

**СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ Al-Si СПЛАВОВ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ
НАНОДИСПЕРСНЫМ ПОРОШКОМ W**

А.В. Чумаевский¹, Н.В. Мартюшев²

Научный руководитель: ст. препод., к.ф.-м.н. А.П. Зыкова²

¹ Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г.Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zykovaap@mail.ru

**PHASE COMPOSITION OF Al-Si ALLOYS SUBJECTED TO MODIFICATION
BY W NANOPOWDERS**

A.V. Chumaevskii², N.V. Martyushev¹

Scientific Supervisor: Assist. Prof., PhD. A.P. Zyкова²

¹ Institute of Strength Physics and Materials Science SB of RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave., 2/4, 634055

² Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zykovaap@mail.ru

Abstract. *The studies of the phase-composition of Al-Si alloys subjected to modification by wolfram nanopowder during casting have been undertaken. The content of nanopowder W in an amount of 0.1 mass. % in melt silumins leads to a change of the dendrite aluminium sizes, as well as by the morphology change and the reduction of sizes of Fe-bearing phases.*

Одним из эффективных методов управления структурой и свойствами силуминов является модифицирование ультра- и нанодисперсными частицами *d*- металлов, *f*-металлов и различными соединениями на их основе [1-6]. Введение таких добавок приводит к смещению критических точек (ликвидус и солидус), что в итоге влияет на формирование и локализацию структурных составляющих силуминов. Применение модифицирующих смесей в виде нанодисперсных и ультрадисперсных порошков является более эффективным за счет большей площади активной поверхности, а сравнительно невысокая стоимость ультрадисперсных порошков и их малое количество введения в расплав (до <0,5 масс. %) делают их использование экономически более выгодным по сравнению с обычными модифицирующими лигатурами. В предыдущей работе было показано, что при введении в расплав силуминов АК7 и АК9 нанодисперсного порошка W в количестве 0,1 масс. % происходит повышение предела прочности и ударной вязкости в среднем на 40 %, а относительного удлинения в 1,5-2 раза. При этом с увеличением содержания W до 0,1 масс. % происходит повышение механических свойств, а после введения 0,5 масс. % W наблюдается их снижение. Поэтому целью работы являлось установление влияния добавок нанопорошка W в количестве 0,01–0,5 масс. % на микроструктуру и фазовый состав Al-Si сплавов.

Химический состав исследуемых сплавов АК7 и АК9 и методика модифицирования сплавов нанодисперсным порошком вольфрама представлены в предыдущей работе. Для изучения микроструктуры и фазового состава силуминов, размеров и локализации структурных составляющих

использовали оптическую микроскопию (ОМ), растровую электронную микроскопию (РЭМ) с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа (РЭДМА) и рентгенофазовый анализ (РФА).

Согласно диаграмме состояния Al-W растворимость W в твердом растворе α -Al составляет 0,16-0,20 масс. % [6]. Поэтому, введенные в расплав частицы нанодисперсного порошка W в количестве 0,01-0,5 масс. % полностью растворяются в твердом растворе α -Al, не образуя дополнительных фаз.

Микроструктура исходных сплавов АК7 и АК9 состоит из твердого раствора α -Al, эвтектики (α -Al + Si + AlSiFeMn) и частиц Al_2Cu (рис. 1 и рис. 2). В структуре исходных силуминов присутствует ярко выраженная разнорзернистость дендритов α -Al (рис. 1 а, рис. 2 а). Введение в расплав силуминов 0,01-0,5 масс. % W приводит к более равномерному распределению эвтектики (α -Al + Si + AlSiFeMn) и однородности дендритов α -Al.

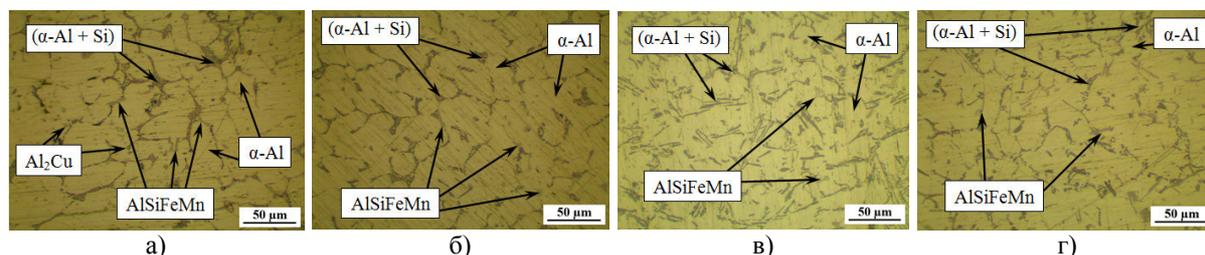


Рис. 1. Микроструктура сплава АК7 с различным содержанием W: а) исходное состояние; б) 0,01 масс. % W; в) 0,1 масс. % W; г) 0,5 масс. % W.

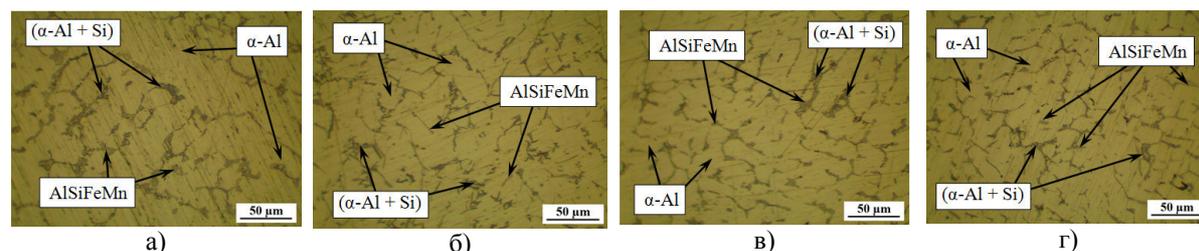


Рис. 2. Микроструктура сплава АК9 с различным содержанием W: а) исходное состояние; б) 0,01 масс. % W; в) 0,1 масс. % W; г) 0,5 масс. % W.

Морфология эвтектического Si в исходных силуминах имеет преимущественно игольчатое строение. Введение добавок нанодисперсного W в целом не влияет на морфологию и размер эвтектического Si (рис. 1 и рис. 2). Однако, из рис. 1 видно, что при введении W в количестве 0,1 масс. % происходит укрупнению пластин Si, которые расположены по границам дендритов α -Al. При этом пластины кремния в эвтектике практически параллельны. Введенный в расплав АК7 нанодисперсный порошок W за счет большого количества центров кристаллизации может усиливать скорость охлаждения отливок. Известно, что при быстром охлаждении наряду с первичными дендритами алюминия образуются крупные включения Si [7].

Введение в расплав силуминов нанодисперсного W привело к изменению размеров и морфологии Fe-содержащих фаз (AlSiFeMn), и частиц фазы Al_2Cu . По данным РЭМ и РЭДМА в исходных сплавах частицы фазы Al_2Cu имеют преимущественно сферическую форму, которые локализуются на границах Fe-содержащих фаз (рис. 3 а, в). Для установления стехиометрического состава Fe-содержащих фаз требуются дополнительные исследования методом ПЭМ. Кроме того, методами РЭМ и РЭДМА обнаружена ω -фаза ($\text{Al}_3\text{Mn}_5\text{Cu}_4\text{Si}$), которая выделяется в виде сферических частиц как в внутри дендритов α -Al, так и по границам эвтектики (α -Al + Si + AlSiFeMn) и хорошо просматривается в режиме

отраженных электронов (рис. 3 а, в). По данным РЭМ и РЭДМА после введения 0,1 масс.% W в сплаве АК7 происходит уменьшение размеров Fe-содержащих фаз более чем в 3 раза. В некоторых случаях фаза (AlSiFeMn) выделяется в виде отдельных частиц размером ~1 мкм (рис. 3 б). Аналогично исходному сплаву присутствует ω -фаза ($Al_xMn_5Cu_4Si$), однако в сплавах АК7 и АК9 частицы фазы Al_2Cu не обнаруживаются. В исходном сплаве АК9 Fe-содержащие фазы выделяются в виде двух модификаций: α -Fe в виде так называемой скелетообразной формы и β -Fe в виде пластин. После введения 0,1 масс.% W Fe-содержащие фазы преимущественно выделяются в форме многогранников и α -Fe.

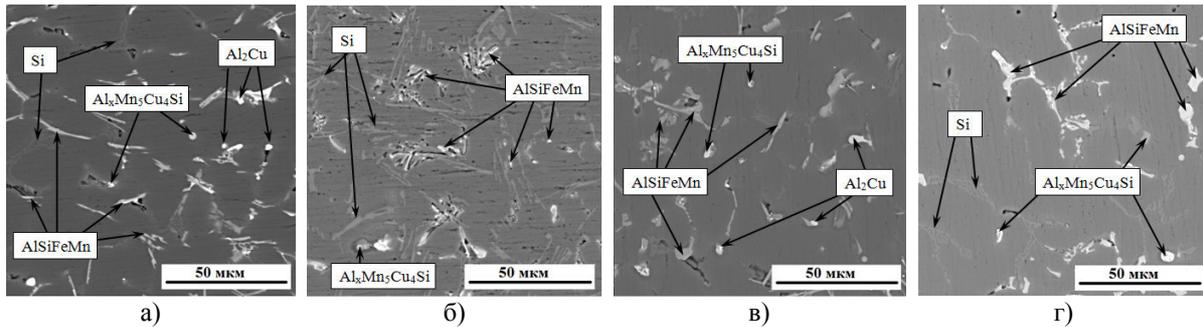


Рис. 3. РЭМ-изображения силуминов в режиме отраженных электронов: а) АК7 в исходном состоянии; б) АК7 + 0,1 масс. % W; в) АК9 в исходном состоянии; г) АК9 + 0,1 масс. % W.

Таким образом, при введении в расплав силуминов АК7 и АК9 нанодисперсного порошка W происходит более равномерное распределение эвтектики (α -Al + Si + AlSiFeMn), повышается однородность дендритов α -Al, а также уменьшение размеров и изменение морфологии Fe-содержащих фаз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60146 мол_а_дк.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волочко А.Т. Модифицирование эвтектических и первичных частиц кремния в силуминах. Перспективы развития // Литье и металлургия. – 2015. – Т. 81. – № 4. – С. 38–45.
2. Eidhed W. Modification of β - Al_5FeSi Compound in Recycled Al-Si-Fe Cast Alloy by Using Sr, Mg and Cr Additions // Journal Materials Science and Technology. – 2008. – Vol. 24. – No.1. – P. 45–47.
3. Yuansheng R., Hong Y., Zhi H. Modification of eutectic silicon and β - Al_5FeSi phases in as-cast ADC12 alloys by using samarium addition. // Journal Rare Earths. – 2013. – Vol. 31. – No. 9. – P. 916–922.
4. Li J.H., Wang X.D., Ludwig T.H., Tsunekawa Y., Arnberg L., Jiang J.Z., Schumacher P. Modification of eutectic Si in Al-Si alloys with Eu addition // Acta Materialia. – 2015. – Vol. 84. – P.153–163.
5. Xin H., Hong Y. Effect of Trace La Addition on the Microstructure and Mechanical Property of As-cast ADC12 Al-Alloy // Journal of Wuhan University of Technology-Materials Science Education – 2013. – Vol. 28. – No. 1. – P. 202–205.
6. Л.Ф. Мондольфо. Структура и свойства алюминиевых сплавов // Под ред. Ф.И. Квасова, Г.Б. Строганова, И.Н. Фридляндера. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
7. Мальцев М.В. Металлография промышленных металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 2012. – 366 с.