

**НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ZrTiCu НА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИЙ СИЛУМИН (20-22 ВЕС.% Si)  
ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ**

М.Е. Рыгина<sup>1</sup>, Е.А. Петрикова<sup>2</sup>, В.В. Шугуров<sup>2</sup>

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.Ф. Иванов<sup>1,2</sup>

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

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

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

Россия, г.Томск, пр. Академический, 2/3, 634055

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

**COATING DEPOSITION TiZrCu ON HYPEREUTECTIC SILUMIN BY ION-PLASMA  
METHOD**

M.E. Rygina<sup>1</sup>, E.A. Petrikova<sup>2</sup>, V.V. Shugurov<sup>2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.F. Ivanov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

<sup>2</sup>Institute of High Current Electronics SB RAS, Russia, Tomsk, Academic str., 2/3, 634055

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

***Abstract.** In this article hypereutectic silumin has been studied. The content of silicon is 20-22 wt.%. TiZrCu has been repositioned on this alloy. His thickness is 1 micron. Deposition performed by "TRIO" (Institute of High Current Electrons of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). In this article the structures before and after modification are shown. Microhardness grows more than 2 times, Nanohardness more than 5 times. Scanning microscopy shows that content of Ti, Zr, Cu are near 1%.*

**Введение.** Заэвтектический силумин – литейный сплав алюминия с кремнием с процентным содержанием последнего выше 12 вес.%. Заэвтектический силумин состоит из эвтектики, первичных зерен кремния и интерметаллидов. Данный сплав обладает низким коэффициентом термического расширения, коррозионной стойкостью, малым весом, повышенной фрикционной износостойкостью [1]. Ряд недостатков, таких как низкие механические свойства, неоднородность структуры, ограничивают его применение в машиностроении. Именно наличие первичных зерен кремния, обладающих повышенной твердостью и хрупкостью, приводят к недостаточно высоким свойствам заэвтектического силумина. Ионно-электронные методы позволяют устранить данные недостатки путем существенного диспергирования структуры, и, как следствие, приводят к повышению механических характеристик [2].

Целью данной работы является изучение структуры, формирующейся при напылении покрытия ZrTiCu толщиной 1 мкм на поверхность заэвтектического силумина (20-22 вес.% Si) с помощью ионно-плазменной обработки на установке «ТРИО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск).

**Материал и методика исследования.** В качестве материал исследования были выбраны образцы силумина состава Al-(20-22) вес.%Si. Систему «пленка (Zr-5%Ti-5%Cu) / (Al-(20-22) вес.%Si) подложка» формировали ионно-плазменным методом при электродуговом распылении катода состава Zr-5%Ti-

5%Cu на установке «ТРИО» (Институт сильноточной электроники Сибирского отделения Российской академии наук) [3] Толщина пленки 1 мкм.

Образцы были исследованы методами оптической ( $\mu$ Vizo - MET-221) и электронной сканирующей (SEM-515 Philips) микроскопии. Испытания на твердость проводились на приборе ПМТ-3. Исследования износостойкости силумина проводилось в геометрии диск-штифт при комнатной температуре и влажности. Объем износа материала определялся после проведения профилометрии образовавшегося трека. Измерение нанотвердости и модуля Юнга производилось на установке ультрамикротвердомер Shimadzu DUN-211S.

**Результаты и их обсуждение.** С помощью оптического микроскопа были получены изображения структуры заэвтектического силумина до и после нанесения металлической пленки (рисунок 1). Пленка не обладает необходимой толщиной для изменения оптических свойств, поэтому отчетлива видна структура силумина: первоначальные зерна кремния и эвтектика (Al-Si). Видно, что напыляемая пленка содержит микрокапли металла распыляемого катода, средний диаметр которых составил 21,7 мкм. Наличие данных капель указывает на неоднородность свойств сформированной системы «пленка / подложка», так как в местах скопления капель и самих каплях механические свойства будут отличаться от среднего значения материала.

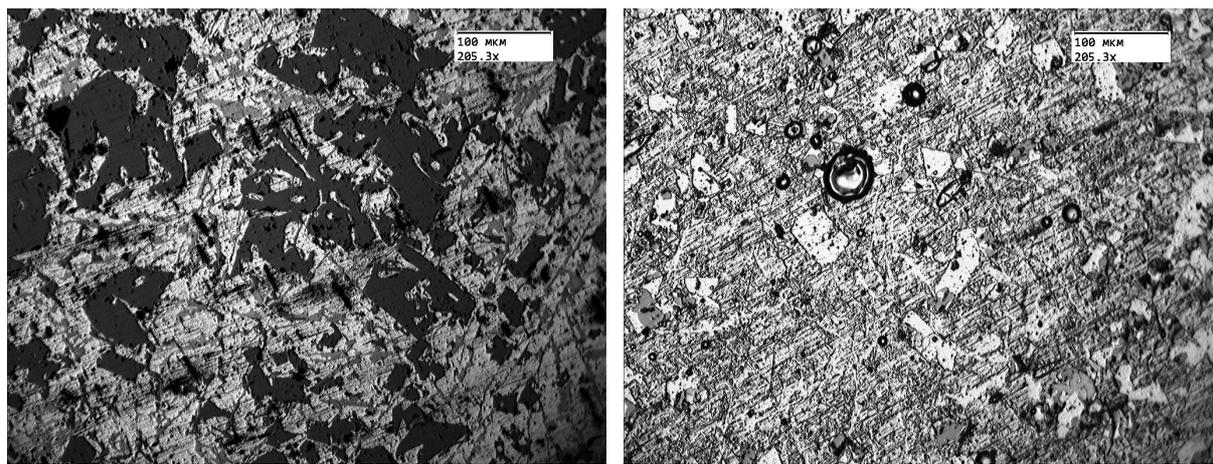


Рис. 1. Оптическое изображение структуры заэвтектического силумина: а) в исходном состоянии, б) после напыления пленки ZrTiCu (увеличение 205x)

Микротвердость (прибор ПМТ-3) системы «пленка / подложка» составила 2309 МПа, при твердости исходного силумина 970 МПа, т.е. выявлено увеличение микротвердости материала более чем в 2 раза. При измерении твердости ультрамикротвердомером Shimadzu DUN-211S выявлено значение нанотвердости 5612 МПа. Расхождение в значениях связаны с глубиной проникновения индентора; при измерении нанотвердости минимизируется влияние основного объема материала. Выполнены трибологические испытания системы «пленка / подложка». Установлено, что коэффициент трения составил 0,36, износостойкость уменьшилась в 3 раза.

На рисунке 2 приведена рентгенограмма с указанием фаз, присутствующих в составе исследуемой системы «пленка / подложка». Данная рентгенограмма свидетельствует о формировании многофазного поверхностного слоя. На рисунке 3 приведено изображение системы «пленка / подложка», полученное с помощью сканирующего микроскопа.

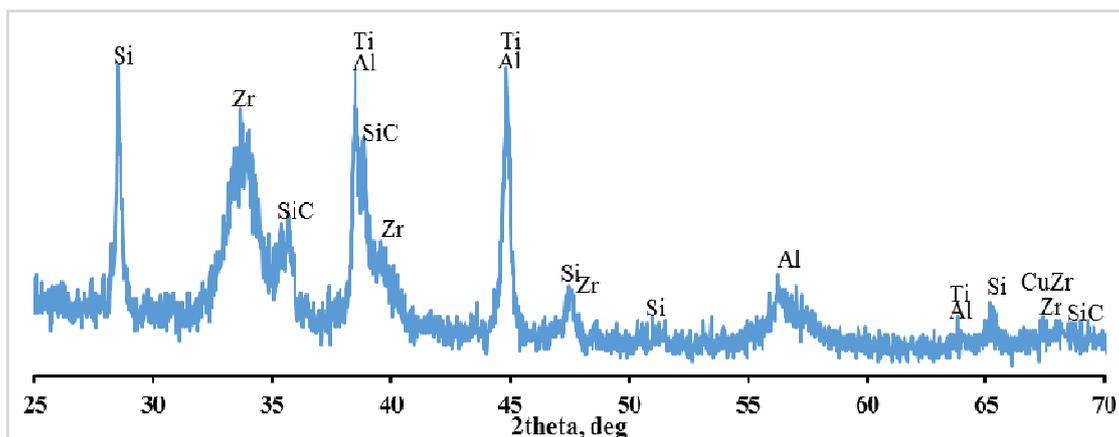


Рис. 2. Участок рентгенограммы заэвтектического силумина с покрытием ZrTiCu

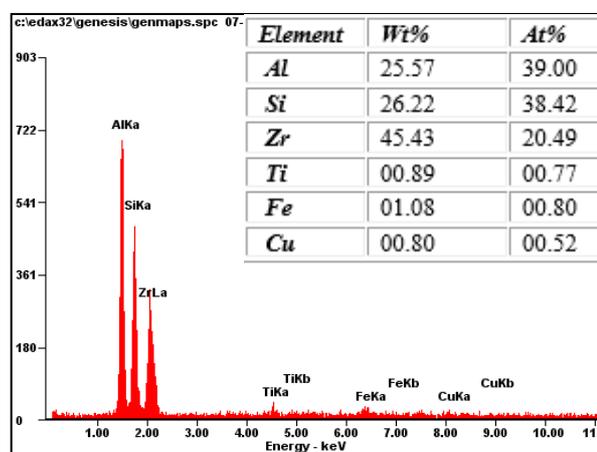
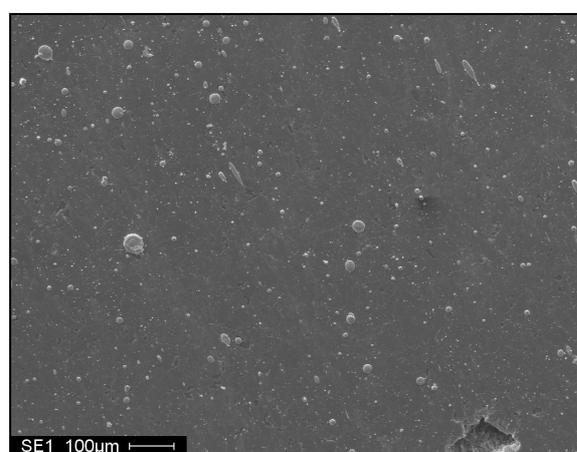


Рис. 3. Структура системы «пленка / подложка» и результаты микрорентгеноспектрального анализа участка поверхности образца (сканирующая электронная микроскопия)

**Заключение.** Сформирована система «пленка (ZrTiCu)/(Al-20-22 вес.%Si) подложка». Показано, что формирование многофазного материала сопровождается увеличением микротвердости поверхностного слоя более чем в 5 раз, снижением коэффициента трения до 0,36, уменьшением износостойкости в 3 раза. Последующее модифицирование материала предполагается осуществить облучением системы пленка/подложка импульсным электронным пучком.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стеценко В.Ю. Заэвтектический силумин. Наноструктурные процессы плавки и литья // Литье и металлургия. – 2016. – Т. 4. – № 65. – С. 19–22.
2. M.E. Rygina, Yu.F. Ivanov, A.P. Lascone, A.D. Teresov, N.N. Cherenda, V.V Uglov, E.A. Petricova, M.V. Astashinskay Modification of the sample's surface of hypereutectic silumin by electron beam // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124(2016) 012138 pp. 1-5
3. Коваль, Н. Н., Иванов Ю.Ф. Наноструктурирование поверхности металлокерамических и керамических материалов при импульсной электронно-пучковой обработке // Известия вузов. Физика. -2008. - Т. 51. - № 5. - С. 60-70.