

## ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 621.789: 538.911

DOI: 10.17223/00213411/68/2/5

**Физические факторы, способствующие повышению усталостной долговечности силумина методами комплексной электронно-ионно-плазменной обработки\***Д.В. Загуляев<sup>1</sup>, Ю.Ф. Иванов<sup>2</sup>, В.В. Шляров<sup>1</sup>, А.А. Серебрякова<sup>1</sup><sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия<sup>2</sup> Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск, Россия

Вакуумным плазменно-ассистированным (плазма аргона) электродуговым распылением катода из технически чистого титана марки ВТ1-0 на поверхности образцов силумина марки АК5М2, подготовленных для усталостных испытаний, сформирована пленка титана толщиной 5 мкм с последующим облучением полученной системы импульсным электронным пучком. Показано, что пленка титана имеет нанокристаллическую столбчатую структуру с поперечным размером столбиков 20–30 нм. Столбики сформированы кристаллитами, размеры которых 5–7 нм. Выполнены усталостные испытания и показано, что усталостная долговечность системы «пленка/подложка» существенным образом зависит от плотности энергии пучка электронов ( $E_S$ ). Выполнены исследования элементного и фазового состава, состояния дефектной субструктуры системы «пленка/подложка», облученной импульсным электронным пучком, и высказаны предположения о физических факторах, оказывающих влияние на усталостную долговечность силумина марки АК5М2.

**Ключевые слова:** силумин АК5М2, титан, система «пленка/подложка», усталостная долговечность, плазменно-ассистированное напыление, импульсный электронный пучок, элементный и фазовый состав, дефектная субструктура.

**Введение**

В настоящее время уделяется большое внимание разработке новых методов модификации металлов и сплавов. Модификация осуществляется различными способами: ионные пучки, обработка при помощи плазмы, лазера и ультразвука, нанесение покрытий и др.

Наибольшую эффективность представляет сочетание различных методов, нанесение покрытий и дальнейшая обработка энергетическими воздействиями. Например, в работе [1] показан эффект нанесения покрытия Al–Ti–Ni на сталь, которая эксплуатируется в условиях чрезвычайной подверженности коррозии и образования коррозионных трещин. Модификация путем создания покрытия и дальнейшего лазерного переплавления позволила получить поверхностный слой, обладающий большим сжимающим напряжением, сдерживающим его растрескивание, а также положительное изменение коррозионных потенциалов, что увеличило коррозионную стойкость сформированной системы. В исследованиях [2, 3] представлено сравнение изменения усталостной долговечности сплава алюминия 7075-T6 с нанесением низкотемпературного твердого покрытия DLC (алмазоподобный углерод) и при отсутствии покрытия. Выявлено, что такое сочетание позволяет повысить трибологические характеристики и коррозионную стойкость без ущерба для механических свойств подложки. Однако установлено снижение усталостной долговечности в результате формирования покрытия.

Согласно исследованиям [4–6], одним из наиболее эффективных методов является электронно-пучковая обработка (ЭПО). Высокая энергетическая эффективность, воспроизводимость импульсов и высокая частота их следования, а также повышенная однородность плотности энергии по сечению потока – преимущества ЭПО по сравнению с остальными методами модифицирования.

Существует также способ легирования поверхностного слоя с помощью напыления тонкой пленки на поверхность материала вакуумно-дуговым методом и последующего переплавления пленки с поверхностным слоем (подложкой) электронным пучком [7]. Значительного эффекта в

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-79-10059, <https://rscf.ru/project/19-79-10059/>.