

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ, ПОДВЕРГНУТОГО  
КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКЕ**

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

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. Ю.Ф. Иванов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [shamieva\\_nastya@mail.ru](mailto:shamieva_nastya@mail.ru)

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF TECHNICALLY PURE ALUMINIUM SUBJECTED TO THE  
COMBINED PROCESSING**

A.R. Shamieva, O.S. Tolkachev, E.A.Petrikova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.F. Ivanov

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

E-mail: [shamieva\\_nastya@mail.ru](mailto:shamieva_nastya@mail.ru)

***Abstract.** Performed the combined processing of technically pure aluminum of the A7 consisting in nitriding in plasma of the gas category of low pressure of system film (alloy 12X18H10T, 0,5  $\mu\text{m}$ ) / (A7) substrate, subjected to preliminary radiation by an intensive pulse electron beam of sub millisecond duration of influence. Revealed formation in a surface layer of submicro- and nanocrystal multiphase structure, the main phase which is nitride of aluminum. It is established that proposed the combined processing allows multiple to increase tribological (wear resistance) and strength (hardness) characteristics of the modified material.*

Широко распространенным видом поверхностного упрочнения является химико-термическая обработка, заключающаяся в сочетании термического и химического воздействия на металлы и сплавы для изменения химического состава, структуры и свойств поверхностного слоя обрабатываемого материала, обусловленного диффузионным насыщением поверхностного слоя материала неметаллами (С, N, Si, В 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 [2]. 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 [3].

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, однако для реализации процесса азотирования алюминия необходимо решить ряд специфических проблем. Первая проблема заключается в том, что поверхность алюминия и его сплавов, как правило, покрыта оксидами, и для обеспечения надежного поступления азота на обрабатываемую поверхность необходима эффективная очистка поверхности в процессе азотирования. При этом наиболее распространенная химическая очистка поверхности водородом оказывается не эффективной, так как алюминий сам является восстановителем. Это вызывает необходимость интенсифицировать процесс ионной очистки при азотировании или непосредственно перед ним. Другой проблемой азотирования алюминия является формирование на его поверхности пленки нитрида алюминия, которая, с одной стороны, препятствует поступлению азота вглубь образца, а с другой, являясь диэлектриком, осложняет подачу потенциала на обрабатываемые изделия в процессе ионного азотирования. Наличие диэлектрической пленки на азотируемой поверхности приводит к тому, что заряд ионов не может стекать во внешнюю цепь и накапливается на поверхности, что приводит к электрическому пробое пленки нитрида алюминия и ее разрушению с образованием катодного пятна на обрабатываемой поверхности.

Целью настоящей работы является анализ структуры и свойств технически чистого алюминия, подвергнутого комбинированной обработке, включающей на завершающей стадии насыщение поверхностного слоя материала азотом.

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 «СОЛО». 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 час.

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

Методами рентгенофазового анализа обнаружено формирование в поверхностном слое многофазного состояния, представленного алюминием, нитридом алюминия AlN и твердым раствором на основе железа  $\alpha$ -Fe(Cr, Al) (рис. 2).

Выполнены трибологические испытания и установлено, что комбинированная обработка позволяет повысить износостойкость образцов технически чистого алюминия А7 более чем в  $\approx 9$  раз и снизить коэффициент трения в  $\approx 1,3$  раза. Методами наноиндентации построены профили твердости

модифицированных образцов технически чистого алюминия А7. Выявлено формирование упрочненного слоя толщиной до 30 мкм, твердость которого у поверхности модифицирования превышает твердость исходного материала в 4,5 раза.

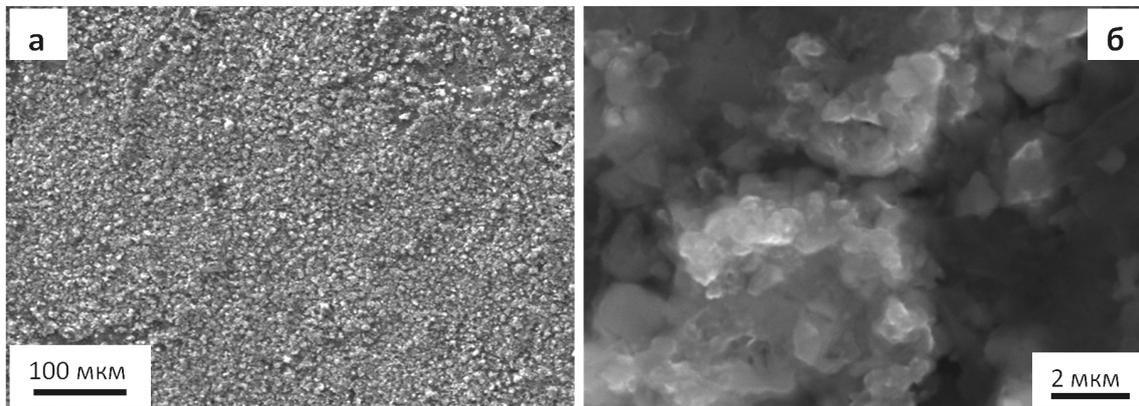


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение поверхности технически чистого алюминия марки А7, подвергнутого комбинированной обработке

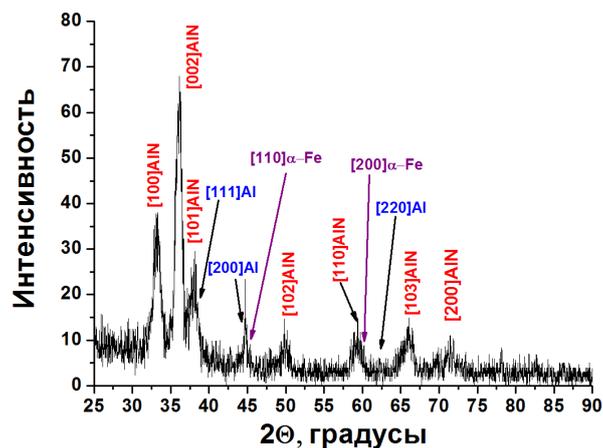


Рис. 2. Участок рентгенограммы, полученной с поверхности технически чистого алюминия марки А7, подвергнутого комбинированной обработке

Таким образом, в результате выполненных исследований продемонстрирована возможность многократного увеличения трибологических и прочностных характеристик технически 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.

*Выражаем благодарность В.В. Шугурову, И.В. Лопатину и А.Д. Тересову за активное участие в обработке образцов технически чистого алюминия марки А7.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю.М., Арзамасов В.Н. Химико-термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1984. – 256 с.
2. Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. – М.: Металлургия, 1978. – 112 с.
3. Гольдштейн М.И., Фарбер Б.М. Дисперсионное упрочнение стали. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.