

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра физики твердого тела**

ПОЛЕТИЛО  
Константин Александрович

**Влияние параметров воздействия компрессионными  
плазменными потоками на фазовый состав и  
микротвердость системы Nb/Ti/Al-Si**

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Научный руководитель:  
Зам. директора ИТМО НАН  
Беларуси, чл.-корр. НАН Беларуси,  
д.ф.-м.н.  
Асташинский Валентин Миронович

Рецензент:  
Доцент кафедры ядерной физики  
БГУ, канд. физ.-мат. наук  
Мечинский Виталий Александрович

«ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ»

Зав. кафедрой физики твердого тела

Профессор \_\_\_\_\_ В.В. Углов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Минск, 2018

## Реферат

Дипломная работа на 42 страницах, 21 рисунка, 2 таблицы, 28 источников.

Ключевые слова: силумин, морфология, фазовый состав, интерметаллид, плазма, микротвердость, коэффициент трения, легирование, компрессионные плазменные потоки.

Объект исследования: система «Nb/Ti/Al-Si».

Цель: формирование композитного поверхностного слоя в силумине, легированного атомами титана и ниобия, с помощью компрессионных плазменных потоков, а также изучение его фазового состава, структуры и трибологических свойств.

Были использованы следующие методы исследования: рентгеноструктурный анализ, оптическая микроскопия, измерение микротвердости, определение коэффициента трения.

Установлено, что воздействие компрессионных плазменных потоков на систему «Nb/Ti/Al-Si» приводит к формированию поверхностного слоя силумина легированного атомами титана и ниобия. В легированном слое формируются интерметаллиды  $(Al, Si)_3Nb$ ,  $(Al, Si)_3Ti$  и нитрид алюминия AlN. После обработки силумина КПП на дифрактограмме наблюдается уширение дифракционных линий кремния, что может быть связано с уменьшением размеров первичных кристаллов кремния, выделяющихся при кристаллизации.

Изменение режимов обработки влияет на толщину легированного слоя. Толщина слоя, с увеличением плотности поглощенной энергии, увеличивается от 14-21 мкм ( $E=17$  Дж/см<sup>2</sup>, 1 имп.), до 45-55 мкм ( $E=30$  Дж/см<sup>2</sup>, 3 имп.). Увеличение количества импульсов приводит к формированию относительно однородного по структуре и толщине легированного слоя.

Наибольшее увеличение микротвердости по отношению к микротвердости исходного образца наблюдается у образца, обработанного одним импульсом с плотностью поглощенной энергии, равной 17 Дж/см<sup>2</sup> ( $H=4,8$  ГПа). Легирование атомами титана и ниобия позволяет уменьшить коэффициент трения эвтектического силумина до 0.35(1имп 17 Дж/см<sup>2</sup>).

## Рэферат

Дыпломная праца на 42 старонках, 33 малюнка, 2 табліцы, 28 крыніц.

Ключавыя словы: сілумін, марфалогія, фазавы склад, інтэрметалід, плазма, мікрацвёрдасць, каэфіцыент трэння, легаванне, кампрэсійныя плазмавыя струмені.

Аб'ект даследавання: сістэма « Nb/Ti/Al-Si ».

Мэта: фарміраванне кампазітнага павярхоўнага пласта ў сілуміне, легаванага атамамі тытана і ніёбія, з дапамогай кампрэсіённых плазменных патокаў, а таксама вывучэнне яго фазавога складу і трыбалагічных уласцівасцяў.

Былі скарыстаны наступныя метады даследавання: рэнтгенаструктурны аналіз, аптычная мікраскапія, вымярэнне мікрацвёрдасці, вызначэнне каэфіцыента трэння.

Вызначана, што ўплыў кампрэсійных плазмавых струменяў на сістэму «Nb/Ti/Al-Si» прыводзіць да фармавання павярхоўнага пласта сілуміну легаванага атамамі тытану і ніёбію. У легаваным пласце фармуюцца інтэрметаліды  $(Al, Si)_3Nb$ ,  $(Al, Si)_3Ti$  і нітрыд алюмінію AlN. Пасля апрацоўкі сілуміну КПП на дыфрактаграме назіраецца пашырэнне дыфракцыйных ліній крэмнію, што можа быць звязана з памяншэннем памераў першасных крышталёў крэмнію, што вылучаюцца пры крышталізацыі.

Змена рэжымаў апрацоўкі ўплывае на таўшчыню легаванага пласта. Таўшчыня пласта, з павелічэннем шчыльнасці паглынутай энергіі, павялічваецца ад 14-21 мкм ( $E=17$  Дж/см<sup>2</sup>, 1 імп.), да 45-55 мкм ( $E=30$  Дж/см<sup>2</sup>, 3 імп.). Павелічэнне колькасці імпульсаў прыводзіць да фармавання адносна аднароднага па структуры і таўшчыні легаванага пласта.

Найбольшае павелічэнне мікрацвёрдасці ў адносінах да мікрацвёрдасці зыходнага ўзору назіраецца ў узору, апрацаванага адным імпульсам са шчыльнасцю паглынутай энергіі, роўнай 17 Дж/см<sup>2</sup> ( $H=4,8$  ГПа). Легаванне атамамі тытану і ніёбію дазваляе зменшыць каэфіцыент трэння эўтактычнага сілуміну да 0.35 (1 імп. 17 Дж/см<sup>2</sup>).

## The Summary

The diploma paper includes 42 pages, 21 images, 2 tables, 28 references. Key words: silumin, morphology, phase composition, intermetallic compound, plasma, microhardness, friction coefficient, alloyage, compressive plasma current.

An item of researching is the system «Nb/Ti/Al-Si».

The task is generation composition surface layer in silumin alloyed by titanium atoms and niobium atoms with compressive plasma current also its analysis of phase composition, structure and tribological properties.

Following methods were used like the X-ray structural analysis, optical microscopy, measurement of microhardness, definition of friction coefficient.

It was determined that excitation of compressive plasma current on «Nb/Ti/Al-Si» system forms surface layer of alloyed by titanium and niobium. In alloyed layer intermetallic compound ((Al,Si)<sub>3</sub>Nb, (Al,Si)<sub>3</sub>Ti, AlN) are formed. After handling of silumin by compressive plasma current enlargement of silicon diffraction line is observed that depends on size decreasing of primary crystal which are liberated during crystallization.

Changing of handling mode influence on thickness of alloyed layer. The thickness of layer is increased during increasing of density of absorption energy from 14-21 μm (E = 17 J/cm<sup>2</sup>, 1 pulse) to 45-55 μm (E=30 J/cm<sup>2</sup>, 3 pulses). Increasing of pulses form homogeneous alloyed layer by structure and thickness.

The most increasing of microhardness relative of the initial model is observed in the model processed by one pulse with absorption energy equal to 17 J/cm<sup>2</sup> (H=4.8 GPa). Alloying by titanium and niobium atoms allows to decrease friction coefficient of silumin to 0,35 (1 pulse, 17 J/cm<sup>2</sup>).