

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХЭЛАСТИЧНОГО БЕЗНИКЕЛЕВОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Михаил КАПЛАН^{*1}, Елена НАСАКИНА², Дарья НОВИКОВА²,
Сергей КОНУШКИН², Константин СЕРГИЕНКО², Мария СУДАРЧИКОВА²,
Алексей КОЛМАКОВ², Михаил СЕВОСТЬЯНОВ²

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Технологии материалов, Порошковая металлургия и композиционные материалы, Москва, Россия

²Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, Москва, Россия

*Автор корреспонденции: Михаил Каплан, ms.blackova@mail.ru

Аннотация. Исследовательская работа была направлена на изучение проявления сплавами системы Ti-Nb-Zr свойств интеллектуальных материалов. Результаты исследований механических свойств различных составов сплавов системы Ti-Nb-Zr продемонстрировали способность данных материалов к проявлению сверхупругости, запаздывающей реакции на воздействие и низкое значение модуля Юнга.

Ключевые слова: интеллектуальные материалы, модуль Юнга, сплав памяти формы, титановые сплавы.

Введение

Нитинол активно используется в различных областях науки и техники благодаря таким свойствам, как сверхупругость, низкое значение модуля Юнга, запаздывающая реакция на воздействие [1–3]. Наличие выдающихся свойств сплава одновременно вызывает определенные трудности при их обработке традиционными методами, а токсичность содержащегося в высокой концентрации никеля и вероятность коррозионного разрушения материала ограничивают его применимость [4]. В то же время потенциально можно получить сплавы с памятью формы из титановых сплавов с содержанием ниобия, тантала, молибдена 20-40 % с добавлением циркония менее 8 ат. % [5].

Экспериментальная часть

Исследование прочности при растяжении проволок проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 3382 со скоростью растяжения 1 мм/мин. Испытание проволоки с определением относительного удлинения, предела текучести и временного сопротивления проводился по методикам ГОСТ 1497-84. Определялись значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$, предела прочности σ_b , относительное удлинение δ и модуль Юнга E .

Испытывались проволоки трех составов (Ti-25Nb-5Zr, Ti-28Nb-5Zr, Ti-30Nb-5Zr) диаметрами 0,4 мм; 07, мм и 1,2 мм в 6 различных состояниях:

1. после волочения;
2. ультразвук + отжиг 600°C, 20мин, вакуум;
3. отжиг 500°C, 1 ч, вакуум;
4. отжиг 600°C, 1 ч, вакуум;
5. отжиг 700 °C, 1 ч, вакуум;
6. отжиг 800°C, 1 ч, вакуум.

Результаты и обсуждения

На основании полученных данных были сделан вывод, что наилучшие свойства наблюдаются для состава Ti-28Nb-5Zr при диаметре проволоки 1200 мкм. Условный предел текучести на образцах после волочения был в среднем 580 МПа, прочность при растяжении 705 Мпа, модуль Юнга 38 Гпа и относительное удлинение около 2%. Предел прочности сплава после отжига проволоки при 800 °С оказался порядка 840 МПа, предел текучести - 635 Мпа, что сопоставимо или превышает показатели для Ti-6Al-4V, Ti-Nb-Sn или Ti-Nb [6-8].

Выводы

Таким образом, был получен новый функциональный материал, обладающий сверхупругостью, низким значением модуля Юнга и подчиняющийся закону запаздывания при внешнем воздействии. Наилучшими характеристиками обладает сплав Ti-28Nb-5Zr.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-1820.2020.8.

Ссылки на литературу

1. ÖZKUL, İ., KURGUN, M.A., KALAY, E. et al. Shape memory alloys phenomena: classification of the shape memory alloys production techniques and application fields. In: *The European Physical Journal Plus*, 2019, 134(585). Disponibil: <https://doi.org/10.1140/epjp/i2019-12925-2>.
2. PELTON, A.R., HUANG, G.H., MOINE, P., SINCLAIR, R. Effects of thermal cycling on microstructure and properties in nitinol. In: *Materials Science and Engineering*, 2012, 532. pp.130–138.
3. SPAGGIARI, A., CASTAGNETTI, D., GOLINELLI, N., DRAGONI, E., SCIRÈ MAMMANO, G. Smart materials: Properties, design and mechatronic applications. In: *Journal of Materials: Design and Applications*, 2019, 233. pp.734-762.
4. CHAUDHARI, R., VORA, J.J., PATEL, V., DE LACALLE, L.L.N., PARIKH, D.M., Surface analysis of wire-electrical-discharge-machining-processed shape-memory alloys. In: *Materials*, 2020, 13. pp.1-3.
5. NASAKINA, E.O., SUDARCHIKOVA, M.A., SERGIENKO, K.V., KONUSHKIN, S.V., SEVOST'YANOV, M.A. Ion Release and Surface Characterization of Nanostructured Nitinol during Long-Term Testing. In: *Nanomaterials*, 2019, 9. pp.1-24.
6. ZHAO, X.; ZHANG, J.; SONG, X.; GUO, W. Investigation on mechanical properties of laser welded joints for Ti-6Al-4V titanium alloy. In: *Materials Science and Technology*, 2013, 29, pp.1405–1413.
7. CHENG, X., LIU, S., CHEN, C., CHEN, W., LIU, M., LI, R., ZHANG, X.-Y., ZHOU, K. Microstructure and mechanical properties of additive manufactured porous Ti-33Nb-4Sn scaffolds for orthopaedic applications. In: *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 2019, 30 (91). Disponibil: <https://doi.org/10.1007/s10856-019-6292-0>
8. BARKARMO, S., ÖSTBERG, A.-K., JOHANSSON, C.B., FRANCO-TABARES, S., JOHANSSON, P.H., DAHLGREN, U., STENPORT, V. Inflammatory cytokine release from human peripheral blood mononuclear cells exposed to polyetheretherketone and titanium-6 aluminum-4 vanadium in vitro. In: *Journal of Biomaterials Applications*, 2018, 33, pp. 245–258.