

ПРОЧНОСТНЫЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ, ИМПЛАНТИРОВАННОЙ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ СТАРЕНИЯ ИОНАМИ КРИПТОНА С ЭНЕРГИЕЙ 245 МэВ

Н.И. Поляк¹⁾, П. Будзинский²⁾, В.М.Анищук¹⁾, С.И.Жукова¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Ф. Скорины, 4, 220050, Минск
тел.: +375 17-209-54-80, e-mail: poliak@bsu.by

²⁾Люблинский технический университет, Люблин, Польша

В работе исследовано изменение микротвердости и коэффициента трения бериллиевой бронзы БрБ2, имплантированной на разных стадиях старения ионами криптона с энергией 245 МэВ в интервале доз $10^{13} \dots 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Показано, что характер влияния имплантации на изменение микротвердости сплавов определяется их исходным структурно-фазовым состоянием. Коэффициент трения в сплавах с зонной стадией старения после имплантации не изменяется. Для сплавов, находящихся на стадии фазового старения, изменение коэффициента трения хорошо коррелирует с изменением их микротвердости.

Введение

Стареющие бериллиевые бронзы, обладая высокими прочностными свойствами, износоустойчивостью и коррозионной стойкостью, широко применяются в случаях, требующих структурно-фазовой стабильности этих сплавов. Высокоэнергетическая ионная имплантация (ВЭИИ), в отличие от традиционных методов легирования сплавов, позволяет управлять поверхностно-чувствительными свойствами материалов на достаточно больших глубинах (до 100 мкм и более) [1] и изменять их в нужном направлении. В связи с этим целью настоящей работы является исследование изменения микротвердости и коэффициента трения сплавов Cu-2%Be, имплантированных высокоэнергетическими ионами в различных структурно-фазовых состояниях.

Основная часть

Закаленные от $T=1053 \text{ К}$ образцы подвергались зонному старению при $T=473 \text{ К}$, 1 час (серия 1) и фазовому старению при $T=623 \text{ К}$, 1 час (серия 2). Выбор температуры и продолжительности старения бериллиевой бронзы обусловлен различной природой сопряженности выделений с твердым раствором и, как следствие этого, различием в прочностных свойствах.

Имплантация ионов Kr^+ с энергией 245 МэВ при $T=300 \text{ К}$ в сплавы проводилась до доз 10^{13} (Д1), $5 \cdot 10^{13}$ (Д2) и 10^{14} (Д3) см^{-2} . Пробег ионов Kr^+ в медной мишени, согласно расчетам по программе TRIM, составил 13 мкм. Микротвердость по Виккерсу измерялась в диапазоне глубин $h=2-6 \text{ мкм}$, при этом нагрузка на индентор для сплавов серии 1 составляла 0,3; 0,5; 0,7; 1 Н, а для серии 2 - 0,5; 0,7; 1; 1,5 Н. Измерение коэффициента трения осуществлялось без смазки по методу «pin-on-disk». Нагрузка на сферический индентор (диаметр сферы-0,5 мм, материал-карбид вольфрама) составляла 0,3 Н.

Для исследуемых сплавов наблюдается различный ход изменения микротвердости при ВЭИИ (рис. 1). В сплавах с зонной стадией старения микротвердость после имплантации Д1 уменьшается, затем достигает исходного

значения (Д2) и после Д3 превышает его. В сплавах с метастабильными промежуточными выделениями при имплантации Д2 микротвердость растет, а после уменьшается до значений, соответствующих Д1 (табл.). Аналогичные эффекты изменения механических свойств сплавов алюминия наблюдали в [2, 3].

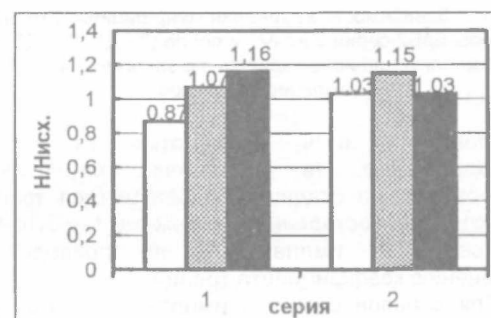


Рис. 1. Относительное изменение микротвердости сплавов серий 1 и 2, имплантированных ионами криптона ($E=245 \text{ МэВ}$) (□ - Д1, ▨ - Д2, ■ - Д3)

Для сплавов серии 1 изменение микротвердости после имплантации исследовалось в работе [4]. В исходном состоянии причиной упрочнения являются поля упругих напряжений вокруг зон Гинье-Престона (зоны Г-П). Их наличие обуславливает увеличение микротвердости в исходном состоянии по отношению к закаленному ($H_{\text{зак}}=1,0 \text{ ГПа}$). Рентгеноанализ тонкой структуры сплавов показал, что уменьшение микротвердости при имплантации Д1 обусловлено растворением зон Г-П и снятием создаваемых ими напряжений в решетке матрицы. Последующий рост микротвердости связан с радиационно-стимулированными процессами старения, приводящим к образованию в пересыщенном атомами бериллия α -твердом растворе новых дисперсных зон Г-П.

Исходное структурно-фазовое состояние сплавов серии 2 соответствует наличию периодически расположенной γ' -фазы в α -матрице (модулированная структура) [5, 6]. Сплавы находятся на стадии неполного упрочнения (восходящая ветвь на кривой

старения). Повышение микротвердости данных сплавов после имплантации Д2 возможно обусловлено радиационно-стимулированным достариванием сплава с выделением γ' -фазы, и, вероятно, уменьшением периода ее модуляции. Уменьшение микротвердости после Д3 является результатом укрупнения выделений и частичной потери модуляции (переход в более стабильное состояние).

Трибологические исследования показали (рис. 2, табл.), что для всех сплавов после

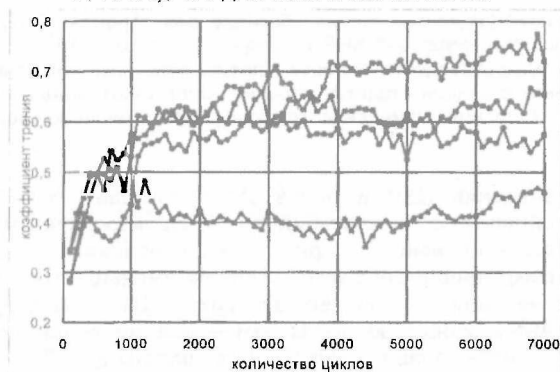


Рис. 2. Зависимость изменения коэффициента трения бронзы БрБ2 серии 2 до (○) и после (■ - Д1, ▲ - Д2, ● - Д3) имплантации ионов криптона с энергией 245 МэВ от количества циклов

имплантации путь приработки изменяется несущественно (в пределах погрешности измерений). На стадии установившегося трения для сплавов, состаренных по режиму 1, в отличие от серии 2, имплантация не приводит к изменению коэффициента трения.

Для сплавов серии 2, имплантированных до доз Д1 и Д2, коэффициент трения значительно уменьшается и при Д2 эффект составляет 42 %. При последующем увеличении дозы коэффициент трения возрастает, но его значение остается меньше исходного в 1,3 раза. Таким

Таблица
Микротвердость (Н, ГПа) и коэффициент трения (μ)
бронзы БрБ2, имплантированной ионами
Kr⁺ (E=245 МэВ)

	Серия	Исх.	Д1	Д2	Д3
Н	1	1,61	1,38	1,73	1,86
	2	3,59	3,71	4,13	3,70
μ	1	0,52	0,58	0,59	0,51
	2	0,73	0,62	0,42	0,58

образом, для сплавов серии 2 наблюдается хорошая корреляция между изменением их механических свойств — увеличением микротвердости приводит к уменьшению коэффициента трения.

Заключение

Изменения прочностных и трибологических свойств бериллиевой бронзы, имплантированной ионами криптона с энергией 245 МэВ, обусловлены структурно-фазовыми превращениями в ионно-модифицированном слое и определяются исходным структурно-фазовым состоянием сплавов. Для детального выяснения механизмов влияния ВЭИИ на прочностные и трибологические свойства бериллиевой бронзы необходимо проведение электронно-микроскопических исследований приповерхностных слоев.

Список литературы

1. Комаров Ф.Ф. // Изв. ВУЗов.-1994. - Т. 37. - № 5. - С. 23.
2. Anishchik V.M., Zhukova S.I. et al. // Plasma physics and plasma technology, Minsk, September 18-22, 2000. -P.413.
3. Анищик В.М., Жукова С.И., Поляк Н.И. // ФХОМ.-1999. - № 6. - С. 9.
4. Анищик В.М., Жукова С.И., Поляк Н.И. и др. // ФХОМ (в печати).
5. Чуистов К.В. Старение металлических сплавов Киев: Наукова думка, 1985. - 230 с.
6. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. М.: МИСИС, 1999. - 416 с.

STRENGTH AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF BERYLLIUM BRONZE IMPLANTED WITH 245 MeV KRYPTON IONS AT DIFFERENT AGING STAGES

N.I. Poliak¹, P. Budzynski², V.M. Anishchik¹, S.I. Zhukova¹

¹The Belorussian State University, Fr. Scoryna Ave. 4, 220050, Minsk, phone: +375 17-209-54-80, e-mail: poliak@bsu.by.

²Lublin University of Technology, Lublin, Poland

In this paper the change in the microhardness and friction coefficient of beryllium bronze, implanted with 245 MeV Kr⁺ ions in the dose interval of $10^3 \dots 10^{14}$ cm² at different aging stages is studied. It is shown that the effect of implantation on microhardness changes structure and phase composition. The friction coefficient in alloys at a zone aging stage doesn't change after implantation. For alloys at a phase aging stage the change in the friction coefficient correlates quite well with the change in their microhardness.