

# ЭЛЕМЕНТНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ СИЛУМИНА АЛ9, ОБЛУЧЕННОГО В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ НАНОСЕКУНДНЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ (НЭМИ)

Э.Х. Ри, С.В. Дорофеев, Хосен Ри, В.И. Якимов\*

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

\*Авиационный завод «КНААПО», г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

Ранее было установлено, что облучение силуминов НЭМИ в жидком состоянии существенно изменяет строение расплавов, кристаллизационные параметры, физико-механические и эксплуатационные свойства. В связи с этим, проведены металлографическое исследование и микрорентгеноспектральный анализ образцов из силумина АЛ9, облученных НЭМИ в течение 0, 5, 10, 15 и 20 минут при температуре 900 °С.

Микроструктурный анализ силумина АЛ 9 показал, что увеличение продолжительности облучения НЭМИ (ПОН) расплава до 15 мин способствует измельчению дендритов  $\alpha$ -твердого раствора и кремнистой эвтектики. Наряду с этими структурными составляющими, в структуре необлученного сплава появляются светлые (нетравящиеся) кристаллы, которые исчезают в сплаве при облучении в течение 15 минут, а затем при дальнейшем облучении появляются вновь.

Для выявления природы этих пластинчатых кристаллов исследованные сплавы АЛ9 подвергались микрорентгеноспектральному анализу на микросонде производства Японии JEOL-8100.

Установлено, что в необлученном сплаве АЛ9 в  $\alpha$ -твердом растворе растворяются кремний (15,6 мас. %) и магний (0,49 мас. %). В кремнистой фазе, находящейся в составе эвтектики, содержание элементов колеблется: Si – 82,36...92,34 мас. %, Al – 7,58...17,68 мас. % и Mg – 0...0,08 мас. %. Таким образом, в эвтектическом кремнии все-таки растворяются алюминий и магний.

В светлом кристалле, кристаллизующемся в переплетенном виде с кремнистой эвтектикой, обнаружено повышенное содержание Fe (22,39 мас. %), Mn (7,38 мас. %), Cr (0,22 мас. %), Si (9,15 мас. %) и Al (60,19 мас. %). Следовательно, светлые кристаллы можно считать включениями железистой фазы  $Al_xSi_yFe_z$  с небольшими содержаниями Mg, Cr, Mn и др.

На основании конкретных данных микрорентгеноспектрального анализа построены кривые распределения элементов в различных фазах сплава АЛ 9.

Как видно из рис. 1, а, увеличение ПОН до 10 мин способствует снижению растворимости кремния в  $\alpha$ -твердом растворе. При этом содержание магния в нем доходит до уровня фона. При дальнейшем увеличении продолжительности облучения расплава растворимость магния и кремния в  $\alpha$ -твердом растворе существенно возрастает и изменяется по обратной зависимости от таковой алюминия.

Согласно диаграмме состояния сплавов системы Al-Si кремний кристаллизуется как самостоятельная фаза в составе эвтектики. Однако локальный анализ показывает, что в кристаллах кремния растворяется некоторое количество алюминия (до 7,58 мас. %) и магния (до 0,08 мас. %) в необлученном НЭМИ в жидком состоянии силумине (рис. 1, б и в). При облучении НЭМИ расплава до 10 минут включительно в кремнистой фазе эвтектики содержание кремния уменьшается, а концентрация алюминия возрастает. Магний практически не растворяется в ней. При 15-минутном облучении происходит аномальное изменение растворимости компонентов в кремнистой фазе: содержание кремния и магния резко увеличивается, а концентрация алюминия скачкообразно уменьшается. С повышением длительности облучения расплава до 25 мин происходит уменьшение содержания кремния в кремнистой фазе, а концентрация алюминия и магния существенно возрастают (рис. 1, б и в). Следовательно, в зависимости от ПОН расплава, по-видимому, изменяется стехиометрическое соотношение компонентов в кремнистой фазе  $Al_xSi_yMg_z$ . В силумине АЛ9, кроме  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектики кристаллизуется железистая фаза с содержанием железа более 20 мас. %. В необлученном силумине данная фаза выделяется в области кремнистой эвтектики. При облучении НЭМИ расплава (кроме 15-минутного облучения) железистая фаза кристаллизуется в виде крупных пластин в металлической основе. При 15-мин облучении расплава кристаллы железистой фазы приобретают компактную форму. Характер распределения компонентов (Al, Fe, Si, Mn, Mg)

в железистой фазе зависит от продолжительности облучения расплава (рис. 1, в–е). Если в исходном необлученном сплаве АЛ9 содержания элементов соответствуют стехиометрическому соотношению интерметаллида  $Al_7SiMn_{0,5}Fe_{1,2}$ , то при воздействии на расплав НЭМИ кристаллизуются интерметаллиды с другим стехиометрическим соотношением компонентов. Как видно из рис. 1, г–е, при повышении ПОН до 15 мин в железистой фа-

зе увеличивается содержание Fe и Mg (до 10-минутного облучения магний не растворяется в этой фазе), а концентрация Al и Mn уменьшается (при 15-минутном облучении НЭМИ марганец не растворяется). Интерметаллиды имеют примерно следующие стехиометрические соотношения:  $Al_{3,5}SiMn_{0,03}Fe_{0,7}$  – при 5-минутном;  $Al_5SiMn_{0,03}Fe_{0,7}$  – при 10-минутном;  $Al_{4,25}SiMn_{0,008}Fe_{0,82}$  – при 15-минутном облучении расплава НЭМИ.

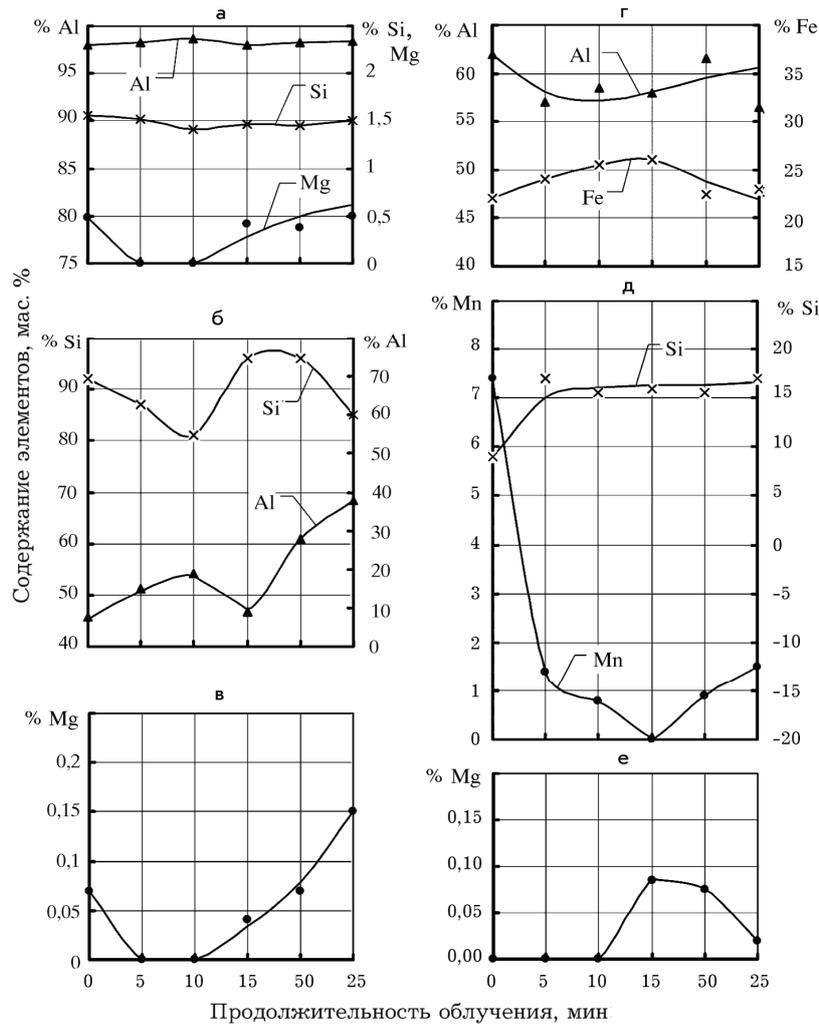


Рисунок 1 - Распределение элементов в  $\alpha$ -твердом растворе (а), кремнистой фазе (б–в) и железистом соединении (г–е) АЛ9 в зависимости от продолжительности облучения расплавов

С ростом продолжительности облучения расплава содержание Al, Si, Mn возрастает, а содержание Fe и Mg уменьшается. Стехиометрические соотношения интерметаллидов следующие:  $Al_{5,68}SiMn_{0,2}Mg_{0,015}Fe_{0,9}$  – при 20-минутном,  $Al_{3,5}SiMn_{0,07}Mg_{0,007}Fe_{1,03}$  – при 25-минутном облучении расплава НЭМИ.

Таким образом, при облучении жидкой фазы НЭМИ существенно изменяются ха-

рактер растворимости компонентов в структурных составляющих силумина и их количественное соотношение, а также габитус и дисперсность структурных составляющих. Наблюдаемые изменения свойств и элементно-фазового состава силумина АЛ9 являются новым явлением, возникающим при облучении жидкой фазы НЭМИ определенной продолжительности.