

ОСОБЕННОСТИ ФАЗОВОГО СОСТАВА СЛОЕВ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ СПЛАВОВ ТИТАНА

Сплавы титана обладают уникальными свойствами, благодаря сочетанию низкой плотности, высокой прочности и жесткости, ударной вязкости. Вместе с тем низкая твердость поверхности и недостаточная износостойкость ограничивает использование материалов в узлах и деталях, функционирующих в условиях контактного взаимодействия, что требует модифицирования поверхности с целью улучшения механических свойств материалов. Вследствие химической инертности титановые сплавы используются для изготовления стойких к коррозии изделий, эксплуатируемых в условиях, при которых нежелательно разрушение материала и попадание его атомов в рабочую среду. Основными направлениями такого применения являются изготовление электродов электрохимических устройств и имплантатов в ортопедии и стоматологии.

Для достижения требуемых характеристик сплавов титана проводится обработка поверхности изделий, в том числе ионно-плазменное азотирование. Титан может быть азотирован в широком диапазоне температур, приблизительно от 620 °С до 1100 °С. Нижняя граница этого диапазона определяется скоростью диффузии азота, необходимой для получения слоев достаточной толщины. Верхний диапазон ограничен значительными фазовыми превращениями и ростом зерен в титановых сплавах. При температурах до 882,5 °С устойчива низкотемпературная α -модификация титана с гексагональной плотноупакованной решеткой, при более высоких температурах, вплоть до плавления, существует высокотемпературная β -модификация с объемно-центрированной кубической решеткой.

Цель данной работы: изучение особенностей образования фаз при ионно-плазменной обработке поверхности сплавов титана в азотсодержащей среде в зависимости от температуры и длительности процесса. Ионно-плазменному азотированию подвергались сплавы титана: ВТ1-0 и ОТ4-1. Сплав ВТ1-0 не содержит в своем составе легирующие элементы, только незначительное количество примесей. Его структура представлена α -фазой. Сплав ОТ4-1 в качестве легирующих элементов содержит алюминий и марганец и относится к псев-

до- α -сплавам, структура которых представлена в основном α -фазой и небольшим (не более 5%) количеством β -фазы.

Проведены систематические исследования особенностей формирования фаз при ионно-плазменной обработке сплавов при различных температурах в интервале от 650 °С до 900 °С в течение 5 ч (сплав ВТ1-0) и при $T = 850$ °С и различной (от одного до семи часов) длительности процесса (сплав ОТ4-1). Ионно-плазменную обработку поверхности образцов проводили на установке ионно-плазменного азотирования ФТИ НАН Беларуси. Состав рабочей газовой смеси: 10% N_2 + 90% Ar. Давление газа в рабочей камере составляло 160 Па; напряжение, поддерживающее тлеющий разряд, – 400 В. Разогрев образцов осуществляли в атмосфере аргона. Значительное содержание аргона в составе рабочей среды способствует удалению вследствие ионного распыления оксидной пленки с поверхности сплавов в процессе ионно-плазменного азотирования.

Анализ элементного состава формируемых слоев проведен методом энергодисперсионного микроанализа. Рентгенофазовый анализ слоев производился с применением дифрактометров ДРОН-3 и D8 Advance Bruker AXS. В качестве анализирующего использовалось CuK_{α} -излучение. Обработка полученных дифрактограмм осуществлялась с применением программного пакета Match! – Phase Analysis using Powder Diffraction – Version 3. По данным энергодисперсионного анализа в состав исследуемых слоев входят титан, азот, а также углерод, кислород, аргон и алюминий. Кислород входит в состав поверхностной оксидной пленки, углерод – в состав углеводородных загрязнений.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 1) в исходном образце сплава ОТ4-1 обнаруживается только α -фаза титана. Ионно-плазменная обработка поверхности при температуре 850 °С в течение уже одного часа приводит к существенному изменению фазового состава. Фаза титана в составе исследуемого слоя не обнаруживается. Основу слоя составляет оксид титана Ti_6O и карбонитрид состава Ti_2CN . Возможно также наличие в незначительных количествах нитрида титана состава $TiN_{0,26}$ и алюминида титана $AlTi$. При увеличении длительности ионно-плазменной обработки фазовый состав формируемых слоев изменяется. После трех часов обработки при $T = 850$ °С в составе обнаруживаются оксиды титана Ti_6O и Ti_3O . После пятичасовой обработки в плазме в состав слоя в основном входит оксид Ti_6O , а также в незначительном количестве нитрид титана TiN . После семи часов ионно-плазменного азотирования основу полученного слоя составляют оксид титана Ti_6O и нитрид TiN . Возможно также наличие

оксида Ti_3O , нестехиометрических нитридов титана $TiN_{0.9}$ и $Ti_{0.76}N$, карбонитрида титана состава $TiC_{0.2}N_{0.8}$. Похожие результаты (рис. 2) получены при рентгенофазовом анализе образцов сплава ВТ1-0, подвергнутых ионно-плазменной обработке в таких же условиях при различных температурах (650 °С, 700 °С, 750 °С, 800 °С, 850 °С и 900 °С) на протяжении пяти часов.

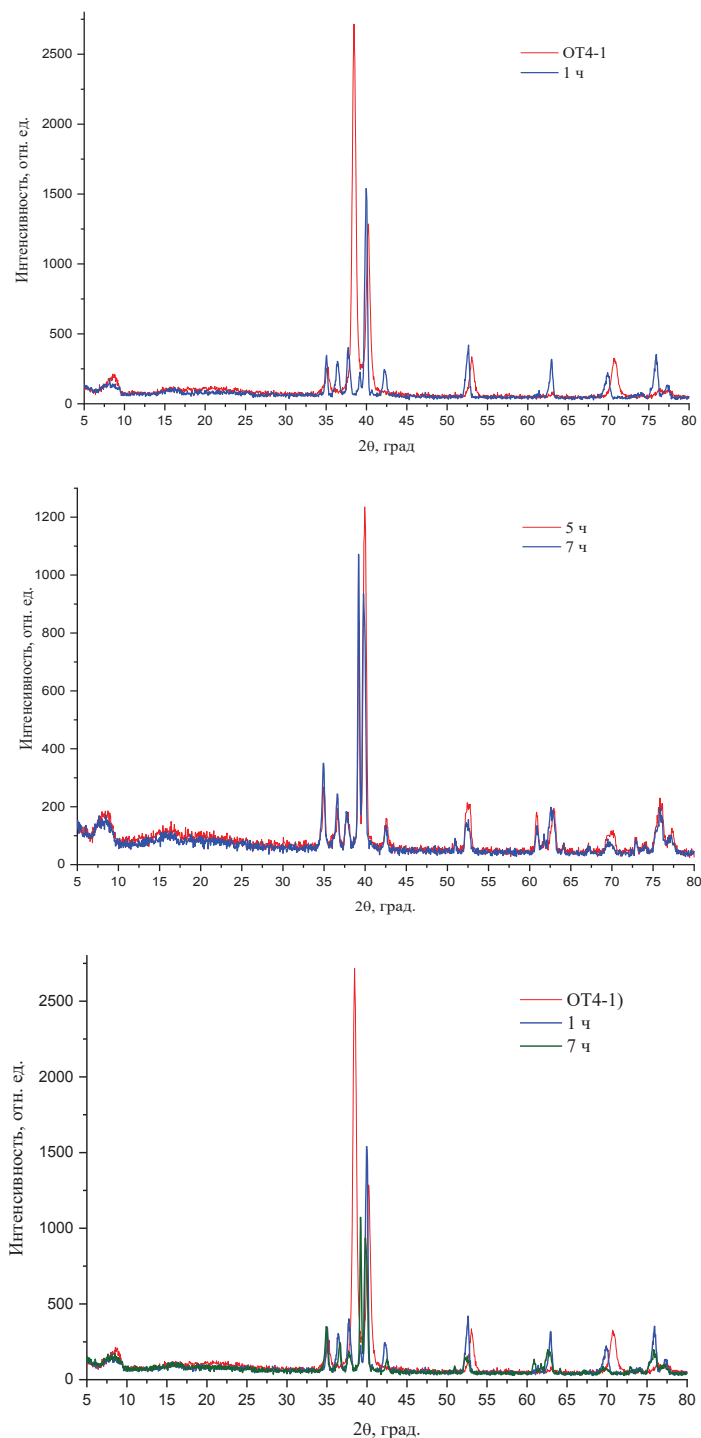
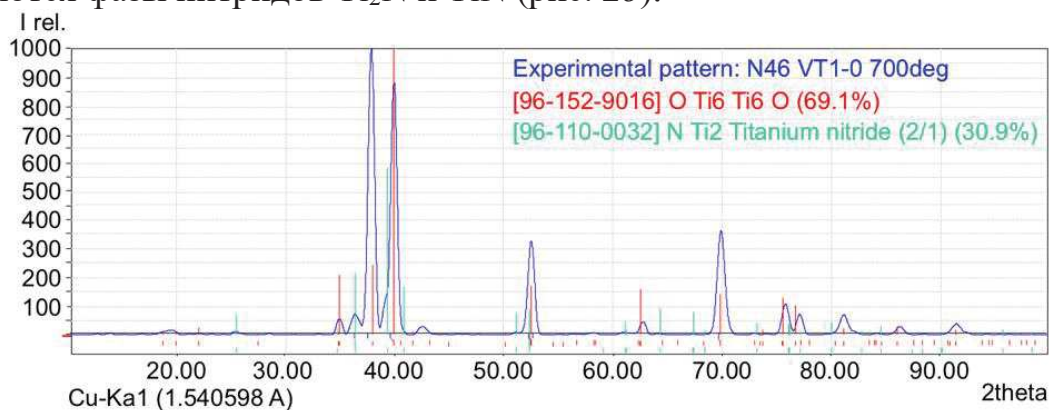
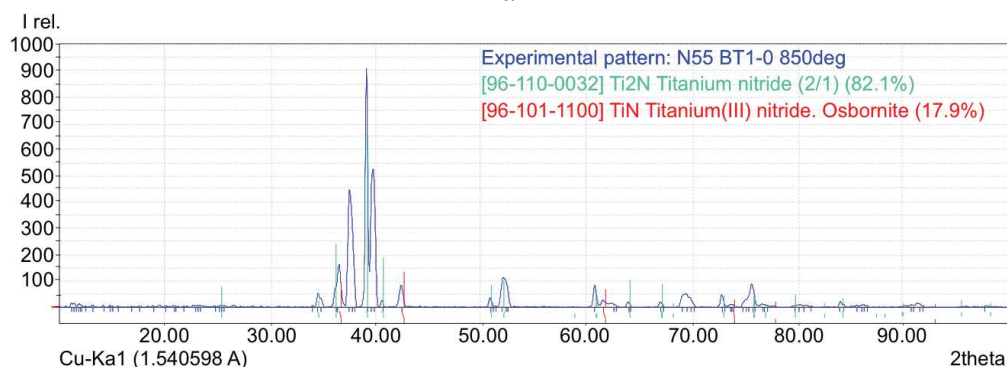


Рисунок 1 – Дифрактограммы исходного образца сплава OT4-1 и образцов, подвергнутых ионно-плазменной обработке при $T = 850$ °С в течение 1, 5 и 7 ч

При не очень высоких температурах (примерно до 700 °С) в составе слоев преобладают оксидные фазы Ti_6O и Ti_3O . И только при повышении температуры обработки до (800–900) °С возрастает диффузионная подвижность атомов азота и начинает преобладать процесс образования нитридных фаз, в составе формируемых слоев обнаруживаются фазы нитридов Ti_2N и TiN (рис. 2б).



a



б

Рисунок 2 – Дифрактограммы образцов сплава VT1-0, подвергнутых ионно-плазменной обработке в течение 5 ч при различных температурах *a* – 700 °С; *б* – 850 °С

Установленные особенности фазового состава слоев, формируемых на поверхности сплавов титана в процессе ионно-плазменной обработки в азотсодержащей среде, обусловлены свойствами титана и наличием на поверхности оксидной пленки. При обработке в среде, содержащей значительное количество аргона, интенсивного образования на поверхности оксидной пленки, препятствующей процессу азотирования, скорее всего, нет. Однако имеющийся в составе исходной пленки кислород вступает во взаимодействие с атомами титана и при не очень высокой температуре и начальных стадиях взаимодействия плазмы с подложкой образуются преимущественно оксиды титана. При увеличении температуры обработки, а также длительности процесса начинают формироваться нитриды титана.