

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ТИТАНА ОТ4 ПРИ ИОННО–ПЛАЗМЕННОМ АЗОТИРОВАНИИ

Бородина А.С.¹, Соколова И.С.², Порозова С.Е.¹

¹*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь;*

²*ООО «Ионные технологии», Пермь*

Ключевые слова: ионно-плазменное азотирование, структура титана, сплав ОТ4, зернистость, микротвердость.

Аннотация. Известно, что при ионно-плазменном азотировании происходит увеличение зерна у некоторых титановых сплавов. В статье приведены результаты исследования структуры образцов из титанового сплава ОТ4 до и после ионно-плазменного азотирования при следующих параметрах: 800°C, 30 ч, газовая смесь – азот : водород при соотношении 30:70%. Проведено исследование формы зерна основного материала и зафиксированы характеристики азотированного слоя.

CHANGES IN THE STRUCTURE OF TITANIUM OT4 DURING ION-PLASMA NITRIDING

Borodina A.S.¹, Porozova S.E.², Sokolova I.S.¹

*Perm National Research Polytechnic University, Perm;
Ion Technologies LLC, Perm*

Keywords: ion-plasma nitriding, structure of titanium, OT4 alloy, grain size, microhardness.

Abstract. It is known that during ion plasma nitriding, the grain increases in some titanium alloys. The article presents the results of a study of the structure of titanium alloy samples OT4 before and after ion plasma nitriding at 800°C, 30 hours, gas mixture 30:70% nitrogen:hydrogen. The grain shape of the base material was studied and the characteristics of the nitrided layer were recorded.

Титан ОТ4 – распространенный деформируемый сплав средней прочности, относящийся к псевдо- α классу. Сплав ОТ4 используется для изготовления деталей, требующих сочетания прочности, жаропрочности и коррозионной стойкости. Применяется в авиационной промышленности, машиностроении и т.д. Для повышения износостойкости проводят ионно-плазменное азотирование титана. При этом реакция сплавов титана может существенно отличаться, что не всегда связано с параметрами проведения процесса. Ионно-плазменное азотирование повышает износостойкость ВТ-20 [1], ВТ1-0, ВТ6 и ОТ4-1 [2]. Анализ литературы показал, что при ионном азотировании может происходить заметный рост зерна сплава ВТ1-0, в отличие от сплава ОТ4-1, который не подвержен активному росту зерен и может подвергаться упрочнению при температурах до 900°C [3].

Цель работы – исследование микроструктуры титанового сплава ОТ4 до и после ионно-плазменного азотирования, оценка влияния процесса на параметры зерна и структурную стабильность сплава. Работа является частью исследований, проводимых для оптимизации параметров азотирования сплава при различной величине заготовок.

Для исследования выбран сплав ОТ4 из прокатного круга, изготовлено два образца №1 и №2 (рис. 1). Процесс азотирования проводили на образце №2 при температуре 800°C в течение 30 ч в газовой смеси 30:70% азот:водород. После ионно-плазменного азотирования проводили сравнение двух образцов №1 (исходного) и №2 (после ионного азотирования).

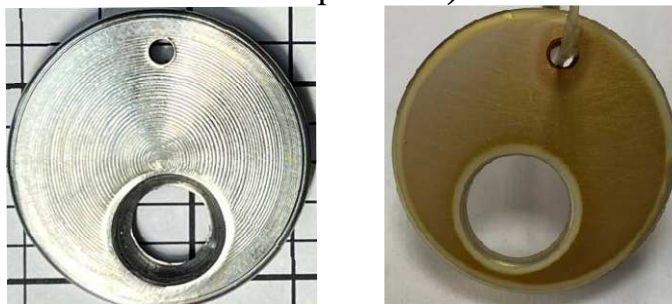


Рис. 1. Изделие до (образец №1) и после (образец №2) ионно-плазменного азотирования

Измеряли твердость с поверхности по методу Виккерса при нагрузках 1 кгс и 0,1 кгс. Вырезали часть образца и фиксировали в эпоксидной смоле перпендикулярно резу. По стандартной методике поэтапно шлифовали и полировали шлиф. После провели оценку микроструктуры основного материала и азотированного слоя, протравив реактивом $\text{HF}(2\%)+\text{HNO}_3(2\%)+\text{H}_2\text{O}(96\%)$. Оценка микроструктуры и глубины азотированного слоя проводили на оптическом микроскопе с помощью программного анализатора структур SIAMS модификации АСМ.1.

Твердость поверхности после упрочнения увеличилась в 1,4 раза при нагрузке в 1 кгс, а микротвердость поверхности в 3,2 раза при нагрузке 0,1 кгс (табл. 1). Такое повышение твердости поверхности является следствием образования на поверхности твердой фазовой составляющей - нитрида титана.

Табл. 1. Твердость поверхности

Образец	№ замера	HV1	HV0.1
№1 (исходный)	1	286,2	292,8
	2	278,9	322,2
	3	300,9	304,3
	4	287,6	300,8
	5	298,1	302,5
	Ср. знач.	290 HV1	305 HV0.1
№2 (азотированный)	1	417,8	1042
	2	405,9	846
	3	420,3	1037
	4	399,9	951
	5	412,3	985
	Ср. знач.	411 HV1	972 HV0.1

Среднее значение твердости поверхности, при одинаковой нагрузке, значительно больше твердости основного изделия, это увеличивает такие характеристики как, износостойкость поверхности [4], что немаловажно при эксплуатации изделий.

В структуре сплава титана ОТ4 образца №1 зёрна имеют вытянутую форму вдоль проката (рис. 2). В структуре не обнаружены значительные дефекты. Программный анализатор структур SIAMS автоматически оценил балл зерна образца №1 по ГОСТ 5639-82, установив величину зерна на уровне 9,8.

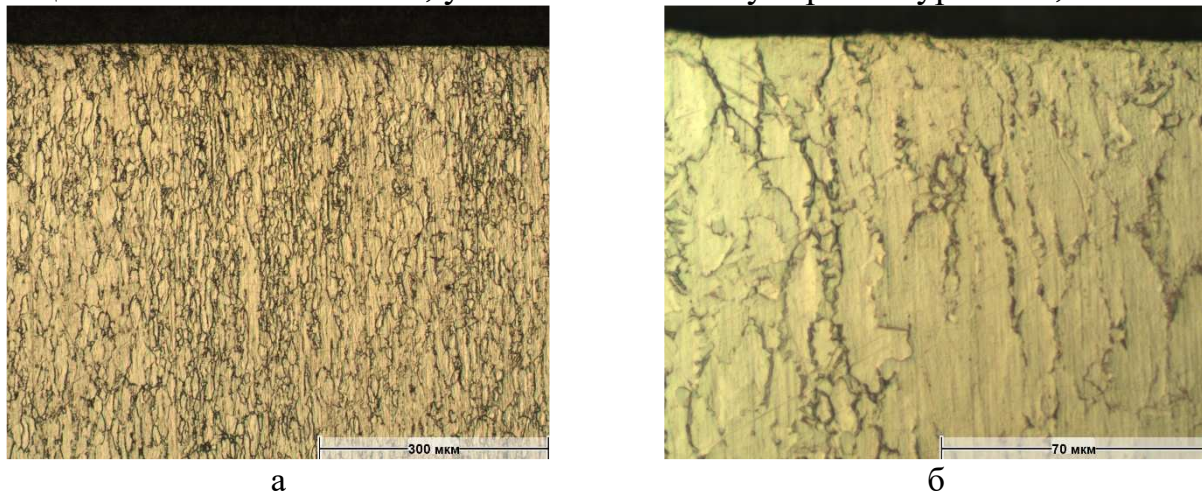


Рис. 2. Структура образца №1 (исходного): а) $\times 100$; б) $\times 500$

После азотирования титанового сплава ОТ4 наблюдается равномерная и однородная структура основного материала (рис. 3), форма зерна потеряла ярковыраженную вытянутую форму. Величина балла зерна равна 10,3, что свидетельствует об отсутствии существенных изменений – укрупнения зерна не произошло. Так как процесс прошёл при температуре 800°C произошла рекристаллизация в структуре, которая привела к формированию равноосной структуры.

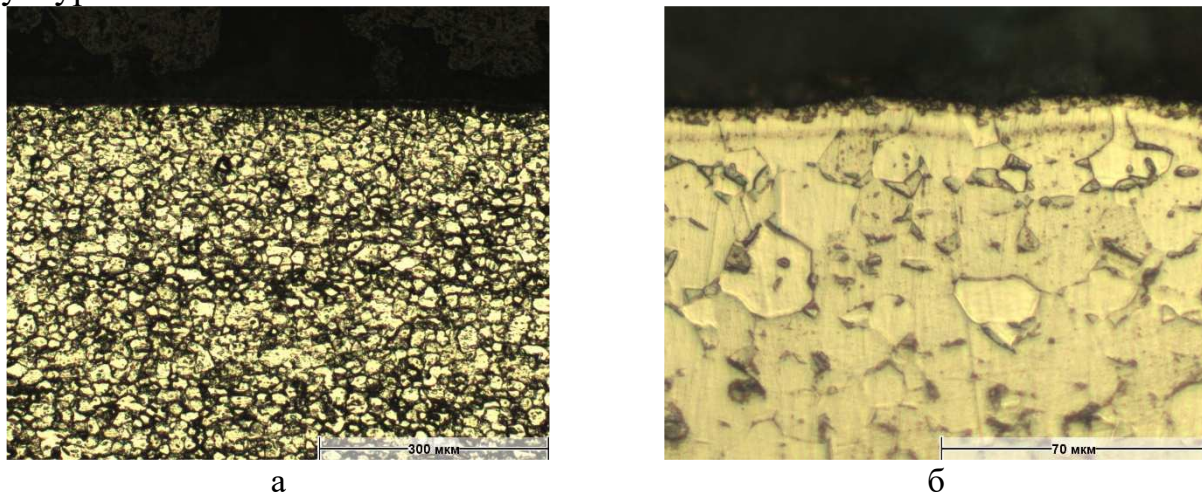


Рис. 3. Структура образца №2 после азотирования: а) $\times 100$; б) $\times 500$

Укрупнение зерна в приповерхностной зоне после ионно-плазменного азотирования также не наблюдается. На поверхности сформировался видимый плотный слой нитрида титана (рис. 3, б). Толщина нитридного слоя 8-10 мкм. При длительной выдержке в 30 ч, видимый слой по структуре имеет глубину небольшую, это связано с тем, что диффузия в сплавах титана намного ниже, чем в сталях.

Таким образом, при ионно-плазменном азотировании структура титанового сплава ОТ4 на образце №2 изменилась и стала равноосной, так как произошёл

рекристаллический отжиг, при этом укрупнение зерна не зафиксировано. На поверхности сформировался нитридный слой 8-10 мкм, благодаря которому микротвердость поверхности увеличилась с 305 HV0.1 до 972 HV0.1.

Список литературы

1. Соколова И.С., Князев А.А. Упрочнение титанового сплава BT20 методом ионно-вакуумного азотирования // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 1. – С. 288-292.
2. Дробов А.Н., Босяков М.Н., Поболь И.Л. Влияние ионно-плазменного азотирования на износостойкость и характер изменения шероховатости поверхности титановых сплавов BT1-0, BT6 и OT4-1 // Литьё и металлургия. – 2022. – №2. – С. 78-83.
3. Гордиенко А.И., Дробов А.Н., Поболь И.Л. Влияние режима формирования газовой среды на характеристики диффузионных слоев титановых сплавов BT1-0, BT6 и OT4-1 после ионного азотирования // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сборник научных трудов. – Минск: Государственное научное учреждение "Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси", 2020. – С. 88-96.
4. Олешук И.Г., Дробов А.Н., Поболь И.Л., Босяков М.Н. Исследование влияния состава газовой среды при ионно-плазменном азотировании титановых сплавов на глубину упрочненных слоев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сборник научных трудов. В 3-х книгах. – Минск: Государственное научное учреждение "Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси", 2018. – С. 201-211.

Сведения об авторах:

Бородин Анастасия Сергеевна – студентка;

Соколова Ирина Сергеевна – заведующая лабораторией;

Порозова Светлана Евгеньевна – д.т.н., доцент, профессор кафедры Механика композиционных материалов и конструкций.