

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

А.Р.ШАМИЕВА¹, Ю.Ф.ИВАНОВ^{1,2}

¹ Томский политехнический университет

² Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: shamieva_nastya@mail.ru

Для повышения долговечности, надежности и стойкости деталей машин и механизмов в агрессивных средах, при трении скольжения под большими давлениями в присутствии абразивных частиц целесообразно и достаточно упрочнять лишь поверхностные слои, а не всю деталь в целом [1-3]. Алюминий и его сплавы широко используются в промышленности благодаря достаточно большой удельной прочности, удовлетворительной коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости механическими методами [4]. Однако наряду с этими преимуществами алюминий обладает малой твердостью и невысокой износостойкостью. Диффузное насыщение поверхности алюминия ионами азота позволяет в той или иной мере минимизировать эти недостатки [5].

Комбинированные технологии модифицирования поверхности металлов и сплавов получили широкое развитие в последние десятилетия. К наиболее перспективным из них следует отнести электронно-ионно-плазменные технологии, сочетающие воздействие различных видов концентрированных потоков энергии (потоки плазмы, электронные и ионные пучки, и т.д.) [6].

Для реализации процесса азотирования алюминия необходимо решить ряд специфических проблем. Во-первых, сократить длительность процесса азотирования, так как высокотемпературное воздействие сопровождается существенным понижением твердости диффузионного слоя и детали в целом. Во-вторых, необходима эффективная очистка поверхности в процессе азотирования, так как на поверхности алюминия и его сплавов присутствует оксидная пленка, препятствующая поступлению азота на обрабатываемую поверхность. В-третьих, необходимо удалять образующуюся на поверхности образца пленку нитрида алюминия, которая препятствует поступлению азота вглубь образца и не позволяет сформировать протяженные упрочненные слои. Одним из направлений решения указанных проблем является разработка методов азотирования в плазме газового (дугового) разряда низкого давления.

Целью настоящей работы является разработка комбинированного метода модифицирования поверхности технически чистого алюминия, заключающегося в облучении электронным пучком системы «пленка (сталь 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» и последующем азотировании в плазме газового разряда низкого давления.

В качестве модифицируемого материала использовали технически чистый алюминий марки А7. Комбинированная обработка алюминия заключалась в следующем. На первом этапе на поверхность алюминия напыляли пленку сплава 12Х18Н10Т толщиной 0,5 мкм. Формирование пленки проводили на модернизированной установке ионно-плазменного напыления «Квинта». На втором этапе сформированную таким образом систему «пленка (сталь 12Х18Н10Т) / (А7) подложка» облучали интенсивным импульсным электронным пучком на установке «СОЛЮ». На заключительном этапе осуществляли азотирование модифицированной поверхности алюминия на установке ННВ-6.6-И1, дооснащенной плазмогенератором ПИНК. На образцы подавалось импульсное отрицательное смещение с частотой 50 кГц и регулируемой амплитудой и коэффициентом заполнения импульса. Температура азотирования (540 °С) измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары, укрепленной на держателе образцов. В качестве плазмообразующего газа использовался азот. Длительность азотирования – 8 часов.

Установлено, что твердость модифицированных образцов максимальна на поверхности (в слое толщиной ≈ 5 мкм) и монотонно убывает по мере удаления от поверхности обработки. Твердость модифицированного слоя существенным образом зависит от режима

облучения системы пленка/подложка интенсивным импульсным электронным пучком. Облучение электронным пучком с параметрами 16 кэВ, 30 Дж/см², 200 мкс, 0,3 с⁻¹, 10 имп. позволило повысить твердость образцов технически чистого алюминия марки А7 в ≈7 раз (рисунок 1, кривая 1).

Выполнены трибологических испытания и показано, что износостойкость модифицированного слоя существенным образом зависит от режима модифицирования материала. Выявлен режим модифицирования, позволяющий уменьшить коэффициент трения μ в ≈ 1,3 раза и повысить износостойкость, характеризующуюся параметром V, образцов технически чистого алюминия А7, в ≈ 9 раз.

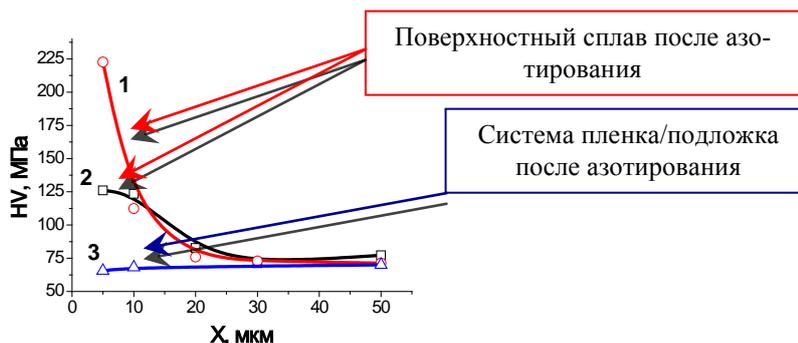


Рисунок 1 – Зависимость твердости от расстояния до поверхности азотирования технически чистого алюминия А7: **кривая 1** – напыление пленки 0,5 мкм стали 12Х18Н10Т + облучение электронным пучком (16 кэВ, 30 Дж/см², 200 мкс, 0,3 с⁻¹, 10 имп.) + азотирование в плазме газового разряда; **кривая 2** – напыление пленки 0,5 мкм стали 12Х18Н10Т + облучение электронным пучком (16 кэВ, 30 Дж/см², 200 мкс, 0,3 с⁻¹, 20 имп.) + азотирование в плазме газового разряда; **кривая 3** – напыление пленки 0,5 мкм стали 12Х18Н10Т + азотирование в плазме газового разряда

Таким образом, в результате выполненных исследований продемонстрирована возможность многократного увеличения трибологических и прочностных характеристик технически чистого алюминия марки А7, подвергнутого комплексному модифицированию поверхностного слоя путем облучения системы «пленка (сталь 12Х18Н10Т, 0,5 мкм) / (А7) подложка» интенсивным электронным пучком и последующему азотированию в плазме газового разряда низкого давления. Основные области применения разработки: аэрокосмическая промышленность, авиационная промышленность, машиностроение.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М. Химико-термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин, В.Н. Арзамасов – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
2. Грибков В.А. Перспективные радиационно- пучковые технологии обработки материалов / В.А. Грибков, Ф.И. Григорьев, Б.А. Калинин, В.Л. Якушин – М.: Круглый год, 2001. – 528 с.
3. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов: Монография / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк, В.С. Русаков, Т.Э. Туркебаев. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
4. Белов Н.А. Фазовый состав промышленных и перспективных алюминиевых сплавов / Н.А. Белов – М.: Изд-во МИСиС, 2010. – 510 с.
5. Будилов В.В. Интегрированные методы обработки конструкционных и инструментальных материалов с использованием тлеющих и вакуумно- дуговых разрядов / В.В. Будилов, Н.Н. Коваль, Р.М. Киреев, К.Н. Рамазанов – М.: Машиностроение, 2013. – 320 с.
6. Поут Дж.М., Джекобсон Д. Модифицирование и легирование поверхности лазерными, ионными и электронными пучками. - М.: Машиностроение, 1987.- 424 с.