

ПЛАЗМЕННО-ИММЕРСИОННАЯ ИОННАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ АЛЮМИНИЯ В ТИТАН ВТ1-0

А.Н. Сутыгина, И.А. Шулёпов

Научный руководитель: профессор, д. ф. - м. н. Н.Н. Никитенков

Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sutygina2013@mail.ru

THE PLASMA IMMERSION ION IMPLANTATION OF ALUMINIUM IN TITANIUM

A.N. Sutygina, I.A. Shulepov, A.I.

Scientific Supervisor: Prof., N.N. Nikitenkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: sutygina2013@mail.ru

***Annotation.** In this paper was presented the dependence of the wear resistance of Ti from processing time of plasma immersion ion implantation of Al. The concentration of elements in the depth of the modified layer was determined.*

Одним из методов улучшения эксплуатационных свойств конструкционных и функциональных материалов является плазменно-иммерсионная ионная имплантация металлов в поверхность. Это связано с тем, что с помощью данного метода можно изменять физико-химические свойства поверхностных слоёв, создавать новые соединения в том числе, интерметаллиды, повышающие их прочность и износостойкость.

В данной работе объектом исследования был титан марки ВТ1-0, в который имплантировали алюминий из плазмы дугового разряда. Это обусловлено тем, что интерметаллидные фазы на основе Ti-Al имеют высокую механическую прочность, твердость, износостойкость и коррозионную устойчивость, и они, как правило, являются тугоплавкими [1, 2].

Целью работы являлось изучение микроструктуры и распределения элементов и образовавшихся фаз в поверхностных слоях обрабатываемого материала в зависимости от дозы имплантируемых ионов, а также исследование механических свойств полученных при имплантации в приповерхностные слои.

Первоначально образцы размером 25x25x1 мм³, предварительно отполированные, подвергались ионной очистке в плазме аргона, полученной с помощью дугового генератора газовой плазмы с накалимым катодом, при давлении рабочего газа в вакуумной камере 1Па. Время обработки составило 15 мин. Формирование потока ионов алюминия на поверхность образца осуществлялось из плазмы вакуумно-дугового испарителя с помощью короткоимпульсного высокочастотного потенциала смещения с длительностью импульса $t_{\text{имп}}=7$ мкс, частотой следования импульсов –100Гц, амплитудой потенциала смещения $U=-2$ кВ относительно земли (анода дугового испарителя), ток дугового разряда составлял $I_{\text{дуг}}=90$ А, плотность ионного тока в импульсе $J_i=6.5$ мАсм⁻². Время обработки изменялось от 0,5 мин. до 6 мин.

Для исследования распределения элементов по глубине модифицированного слоя использовались Оже-электронный спектрометр «Шхуна-2» и спектрометр тлеющего разряда GD-PROFILER 2. Для

исследования фазового при поверхностного слоя использовался рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD 7000. Фотографии микроструктуры получены с помощью трехмерного бесконтактного профилометра MicroMeasure 3DStation оптического микроскопа с камерой KB 30 SPruftechnikGmbH и сканирующего электронного микроскопа TM-3000. Механические свойства поверхности исследовались с помощью высокотемпературного трибометра PC-Operated High Temperature Tribometer THT-S-AX0000.

Результаты и обсуждение. На рис. 1 показаны концентрационные профили Al (а) и Ti (б) в зависимости от времени имплантации алюминия в титана. Из рис. 1а хорошо просматривается следующая тенденция: увеличение времени имплантации приводит к изменению профиля распределения алюминия, что говорит о внедрении и накоплении алюминия в приповерхностном слое. Из описанной тенденции выпадает профиль при времени облучения 1,5 мин. Такие же выпадения из зависимости наблюдаются и при исследовании другими методами (см. ниже): микроскопии перпендикулярного шлифа приповерхностного слоя, фазового анализа, коэффициента трения. Поэтому следует говорить не об ошибке эксперимента при проведении измерений, а об особенностях технологии имплантации.

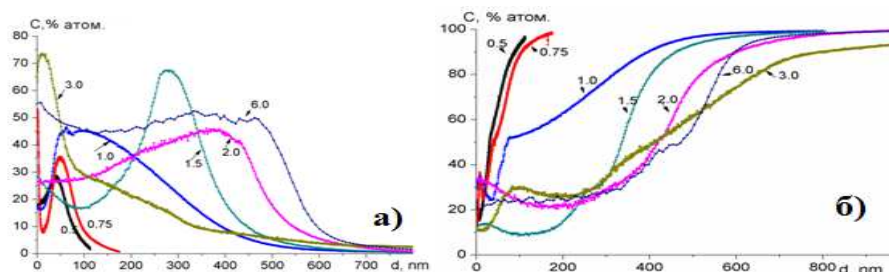


Рис.1. Концентрационные профили алюминия (а) и титана (б) после имплантации алюминия в титан.

Цифрами у кривых показаны времена имплантации в минутах

Фазовый состав модифицированной поверхности титана после 3-х минут облучения показан на рис. 2. Видно, что на поверхности формируются интерметаллические соединения. Надо иметь в виду, однако, что состав соединений меняется в зависимости от времени облучения.

Соединения Ti_3Al , Al_5Ti_2 , $AlTi_3$ фиксируются уже при времени имплантации 0,5 минут. При увеличении времени имплантации изменяется интенсивность линий, соответствующих этим фазам, без всякой закономерности.

На рис.3. показаны микроизображения перпендикулярных шлифов с образцов титана, полученные на электронном микроскопе. Верхний (светлый) слой – это затвердевшая эпоксидная смола, проникающая

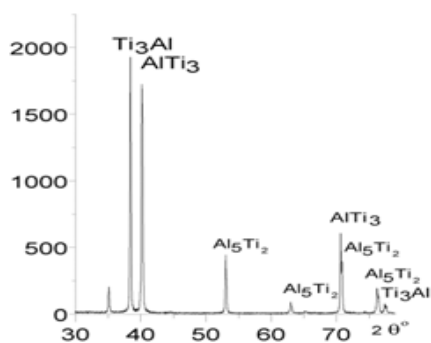


Рис. 2. Дифрактограмма имплантированной поверхности титана алюминием 3 мин.

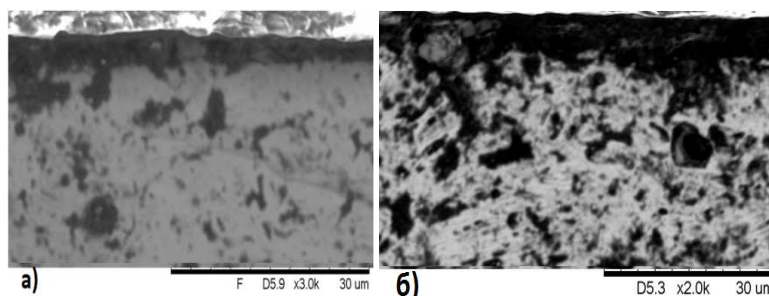


Рис.3. Исследование образцов титана модифицированного алюминием с помощью СЭМ, время имплантации а) 0,5 мин.; б) 3 мин.

между образцами. Темный слой – это результат имплантации алюминия. На исходном образце подобного слоя не наблюдается. Видно, что при увеличении времени имплантации модифицированный слой расширяется, и от него ответвляются темные «отростки», по-видимому, это результат термостимулированной диффузии по границам зёрен.

Из полученных данных, представленных в таблице 1, видно, что для образцов, время обработки которых составило 1,5 и 2 мин., коэффициент трения увеличивается. Для образца, время обработки которого 2 мин. площадь трека износа больше, чем у исходного образца, из этого можно сделать вывод, что износостойкость этого образца понизилась. У других образцов наблюдается повышение износостойкости.

Таблица 1.

Зависимости изменения коэффициента трения и среднего арифметического значения площади трека износа от времени обработки образцов алюминием

Длительность обработки образца, мин.	Коэффициент трения	Ср. ариф. знач. площади трека износа, мкм ²
Исходный	0,490	7952
0,5	0,469	4126
0,75	0,481	3752
1	0,472	4002
1,5	0,512	6705
2	0,677	10338
3	0,489	5309
6	0,497	6313

Как видно из результатов исследования, сохраняется тенденция изменения свойств поверхности, но она немонотонна. Указанные закономерности могут быть связаны с такими эффектами, как наличие в потоке металлической плазмы заряженных кластерной и микрокапельной фракции; эффектами эрозии и роста поверхности при имплантации (тепловые пики, перераспыление слоев, созданных на предыдущих этапах) и др. Понятно, что на текущем этапе исследований этой технологии невозможно оценить роль каждого из указанных эффектов.

Заключение. Представленные в настоящей статье экспериментальные результаты с одной стороны указывают на большие перспективы плазменно-иммерсионной импульсной имплантации в плане модификации поверхности, с другой стороны, указывают на слабую изученность физических процессов, как в самой плазме, так и при её взаимодействии с поверхностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринберг Б.А., Иванов М.А.. Интерметаллиды Ni₃Al и TiAl: микроструктура, деформационное поведение – Екатеринбург: Издательство Уро РАН – 2002 – 358 с.
2. Курзина И.А., Божко И.А., Калашников М.П., Фортуна С.В., Батырева В.А., Степанов И.Б., Шаркеев Ю.П. // Изв. Томск.политехн. ун-та. 2004, Т. 307, № 3, с. 30–35.