

УДК 539.12.04

МИКРОТВЕРДОСТЬ БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ БрБ2, ОБЛУЧЕННОЙ ИОНАМИ УГЛЕРОДА СРЕДНИХ ЭНЕРГИЙ

Поляк Н.И.¹, Шарипов Ш.Д.¹, Шалыга А.В.¹, Анищик В.М.¹, Лигачев А.Е.², Понарядов В.В.¹

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Институт общей физики имени А.М. Прохорова РАН
Москва, Российская Федерация

Аннотация. Изучено влияние облучения ионами C^+ с энергией $E = 250$ кэВ ($J = 25 \pm 5, 65 \pm 5$ и 105 ± 15 А/см²) единичным импульсом на изменение микротвердости сплава БрБ2 на разных стадиях старения. Наблюдаемые изменения микротвердости сплава связаны с исходным состоянием и структурно-фазовыми превращениями при облучении.

Ключевые слова: дисперсионно твердеющие сплавы, бериллиевая бронза БрБ2, термическая обработка, облучение, микротвердость по Виккерсу.

MICROHARDNESS OF BERYLLIUM BRONZE BrB2 IRRADIATED WITH MEDIUM-ENERGY CARBON IONS

Poliak N.¹, Sharipov S.¹, Shalyga A.¹, Anishchik V.¹, Ligachev A.², Ponariadov V.¹

¹Belarusian State University
Minsk, Republic of Belarus

²A.M. Prokhorov General Physics Institute RAS
Moscow, Russian Federation

Abstract. The effect of irradiation with C^+ ions with energy $E = 250$ keV ($J = 25 \pm 5, 65 \pm 5$ and 105 ± 15 A/cm²) by a single pulse on the change in the microhardness of the BrB2 alloy at different stages of aging was studied. The observed changes in the microhardness of the alloy are associated with the initial state and structural-phase transformations during irradiation.

Key words: dispersion hardening alloys, beryllium bronze BrB2, heat treatment, irradiation, Vickers microhardness.

Адрес для переписки: Поляк Н.И., пр. Независимости, 4, Минск 220030, Республика Беларусь
e-mail: n.poliak@mail.ru

Одним из путей повышения надежности материалов и изделий для приборостроения является модификация их свойств пучками заряженных частиц.

Бериллиевые бронзы используются в пружинных контактах, переключателях, соединителях, в оптико-волоконной продукции, гнездовых разъемах для соединения интегральных схем с печатной платой. Не смотря на относительную дороговизну бериллиевых бронз, их применение оправдано, когда требуются высокие технологические характеристики изделий. Наиболее применяемым сплавом системы Cu-Be является сплав БрБ2, содержащий около 2 % Be, обладающий в закаленном состоянии хорошей пластичностью и технологичностью, повышенными механическими свойствами в состаренном состоянии [1].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния облучения ионами C^+ на микротвердость бериллиевой бронзы БрБ2, находящейся на разных стадиях старения.

Методика эксперимента. В качестве объекта исследования использовался сплав БрБ2 следующего состава (вес. %): Be – (1,8–2,2), Ni < 0,5, остальное – Cu. Закалка проводилась путем выдержки образцов при температуре $T = 1053$ К в течение 20 минут и последующем их охлаждении в воду со льдом. С целью получения различных

структурно-фазовых состояний образцы искусственно состаривались при $T = 623$ К в течение $\tau = 0,17; 0,5; 1; 2$ и 5 ч.

Облучение ионами C^+ с энергией $E = 250$ кэВ осуществлялось на установке ТЕМП-4 при различных плотностях тока ($J = 25 \pm 5, 65 \pm 5$ и 105 ± 15 А/см²) единичным импульсом длительностью ≈ 100 нс. Проекционный пробег ионов в исследуемой мишени (оценивался с помощью программы SRIM) составил 0,3 мкм.

Микротвердость образцов H_u по Виккерсу измерялась на микротвердомере DHV-1000 при различных нагрузках P на индентор ($P = 0,098–2,94$ Н), при этом они подбирались в зависимости от условий старения так, чтобы анализируемые слои находились на одинаковой глубине h . Время выдержки под нагрузкой составило 10 с.

Основные результаты и их обсуждение. Бериллиевые бронзы являются стареющими сплавами благодаря существенному уменьшению растворимости бериллия в меди при снижении температуры, поэтому к ним применима термическая обработка. На рис. 1 приведена кривая старения сплава БрБ2 при температуре $T = 1053$ К, построенная на основании анализа глубинных зависимостей его микротвердости при различных временах отжига.

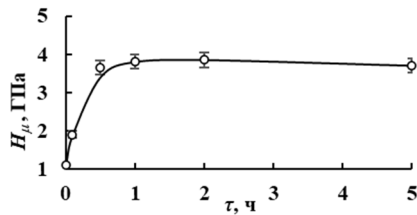


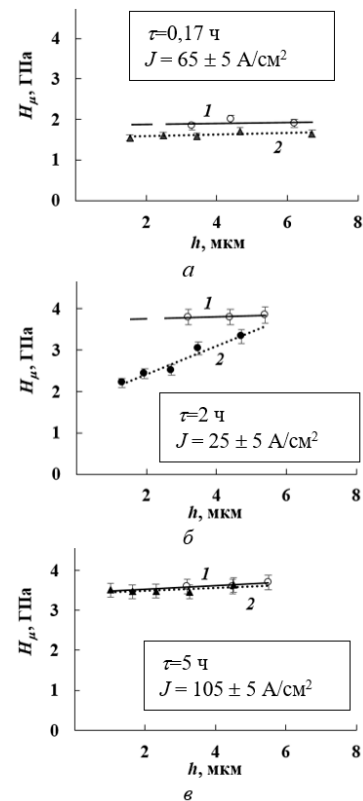
Рисунок 1 – Кинетика старения сплава БрБ2 при $T = 623 \text{ K}$

Начальный рост H_{μ} сплава, состаренного в течение $\tau = 0,17 \text{ ч}$, по сравнению с закаленным ($H_{\mu}^{\text{зак}} = 1,1 \text{ ГПа}$) составил 73 % и обусловлено диффузией атомов Ве с образованием зон Гинье-Престона [2]. После старения в течение $\tau = 0,5; 1$ и 2 ч наблюдается последующий рост H_{μ} (на 250 %) и достигается максимальное значение, что может быть вызвано последовательным образованием включений γ'' -и γ' -фаз. Таким образом, основная часть процесса старения протекает в интервале $0,17-1 \text{ ч}$. При дальнейшем отжиге (до 5 ч) микротвердость сплава практически не изменяется (в пределах погрешности измерений), что может быть связано с ростом γ' -фазы и образованием γ -фазы.

Известно, что микротвердость стареющих сплавов (в частности, бериллиевых бронз) определяется типом связи выделений с матрицей, которая может быть когерентной (зоны Гинье-Престона), полукogerентной (γ'' -и γ' -фазы) и некогерентной (γ -фаза), их объемной долей, степенью дисперсности [2, 3]. Эволюция структурно-фазовых превращений, протекающая в стареющих сплавах при воздействии заряженных частиц, обуславливает изменение их свойств [4, 5]. В зависимости от режимов облучения может иметь место как упрочнение, так и разупрочнение сплава [4].

Для выявления стабильности структурно-фазового состояния сплава БрБ2 при облучении выбраны образцы, состаренные в течение $0,17; 2$ и 5 ч , т. е. находящиеся на разных стадиях старения и отличающиеся типом связи образующихся частиц с матрицей сплава. Результаты измерений микротвердости до и после облучения приведены на рис. 2. Обнаружено, что микротвердость образцов, содержащих когерентные и полукogerентные включения (рис. 2, а и б), уменьшается, причем более сильно при меньшей плотности тока и их структурно-фазовое состояние менее стабильно под облучением, а микротвердость образца, содержащего полукogerентные и некогерентные включения, напротив, не меняется, т. е. его структурно-фазовое состояние стабильно (рис. 2, в).

Следовательно, наблюдаемое изменение микротвердости сплава БрБ2 при облучении обусловлено типом связи упрочняющих частиц с матрицей сплава, и соответственно, вызываемым ими уровнем напряжений на границе матрица-выделение.



1 – исходные образцы; 2 – облученные

Рисунок 2 – Глубинные зависимости микротвердости сплава БрБ2 после старения при $T = 623 \text{ K}$

Литература

1. Мысик, Р. К. Литье и обработка бронз со специальными свойствами / Р. К. Мысик, Ю. Н. Логинов, А. В. Сулицин. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 312 с.
2. Чуистов, К. В. Старение металлических сплавов / К. В. Чуистов. – Киев : Академперіодика, 2003. – 568 с.
3. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов: учебник для вузов / И. И. Новиков. – М.: Металлургия, 1986. – 480 с.
4. Effect of High Energy Ion Implantation on the Structure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys / V. M. Anishchik [et al.] // Acta Physica Polonica A. – 2017. – Vol. 132, № 2. – P. 291–294.
5. Structural Evolution of Copper Alloys under High Power Ion Beam Irradiation / T. V. Panova [et al.] // Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques. – 2014. – Vol. 8, № 2. – P. 243–246.