УДК 53.097

И. А. Комиссарова[1, 2 *], К. А. Осинцев[1], С. В. Коновалов[1], С. В. Воронин[1], М. А. Епифанцев[1], Ю. В. Никитина[1]

[1] Самарский национальный исследовательский университет, г. Самара
[2] Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

[*] *i.r.i.ss@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА

В работе исследовано влияние электрического потенциала на механические свойства технически чистого титана марки ВТ1–0. Установлено, что в интервале от 0 до 0,1 В микротвердость увеличивается до 11 % по сравнению с исходным состоянием. Модуль упругости достигает максимального значения при 1 В, превышающего в ≈3 раза значение в исходном состоянии.

Ключевые слова: электрический потенциал, микротвердость, модуль упругости, титан, механические свойства

I. A. Komissarova, K. A. Osintsev, S. V. Konovalov, S. V. Voronin, M. A. Epifantsev, Yu. V. Nikitina

INFLUENCE OF ELECTRICAL POTENTIAL ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMMERCIALLY PURE TITANIUM

The influence of the electric potential on the mechanical properties of commercially pure titanium was studied. At the range from 0 to 0.1 V microhardness increases to 11 %, compared with the initial state. The elastic modulus reaches a maximum value at 1 V, exceeding ≈3 times the initial value.

Key words: electric potential, microhardness, elastic modulus, titanium, mechanical properties

Электрическое поле, токи и потенциалы различной величины, воздействуя на металл как при процессах термической обработки [1], так и при комнатной температуре [2], способны изменять его структуру и пластические свойства. Электрический потенциал, создаваемый как источниками питания постоянного тока, так и при подсоединении двух разнородных металлов друг к другу, способен изменять их микротвердость, скорость ползучести, а также остаточное напряжение и дислокационную субструктуру [3–6].

Таким образом, воздействие электрическими потенциалами и токами приводит к изменению физических и механических свойств, однако это влияние изучено на ограниченном количестве материалов. В связи с этим целью работы является исследование влияния электрического потенциала на механические свойства ранее не изученного технически чистого титана.

Для исследования был выбран технически чистый титан марки ВТ1–0, имеющий следующий химический состав: C, 0,07 %, Fe, 0,3 %, Si, 0,1 %, O, 0,2 %, N, 0,04 %, H, 0,01 %, Ti — остальное. Образцы были вырезаны из листа титана по следующим размерам 50×10×5 мм. Поверхность образцов была приготовлена с помощью шлифования на шлифовальной бумаге различной зернистости и полировкой.

Для создания электрического контакта образец приклеивался проводящим клеем “Kontaktol” с удельным сопротивлением $\rho = 1{,}5$ Ом×мм^2 к одностороннему фольгированному медью **сте**клотекстолиту FR4. Стеклотекстолитовая подложка была соединена с источником питания медным экранированным проводом диаметром 2,5 мм и длиной 1 м и служила изолирующим от предметного столика микротвердомера материалом. Соединение медного провода со стеклотекстолитовой подложкой было произведено пайкой.

В качестве механических свойств в работе были исследованы микротвердость и модуль упругости. Микротвердость измерялась с помощью микротвердомера HV-1000 с алмазной пирамидкой, квадратным основанием и углом при вершине 136°. Величина нагрузки на индентор составляла 0,1 Н, время нагрузки — 10 с. Для подачи электрического потенциала образцы подключались к положительному полюсу программируемого источника питания Rigol DP811, второй полюс источника заземлялся. Измерения микротвердости проводились в интервале от 0 до 1 В с шагом 0,05 В. Эта же схема подключения применялась при измерении модуля упругости. Модуль упругости титана ВТ1–0 в был исследован с помощью Наноскана 3D, измерения производились в интервале от 0 до 1 В с шагом 0,1 В.

В результате исследований микротвердости было установлено, что значение микротвердости без воздействия электрическим потенциалом равно 180,28 ± 5,24 HV. С приложением электрического потенциала 0,01 В микротвердость незначительно увеличилась и стала равна 183,51 ± 3,09 HV. Дальнейшее увеличение значения подключаемого электрического потенциала привело к росту микротвердости до значения 195,78 ± 3,51 HV при подключении электрического потенциала 0,55 В. От 0,55 до 0,75 В наблюдается уменьшение микротвердости до минимального на данном отрезке значении 186,9 ± 2,90 HV. Затем при 0,8 В и 0,85 В микротвердость вновь возросла до ≈196 HV. При 0,9 В уменьшилась до 190,13 ± 2,31 HV и увеличилась до 202,21 ± 5 HV при 1 В. Исходя из полученных результатов можно заключить, что электрический потенциал незначительно повышает поверхностное сопротивление внедрению до ≈11 %. Результаты измерения модуля упругости показали, что исходное значение модуля упругости равно 109,85 ± 8 ГПа, что соответствует значению модуля упругости титана из справочной литературы (104 ГПа) [7]. Подключение электрического потенциала различной величины вызывает монотонное увеличение модуля упругости, достигающего максимального значения при 1 В, равного 329,09 ± 30 ГПа, что в ≈3 раза больше исходного модуля упругости.

Таким образом, подключение электрического потенциала к образцам технического титана приводит к изменению его механических свойств.

Исследование выполнено по гранте при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19–32–50036.

Литература

1. On the electrostatic potential assisted nucleation and growth of precipitates in Al-Cu alloy / S. Fu [et al.] // Scr. Mater. Acta Materialia Inc. 2018. Vol. 150. P. 13–17.

2. Rahnama A., Qin R. Room temperature texturing of austenite / ferrite steel by electropulsing // Sci. Rep. Nature Publishing Group. 2017. Vol. 7. P. 1–6.

3. On the effect of electric potential on resistance of metals' surface to microindentation / V. I. Danilov [и др.] // J. Surf. Investig. 2010. Vol. 4, № 1. P. 157–161.

4. Change in Plasticity of Copper under Weak Electrical Potentials / K. Sergey [et al.] // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2019. Vol. 472, № 1. P. 012011.

5. Dislocation substructure evolution on Al creep under the action of the weak electric potential / V. E. Gromov [et al.] // Mater. Sci. Eng. A. 2010. Vol. 527, № 3. P. 858–861.

6. Effect of the electric potential of the aluminum surface on stress relaxation / S. A. Nevskii [et al.] // Tech. Phys. 2011. Vol. 56, № 6. P. 877–880.

7. Titanium alloys in total joint replacement — A materials science perspective / M. Long [et al.] // Biomaterials. 1998. Vol. 19, № 18. P. 1621–1639.