

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Физическая мезомеханика.
Материалы с многоуровневой иерархически
организованной структурой и интеллектуальные
производственные технологии»,**

посвященная 90-летию со дня рождения
основателя и первого директора ИФПМ СО РАН
академика Виктора Евгеньевича Панина

**в рамках
Международного междисциплинарного симпозиума
«Иерархические материалы: разработка и приложения
для новых технологий и надежных конструкций»**

**5–9 октября 2020 года
Томск, Россия**

Томск
Издательство ТГУ
2020

ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СИЛУМИНА АК5М2 ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОБРАБОТКЕ С ПЛОТНОСТЬЮ ЭНЕРГИИ 10ДЖ/СМ²

¹Шляров В.В., ¹Загуляев Д.В., ¹Абатурова А.А., ²Леонов А.А. ²Устинов А.М.
¹Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк
²Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск

Литейные алюминиевые сплавы системы Al-Si (силумины) имеют достаточное количество преимуществ, среди которых можно выделить высокую удельную прочность, низкий коэффициент теплового расширения, отличные литейные характеристики и хорошую коррозионную стойкость. Поэтому сплавы Al-Si широко применяются при производстве поршней, шкивов, гильз цилиндров и коромысел, заменяя традиционный чугун/сталь в автомобильной промышленности [1-3]. Хорошо известно, что механические характеристики алюминиевых сплавов зависят от характеристик микроструктуры, таких как морфология и размер структурных составляющих. Целью данной работы является обсуждение механизмов, ответственных за повышение износостойкости силумина марки АК5М2 при электронно-лучевой обработки поверхности.

Обработка поверхности сплава производилась на установке «СОЛО» [4]. Плотность энергии луча электронов составляла 10 Дж/см², длительность импульсов (50 и 200) мкс. Структуру облученного материала исследовали посредством сканирующей электронной микроскопии (прибор Philips SEM-515), просвечивающей электронной дифракционной микроскопии (прибор JEM 2100F, JEOL). Параметры износостойкости исследовали при помощи прибора TRIBOtester. Тестирование проводили в условиях сухого трения, параметры испытаний были следующие: нормальная нагрузка 2 Н; скорость вращения образца 25 мм/с, пройденное расстояние 100 м; радиус трека 2 мм; контртело – шарик из твердого сплава ВК7 диаметром 6 мм.

При исследовании трибологических характеристик силумина АК5М2 оперировали параметром износа «к», который является величиной обратной износостойкости. Исследования показали, что облучение силумина высокоинтенсивным электронным лучом с плотностью энергии 10 Дж/см² и длительностью импульса 50 и 200 мкс приводит к снижению параметра износа «к» до $0,78 \cdot 10^{-3}$ мм³/Н·м и $0,75 \cdot 10^{-3}$ мм³/Н·м соответственно, параметр износа силумина в состоянии поставки составляет $1,1 \cdot 10^{-3}$ мм³/Н·м. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что после электронно-лучевой обработки износостойкость силумина АК5М2 увеличивается на 29,09-31,81% в зависимости от длительности импульса луча электронов.

Анализ микро- и наноструктур, образовавшихся в результате обработки поверхности высокоинтенсивным электронным лучом, позволили сделать предположения, касающиеся механизмов повышения износостойкости. Высокоскоростное термическое воздействие, инициированное импульсным электронным пучком, приводит к формированию в прилегающем к пластине кремния объеме силумина структуры высокоскоростной кристаллизации дендритно-ячеистого вида.

Результаты ТЕМ анализа фольги из участка поверхности силумина АК5М2, обработанного импульсным электронным лучом, приведены на рисунке 1. Расшифровка микроэлектроннограммы (рис. 1а) и темнопольного изображения (рис. 1б) показала, что ячейки кристаллизации сформированы твердым раствором на основе алюминия, на границах ячеек алюминия располагаются частицы кремния. Размеры ячеек кристаллизации изменяются в пределах от 40 нм до 100 нм; размеры частиц кремния – (5-10) нм. Прослойки кремния, формирующие структуру пластинчатой эвтектики, изменяются в пределах (15-25) нм.

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многофазной иерархически организованной структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

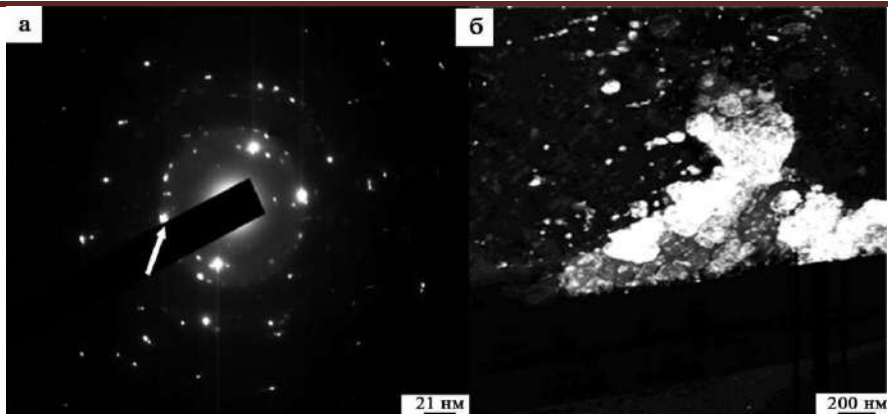


Рис. 1. ТЕМ изображение структуры облученной поверхности силумина АК5М2 высокоинтенсивным электронным лучом (10 Дж/см^2 , 50 мкс, 3 имп.); а – SAED; б – темное поле, полученное в рефлексах $[200]\text{Al}$ и $[220]\text{Si}$

Таким образом, можно предположить, что одной из причин увеличения износостойкости силумина при данном режиме облучения является формирование вокруг кристаллитов кремния оболочки, образующейся при высокоскоростной кристаллизации обогащенного кремнием прилегающего слоя алюминия. Создаваемая вокруг хрупких кристаллов кремния наноразмерная структура будет являться препятствием для распространения микротрещин, изменяя кинетику разрушения пластин кремния и, тем самым, снижая уровень абразивного износа образца.

1. Li Q.L., Zhao S., Li B.Q., Zhu Y.Q., Wang C.Z., Lan Y.F., Xia T.D. A novel modifier on the microstructure and mechanical properties of Al-7Si alloys // *Materials Letters*. 2019. Vol. 251. P. 156-160.
2. Lee K., Kwon Y.N., Lee S. Correlation of microstructure with mechanical properties and fracture toughness of A356 aluminum alloys fabricated by low-pressure-casting, rheo-casting, and casting-forging processes // *Engineering Fracture Mechanics*. 2008. Vol. 75(14). P. 4200-4216.
3. Li Q.L., Li B.Q., Li J.B., Xia T.D., Lan Y.F., Guo T.B. Effects of the addition of Mg on the microstructure and mechanical properties of hypoeutectic Al-7%Si alloy // *International Journal of Metalcasting*. 2017. Vol. 11. P. 823-830.
4. Zaguliaev D., Gromov V., Rubannikova Yu., Konovalov S., Ivanov Yu., Romanov D., Semin A. Structure and phase states modification of AL-11SI-2CU alloy processed by ion-plasma jet and pulsed electron beam // *Surface and Coatings Technology*. 2020. Vol. 383. 125246.