

## ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЛАЗЕРНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Г. Маликов<sup>1</sup>, А.М. Оришич<sup>1</sup>, Е.В. Карпов<sup>1,2</sup>, Н.В. Булина<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>*Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН  
630090, г. Новосибирск, Россия*

<sup>2</sup>*Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН  
630090, г. Новосибирск, Россия*

<sup>3</sup>*Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН  
630090, г. Новосибирск, Россия*

Алюминиево-литиевые сплавы находят широкое применение в аэрокосмической технике благодаря своим уникальным свойствам: низкая плотность, высокая прочность и модуль упругости. Созданы новые термически упрочняемые, деформируемые сплавы третьего поколения системы Al-Cu-Li-X (X = Mg, Zn, Mn, Zr, Sc, Ag). Хорошо известно, что высокие механические свойства для данных сплавов могут быть достигнуты при соответствующей термической обработке (ТО) путем применения искусственного старения. Данная ТО приводит к выделению из твердого раствора упрочняющих фаз  $T_1$  ( $Al_2CuLi$ ),  $\delta'$  ( $Al_3Li$ ),  $\theta'$  ( $Al_2Cu$ ),  $S'$  ( $Al_2CuMg$ ). Добавление в алюминиевые сплавы редкоземельных элементов (Sc, Zr), а так же Ag приводит к образованию других фаз, в частности  $\beta'$ -фазы ( $Al_3Zr$ ), W-фазы (на основе элементов Al, Cu и Sc),  $\Omega'$ -фазы (на основе элементов Mg и Ag),  $Al_3(Sc, Zr)$ ,  $Al_3Sc$ . Стоит заметить, что наличие в сплаве перечисленных выше фаз оказывает влияние на механические свойства алюминиевого сплава, выделение их при различных видах ТО (закалка, отжиг, искусственное старение) приводит к изменению состава твердого раствора. Проводятся детальные исследования свойств таких сплавов, разрабатываются методы улучшения их прочностных характеристик за счет различных методов термической (закалка, искусственное старение, отжиг) и деформационной (пластическая деформация) обработки. С целью замены технологии заклепочного соединения, широко применяемой в авиационно-космической технике, и снижения тем самым веса получаемых конструкций, активно разрабатываются технологии сварки Al-Li сплавов различными способами: сварка трением с перемешиванием, лазерная сварка и гибридная лазерная сварка, электронно-лучевая сварка. Лазерная сварка обладает рядом преимуществ перед другими способами сварки. При данном способе сварной шов имеет малую ширину, а значит малую зону термического воздействия, наблюдается большая глубина проникновения луча в материал за счет большой плотности энергии. Высокая скорость процесса сварки, а также возможность автоматизации процесса делают этот метод наиболее перспективным. Однако, сварные соединения сплавов, имеют низкие механические свойства предел прочности на растяжение составляет 0,5-0,8 от прочности основного сплава [1,2]. В настоящее время активно исследуется лазерная сварка алюминиево-литиевых сплавов системы Al-Cu-Li [3]. В то же самое время для увеличения прочности сварного шва термоупрочняемых алюминиево-литиевых сплавов необходимо проводить дополнительную термомеханическую обработку сварного шва [4]. Данная работа посвящена исследованию влиянию меди на структурно-фазовый состав и прочностные свойства алюминиево-литиевых сплавов системы Al-Cu-Li, происходящих при лазерной сварке, а так же при последующей термической обработке в виде закалки и закалки с искусственным старением. В результате проведено исследование влияния постобработки сварных соединений (отжиг, закалка и искусственное старение) на

прочностные характеристики. Исследовано изменение структурно-фазового состава сварных соединений и алюминиево-литиевого сплава содержащего медь до и после термообработки с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и дифрактометрии синхротронного излучения. Результаты исследований показали, что образующиеся агломераты интерметаллидных частиц размером 50-100 нм, показанные на рисунки 1 в основном представлены частицами фазы  $T_1(Al_2CuLi)$ . Установлено, что изменение прочности образцов, полученных после лазерной сварки и термической обработки алюминиевого сплава содержащего медь, не обусловлено отсутствием или наличием упрочняющей интерметаллидной фазы  $T_1(Al_2CuLi)$ , а связано с разной локализацией частиц этой фазы в сварном соединении. Локализация на границах дендритных зерен приводит к существенному снижению прочности и наоборот, их однородное распределение в твердом растворе, достигаемое за счет пост термической обработкой (отжиг, закалка и искусственное старение), повышает прочность образцов со сварным швом.

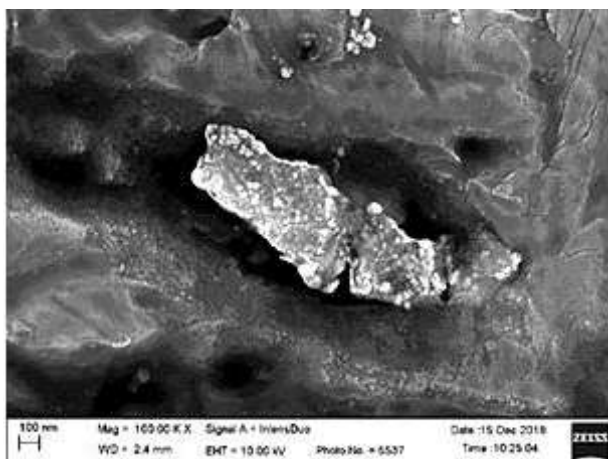


Рис. 1. Растровое электронное изображение наноструктуры сварного шва.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kashaev N., Ventzke V., Çam G. Prospects of laser beam welding and friction stir welding processes for aluminum airframe structural applications // *Journal of Manufacturing Processes*. 2018. Т. 36. С. 571-600.
2. Гольшев А.А., Маликов А.Г., Оришнич А.М. Исследование микроструктуры высокопрочных лазерных сварных соединений алюминиево-литиевых сплавов авиационного назначения // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. 2018. Т. 20. №. 2. С. 50-62.
3. Аннин Б.Д., Фомин В.М., Карпов Е.В., Маликов А.Г., Оришнич А.М. Комплексное исследование лазерной сварки высокопрочного сплава В-1469 // *Авиационные материалы и технологии*. 2016. №3. С. 9–16..
4. Карпов Е.В., Маликов А.Г., Оришнич А.М., Аннин Б.Д. Влияние температуры на разрушение лазерных сварных соединений алюминиевых сплавов авиационного назначения // *Прикладная механика и техническая физика*. 2018. Т. 59. №. 5. С. 191-199.