

# Особенности фазового состава слоев, формируемых в процессе ионно-плазменного азотирования поверхности сплавов титана

В.В. Поплавский<sup>1\*</sup>, И. Л. Поболь<sup>2)</sup>, А. Н. Дробов<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, [vasily.poplav@tut.by](mailto:vasily.poplav@tut.by)

<sup>2)</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

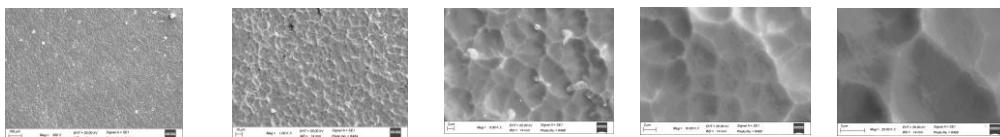
Москва,  
МГУ им М.В. Ломоносова,  
30 мая – 1 июня 2023 г.

Ионно-плазменной обработке подвергались сплавы титана VT1-0 и OT4-1.

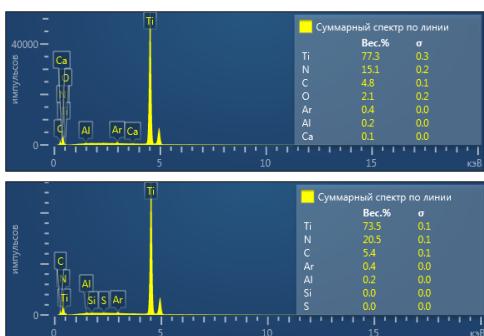
Сплав VT1-0 не содержит в своем составе легирующие элементы, только незначительное количество примесей, структура сплава представлена  $\alpha$ -фазой. Сплав OT4-1 в качестве легирующих элементов содержит алюминий и марганец и относится к псевдо- $\alpha$ -сплавам, структура которых представлена в основном  $\alpha$ -фазой и небольшим количеством  $\beta$ -фазы.

Ионно-плазменную обработку поверхности образцов проводили в среде состава 10 % N<sub>2</sub> + 90 % Ar при различных температурах в интервале от 650 °C до 900 °C.

**Цель работы:** исследование особенностей формирования фаз соединений титана при ионно-плазменной обработке поверхности сплавов титана в азотсодержащей среде



EDX:



Энергодисперсионные спектры участков поверхности образцов сплава VT1-0 с поверхностными слоями, полученными в процессе ионно-плазменного азотирования при температуре 830 °C в течение 5 ч

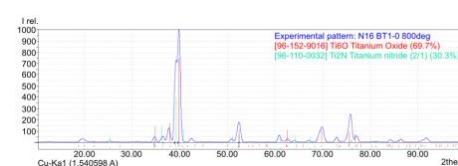
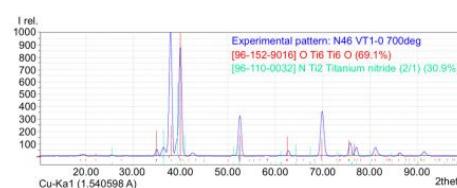
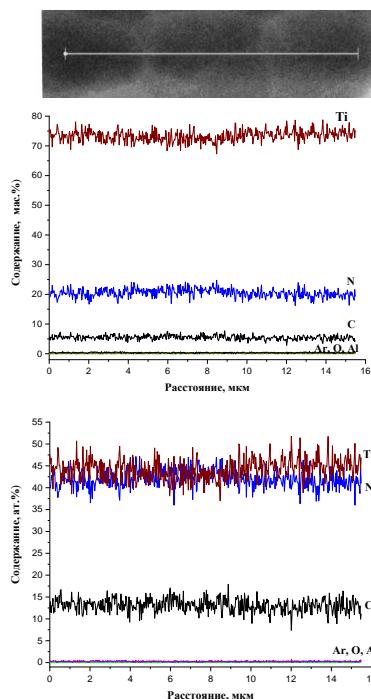
По данным энергодисперсионного анализа в состав азотированного слоя входят титан, азот, углерод, а также кислород, аргон и алюминий. Содержание титана и азота близко к стехиометрическому составу TiN.

SEM:

Электронно-микроскопические изображения поверхности образца сплава VT1-0 с поверхностным слоем, полученным в процессе ионно-плазменного азотирования при температуре 830 °C в течение 5 ч

Электронно-микроскопические исследования показывают, что морфология поверхности сплава со слоем, сформированным в процессе ионно-плазменной обработки имеет регулярную структуру с размерами зерен ~2–5 мкм.

XRD:



Дифрактограммы образцов сплава VT1-0 с поверхностными слоями, полученными в процессе ионно-плазменного азотирования в течение 5 ч при различных температурах

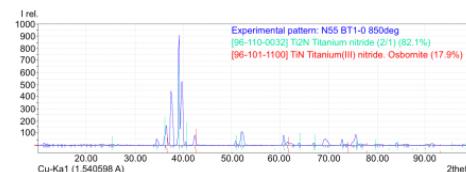
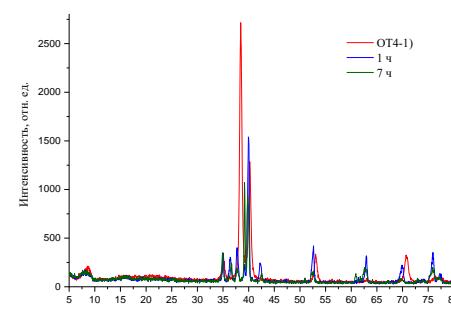
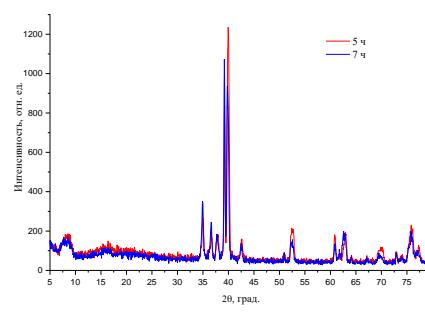
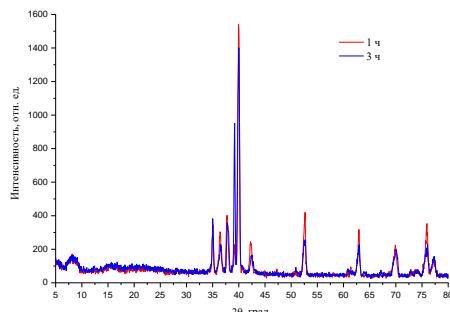
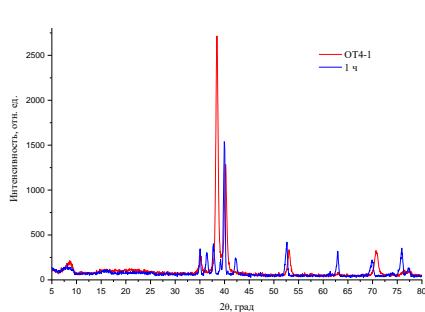


Таблица. Фазовый состав поверхности образцов сплава VT1-0 со слоями, полученными в процессе ионно-плазменного азотирования при различных температурах

Температура процесса, °C	Содержание фаз, %					
	Ti	Ti <sub>6</sub> O	Ti <sub>3</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Ti <sub>2</sub> N	TiN
650	18,9	79,9	–	1,2	–	–
700	–	69,1	–	–	30,9	–
750	–	72,2	20,7	–	7,2	–
800	–	69,7	–	–	30,3	–
850	–	–	–	–	82,1	17,9

Дифрактограммы исходного образца сплава OT4-1 и образцов с поверхностным слоем, полученным в процессе ионно-плазменной обработки при T = 850 °C в течение 1, 3, 5 и 7 ч



## Особенности формирования фазового состава слоев

По данным рентгенофазового анализа в поверхностном слое сплава VT1-0 при невысоких температурах (примерно до 700 °C) формируются преимущественно оксидные фазы Ti<sub>6</sub>O, Ti<sub>3</sub>O. При повышении температуры (>800 °C) преобладает процесс образования нитридных фаз Ti<sub>2</sub>N, TiN (см. таблицу).

При исследовании серии образцов сплава OT4-1 со слоями, полученными при ионно-плазменной обработке различной продолжительности при 850 °C установлено, что обработка поверхности в течение уже одного часа приводит к существенному изменению фазового состава. Фаза титана в составе исследуемого слоя не обнаруживается, в то время как в исходном образце регистрируется только  $\alpha$ -титан. Вначале преобладает образование оксидных фаз Ti<sub>6</sub>O и Ti<sub>3</sub>O, и только при увеличении длительности обработки до семи часов появляется фаза нитрида титана TiN.

Такие особенности изменения фазового состава поверхности сплавов титана при ионно-плазменной обработке в азотсодержащей среде состава 10 % N<sub>2</sub> + 90 % Ar при различных температурах и при различной длительности процесса обусловлены свойствами титана и наличием на поверхности оксидной пленки.