основе TiNi / В.В. Клубович, С.Н. Милюкина, В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., В.А. Андреев // Материалы, технологии, инструменты. – 2014. – Т.19, №2. – С.62-67.
5. Способ изготовления биоинертного изделия из материала с эффектом памяти формы на основе никелида титана: пат. 19507 Респ. Беларусь, МПК А 61F 2/86, А 61F 2/94 / В.В. Рубаник, В.В. Рубаник мл., Д.А. Багрец, В.Г. Дородейко; заявители: ГНУ «ИТА НАН Беларуси», ЗАО «Медицинское предпр. Симвург». – № а 20130042; опубл. 30.10.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – №5. – С.43.