

К. В. Аксёнова

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

alsaraeva_kv@physics.sibsiu.ru

Научный руководитель – проф., д-р физ.-мат. наук В. Е. Громов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА ЭЛЕКТРОННО-ПУЧКОВОЙ ОБРАБОТКОЙ

АННОТАЦИЯ

Методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии выполнен анализ структурно-фазовых состояний и дефектной субструктуры силумина, подвергнутого облучению высокоинтенсивным электронным пучком в различных режимах и последующему усталостному нагружению до разрушения. Выявлено, что источниками усталостных микротрещин являются пластины кремния микронных и субмикронных размеров, не растворившиеся при электронно-пучковой обработке. Обсуждены возможные причины повышения усталостного ресурса силумина электронно-пучковой обработкой.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, субструктура, усталостный ресурс.

ABSTRACT

By transmission electron diffraction microscopy methods the analysis of structure-phase states and defect substructure of silumin subjected to high-intensity electron beam irradiation in various regimes and subsequent fatigue loading up to failure was carried out. It is revealed that the sources of fatigue microcracks are silicon plates of micron and submicron size are not soluble in electron-beam processing. The possible reasons of the silumin fatigue life increase under electron-beam treatment are discussed.

Key words: aluminium alloys, substructure, fatigue life.

В настоящее время электронно-пучковая обработка является уникальным и высокоэффективным инструментом как для исследований физической природы формирования градиентных структурно-фазовых состояний, так и для целенаправленной модификации структуры и свойств силуминов с целью улучшения их эксплуатационных характеристик [1].

Обработка поверхности нержавеющей сталей высокоинтенсивным импульсным электронным пучком сопровождается кратным (более чем в 3,5 раза) увеличением усталостной долговечности этих материалов [2]. Деформационное воздействие, имеющее место при усталостных испытаниях, способствует изменению структурно-фазовых состояний, прочностных и трибологических свойств поверхности [3]. Целью настоящей работы является

анализ эволюции структуры силумина, обработанного высокоинтенсивным импульсным электронным пучком в различных режимах и подвергнутого многоцикловым усталостным испытаниям до разрушения.

Усталостным испытаниям подвергали силумин марки АК12 по схеме циклического асимметричного консольного изгиба [2]. Обработка образцов высокоинтенсивным импульсным электронным пучком осуществлялась на установке «СОЛО» (ИСЭ СО РАН, г. Томск).

Плавление поверхностного слоя силумина интенсивным импульсным электронным пучком и последующая высокоскоростная кристаллизация (не зависимо от используемых в работе режимов облучения) приводят к формированию эвтектики, имеющей столбчатое строение. Столбчатая структура сформирована слоями твердого раствора на основе алюминия, разделенными прослойками кремния. Весьма часто структура скоростной кристаллизации имеет ячеистое строение. Средние размеры ячеек 450 нм, поперечные размеры прослоек кремния 80 нм.

Усталостные испытания приводят к существенному преобразованию структуры высокоскоростной кристаллизации. При малом количестве циклов нагружения (132000) структура ячеистой кристаллизации сохраняется, но существенным образом модифицируется состояние прослоек кремния. Прослойки кремния разбиваются на отдельно расположенные частицы, размеры которых изменяются в пределах (15–30) нм (рис. 1, а). На это указывает формирование на микроэлектронограмме дифракционных колец кремния (рис. 1, б). Наноразмерные частицы кремния выявляются как на границе раздела ячеек алюминия, так и в объеме ячеек (рис. 1, в), что может указывать на вынос кремния в атомарном виде или в виде наноразмерных частиц из прослоек в объем ячеек.

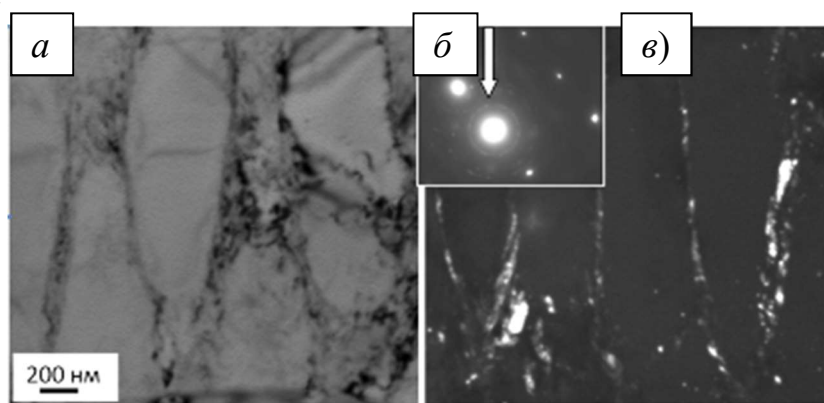


Рис. 1. Структура силумина, обработанного интенсивным импульсным электронным пучком с параметрами 20 Дж/см²; 150 мкс; 1 имп. и разрушенного при 132000 циклах усталостного нагружения; а – светлопольное изображение; б – микроэлектронограмма, стрелкой указан рефлекс, в котором получено темнопольное изображение; в – темнопольное изображение, полученное в рефлексе [111] Si

После 517000 циклов нагружения в поверхностном слое формируется структура лишь отдаленно напоминающая структуру высокоскоростной

ячеистой кристаллизации. В 2–3 раза увеличивается толщина прослоек, разделяющих ячейки алюминия (рис. 2, *а*). Микроэлектронограммы, полученные с прослоек, приобретают ярко выраженный кольцевой характер (рис. 2, *в*). Прослойки фрагментируются, т. е. разбиваются на разориентированные полосы (рис. 2, *б*), в объеме которых выявляется наноразмерная (в пределах 10 нм) субструктура. Разрушение структуры ячеистой кристаллизации сопровождается глобуляризацией частиц кремния, располагающихся равномерно в объеме зерна, на дислокациях или в узлах дислокационных сеток.

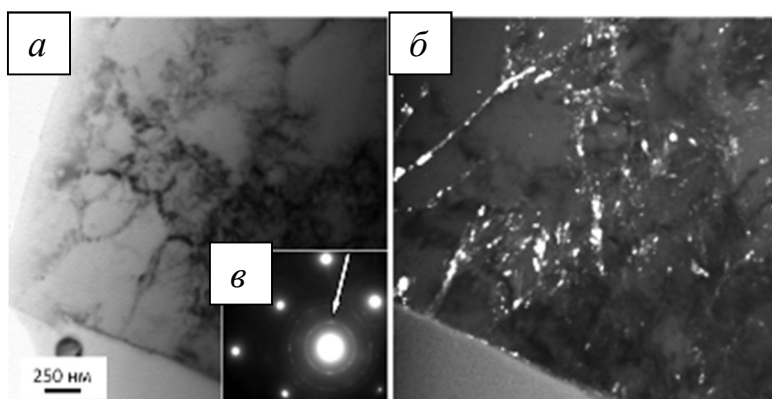


Рис. 2. Структура силумина, обработанного интенсивным импульсным электронным пучком с параметрами 20 Дж/см²; 150 мкс; 5 имп. и разрушенного при 517000 циклах усталостного нагружения; *а* – светлое поле; *б* – темное поле, полученное в рефлексе первого дифракционного кольца типа (111)Si; *в* – микроэлектроннограмма, стрелкой указан рефлекс, в котором получено темное поле (*б*)

Таким образом, деформационное воздействие, имеющее место при многоциклового усталости, приводит не только к наноструктуризации прослоек кремния, расположенных по границам ячеек алюминия, подобно наблюдаемому при числе циклов нагружения 132000, но и к частичному или полному разрушению структуры ячеистой кристаллизации.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - докторов наук (проект МД-2920.2015.8) и государственного задания № 3.1496.2014/К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Influence of high current pulsed electron beam (HCPEB) treatment on wear resistance of hypereutectic Al-17.5Si and Al-20Si Alloys / Hao Y., Gao B., Tu G. F., Wang Z., Hao C. Z // Materials Science Forum. – 2011. – V. 675–677. – P. 693–696.
2. Fatigue of steels modified by high intensity electron beams. / V. E. Gromov, Yu. F. Ivanov, S. V. Vorobiev [и др.]. Cambridge: Cambridge International Science Publishing Ltd, 2015. – 272 p.

3. Изменение при усталости свойств поверхности силумина, подвергнутого электронно-пучковой обработке / К. В. Алсараева [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. – 2015. – № 6. – С. 44–47.