

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ СИЛУМИНОВ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СОСТАВА

М.В. Асташинская¹⁾, А.Т. Волочко²⁾, Г.В. Марков²⁾, С.В. Гусаров²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет,

пр. Независимости 4, 220030 Минск, Беларусь, astashynskaya@rambler.ru

²⁾Физико-технический институт НАН Беларуси, ул. Купревича 10, 220141 Минск, Беларусь

В результате проведенных исследований обнаружено, что метод конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ) позволяет формировать покрытия системы Zr-Ti-Cu-N на поверхности силуминов заэвтектического состава с целью улучшить функциональные характеристики силуминов. Трибологические испытания модифицированных слоев силуминов заэвтектического состава показали, что с увеличением содержания кремния до 24 вес.% в силумине происходит формирование так называемого переходного слоя силумин/покрытие, что в данном случае играет роль защитного подслоя, обеспечивающего непроникновение индентора вглубь мягкой силуминовой основы и позволяя улучшить эксплуатационные характеристики сформированного покрытия.

Введение

Принципиально новые возможности для модификации поверхностных свойств различных материалов и существенного улучшения их эксплуатационных характеристик предполагают использование в промышленности концентрированных потоков энергии, включающих электронные, ионные, плазменные пучки. Основными преимуществами таких методов модификации и упрочнения являются возможность реакционного взаимодействия дисперсных включений с алюминиевой основой и азотом и синтеза наноразмерных метастабильных фаз, а также нанокompозитов и интерметаллидов, обладающих уникальными физико-химическими характеристиками.

В настоящее время состояние и свойства поверхностного слоя материалов определяют их эксплуатационные характеристики. Поэтому нанесение защитных, упрочняющих и износостойких покрытий на поверхность силуминов заэвтектического состава, как на агрегат технологического оборудования является эффективным способом повышения их физико-механических характеристик, работоспособности и срока службы.

На протяжении длительного времени для получения многокомпонентных функциональных покрытий используются различные PVD-методы (Physical Vapor Deposition), такие как магнетронное распыление, вакуумно-дуговое осаждение, комбинированные методы, включающие одновременное использование ионных источников, магнетронов, электродуговых испарителей и др. Также исследователями активно ведется работа не только по нахождению новых методов формирования покрытий, но и ставится цель – повысить эффективность процесса осаждения или минимизировать недостатки выбранного метода. В частности, ведется поиск таких методов формирования многокомпонентных покрытий, которые бы позволили уменьшить количество капельной фазы сформированных объектов, что будет положительно сказываться на их физико-механических свойствах [1].

Таким образом, целью настоящей работы являлось исследование закономерностей и механизмов взаимодействия нанесенных покрытий на

основе Zr-Ti-Cu-N с поверхностью модифицированных силуминов заэвтектического состава до и в процессе трибомеханических испытаний.

Методика эксперимента

Нанесение многокомпонентных покрытий системы Zr-Ti-Cu-N на силуминовую основу заэвтектического состава проводилось вакуумным электродуговым методом (метод КИБ) с использованием многокомпонентного катода следующего состава (ат.%): 88Ti-6Zr-6Cu [2]. После размещения образцов на подложке в вакуумной камере установки, воздух из камеры откачивался до давления остаточных газов в ней не более $5 \cdot 10^{-3}$ Па. На подложку подавался отрицательный относительно стенок вакуумной камеры потенциал величиной ~ 2500 В, в камеру напускался азот до парциального давления $7 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1}$ Па и включалась вакуумная дуга. Во избежание большого количества микрокапель в составе формируемого покрытия ток вакуумной дуги устанавливался на уровне 35 А. В ходе нанесения Zr-Ti-Cu-N покрытия ионная обработка осуществлялась непрерывно в течение 7 минут, и, в результате, образцы нагревались предположительно до температуры 900 К.

Элементный состав покрытий определялся на основе рентгеноспектрального микроанализа с помощью микроанализатора Oxford, работающего совместно с растровым электронным микроскопом LEO1455VP. Структурно-фазовое состояние покрытий исследовалось с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре Ultima IV Rigaku в параллельных пучках геометрии θ - 2θ в медном излучении ($\lambda = 0.154178$ нм).

Оценка трибологических свойств покрытий системы Zr-Ti-Cu-N, нанесенных на поверхность заэвтектических силуминов осуществлялась на трибометре «Сфера-плоскость» шариками из стали ШХ ГОСТ 3722-81.

Принцип действия трибометра заключается в истирании пары контактирующих материалов при круговом вращении столика с исследуемым объектом под действием нормальной статической нагрузки в отсутствие внешней подачи смазки. Стенд содержит цифровой преобразователь для

преобразования аналогового сигнала, поступающего от усилителя системы измерения силы трения в цифровой код, который для дальнейшей обработки подается на монитор компьютера. Трибологические испытания проводились в течение 30 минут при нагрузке 0.5 Н.

Результаты и их обсуждение

В результате распыления многокомпонентного катода были сформированы модифицированные слои силуминов с различным составом кремния: 11.9 вес.%, 16.0 вес.%, 24 вес.%. Под модифицированными слоями в данном случае подразумевается нанесенное покрытие системы Zr-Ti-Cu-N вакуумным электродуговым методом (КИБ).

Результаты рентгеноструктурного анализа (РСА), представленные на рисунке 1, позволили обнаружить формирование таких фаз, как ZrN, TiN, соответствующих нанесенному на силуминовую основу покрытию. В ходе расшифровки спектров РСА [3] было обнаружено, что с увеличением концентрации Si в силуминовой основе, кремния становится достаточно для того, чтобы объемная доля силицида Zr_2Si увеличилась настолько, чтобы зарегистрировать его на углах дифракции 27.2° и 34.8° .

На рентгенограммах силуминов заэвтектического состава с нанесенным на них покрытием системы Zr-Ti-Cu-N обнаружены дифракционные максимумы, соответствующие силуминовой основе – фазы алюминия и кремния, при этом относительная интенсивность пиков коррелирует с концентрацией кремния, таким образом, с увеличением концентрации кремния интенсивность соответствующих пиков увеличивается.

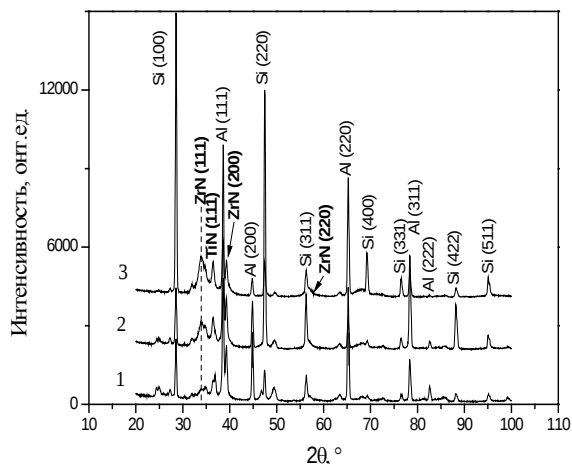


Рис. 1. Спектры РСА модифицированных слоёв силуминов доэвтектического состава с различным содержанием кремния: 1 – 11.9 вес. % Si; 2 – 16.0 вес. % Si; 3 – 24 вес. % Si

Трибологические испытания, представленные на рисунке 2, проводились в одинаковых внешних условиях, из чего можно однозначно сказать, что увеличение концентрации кремния в силуминовой основе от 11.9 до 24.0 вес. % приводит к заметному улучшению как износостойкости формируемого материала, так и уменьшению коэффициента трения до среднего значения 0.2.

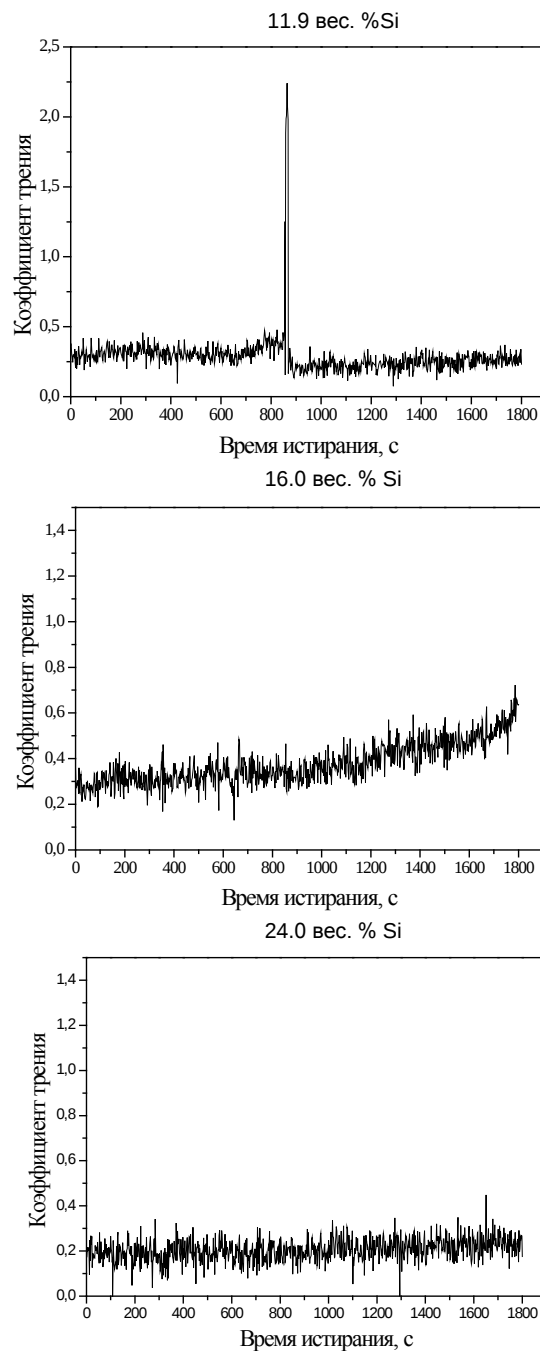


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения от времени истирания покрытий системы Zr-Ti-Cu-N, нанесенных на силумины доэвтектического состава с различным содержанием кремния

На рисунке 2 также виден большой разброс значений коэффициента трения, который говорит о том, что покрытие системы Zr-Ti-Cu-N обладает высокой шероховатостью поверхности, а резкие выбросы значений коэффициента трения, как это происходит в случае покрытия, модифицированного на силумине с концентрацией кремния 11.9 вес.%, свидетельствуют о попадании под индентор твердых абразивных частиц покрытия [4].

Такое изменение поведения трибологических кривых, то есть зависимостей коэффициента тре-

ния от времени истирания говорит о том, что с увеличением концентрации кремния происходит формирование переходного слоя силумин/покрытие, что в данном случае играет роль защитного подслоя, обеспечивающего непроникновение индентора вглубь мягкой силуминовой основы и позволяет улучшить эксплуатационные характеристики сформированного покрытия.

Заключение

Исследование структурно-фазового состояния покрытий системы Zr-Ti-Cu-N, нанесенных на силуминовую основу заэвтектического состава с различным содержанием кремния показало наличие дифракционных максимумов, соответствующих фазам ZrN, TiN, Zr₂Si. Трибологические испытания показали, что с увеличением концентрации кремния до 24 вес.% происходит формирование переходного слоя силумин/покрытие, что в данном случае играет роль защитного подслоя, обеспечивающего непроникновение индентора вглубь мягкой силуминовой основы и позволяет улучшить эксплуатационные характеристики сформированного покрытия.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № T15CO-032).

Список литературы

1. Влияние параметров плазменно-вакуумной технологии на топографию поверхности. А.В. Белый, Т.Д. Карпенко, А.А. Миневич и др. // Плазменно-вакуумные покрытия (оборудование, технология, свойства покрытий). - М.: НИИТавтопром, 1985. С. 87-91.
2. Гуляев Б.Б., Магницкий О.Н., Демидова А.А. Литые из тугоплавких металлов. М.—Л. Машиностроение, 1964. 292 с.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: Т.2 / Под общ. ред. Н.П. Лякишева. М.: Машиностроение, 1997. 1024 с.
4. Наноматериалы, нанопокртия, нанотехнологии : учеб. пособие / Н.А. Азаренков [и др.]. Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2009. 209 с.

STRUCTURE, PHASE STATE AND TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF MODIFIED LAYERS OF OVEREUTECTIC SILUMINS

M. V. Astashynskaya¹⁾, A.T. Volochko²⁾, G.V. Markov²⁾, S.V. Husarau²⁾

¹⁾Belarusian State University, 4 Nezavisimosti ave., 220030 Minsk, Belarus, astashynskaya@rambler.ru

²⁾Physical-Technical Institute NAS of Belarus, 10 Kuprevicha str., 220141 Minsk, Belarus

In the results of performed researches was revealed that the method of condensation with ion bombardment (CIB) allows to form Zr-Ti-Cu-N coatings on the surface of overeutectic silumins. Tribological tests of modified layers of overeutectic silumins show the formation of so named transitional layer silumin/coating with the increasing of silicon concentration up to 24 wt.%, that in this case acts a part of prospective sublayer prevented form penetration of indenter deep silumin base and allows to improve operating characteristics of formed coating.