

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ, МОДИФИЦИРОВАННОГО КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ

А.Р. Шамиева, О.С. Толкачев, Е.А. Петрикова

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. Ю.Ф. Иванов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
E-mail: shamieva_nastya@mail.ru

Общепризнанно, что для повышения долговечности, надежности и стойкости деталей машин и механизмов в агрессивных средах, при трении скольжения под большими давлениями в присутствии абразивных частиц оказывается целесообразным и достаточным упрочнять лишь поверхностные слои, а не всю деталь в целом [1–3]. В настоящее время существует большое количество методов поверхностного упрочнения деталей: поверхностный наклеп обкаткой роликами или обдувка дробью, газо-плазменное и другие виды нанесения покрытий [2, 3]. Широко распространенным видом поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка. Химико-термическая обработка заключается в сочетании термического и химического воздействия на металлы и сплавы для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя обрабатываемого материала и сводится к диффузионному насыщению поверхностного слоя материала неметаллами (C, N, Si, B и др.) или металлами (Cr, Ti и др.) в процессе выдержки при определенной температуре в активной жидкой, твердой (порошковой) или газовой среде [1]. С помощью химико-термической обработки увеличиваются износостойкость поверхности, твердость и коррозионная стойкость материала. Высокая твердость азотированного слоя объясняется тем, что азот, проникая в поверхностный слой металла, образует химические соединения, называемые нитридами. Они имеют высокую твердость, а главное – выделяются в виде наноразмерных частиц, устойчивых к термическому воздействию. К примеру, соединение AlN переходит в газовую фазу при температуре 2450 °С без плавления, алюминий плавится уже при температуре 660 °С [4]. Как всегда в таких случаях, атомная решетка азотируемого материала вокруг мест выделения нитридов искажается, в результате чего возникают многочисленные препятствия для перемещения дислокаций, что способствует упрочнению модифицированного слоя [5].

Химико-термическая обработка обладает рядом особенностей и преимуществ, а именно, (1) независимость процесса обработки от формы детали. Формирование упрочненного слоя одинаковой толщины; (2) большое различие между свойствами сердцевины и поверхности, так как при обработке изменяются не только структура, но и элементный состав металла; (3) негативные последствия перегрева изделий могут быть устранены последующей термической обработкой. Серьезным недостатком азотирования является большая длительность этого процесса. Цикл азотирования длится до двух суток.

Алюминий и его сплавы широко используются в промышленности благодаря достаточно большой удельной прочности, удовлетворительной коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости механическими методами. 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.

Целью настоящей работы является анализ структуры и свойств технически чистого алюминия, подвергнутого комбинированной обработке.

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 (сплав 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, оснащенной 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 ч.

Исследование поверхности модифицированных образцов, выполненное методами сканирующей электронной микроскопии, выявило формирование в поверхностном слое островковой структуры с размерами островков до 5 мкм (рис. 1а). Размеры субструктуры островков изменяются в пределах от 100 до 500 нм (рис. 1б).

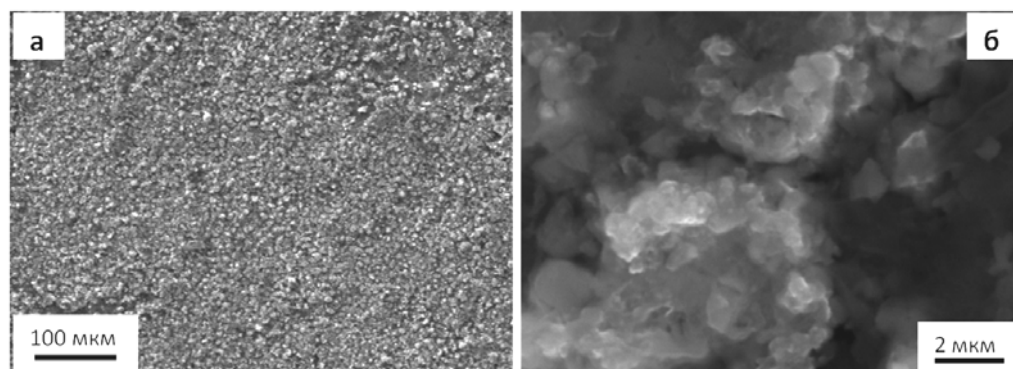


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение поверхности технического чистого алюминия марки А7, подвергнутого комбинированной обработке

Методами рентгенофазового анализа обнаружено формирование в поверхностном слое многофазного состояния, представленного алюминием, нитридом алюминия AlN и твердым раствором на основе железа α -Fe(Cr, Al).

Выполнены трибологические испытания и установлено, что комбинированная обработка позволяет повысить износостойкость образцов технического чистого алюминия А7 более чем в ≈ 9 раз и снизить коэффициент трения в $\approx 1,3$ раза. Методами наноиндентации построены профили твердости модифицированных образцов технического чистого алюминия А7. Выявлено формирование упрочненного слоя толщиной до 30 мкм, твердость которого у поверхности модифицирования превышает твердость исходного материала в 4,5 раза.

Таким образом, в результате выполненных исследований продемонстрирована возможность многократного увеличения трибологических и прочностных характеристик технического чистого алюминия марки А7, подвергнутого комплексному легированию поверхностного слоя путем облучения системы «пленка (сплав 12Х18Н10Т, 0,5 мкм)/(А7) подложка» интенсивным электронным пучком и последующему азотированию в плазме газового разряда низкого давления.

Список литературы

1. Лахтин Ю.М., Арзамасов В.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М. : Металлургия, 1984. – 256 с.
2. Грибков В.А., Григорьев Ф.И., Калинин Б.А. и др. перспективные радиационно-пучковые технологии обработки материалов. – М. : Круглый год, 2001. – 528 с.
3. Ионно-лучевая и ионно-плазменная модификация материалов : монография / К.К. Кадыржанов, Ф.Ф. Комаров, А.Д. Погребняк и др. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 640 с.
4. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. – М. : Металлургия, 1978. – 112 с.
5. Гольдштейн М.И., Фарбер Б.М. Дисперсионное упрочнение стали. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с.