

СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕДИ, ЛЕГИРОВАННОГО АТОМАМИ ХРОМА

Н. Н. Черенда¹, А. П. Ласковнев², А. В. Басалай², В. В. Углов¹,
В. М. Асташинский³, А. М. Кузьмицкий³

¹Белорусский государственный университет,
220030, Беларусь, Минск, пр. Независимости 4, cherenda@bsu.by

²ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»
220141, Беларусь, Минск, ул. Купревича 10, anna.basalay@mail.ru

³Институт тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова НАН Беларуси
220072, Беларусь, Минск, ул. П. Бровки 15, ast@hmti.ac.by

Показано, что воздействие компрессионных плазменных потоков на систему «покрытие хром-медь» позволяет синтезировать в поверхностном слое меди сплавы Cu-Cr с варьируемым содержанием легирующего элемента.

Хром используется как легирующий элемент в сплавах меди, обеспечивая необходимое сочетание характеристик прочности и электропроводности [1]. Однако, из-за малой растворимости этого элемента (0.76 ат. % при 1070°C [2]) сплавы Cu-Cr, как правило, получают методами закалки из расплава. В этом направлении перспективным способом для формирования поверхностных легированных слоев является обработка концентрированными потоками высокоэнергетических частиц материала с предварительно осажденным на его поверхность покрытием легирующего элемента [3]. В результате такого воздействия происходит плавление материалов покрытия и подложки, их жидкофазное перемешивание в расплаве и сверхбыстрое охлаждение, что дает возможность сформировать различные сплавы в поверхностном слое. Целью настоящей работы являлось исследование структуры и фазового состава поверхностного слоя меди, легированного атомами хрома под действием компрессионных плазменных потоков (КПП).

Объектом исследования являлись образцы меди марки М1 с покрытием хрома, нанесенным методом вакуумного катодно-дугового осаждения (толщина покрытия ~ 2 мкм). Обработка КПП (1–6 импульсов) осуществлялась в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре компактной геометрии в атмосфере азота [3]. Длительность разряда ~ 100 мкс. Значение плотности энергии, поглощенной поверхностью, составляло 23 Дж/см² за импульс при расстоянии от образца до среза катода 8 см.

Фазовый состав исследовался методом рентгеноструктурного анализа с помощью дифрактометра общего назначения ДРОН-3 с фокусировкой по Брэггу-Брентано в CuK α -излучении. Полусная плотность дифракционных линий рассчитывалась

по методу Харриса. Морфология поверхности и поперечного сечения образцов изучались с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) и оптической микроскопии (ОМ) на микроскопах LEO1455VP и МИКРО – 200. Элементный состав определялся рентгеноспектральным микроанализом (РСМА) детектором Roentec, сопряженным с растровым электронным микроскопом.

При воздействии КПП на систему в поверхностном слое происходит формирование механической смеси компонент (рис. 1). С увеличением количества импульсов наблюдается уменьшение интенсивности дифракционных линий хрома, что согласуется с данными РСМА. Концентрация хрома в поверхностном слое (глубина анализа ~ 1 мкм) монотонно уменьшается от 7.9 ат. % (1 импульс), до 3.5 ат. % (3 импульса) и 2.6 ат. % (6 импульсов). Смещение дифракционных линий меди в область меньших углов свидетельствует о формировании твердого раствора Cu(Cr). В результате взаимодействия легирующего элемента с плазмообразующим газом происходит формирование нитрида хрома Cr₂N (рис. 2). Анализ морфологии поверхности показал формирование зерен размером порядка 10 мкм (рис. 3, а), внутри которых наблюдаются глобулярные преципитаты размером до 200 нм (вкладка на рис. 3, а). Данные преципитаты предварительно могут быть связаны с выделениями хрома в эвтектике. На фотографии структуры поперечного сечения виден слой закристаллизовавшегося расплава толщиной ~ 35 мкм, содержащий столбчатые кристаллы меди, ориентированные перпендикулярно поверхности (рис. 3, б). Анализ полюсной плотности дифракционных линий меди (таблица), показывает, что с увеличением количества импульсов наблюдается рост полюсной плотности линии (100).

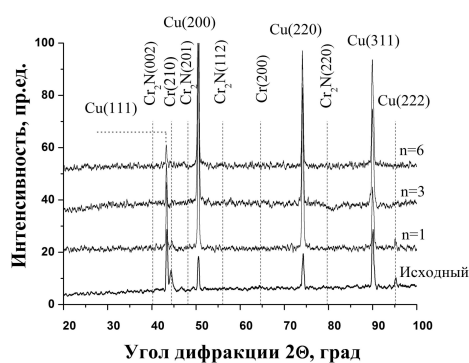


Рис. 1. Участки дифрактограмм образцов системы «хром-медь» до — и после воздействия КПП с различным количеством импульсов

Известно, что в условиях большого термического и концентрационного переохлаждения, например, при лазерном воздействии, возможно формирование ячеисто-дендритной структуры при кристаллизации из расплава. В металлах с ГЦК кристаллической структурой рост дендритов, как правило, происходит в направлении $\langle 100 \rangle$, которое совпадает или близко ориентировано к направлению теплоотвода. Это вызвано термодинамическим условием, при котором выступающие в расплаве элементы поверхности кристаллитов должны иметь максимальную скорость роста. Таким образом, это направление является преимущественным для роста столбчатых зерен механической смеси Cu-Cr. При изменении количества импульсов зависимость полюсной плотности линии (200) является немонотонной.

Таблица. Полюсная плотность дифракционных линий образцов меди, образцов с покрытием Cr до и после воздействия КПП с различным количеством импульсов

hkl	Cu	Cr/Cu	1 имп	3 имп	6 имп
111	0,16	0,4	0,2	0,05	0,04
200	0,36	0,5	1,1	2,2	1,4
220	2,42	1,0	2,0	1,0	1,1
311	1,05	2,1	0,9	0,8	1,5

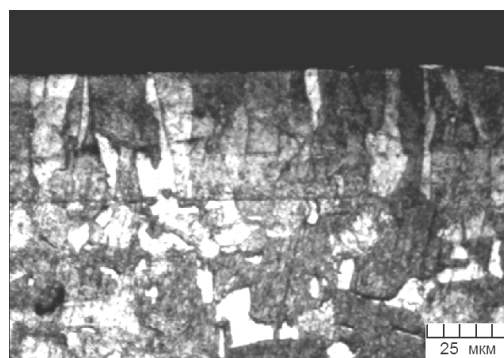
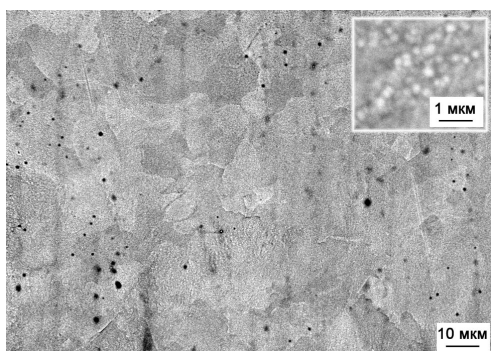


Рис. 3. Изображение поверхности (а), полученное с помощью РЭМ, и поперечного сечения (б), полученное с помощью ОМ, образца системы «хром-медь» после воздействия КПП тремя импульсами

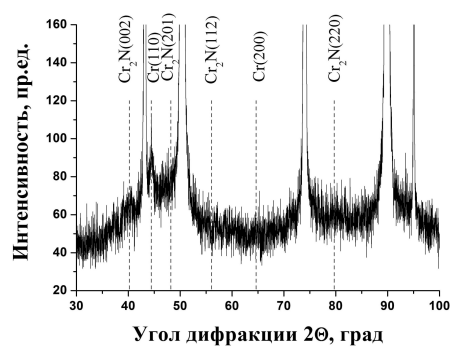


Рис. 2. Участок дифрактограммы образца системы «хром-медь» после воздействия КПП тремя импульсами

Полученные результаты показывают, что воздействие компрессионных плазменных потоков на систему «покрытие хром-медь» позволяет синтезировать в поверхностном слое меди сплавы Cu-Cr с варьируемым содержанием легирующего элемента.

Литература

1. Z. Sun, C. Zhang, Y. Zhu, Z. Yang, B. Ding, X. Song. Microstructures of melt-spun Cu100-x-Crx (x=3.4–25) ribbons. Journal of Alloys and Compounds 361 (2003) 165–168.
2. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем: справочник: в 3 т. — М.: Машиностроение, 1997. Т. 2. 1024 с.
3. Модификация материалов компрессионными плазменными потоками/Углов В. В., Черенда Н. Н., Анищик В. М. и др. — Минск: БГУ, 2013. 248 с.