

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

УДК 669.295.539.121.537.534

**ВАСИЛЕНКО**  
Екатерина Александровна

**АЗОТИРОВАНИЕ И ЛЕГИРОВАНИЕ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ**

Дипломная работа

*Научный руководитель:*  
кандидат физико-математических наук,  
доцент Черенда Н. Н.

Рецензент:  
кандидат технических наук,  
доцент Комар М. В.

Допущена к защите  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016г.  
Зав. кафедрой физики твердого тела  
доктор физико-математических наук,  
профессор В. В. Углов

Минск, 2016

## Реферат

Дипломная работа, 43 с., 3 гл., 28 рис., 2 табл., 32 источника.

**СТАЛЬ, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ, КОМПРЕССИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, ЛЕГИРОВАНИЕ, АЗОТИРОВАНИЕ, МИКРОТВЕРДОСТЬ, ШЕРОХОВАТОСТЬ.**

Целью дипломной работы являлось исследование элементного и фазового состава поверхностного слоя стали 3, легированного атомами титана при воздействии компрессионных плазменных потоков, генерируемых в атмосфере азота.

В данной работе применялись такие методы исследования, как рентгеноструктурный анализ, оже-электронная спектроскопия, растровая электронная микроскопия, измерение микротвердости по Виккерсу, определение коэффициента трения, анализ шероховатости поверхности.

В результате воздействия компрессионных плазменных потоков на систему Ti/сталь 3 в стали был сформирован поверхностный слой, легированный титаном, толщиной около 15 мкм. Воздействие компрессионных плазменных потоков, генерируемых в атмосфере азота, приводит к насыщению поверхностного слоя азотом в результате диффузии и формированию TiN.

Установлено, что изменение количества импульсов воздействия позволяет контролировать концентрацию легирующего элемента в перемешанном слое. В исследуемых диапазонах режимов обработки (1-6 импульсов) концентрация титана изменялась в диапазоне 5-15 ат.%. Увеличение количества импульсов также приводит к увеличению однородности распределения титана в легированном слое.

Обнаружено, что в системе Ti /Ст3, обработанной компрессионными плазменными потоками наблюдается формирование пересыщенного твердого раствора Ti в  $\alpha$ -Fe, нитрида TiN и интерметаллида  $Fe_2Ti$ . Фазовый состав легированного слоя коррелирует с равновесными диаграммами состояния Fe-Ti и Ti-N.

Воздействие компрессионного плазменного потока приводит к увеличению микротвердости поверхностного слоя стали.

Полученные результаты могут лечь в основу технологии повышения прочностных характеристик углеродистых сталей.

## Рэферат

Дыпломная праца, 43с., 3 гл., 28 мал., 2 табл., 32 крыніцы.

СТАЛЬ, ФАЗАВЫ СКЛАД, КАМПРЭССІЙНЫЯ ПЛАЗМЕННЫЯ ПАТОКІ, ЛЕГІРАВАННЕ, АЗАТАВАННЕ, МІКРАЦВЕРДАСЦЬ, ШУРПАТАСЦЬ.

Мэтай дыпломнай працы з'яўлялася даследванне элементнага I фазавога саставу павярхоўнага пласту сталі 3, легаванага атамамі тытану пры ўздзеянні кампрэсійных плазменных патокаў, генерованых у атмасферы азоту.

У гэтай працы ўжываліся такія метады даследавання, як рэнтгенаструктурны аналіз, аже-электронная спектраскапія, растрвая электронная мікраскапія, вымярэнне мікрацвердасці па Віккерсу, вызначэнне каэфіцыента трэння, аналіз шурпатасці паверхні.

У выніку ўздзеяння кампрэсійных плазменных патокаў на сістэму Ti / сталь 3 у сталі быў сфармаваны павярхоўны пласт, легаваны тытанам, таўшчынёй каля 15 мкм. Ўздзеянне кампрэсійных плазменных патокаў, генерованых ў атмасферы азоту, прыводзіць да насычэння павярхоўнага пласта азотам у выніку дыфузіі і фармавання TiN.

Устаноўлена, што змена колькасці імпульсаў ўздзеяння дазваляе кантраляваць канцэнтрацыю легіруючых элементаў у перамяшаным пласце. У даследаваных дыяпазонах рэжымаў апрацоўкі (1-6 імпульсаў) канцэнтрацыя тытану змянялася ў дыяпазоне 5-15 ат.%. Павелічэнне колькасці імпульсаў таксама прыводзіць да павелічэння аднастайнасці размеркавання тытана ў легаваным пласце.

Выяўлена, што ў сістэме Ti / ст3, апрацаванай кампрэсійнымі плазменнымі патокамі, назіраецца фарміраванне перасычанага цвёрдага раствора Ti ў  $\alpha$ -Fe, нітрыду TiN і інтэрметаліду  $Fe_2Ti$ . Фазавы склад легаванага пласта карэлюе з раўнаважнымі дыяграмамі стану Fe-Ti і Ti-N.

Ўздзеянне кампрэсійнага плазменнага патоку прыводзіць да павелічэння мікрацвердасці павярхоўнага пласту сталі.

Атрыманыя вынікі могуць легці ў аснову тэхналогіі павышэння трывальных характарыстык вугляродзістых сталей.

## Essay

The diploma, 43pg., 3 ch., 28 fig., 2 tab., 32 source.

STEEL, PHASE COMPOSITION, COMPRESSION PLASMA FLOWS, ALLOING, NITRATION, MICROHARDNESS, ASPERITY.

Phase and elemental composition investigation of steel St3 surface layer alloyed with titanium atoms under the action of compression plasma flows generated in nitrogen atmosphere was the aim of this work.

In this essay we used such research methods as X-ray diffraction, Auger electron spectroscopy, scanning electron microscopy, Vickers microhardness test, determination of the coefficient of friction, surface asperity analysis.

As a result of treatment by compression plasma flow to the system Ti / steel 3 in the steel surface was formed layer doped with titanium with thickness of about 15 microns. Treatment by compression plasma flow generated in the nitrogen atmosphere leads to saturation of the surface layer by nitrogen as a result of diffusion and formation of TiN.

It is established that the change of the number of treatment pulses enables to control the concentration of alloy element in the mixed layer. In the studied range of processing mode (1 – 6 pulses) titanium concentration was varied in the range of 5-15 at.%. Increasing the number of the pulses also increases the uniformity of the distribution of titanium in the alloyed layer.

It is found that in the Ti / St3 sistem treated with compression plasma flows observed the formation of a supersaturated solid solution of Ti in the  $\alpha$ -Fe, nitride TiN and intermetallic Fe<sub>2</sub>Ti. The phase composition of the doped layer correlates with the equilibrium phase diagrams of Fe-Ti and Ti-N.

The impact of the compression plasma stream increases the microhardness of the surface layer of steel.

The results obtained could form the basis of technology of increasing the strength characteristics of carbon steels.