

Из проделанной работы следует вывод, что метод спекания брикетов из смеси порошков сплава Al-Si и олова с последующим их горячим доуплотнением является перспективным способом получения прочных и пластичных антифрикционных композитов (Al-12Si)-XSn с высоким содержанием твердой смазки.

*Работа выполнена в рамках проекта СО РАН (программа III.23.2.4) при частичном финансировании по проектам РФФИ № 16-08-00603 и №16-38-00236.*

#### **Список литературы**

1. Yuan G.-C., Zhang X.-M., Lou Y.-X., Li Z.-J. Tribological characteristics of new series of Al-Sn-Si alloys // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. – 2003. – Vol. 13. – № 4. – P. 774–780.
2. Русин Н.М., Скоренцев А.Л., Криницын М.Г. Структура и механические свойства спечённого композита (Al-0,5 Si)-40 Sn // Перспективные материалы. – 2017. – № 2. – С. 30–38.

## **ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Al-Ni, ПОЛУЧЕННЫХ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ**

*О.А. РУБЦОВА*

Новосибирский государственный технический университет

E-mail: oksana.rubtsova@ya.ru

Эффективным методом нанесения покрытий является плазменное напыление. При помощи данной технологии можно напылять любые порошковые материалы. Использование в качестве рабочего газа воздуха (воздушно-плазменное напыление), позволяет не только удешевить технологию, но и получать качественные покрытия. Ранее было показано, что плазменные покрытия, сформированные из порошка  $Ni_3Al$ , характеризуются пористостью не менее 5...6 % [1]. Известно, что повысить плотность керамических и интерметаллидных покрытий можно, обеспечив более высокие скорости частиц в плазменной струе [2]. В настоящей работе представлены результаты структурных исследований покрытий из порошка ПН85Ю15 ( $Ni_3Al$ ), полученных воздушно-плазменным напылением на дозвуковом и сверхзвуковом режимах.

Материалом для формирования покрытий являлся порошок марки ПН85Ю15 размерами 40...100 мкм. Микрорентгеноспектральным анализом установлено, что количество никеля в исследуемом порошке около 70 ат. %, что соответствует двухфазной области диаграммы состояния Ni-Al. Воздушно-плазменное напыление выполняли в ИТПМ СО РАН. Ранее были определены оптимальные режимы напыления для выбранного порошка: ток дуги - 200 А; напряжение - 223 В; транспортирующий, фокусирующий и плазмообразующий газы – воздух, защитный газ - смесь воздуха и пропан-бутана. Дистанция напыления - 170 мм [3]. После напыления, для снижения уровня остаточных напряжений, проводили отжиг стальных труб с покрытиями при температуре 300 °С в течение 1 часа.

Изображение покрытий, полученных на дозвуковом и сверхзвуковом режимах, представлено на рисунке 1, а и б, соответственно. Видно, что дефектов в виде трещин и отслоений не наблюдается. Покрытия, полученные на дозвуковом режиме (рис. 1, а), характеризуются значительным количеством недеформированных частиц. Кроме того, наблюдаются выкрошившиеся в процессе приготовления шлифа частицы, что свидетельствует о слабой когезии. Пористость покрытий около 6 %.

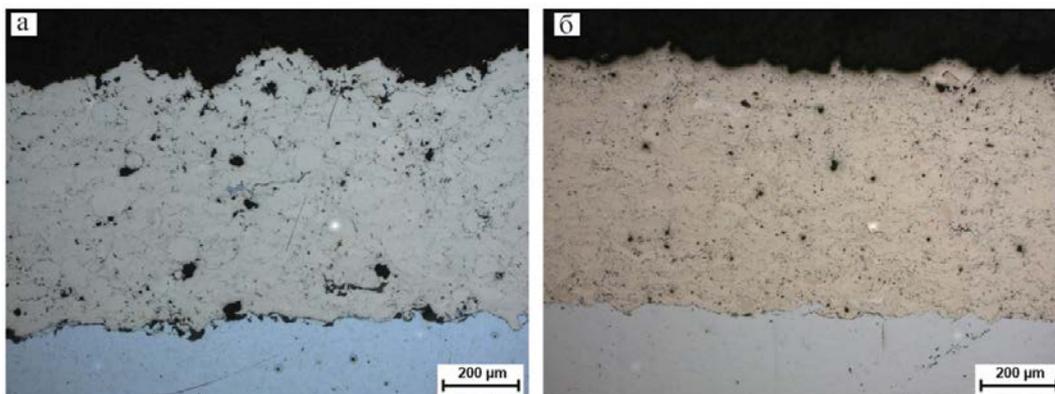


Рисунок 1 – Структура покрытий: а - дозвуковой режим напыления; б - сверхзвуковой режим напыления

В отличие от покрытий, полученных на дозвуковых режимах, материал покрытий, полученных на сверхзвуковых режимах, состоит из полностью расплавленных и деформированных во время удара частиц порошка (рис. 1,б). Данные покрытия характеризуются более низкими значениями пористости (около 3 %).

Рентгенофазовым анализом установлено, что основными фазами плазменных покрытий являются  $Ni_3Al$  и  $Ni_5Al_3$  (рисунок 2). Объемная доля  $Ni_5Al_3$  в покрытиях, полученных на дозвуковых режимах, больше, что подтверждается также данными измерений микротвердости. Средние значения микротвердости дозвуковых покрытий составляют 630 HV, сверхзвуковых – 430 HV.

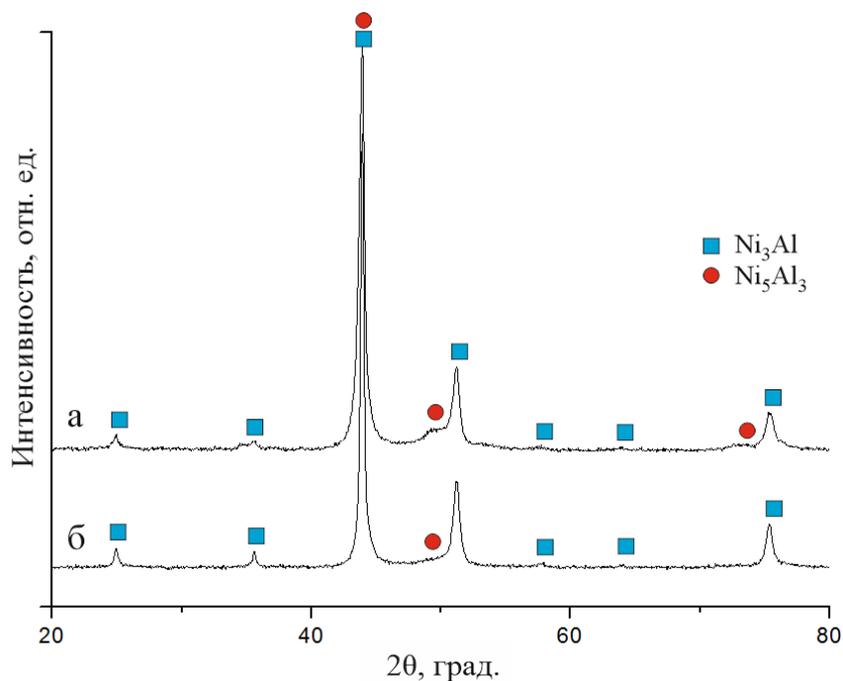


Рисунок 2 – Дифрактограммы покрытий: а - дозвуковой режим; б - сверхзвуковой режим

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: нанесение покрытий из порошка ПН85Ю15 на сверхзвуковых режимах позволяет снизить пористость до 3 % и увеличить когезию частиц. Микротвердость этих покрытий ниже, чем покрытий, полученных на дозвуковых режимах, что можно объяснить снижением количества фазы  $Ni_5Al_3$ . Целью дальнейших исследований является более глубокие структурные исследования при помощи электронной микроскопии.

### Список литературы

1. Корниенко Е.Е., Муль Д.О., Рубцова О.А., Ващенко С.П., Кузьмин В.И., Гуляев И.П., Сергачёв Д.В. Влияние режимов плазменного напыления на структуру и свойства покрытий из  $Ni_3Al$  // Теплофизика и аэромеханика. - 2016. - Т. 23. №6. - С. 957-966.
2. Лашенко Г.И. Плазменное упрочнение и напыление. - К.: Екотехнологія, 2003. – 64 с.
3. Рубцова О. А. Исследования структуры и свойств плазменных покрытий, полученных из порошка ПН85Ю15 = Research of structure and properties of 85Ni15Al plasma coatings / О. А. Рубцова, Е. Е. Корниенко // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении : сб. тр. междунар. конф., Томск, 9–11 июня 2016 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 161-165.

### ИОННО-ЭЛЕКТРОННО-ПЛАЗМЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ СИСТЕМЫ «ПОКРЫТИЕ (TiZrCu) \ ПОДЛОЖКА ((Al-(22-24)%Si)»

*М.Е. РЫГИНА<sup>1,2</sup>, Ю.Ф. ИВАНОВ<sup>1,2</sup>, Е.А. ПЕТРИКОВА<sup>2</sup>, А.Д. ТЕРЕСОВ<sup>2</sup>, В.В. ШУРУГОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

<sup>2</sup>Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: L-7755me@mail.ru

Силумины-сплав алюминия с кремнием. Заэвтектические силумины содержат кремния более 12 вес. % в своем составе. Данный сплав обладает малым весом, коррозионной стойкостью. Структура заэвтектических силуминов состоит из эвтектики, первичных зерен кремния и интерметаллидов. Первичные зерна кремния имеют большой размер (несколько сотен микрометров), что снижает механические свойства и ограничивает применение материала в машиностроении.

В качестве материала исследования использовали образцы силумина состава Al-(22-24) вес.% Si. Систему «пленка (Zr-5%Ti-5%Cu) / (Al-(22-24) вес. % Si) подложка» формировали ионно-плазменным методом при электродуговом распылении катода состава Zr-5%Ti-5%Cu на установке «ТРИО» (ИСЭ СО РАН) [1]. Толщина пленки 0,5 мкм.

Металлическая пленка, сформированное на поверхности силумина, содержала капельную фракцию; основной элемент капель - цирконий. Размеры капель изменялись в пределах от единиц до нескольких десятков микрометров. Методами рентгеноструктурного анализа установлено, что наряду с фазами, формирующими подложку (Al и Si), присутствуют фазы, сформировавшиеся при напылении пленки (Ti, Zr, CuZr и SiC) (рисунок 1).

Обработку системы «пленка-подложка» осуществляли интенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛЮ» [2]. Режим облучения соответствовал условиям плавления всех присутствующих в силумине фаз [3]: энергия ускоренных электронов 18 кэВ, плотность энергии пучка электронов 40 Дж/см<sup>2</sup>, частота следования импульсов 0,3 с<sup>-1</sup>, длительность воздействия пучка электронов 200 мкс, число импульсов воздействия 20.

Вследствие высоких скоростей нагревания и охлаждения после обработки электронным пучком на поверхности образцов не обнаруживается наличие капельной фракции, происходит легирование поверхностного слоя силумина заэвтектического состава элементами напыленной пленки. Высокоскоростная кристаллизация сопровождается формированием в поверхностном слое силумина толщиной (100-130) мкм поликристаллической структуры с размером кристаллитов (0,5-1) мкм.