

## Пальянов Андрей Артемович

канд. техн. наук, доцент, заведующий аспирантурой АО «Российские космические системы»

г. Москва

## Байбарацкая Марина Юрьевна

канд. техн. наук, профессор, заведующая кафедрой Омский автобронетанковый инженерный институт (филиал)

ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны РФ

г. Омск, Омская область

## ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТЕЙ ТИТАНОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация: в работе исследовано влияние ионно-лучевой обработки методом ионной имплантации меди в титановые и алюминиевые сплавы, полученные различными методами механической обработки на изменение морфологии поверхности и твердости сплавов. Показано, что ионная имплантация вызывает повышение механических свойств поверхностного слоя независимого от способа механической обработки и типа сплава.

**Ключевые слова**: ионно-лучевая обработка, титановые сплаве, алюминиевые сплавы, механические свойства, микротвердость, шероховатость.

Сплавы на основе титана и алюминия широко используются в авиационнокосмической технике благодаря малому удельному весу, коррозионной стойкости. Титановые сплавы обладают высокой жаростойкостью и способностью сохранять высокий предел прочности в широком интервале температур: от криогенных до 500–600°С. однако сплавы на основе титана и алюминия имеют ограничения по использованию в узлах трения из-за высокой схватываемости даже при низких нагрузках. Перспективными становятся исследования в области повышения механических и триботехнических характеристик титановых и алюминиевых сплавов.

Методы модификации металлических материалов концентрированными потоками энергии составляют одно из наиболее перспективных направлений современного материаловедения. Особенно активно ведутся работы по исследованию технологических возможностей обработки поверхностей деталей машин ионными и лазерными пучками [2; 3]. Ионно-лучевая модификация поверхностных слоев позволяет увеличить коррозионную стойкость, жаростойкость, износостойкость, повысить механические свойства, сопротивление усталости.

В процессе ионно-лучевой обработки наряду с собственно имплантацией примесных ионов в поверхностный слой развивается процесс распыления. В зависимости от свойств взаимодействующих веществ и энергии ионов процесс распыления характеризуется различными количественными параметрами и оказывает существенное влияние на топографию поверхности, прошедшей предварительную механическую обработку.

О влиянии ионной имплантации на механические свойства можно судить по изменению микротвердости образцов [4]. Исследованию подвергались образцы из титановых сплавов ВТ-6 и ОТ-4, и алюминиевых сплавов В-95 и Д-1, полученные различными методами механической обработки: точением, шлифованием, доводкой и имплантированных ионами меди с энергией E = 60 кэВ и дозой  $D = 1*10^{17}$  ион/см². Для получения данных о характере изменения механических свойств с изменением толщины зондируемого слоя изменяли нагрузку на индентор микротвердомера ПМТ-3 и получали отпечатки глубиной от 2 до 20 мкм.

Наибольшее упрочнение наблюдалось при имплантации точеных образцов. Микротвердость при глубине отпечатка 2,5 мкм. увеличивается в три раза. Наименьшее упрочнение было отмечено у образцов, прошедших доводку, максимальное увеличение микротвердости составило 100% на глубине 2,6 мкм., а на глубине более 5 мкм. микротвердость исходных и имплантированных образцов практически одинаковы, в то время как у точеных образцов это наблюдается на

глубине около 7 мкм. Промежуточное положение по степени упрочнения занимают шлифованные образцы, максимальное упрочнение на глубине 2,5 мкм. составило 180%.

Кроме того, исследовали влияние режимов ионной имплантации на параметры шероховатости образцов, полученных различными методами механической обработки (точением, шлифованием, доводкой) из титанового сплава ВТ-6 и алюминиевого В-95. Образцы имплантировали ионами меди с энергией 40 кэВ в течение 10, 20, 30, 40, 60 минут частотно-импульсным сильноточным источником ионов.

Параметры шероховатости поверхностей различных материалов изменялись в зависимости от дозы облучения и предварительной механической обработки. Это объясняется различным уровнем поверхностной энергии веществ и различным коэффициентом распыления. Существует и общая закономерность, шероховатость грубых поверхностей заметно снижается, это относится к поверхностям, полученным методом точения. Так шероховатость поверхности образца из сплава В-95 уменьшилась на 23,5%, а образца из сплава ВТ6 – на 24,5%. В то же время шероховатость шлифованных образцов уменьшилась всего на 11,0% и 8,5%, а шероховатость полированных образцов практически не изменилась, за исключением радиуса кривизны микронеровностей, который увеличивается в 5—10 раз.

Полученные результаты можно объяснить следующим образом: механическая обработка, в том числе шлифование и полирование (доводка), непременно связана с пластической деформацией. В результате взаимодействия со средой образуются потенциальные области зарождения будущих очагов разрушений, создается разная степень упрочнения. Все процессы изменения структуры поверхностных слоев должны существенно отражаться на величине работы выхода электрона (РВЭ), как наиболее структурно-чувствительном физическом параметре металла. РВЭ определяется как средняя работа, необходимая для удаления электрона из твердого тела и перенос его на значительное расстояние от поверх-

ности [1]. Работа выхода совершается в тонком поверхностном слое, где на электрон действуют силы, стремящиеся втянуть его в металл. Интенсивность удаления микрочастиц вещества с поверхностей металлов связана с величиной РВЭ и полученное в экспериментах значительное снижение шероховатости на грубо обработанных поверхностях образцов можно объяснить относительно невысоким значением РВЭ по сравнению с величиной РВЭ полированных образцов.

Принимая во внимание общность характера изменения микротвердости по глубине и качества поверхностей для различных сплавов и различных способов предшествующей механической обработки образцов можно сделать следующие выводы:

- 1. Ионная имплантация образцов вызывает повышение механических свойств поверхностного слоя независимого от способа механической обработки и типа сплава. Толщина упрочненного слоя в зависимости от вида сплава находится в пределах 3,5–6,5 мкм, а на больших глубинах микротвердость исходных и модифицированных образцов различаются мало.
- 2. Степень упрочнения поверхностного слоя зависит от вида предварительной механической обработки.
- 3. Наиболее интенсивное упрочнение характерно для материалов, склонных к образованию высокопрочных соединений с легирующими ионами.
- 4. Распыление вещества наиболее интенсивно происходит с вершин микронеровностей.

Полученные результаты показали перспективность данного метода поверхностного модифицирования цветных сплавов на основе титана и алюминия с целью улучшения их механических и триботехнических характеристик.

## Список литературы

1. Колотов А.А. Массоперенос в металлах при импульсном ионном облучении / А.А. Колотов, В.Я. Баянкин, С.Г. Быстров // Физические и физико-химические основы ионной имплантации. — 2012. — С. 70.

- 2. Курзина И.А. Влияние ионной имплантации на структурно-фазовое состояние и корозионные свойства титана с различным размером зерна / И.А. Курзина, Н.А. Попова, Е.Б. Фирхова, Г.В. Лямина, Е.Л. Никоненко, М.П. Калашников // Материаловедение. 2013. №6. С. 25–32.
- 3. Никитенков Н.Н. Ионно-иммерсионная имплантация алюминия в ВТ1– 0 / Н.Н. Никитенков, А.Н. Сутыгина, И.А. Шулепов, Е.Б. Кашкаров // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2016. Т. 80. №2. С. 131.
- 4. Тарасенков А.Н. Исследование влияния ионной имплантации на состав поверхностных слоев и микротвердость прокатанных титановых фольг с напыленным слоем алюминия / А.Н. Тарасенков, П.В. Быков // Радиационная физика металлов и сплавов. 2015. С. 87–88.