

нарушению целостности конструкции корпуса; выплески металла по контуру сварного шва, приводящие к увеличению габаритных размеров (контроль выполнять по торцам сварного шва с четырех сторон); выплески металла на выводах; непровары и пропуски сварных точек; трещины, сколы; смещение крышки за пределы ободка; отслаивание (скалывание) золотого покрытия с ободка корпуса; прожоги выводов; деформация выводов со следами перегибов и перекручивание; отслоение ободка от керамики корпуса.

В результате проведенной работы установлено, что наиболее универсальным для уменьшения содержания внутрикорпусной влаги является

технологический процесс герметизации шовной контактной сваркой в едином технологическом цикле с предварительной сваркой крышки с основанием.

#### Литература

1. Considération in the hermetic packages of hybrid microcircuits / M. Burnes [et al.] // Solid State Technology. – 1984. – Vol. 27, № 8. – P. 183–186.
2. Гаал И. Морфологические характеристики порошков вольфрама технической чистоты / И. Гаал, П.В. Макаров, К.Б. Новарова // Порошковая металлургия. – 1987. – № 6. – С. 4–11.

УДК 539.2

### МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ СИЛУМИНА АЛ25 В ВОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРА НА АЛЮМОИТТРИЕВОМ ГРАНАТЕ В ДВУХИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ

Анисович А.Г.<sup>1</sup>, Маркевич М.И.<sup>2</sup>, Журавлева В.И.<sup>3</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной физики НАН Беларуси,

<sup>2</sup>ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси»,

<sup>3</sup>Военная академия Республики Беларусь,

<sup>4</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Представлены результаты исследования структуры силумина АЛ25 после воздействия лазера на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующего в двухимпульсном режиме, и последующего пребывания в водной среде 3 месяца. Исследования проводились на оптическом микроскопе. Показано, что в результате воздействия лазера на мишень из силумина образуется кратер, часть поверхности полируется лазерным лучом.

**Ключевые слова:** силумин, лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D), структура.

### SURFACE MORPHOLOGY OF A MIXED FABRIC MODIFIED BY CARBON AND TITANIUM CLUSTERS AFTER EXPOSURE TO LOW TEMPERATURES

Anisovich A.<sup>1</sup>, Markevich M.<sup>2</sup>, Zhuravleva V.<sup>3</sup>, Shcherbakova E.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus

<sup>2</sup>Physical-technical Institute of the NAS of Belarus

<sup>3</sup>Military Academy of the Republic of Belarus

<sup>4</sup>Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The results of a study of the structure of silumin after exposure to a laser on an yttrium aluminum garnet (LS-2134D) with a wavelength of 1064 nm, generating in a two-pulse mode and subsequent exposure to an aqueous medium for 3 months are presented. The studies were carried out on optical microscopes.

**Key words:** silumin, yttrium aluminum garnet laser (LS-2134D), structure.

Адрес для переписки: Щербакова Е.Н., ул. Я. Коласа, 22, г. Минск, 220113, Республика Беларусь  
e-mail: scherbakova@bntu.by

В последнее время в материаловедении развивается направление по формированию на поверхности твердых тел микро- и наноструктур. Формирование таких структур приводит к изменению тепловых, электрических, излучательных и других свойств поверхности материала [1]. Это востребовано в различных отраслях промышленности: селективном нанокатализе, микроэлектронике, записи информации. Для получения наноструктур может применяться ла-

зерное воздействие [1–3]. Сущность метода заключается в обработке поверхности твердого тела сфокусированным лазерным пучком.

Кроме того, в приборостроении, микроэлектронике востребованы технологии для удаления тонких слоев с использованием лазерных технологий, применяются различные методики. Для непрозрачных для лазерного излучения материалов воздействие производят непосредственно

на фронтальную поверхность, с которой удаляется слой вещества – фронтальная абляция.

Для удаления тонких слоев используются как наносекундные, так и фемтосекундные лазерные импульсы, однако механизм удаления материала при фронтальной абляции под действием нано- и фемтосекундных лазерных импульсов различен [1]. Для наносекундных импульсов превалирует механизм испарения материала мишени. Силумины – это сплав алюминия и кремния, за счет присутствия кремния сплав обладает повышенной прочностью и твердостью.

Целью работы являлась модификация структуры силумина путем обработки лазерным пучком в водной среде и последующей выдержкой в воде 90 суток.

В качестве мишени использовали силумин АЛ25. Размеры образцов: толщина ~ 20 мм, длина – 30 мм, ширина – 20 мм). В качестве среды, в которой находилась мишень, применяли дистиллированную воду. Жидкость принудительно не перемешивали. Для обработки материала использован лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс, частота следования импульсов 10 Гц, энергия одиночного импульса 0,05 Дж). Образцы обрабатывали лазерным излучением в интервале энергий 1500–1800 Дж при временах экспозиции от 25 до 30 мин. Для фотографирования и обработки использовался металлографический комплекс на основе металлографического инвертированного микроскопа МИ-1.

Микроструктура силумина представлена на рисунке 1. В соответствии с микроструктурой сплав представляет собой доэвтектический силумин – эвтектика по полю и кристаллы кремния, образовавшиеся в результате неравновесной кристаллизации.

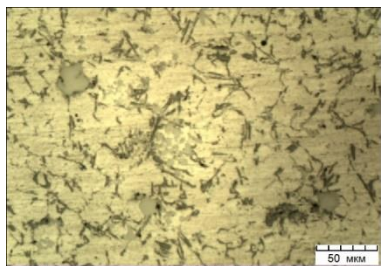


Рисунок 1 – Микроструктура силумина в исходном состоянии

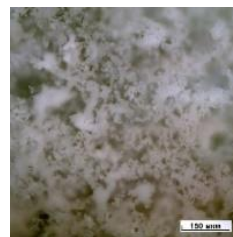
Образец обрабатывали лазерным излучением в интервале энергий – 1500 Дж при временах экспозиции от до 25 мин. Абляционная плазма, образованная в результате испарения силумина под действием первого импульса, создает в приповерхностном слое область с повышенной температурой и пониженной плотностью частиц воздуха,

что приводит к более полному использованию энергии второго импульса для лазерной абляции.

После первого импульса удаляется с поверхности окисная пленка алюминия и происходит взаимодействие поверхности с водой. На поверхности мишени образуется кратер в результате импульсного лазерного воздействия (рисунок 2, а; стрелка 1). После дальнейшего длительного пребывания в водной среде на поверхности образуется гидроксид алюминия (рисунок 2, б).

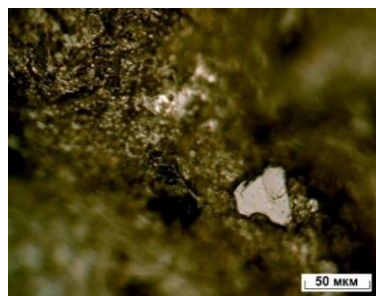


а

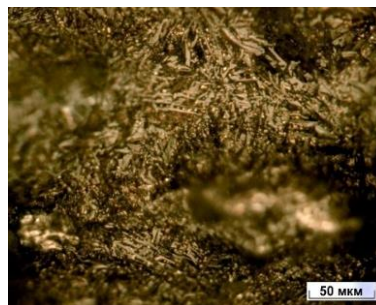


б

Рисунок 2 – Образец силумина: а – внешний вид; б – структура поверхности



а



б

Рисунок 3 – Структура силумина после воздействия лазера при вложенной энергии 1800 Дж, времени воздействия 30 мин

В процессе воздействия лазера часть поверхности претерпевает очистку, аналогичную таковой при травлении на микроструктуру (рисунок 2;

стрелка 2). При этом на поверхности видны кристаллы избыточного кремния (рисунок 3, *а*) и эвтектические кристаллы кремния (рисунок 3, *б*).

**Выводы.** Проведено структурирование и исследование поверхности силумина в процессе лазерного воздействия (лазер на алюмоиттриевом гранате (LS-2134D) с длиной волны 1064 нм, генерирующий в двухимпульсном режиме (импульсы разделены временным интервалом 3 мкс, длительность импульсов 10 нс, частота следования импульсов 10 Гц, энергия одиночного импульса ~0,05 Дж) в водной среде и последующего пребывания в ней 3 месяца.

Показано, что в процессе воздействия лазера часть поверхности претерпевает очистку, при этом на поверхности видны кристаллы избыточного кремния и эвтектические кристаллы кремния.

Работа выполнена при поддержке Белорусского Фонда Фундаментальных исследований, проект № T23MH-003.

#### Литература

1. Ионин, А.А. Абляция поверхности материалов под действием ультракоротких лазерных импульсов / А.А. Ионин, С.И. Кудряшов, А.А. Самохин // УФН. – 2017. – Т. 187, № 2. – С. 159–172.
2. Маркевич, М.И. Структурные превращения в тонких металлических пленках при импульсном лазерном воздействии / М.И. Маркевич, А.М. Чапланов // Вести Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-математических наук. – 2016. – № 1. – С. 28–35.
3. Markevich, M.I. In sulphurous liquids under action of shock waves / M.I. Markevich, F.A. Piskunov // High Power Laser Science and Engineering. – Czech R. NATO Advanced study institute: Karlovy Vary, 1995. – P. 49.