

**ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

О.С. Стаскевич<sup>1</sup>, Д.В. Орлова<sup>2,3</sup>, В.И.Данилов<sup>2</sup>

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Д.В. Орлова

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [Solessya92@inbox.ru](mailto:Solessya92@inbox.ru)

**THE EFFECT OF ELECTRIC POTENTIAL ON MATERIAL MICROHARDNESS**

O.S. Staskevich<sup>1</sup>, D.V.Orlova<sup>2,3</sup>, V.I. Danilov<sup>2</sup>

Scientific Supervisor: Junior Researcher .D.V.Orlova

<sup>1</sup>National research Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Academichesky Ave., 2/4, 634021

<sup>3</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [Solessya92@inbox.ru](mailto:Solessya92@inbox.ru)

***Annotation.** The effect of electric potential ( $< 5$  V) on the microhardness of metallic materials has been investigated. The reversal of microhardness sign is found to occur in a metal depending on its Hall constant, i.e. polarity of conductivity. Thus aluminum, cobalt and zinc possessing n-type conductivity have Hall constants of negative sign, while zirconium and Fe-3%Si alloy possessing p-type conductivity have Hall constants of positive sign. It is found that due to the action of electric potential, the microhardness of the former group of metals will decrease, while the microhardness of the latter group of metals will increase. It is likely that the extent of change in the microhardness of a metal under the action of electric field is determined by the magnitude of applied potential, the absolute value of its Hall constant as well as its physicochemical properties.*

В настоящее время рядом авторов было обнаружено изменение микротвердости при воздействии электрического потенциала, объясняемое образованием двойного электрического слоя на поверхности исследуемого металла и соответственным изменением плотности поверхностной энергии [1-3]. В работах [2, 3] было сделано предположение, что интенсивность и знак изменений микротвердости определяются величиной и знаком константы Холла, то есть, типом проводимости металла. До сих пор на широком круге материалов это предположение не протестировано. Целью данной работы является исследование изменения микротвердости металлов с различным значением константы Холла при воздействии малых ( $\leq 5$  В) электрических потенциалов.

Для достижения поставленной цели исследования проводили на образцах технически чистого алюминия марки А85, цирконий-ниобиевого сплава Э110, кремнистого железа Fe+3%Si, химически чистого электролитического кобальта и химически чистого цинка. В цинке, как и в работе [4], измерения

производились на плоскости (0001) монокристалла. Микротвердость измеряли стандартным способом с помощью микротвердомера ПМТ-3М [5]. Величина нагрузки на индентор выбиралась оптимальной для исследуемого металла. Для подачи электрического потенциала образцы подключали к одному из полюсов регулируемого стабилизированного источника напряжения, по схеме аналогичной в работе [4].

Ранее в работах [2, 3] было установлено, что наблюдаемый эффект не зависит от знака электрического потенциала, поэтому в настоящей работе измерения микротвердости производилось при положительных значениях в интервале от 0 до 5 В и более подробно в интервале от 0 до 0,1 В.

Исходные значения микротвердости исследуемых материалов различаются более чем на порядок. Поэтому для адекватного сравнения результатов, полученных на разных металлах удобно использовать безразмерное соотношение

$$Q = \frac{\bar{H}_E - \bar{H}_0}{\bar{H}_0}, \quad (1)$$

где  $\bar{H}_0$  – среднее значение микротвердости образца без электрического воздействия (начальное), а  $\bar{H}_E$  – среднее значение микротвердости при заданном значении наложенного на образец электрического потенциала.

На рис.1 и 2 показана зависимость относительного изменения микротвердости от величины приложенного электрического потенциала в образцах Co, Al, Zn, Zr, Fe-3%Si. Анализируя представленные зависимости видно, что они качественно подобны. Существенные изменения наблюдаются в интервале 0...0,1 В, а при дальнейшем увеличении абсолютной величины потенциала микротвердость практически не меняется. Причем, при действии электрического потенциала микротвердость циркония и железа возрастает, а алюминия, кобальта и монокристаллического цинка, напротив, снижается. Минимальные изменения микротвердости при воздействии потенциала от 0...0,1 В на 8 % зафиксированы в цинке, а максимальные на 25 % – в кобальте.

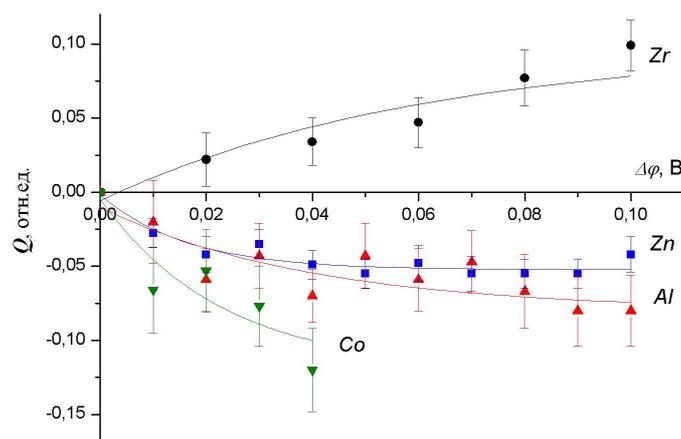


Рис.1. Зависимость относительного изменения микротвердости от электрического потенциала в образцах из Co, Al, Zn, Zr. Интервал изменения потенциала 0...0,1 В

Возможно, указанное различие может быть связано с тем обстоятельством, что механизмы проводимости в этих металлах различны. На это указывает в частности, разный знак постоянной Холла  $R$  в выражении для эдс Холла  $E_H = R \cdot jB$ , где  $B$  – индукция магнитного поля, а  $j$  – плотность тока. У алюминия ( $R_{Al} = -3,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{А} \cdot \text{с}$ ), кобальта ( $R_{Co} = -8,4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{А} \cdot \text{с}$ ) и монокристалла цинка в направлении

параллельном плоскости (0001) ( $R_{Zn} = -4 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{А} \cdot \text{с}$ ) константа Холла отрицательная (электронный тип проводимости), а у циркония ( $R_{Zr} = 15 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{А} \cdot \text{с}$ ) и железа ( $R = 0,5 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{А} \cdot \text{с}$ ) – положительная (дырочный тип) [7]. По абсолютной величине постоянная Холла максимальна у кобальта, в котором и наблюдается наибольший эффект.

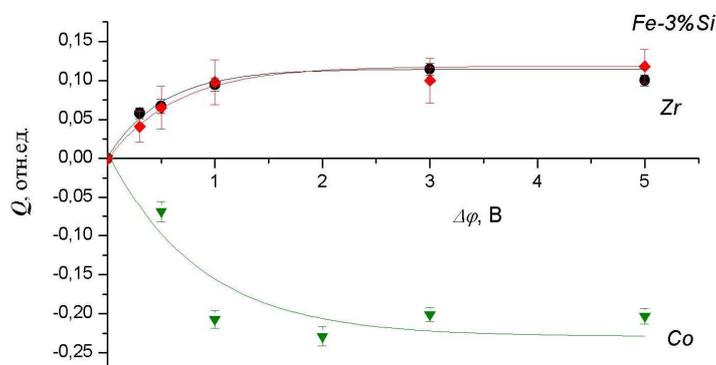


Рис.2. Зависимость относительного изменения микротвердости от электрического потенциала в образцах Co, Zr, Fe-3%Si. Интервал изменения потенциала 0...5 В

На основании представленных экспериментальных результатов установлено, что знак изменений микротвердости определяются знаком константы Холла, то есть, типом проводимости металла. У алюминия, кобальта и цинка, где константа Холла отрицательная (электронный тип проводимости), наблюдается снижение микротвердости при наложении электрического потенциала. У циркония и железа, имеющих положительные константы Холла (дырочный тип проводимости) при наложении электрического потенциала происходит возрастание микротвердости. Степень изменения микротвердости под воздействием электрического поля зависит, на наш взгляд, от абсолютной величины приложенного потенциала, абсолютного значения константы Холла металла и от его физико-химических свойств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Венстрем Е. К., Ребиндер П. А. Электрокапиллярный эффект облегчения деформаций растяжения металлов // Журн. физ. химии. – 1952. – Т. 26. – № 12. – С. 1847 – 1852.
2. Зуев Л. Б., Данилов В.И., Филиппев Р.А., Котова Н.В. О вариациях механических характеристик металлов при действии электрического потенциала // Металлы. – 2010. – № 4. – С. 39 – 45.
3. Данилов В.И., Зуев Л.Б., Коновалов С.В., Филиппев Р.А., Семухин Б.С. О влиянии электрического потенциала на сопротивление микроиндентированию поверхности металлов // Поверхность. – 2010. – № 2. – С. 85 – 89.
4. Орлова Д. В., Данилов В. И., Зуев Л. Б. Характер изменения микротвердости плоскости (0001) монокристаллов Zn под действием электростатического поля и возможная причина этого эффекта // ФТТ. – 2013. – Т55. – вып. 2. – С. 313 – 317.
5. Боярская Ю. С. Деформирование кристаллов при испытаниях на микротвердость. – Кишинев: Штиинца. – 1972. – 235 с.
6. Физические величины. Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.