

*В.Г. Шморгун, О.В. Слаутин, Д.А. Евстропов, А.А. Чешева, В.П. Кулевич*

Волгоградский государственный технический университет

## СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Cu – Ti, СФОРМИРОВАННЫХ НА МЕДНОЙ ПОДЛОЖКЕ\*

В настоящее время для защиты поверхности широко применяют материалы со специальными покрытиями [1 – 3]. В работах [4 – 7] показано, что повышение износостойкости меди может быть обеспечено за счет формирования на ее поверхности интерметаллидного покрытия системы Ti – Cu.

Целью настоящей работы являлось исследование фазового состава покрытий системы Ti – Cu, полученных с использованием высокоэнергетического воздействия (сварки взрывом) и последующей термической обработки при режимах, обеспечивающих контактное плавление [8 – 10].

Получение покрытия на поверхности медной подложки включало сварку взрывом пластины меди М1 толщиной 4 мм и титана ВТ1-0 толщиной 1 мм, термическую обработку при 900 – 1010 °С (время выдержки обеспечивало наличие непрореагировавшего слоя титана), механическое удаление этого непрореагировавшего слоя. Внешний вид микрошлифов до и после отделения слоя титана представлен на рис. 1. Термическую обработку образцов проводили в воздушной атмосфере печи SNOL8,2/1100 в обмазке из жидкого стекла и талька.

Металлографические исследования выполнены с применением оптической микроскопии (микроскоп Olympus BX61). Распределение химических элементов по толщине покрытия получено на сканирующем электронном микроскопе Versa 3D Dual Beam. Микротвердость структурных составляющих измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью специализированных пакетов прикладных программ.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что рост зоны переплава происходит как в сторону меди, так и в сторону титана. Разрушение образцов после термической обработки происходит по интерметаллидной прослойке с фазовым составом Ti<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub>.

Полученные покрытия характеризуются высокой (4 – 6 ГПа) твердостью и отсутствием пористости. Основными структурными составляющими сформировавшейся на поверхности меди зоны переплава являются структурно свободные интерметаллиды β-TiCu<sub>4</sub> (22,15 % Ti, 77,85 % Cu (ат.)) и TiCu<sub>2</sub> (30,84 % Ti, 69,16 % Cu (ат.)), на поверхности присутствует интерметаллид Ti<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub> (41,78 % Ti, 58,22 % Cu (ат.)). Повышение температуры нагрева приводит к росту скорости контактного плавления и образованию более мелких дендритов в структуре покрытия (рис. 2).

Анализ карты распределения атомов титана по толщине покрытия (рис. 3, а) и точечный энергодисперсионный анализ (рис. 3, б, расшифровка в таблице) показали, что у границы с медью располагаются дендриты на основе твердого раствора титана в меди Cu(Ti). Ближе к поверхности образуются дендриты на основе интерметаллидов Cu<sub>2</sub>Ti. Междендритное пространство заполнено интерметаллидом β-Cu<sub>4</sub>Ti.

**Выводы.** Основными структурными составляющими покрытия системы Ti – Cu, полученного на медной подложке с использованием высокоэнергетического воздействия (сварки взрывом) и последующей термической обработки при режимах, обеспечивающих после контактного плавления наличие непрореагировавшего слоя титана, являются структурно свободные интерметаллиды β-TiCu<sub>4</sub> и TiCu<sub>2</sub>, дисперсность которых при прочих равных условиях уменьшается с ростом температуры обработки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радюк А.Г., Титлянов А.Е., Глухов Л.М. Исследование диффузионного слоя, полученного при термообработке газотермических покрытий на медной основе // *Материаловедение*. 2007. № 7. С. 22 – 26.
2. Радюк А.Г., Титлянов А.Е., Кузнецов В.Е., Украинцев А.Е. Исследование способов повышения жаростойкости меди и свойств медно-алюминиевого диффузионного слоя // *Цветные металлы*. 2009. № 6. С. 112, 113.

\*Работа выполнена при финансовой поддержке и гранта РФФИ, соглашение № 14-19-00418.

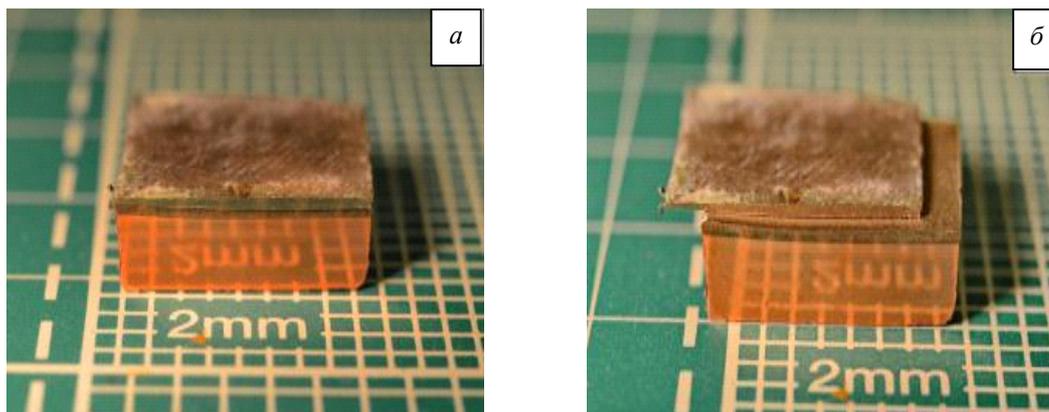


Рис. 1. Внешний вид микрошлифов до (а) и после (б) отделения слоя титана

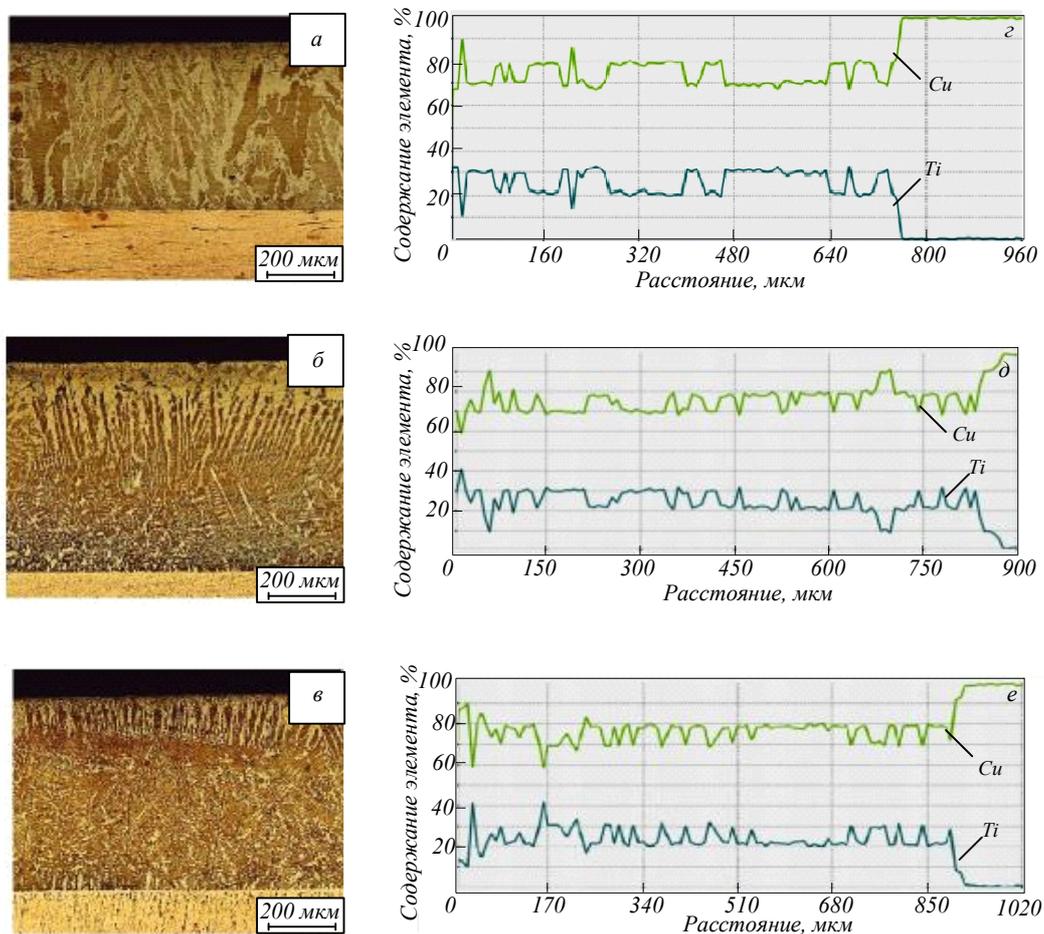


Рис. 2. Микроструктуры (а – в) и кривые распределения химических элементов по толщине покрытия, сформированного на медной подложке (z – e) после термической обработки при 900 °С в течение 30 мин (а, z), при 970 °С в течение 5 мин (б, d) и при 1010 °С в течение 4 мин (в, e)

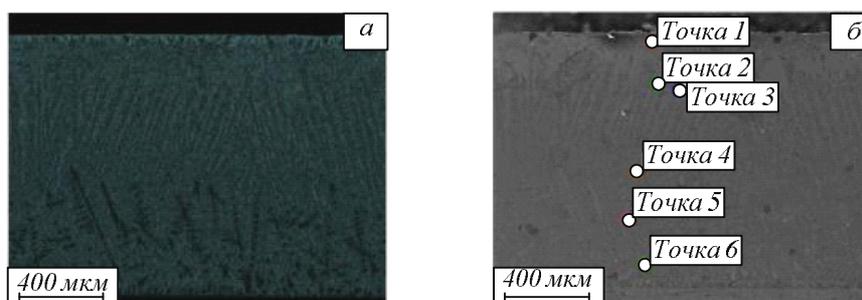


Рис. 3. Карта распределения атомов титана по толщине покрытия (а) и расположение точек при определении элементного состава (б) (образец после термической обработки при температуре 1010 °С в течение 5 мин)

**Результаты точечного рентгеновского энергодисперсионного микроанализа образца после термической обработки при 1010 °С в течение 5 мин**

Точка	Элемент	Содержание, %		Погрешность, %	Фаза
		по массе	ат.		
1	Ti	35,10	41,78	2,42	Cu <sub>4</sub> Ti <sub>3</sub>
	Cu	64,90	58,22	3,77	
2	Ti	24,89	30,53	2,60	Cu <sub>2</sub> Ti
	Cu	75,11	69,47	3,70	
3	Ti	17,45	21,91	2,84	β-Cu <sub>4</sub> Ti
	Cu	82,55	78,09	3,56	
4	Ti	24,74	30,37	2,59	Cu <sub>2</sub> Ti
	Cu	75,26	69,63	3,63	
5	Ti	7,75	10,03	3,64	Cu(Ti)
	Cu	92,25	89,97	3,47	
6	Ti	17,20	21,60	2,83	β-Cu <sub>4</sub> Ti
	Cu	82,80	78,40	3,55	

- Пат. РФ 2128714. Способ нанесения шлакового гарнисажа на футеровку конвертера / Айзатулов Р.С., Протопопов Е.В., Соколов В.В., Буймов В.А., Чернятевич А.Г., Щеглов М.А., Амелин А.В., Пресняков А.П., Ермолаев А.И., Ганзер Л.А., Чернышева Н.А., Пак Ю.А. Заявл. 05.12.2006. Оpubл. 27.12.2008.
- Rezavateni M., Szpunar J.A., Ashrafizadeh F., Zandrahimi M. The effect of novel Ti – Cu intermetallic compound coatings on tribological properties of copper. – National Tribology conference. 24 – 26 September 2003. The annals of university «Dunarea de jos» of galati fascicle VIII. Tribology. – 2003. P. 55 – 62.
- Морозова Е.А., Муратов В.С. Лазерное легирование поверхности титана медью // Успехи современного естествознания. 2009. № 11. С. 71.
- Salehi M., Hosseini R. Structural characterization of novel Ti – Cu intermetallic coatings // Surface Engineering. 1996. Vol. 12. № 3. P. 221 – 224.
- Radek Norbert, Shalapko Jurji, Kowalsk Maciej. Investigations of the Cu – Mo and Cu – Ti electro-spark coatings after laser treatment // Вестник двигателестроения. 2009. № 1. С. 143 – 149.
- Ахкубеков А.А., Орквасов Т.А., Созаев В.А. Контактное плавление металлов и наноструктур на их основе. – М.: Физматлит, 2008. – 149 с.
- Залкин В.М. Природа эвтектических сплавов и эффект контактного плавления. – М.: Металлургия, 1987. – 157 с.
- Ахкубеков А.А., Байсултанов М.М., Ахкубекова С.Н. Начальная стадия контактного плавления как низкоразмерный эффект // Изв. вуз. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение. 2005. С. 56 – 64.

© 2014 г. В.Г. Шморгуи, О.В. Слаутии,  
Д.А. Евстропов, А.А. Чешева,  
В.П. Кулевиц

Поступила 2 сентября 2014 г.