

ВЛИЯНИЕ ГЕРМАНИЯ И СТРОНЦИЯ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК9М2

С.С. Гулов¹, И.Н. Ганиев², А.Э. Бердиев², Р.Х. Саидзода¹, Дж.Т. Ашурматов¹

¹ Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими,
г. Душанбе, Республика Таджикистан,

² Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан,
г. Душанбе, Республика Таджикистан

Литейный алюминиево-кремниевый сплав АК9М2 широко используется в автомобилестроении для литья отливок различного назначения. Данный сплав при литье подвергается модифицированию натрием. Однако эффект модифицирования натрием не превышает 30–40 минут, что требует проведения повторной операции.

В последнее время все больше в литейном производстве при литье отливок из силуминов применяются лигатуры алюминия со стронцием, которые отличаются длительным действием сохранения эффекта модифицирования вплоть до восьми и более часов, а также после 2–4 переплавов.

В связи с этим в работе приведены результаты исследования влияния совместных добавок германия и стронция на механические свойства медистого силумина марки АК9М2, а также микроструктуры сплавов. Показано, что добавки стронция и германия совместно обеспечивают высокую кооперативность роста фаз в эвтектике $\alpha\text{-Al-Si}$, а также упрочнение α -твердого раствора алюминия. Германий и стронций оказывают модифицирующее влияние на микроструктуру сплава АК9М2, результатом чего является рост механических свойств сплавов. При этом добавки до 0,1–0,3 % германия увеличивают жидкотекучесть сплава АК9М2 более чем в 1,3 раза. Это сопровождается уменьшением объема концентрированной усадочной раковины на 10–12 %. Добавки стронция благоприятно сказываются на жидкотекучести сплава лишь при содержании германия около 0,1 % (по массе). Положительное влияние германия на механические и литейно-технологические свойства сплава АК9М2 усиливается в присутствии стронция.

Ключевые слова: сплав АК9М2, стронций, германий, механические свойства, технологические свойства.

Введение

Литейные алюминиевые сплавы находят все более широкое применение в автомобильной промышленности. Из них изготавливают блоки цилиндров, картеры, корпуса коробок передач, диски колес, детали тормозных устройств и т. д. Сочетание высоких физико-механических свойств с превосходными литейными свойствами позволяет осуществить перевод ряда деталей автомобиля, изготавливаемых из стали и чугуна, на алюминиевое литье.

В основу легирующего комплекса наиболее распространенных литейных алюминиевых сплавов входит кремний и различные легирующие компоненты (магний, медь, марганец, титан, цирконий, цинк и другие). Выбор

легирующих компонентов зависит от назначения сплава.

Основной задачей легирования является получение высокопрочных сил межатомных связей, устойчивой микрогегерентности 2-го порядка, выделение вторичных фаз сетчатой или каркасной формы. Эти задачи при их выполнении обеспечивают достаточное торможение диффузионных процессов и движения дислокаций для создания сплавов, работающих при температурах до 0,6 от температуры плавления. Как известно, германий образует с алюминием область твердых растворов до 7,2 % (по массе) при температуре эвтектики (424 °С), с уменьшением растворимости до 0,5 % (по массе) при 20 °С [1, 2].

Однако по данным работы [3] присадка

германия к малолегированным сплавам типа АЛ9 не приводит к улучшению свойств, не изменяет сколько-нибудь значительно характера затвердевания сплавов, не влияет на структуру металла в отливках. В то же время введение германия в сплавы, легированные медью, титаном и другими переходными металлами, приводит к положительному эффекту. Однако большой интерес представляет возможность улучшения литейных и механических свойств алюминий-кремниевых сплавов. Практически важным представляется также опробование совместного введения в силумины германия и стронция, имеющего целью как повышение физико-механических свойств сплава, так и плотности отливок и уменьшение коэффициента линейного расширения сплавов [4, 5]. В работах [6–29] сообщается о положительном влиянии стронция на различные физико-химические свойства силуминов различных марок.

В настоящей работе приведены результаты исследования влияния совместной добавки стронция и германия на свойства вторичного алюминиевого сплава АК9М2 (ГОСТ 1583–93), используемой в автомобильной промышленности.

Материалы и методики исследований

Исследование совместного влияния стронция и германия на механические и технологические свойства силуминов проводилось на сплаве АК9М2 следующего химического состава: Cu – 1,62, Si – 9,0, Fe – 0,43, Zn – 0,21, Mg – 0,32, Mn – 0,24, Ni – 0,14, Ti – 0,08 % (по массе), приготовленного на Подольском заводе цветных металлов. Плавки проводились в электропечи сопротивления с графито-шамотным тиглем, масса плавки 3,5 кг. Германий вводился в виде лигатуры Al – 50 % по массе Ge. Стронций вводился в виде лигатуры Al – 5 % Sr, специально приготовленной нами в лабораторных условиях. Температура введения лигатур 750 °С. Во избежание значительного угара стронция дегазация расплава проводилась до введения Al–Sr лигатуры. Образцы для испытаний на растяжение отливались в кокиль (ГОСТ 1538–93) не менее пяти на состав каждого сплава. Объемная усадка определялась по шаровой пробе, жидкотекучесть оценивалась по прутковококильной пробе. Для проведения исследований все образцы заливались при температуре (720 ± 5) °С.

Образцы для механических испытаний

подвергались термической обработке по режиму Т6: нагрев до (535 ± 5) °С, выдержка 5 ч, охлаждение в холодной воде, старение при температуре 120 °С в течение 10 ч на воздухе.

Микроструктура сплавов изучалась при помощи оптического микроскопа «Неофот-30» на шлифах, приготовленных из головок отдельно отлитых образцов.

Изучение совместного действия германия и стронция на механические и технологические свойства силуминов проводилось на образцах сплавов, содержание германия варьировалось от 0,1 до 1,0 % (по массе) при постоянном содержании стронция в количестве 0,05 %.

Обсуждение результатов

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности на растяжение и относительного удлинения сплава АК9М2, а микроструктуры сплавов приведены на рис. 3. Как предел прочности, так и относительное удлинение образцов легированных германием сплавов достигают максимального значения при его содержании около 0,1 % в присутствии стронция и сохраняют достаточно высокие значения до 0,5 % (по массе) основного легирующего элемента. Результаты металлографических исследований согласуются с данными механических испытаний, т. е. максимальный уровень механических свойств приходится на составы сплавов с 0,1–0,3 мас. % германия и 0,05 мас. % стронция. Именно эти сплавы характеризуются высокой степенью дисперсности микроструктуры (рис. 3б, г).

Возрастание предела прочности на 8–10 % при содержании германия 0,1 % (по массе) можно объяснить его упрочняющим действием на алюминиевый твердый раствор (рис. 1а). Содержание его, однако, недостаточно для выделения эвтектики в ориентированной каркасной форме (рис. 3а). Модифицирование стронцием уменьшает растворимость германия в алюминии, с одной стороны, и измельчает эвтектику α -Al + Si – с другой. Суммарное влияние этих факторов ведет к повышению мелкодисперсности эвтектики в сплаве, что в свою очередь вызывает рост пластичности на 20–25 % (рис. 1б).

На рис. 2 приведена зависимость жидкотекучести и объема концентрированной усадочной раковины сплава АК9М2, модифицированного германием и стронцием. Видно, что введение германия в количествах 0,1–0,3 %

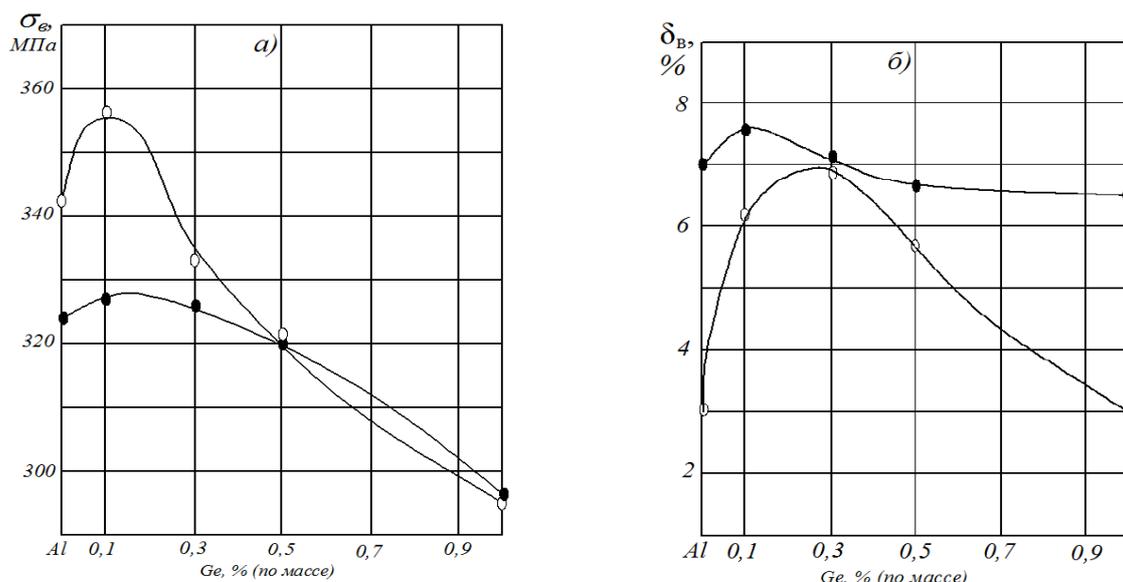


Рис. 1. Зависимость предела прочности на растяжение (а) и относительного удлинения (б) от содержания германия: ○ – без стронция; ● – со стронцием

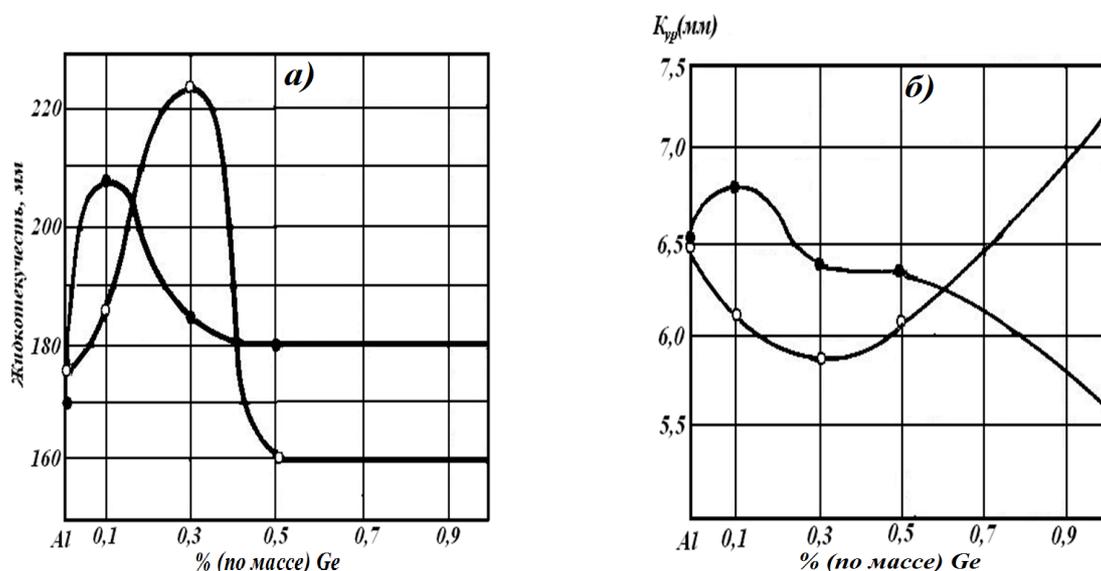


Рис. 2. Зависимость жидкотекучести (а) и объема концентрированной усадочной раковины (б) сплава АК9М2 от содержания германия: ○ – без стронция; ● – в присутствии стронция

увеличивает жидкотекучесть сплава АК9М2 более чем в 1,3 раза (в отсутствие стронция).

Дальнейшее увеличение содержания германия от 0,3 до 1,0 % (по массе) влечет за собой резкое снижение жидкотекучести и рост объема концентрированной усадочной раковины, по всей вероятности, за счет увеличения интервала кристаллизации. Введение стронция благоприятно сказывается на жидкотекучести сплавов лишь при содержании германия 0,1 % (по массе). При росте концентрации германия введение стронция вызывает снижение жидкотекучести, поскольку, в свою очередь, уве-

личивает интервал кристаллизации сплавов и склонность их к переохлаждению.

Влияние стронция на уменьшение объема концентрированной усадочной раковины объясняется, по-видимому, ростом микроусадочной пористости за счет увеличения интервала кристаллизации.

Увеличение содержания германия до 0,3–0,5 % (по массе) само по себе (в отсутствие стронция) приводит к измельчению и изменению формы выделения эвтектики Al–Si благодаря образованию германием твердого раствора как с алюминием, так и с кремнием

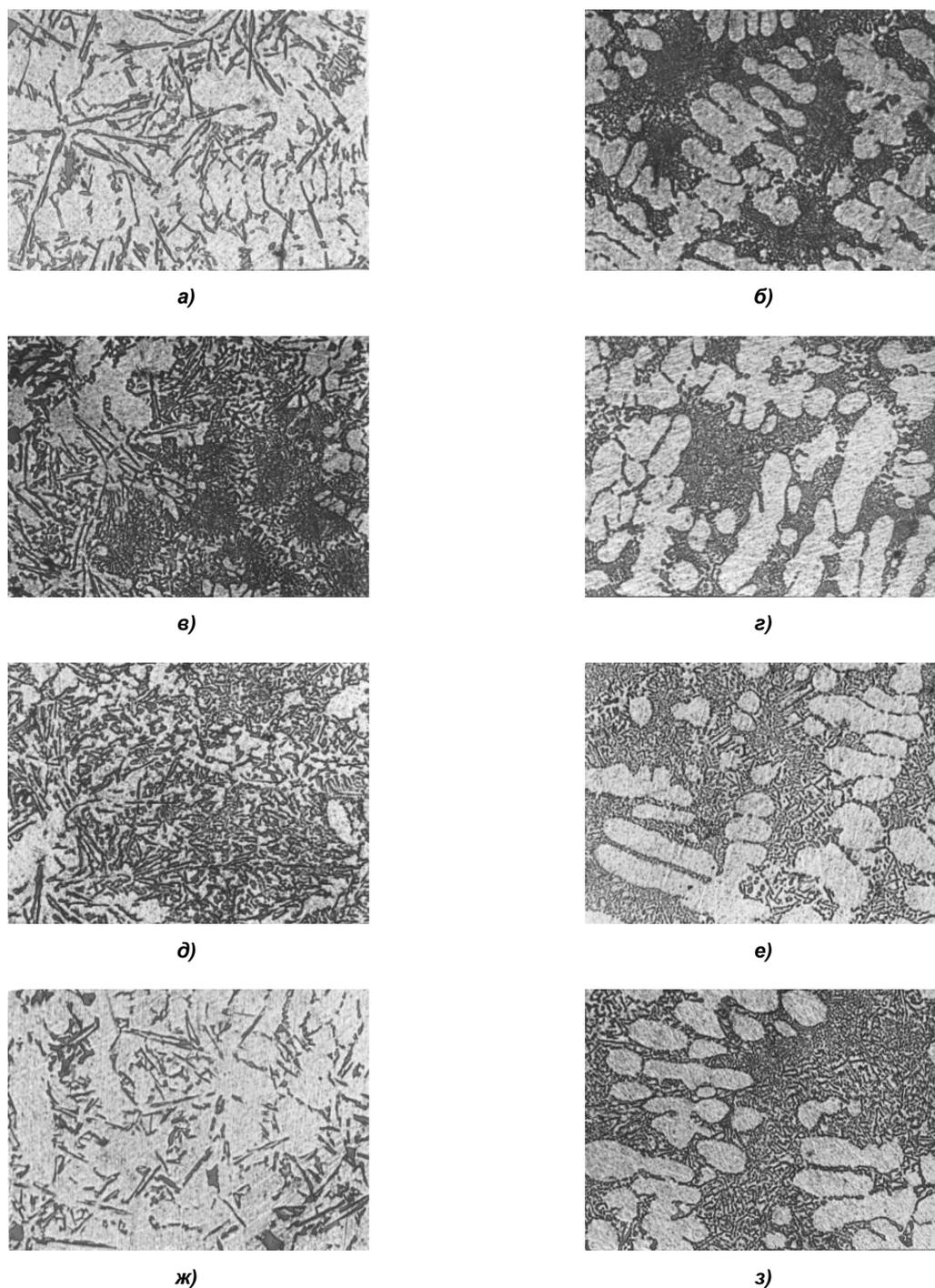


Рис. 3. Микроструктуры ($\times 200$) сплава АК9М2 с добавками стронция и германия (% по массе) в литом состоянии: а) 0,1 % Ge; б) 0,1 % Ge + 0,05 % Sr; в) 0,3 % Ge; г) 0,3 % Ge + 0,05 % Sr; д) 0,5 % Ge; е) 0,5 % Ge + 0,05 % Sr; ж) 1,0 % Ge; з) 1,0 % Ge + 0,05 % Sr

(рис. 3з), что вызывает подъем прочности и как следствие – снижение пластичности.

Дальнейший рост содержания германия в интервале 0,5–1,0 % (по массе) ведет к огрублению эвтектики, отрицательно сказываясь на механических свойствах и микроструктуре сплавов (рис. 1 и 3ж). Введение стронция ста-

билизирует пластичность сплава, не оказывая заметного влияния на предел прочности. Микроструктура оптимально легированного сплава состоит из α -твердого раствора, тонко дифференцированной эвтектики (α -Al + Si), отдельных включений железосодержащих фаз в виде китайских иероглифов.

Заклучение

Совместное введение в сплав АК9М2 стронция и германия обеспечивает высокую кооперативность совместного роста фаз в эвтектике, а также максимальное упрочнение алюминиевого α -твердого раствора. Таким образом, путем введения во вторичный алюминиевый сплав АК9М2 0,1–0,3 % Ge (по массе) удалось значительно повысить его механические свойства, особенно относительное удлинение. Кроме того, легирование сплава АК9М2 германием в указанных количествах приводит к существенному улучшению литейных свойств – повышению жидкотекучести в 1,3 раза, уменьшению объема концентрированной усадочной раковины на 10–12 %. Указанное положительное влияние германия на механические и литейно-технологические свойства сплава АК9М2 усиливается в присутствии стронция.

Литература

1. Мондольфо, Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: пер. с англ. / Л.Ф. Мондольфо. – М.: Металлургия, 1979. – 640 с.
2. Ганиев, И.Н. Структура и свойства силуминов, модифицированных стронцием / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, О.Н. Семёнова // Современные методы производства отливок, способствующие экономии материалов и топливно-энергетических ресурсов: тез. докл. XIII науч.-техн. конф. литейщиков Западного Урала. – Пермь, 1984. – С. 28–29.
3. Горохов, Ю.В. Методология исследования совмещенного процесса непрерывного литья и прессования металлов / Ю.В. Горохов, В.Г. Шеркунов, И.Л. Константинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 82–88.
4. Кинетика окисления твердого сплава АК7М2, легированного германием / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, С.С. Гулов, М.М. Сангов // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 3. – С. 28–30.
5. Бердиев, А.Э. Кинетика окисления твердого сплава АК7М2 + 0,05 %Sr, легированного германием / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, С.С. Гулов // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2014. – № 3. – С. 97–101.
6. Бердиев, А.Э. Силумины, модифицированные элементами подгруппы германия и стронция / А.Э. Бердиев, И.Н. Ганиев, С.С. Гулов. – Германия: Издат. дом LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. – 142 с.
7. Окисление сплавов системы Al–Ge в жидком состоянии / Н.С. Олимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, М.Ч. Ширинов // Расплавы. – 2015. – № 4. – С. 28–36.
8. Модифицирование силуминов стронцием / И.Н. Ганиев, П.А. Пархуттик, А.В. Вахобов, И.Ю. Куприянова; под ред. К.В. Горева. – Минск: Наука и техника, 1985. – 143 с.
9. Модифицирование Al–Si сплавов АЛ-4 и АЛ-9 / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, Т.Д. Джураев, В.Г. Каляева // Литейное производство. – 1975. – № 1. – С. 33–34.
10. Ганиев, И.Н. Влияние состава и микролегирования стронцием на структуру и свойства сплавов системы Al–Si–Mg / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, А.Н. Семенова // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1983. – № 8. – С. 34–35.
11. Ганиев, И.Н. Модифицирующее влияние стронция на коррозионно-электрохимическое поведение силуминов, в нейтральных средах / И.Н. Ганиев, Э.Д. Трубянкова // Журнал прикладной химии. – 1986. – Т. 59, № 11. – С. 2545–2548.
12. Вахобов, А.В. Стронций-эффективный модификатор силуминов / А.В. Вахобов, И.Н. Ганиев // Литейное производство. – 2000. – № 5. – С. 28.
13. Барий – новый модификатор силуминов / Т.Б. Каргополова, Х.А. Махмадуллоев, И.Н. Ганиев, М.М. Хакдодов // Литейное производство. – 2001. – № 10. – С. 6–9.
14. Разработка и внедрение в производство новых литейных алюминиевых сплавов, стронцийсодержащих лигатур и модификаторов / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, М.М. Хакдодов, Х.А. Махмадуллоев // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2002. – № 10. – С. 38–39.
15. Влияние стронция и способов его введения в расплав на свойства промышленных силуминов / И.Н. Ганиев, С.С. Гулов, Н.И. Ганиева, Н.В. Давлатназарова // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2007. – № 1. – С. 68–78.
16. Коррозионно-электрохимическое поведение сплава АК7М2 + 0,05 %Sr, легированного германием, в среде 3 % раствора NaCl / С.С. Гулов, И.Н. Ганиев, Т.М. Умарова, А.Э. Бердиев // Доклады АН Республики Таджикистан. – 2009. – Т. 52, № 6. – С. 460–464.
17. Гудченко, А.П. Модифицирование Al–Si сплавов стронцием / А.П. Гудченко, И.М. За-

линова // *Литейное производство*. – 1972. – № 12. – С. 30.

18. Залинова, И.М. Кинетика окисления стронция в расплаве / И.М. Залинова, А.П. Гудченко, Л.Е. Панкова // *Литейное производство*. – 1974. – № 10. – С. 20–21.

19. Модифицирование Al-Si сплавов стронцием / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, Г.Д. Джураев, В.Г. Валяева // *Литейное производство*. – 1975. – № 1. – С. 33–34.

20. Alker, K. Veredelung von Al-Si Legierungen durch Natrium oder Strontium: Eine Gegenüberstellung / K. Alker // *Geiberei – Praxis*. – 1972. – Nr. 24. – S. 434–438.

21. Latkowski, A. Wpływ obróbki cieplnej na własności mechaniczne stopu Al-Si-Mg-Cu-Ni, modyfikowanego strontem / A. Latkowski, J. Gryziecki, J. Jarominek // *Rudy in metal niczelazne*. – 1976. – Vol. 21, no. 3. – P. 52–56.

22. Hess, P.D. Strontium as a modifying agent for hypoeutectic aluminium-silicon alloys / P.D. Hess, E.V. Blackman // *AFS Transactions*. – 1975. – P. 87–90.

23. Barbe, P.S. Anwendung der thermischen Analyse für Überwachung der Veredelungswirkung Strontium in der Legierung Ge-Al-Si 10,5 / P.S. Barbe, K. Erdmann-Jeshitzer, T. Krug // *Giesserei*. – 1982. – Bd. 69, Nr. 14. – S. 393–397.

24. Андуршевич, А.А. Модифицирование алюминиево-кремниевых сплавов стронцием / А.А. Андуршевич, М.З. Лубенский, Г.П. Пименова // *Литейное производство*. – 1983. – № 10. – С. 9–11.

25. Justi, S. Investigations with the High Temperature Microscope of Aluminum-Silicon Alloys Modified with Strontium / S. Justi // *Giessereiforschung*. – 1975. – Vol. 27, no. 4. – P. 141–143.

26. Технологические особенности модифицирования силуминов алюминий-стронциевыми лигатурами / Н.Л. Куценко, А.А. Андуршевич, И.Н. Ганиев, В.Н. Янчук // *Технология автомобилестроения*. – 1983. – № 8. – С. 7–10.

27. Залинова, И.М. Влияние стронция на взаимодействие силуминов с газами / И.М. Залинова, А.П. Гудченко // *Литейное производство*. – 1977. – № 1. – С. 35.

28. Семенова, О.Н. Влияние добавок хлора и фосфора на сохранение эффекта модифицирования стронцийсодержащих силуминов / О.Н. Семенова, И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов // *Литейное производство*. – 1984. – № 6. – С. 13–14.

29. Влияние стронция на ударную вязкость сплава АК9 / И.Н. Ганиев, А.В. Вахобов, Т.Д. Джураев, В.А. Излев // *Литейное производство*. – 1976. – № 2. – С. 41.

Гулов Саломидин Садриддинович, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения, металлургических машин и оборудования, Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан; gulov72@mail.ru.

Ганиев Изатулло Наврузович, д-р хим. наук, профессор, академик АН Республики Таджикистан, заведующий лабораторией «Коррозионностойкие материалы», Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан; ganiev48@mail.ru.

Бердиев Асадкул Эгамович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории «Коррозионностойкие материалы», Институт химии им. В.И. Никитина АН Республики Таджикистан, г. Душанбе, Республика Таджикистан; berdiev75@mail.ru.

Саидзода Рахимджони Хамро, д-р техн. наук, и.о. профессора, первый проректор по учебной работе, Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан; rahsai@mail.ru.

Ашурматов Джума Тошмуродович, ассистент кафедры материаловедения, металлургических машин и оборудования, Таджикский технический университет им. академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан; ahsurmatov63@mail.ru.

Поступила в редакцию 1 июля 2018 г.

EFFECTS OF GERMANIUM AND STRONTIUM ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANO-TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THE AK9M2 ALLOY

S.S. Gulov¹, gulov72@mail.ru,
I.N. Ganiev², ganiev48@mail.ru,
A.E. Berdiev², berdiev75@mail.ru,
R.Kh. Saidzoda¹, rahsai@mail.ru,
J.T. Ashurmatov¹, hsurmatov63@mail.ru

¹ Tajik Technical University named after academic M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan,

² V.I. Nikitin Institute of Chemistry, Dushanbe, Republic of Tajikistan

Foundry aluminum-silicon alloy AK9M2 is widely used in the automotive industry for the casting of castings for various purposes. This alloy during casting is modified by sodium. However, the effect of modifying with sodium does not exceed 30–40 minutes, which requires a second operation.

Recently, more and more in the foundry industry when casting from silumin castings, aluminum ligatures with strontium are used, which are distinguished by a long-lasting effect of preserving the effect of modifying up to eight or more hours, and also after 2–4 melts.

In this regard, the work presents the results of a study of the effect of joint additions of germanium and strontium on the mechanical properties of cuprous silumin of grade AK9M2, as well as the microstructure of alloys. It is shown that the additions of strontium and germanium together provide a high cooperativity of phase growth in the α -Al–Si eutectic, as well as the hardening of the α -solid aluminum solution. Germanium and strontium have a modifying effect on the microstructure of the alloy AK9M2, resulting in an increase in the mechanical properties of the alloys. In this case, additives up to 0.1–0.3% of germanium increase the fluidity of the AK9M2 alloy by more than 1.3 times. This is accompanied by a decrease in the volume of the concentrated shrinkage shell by 10–12%. The addition of strontium favorably affects the fluidity of the alloy only when the germanium content is about 0.1% (by mass). The positive effect of germanium on the mechanical and casting and technological properties of the alloy AK9M2 is enhanced in the presence of strontium.

Keywords: alloy AK9M2; strontium; germanium; mechanical properties; technological properties.

References

1. Mondolfo L.F. *Aluminum Alloys: Structure and Properties*. Butterworth-Heinemann, 1976. 982 p. DOI: 10.1016/C2013-0-04239-9
2. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Semenova O.N. [Structure and Properties of Silumin Modified with Strontium]. *Sovremennyye metody proizvodstva otlivok, sposobstvuyushchiye ekonomii materialov i toplivno-energeticheskikh resursov: tez. dokl. XIII nauch.-tekhn. konf. liteyshchikov Zapadnogo Urala* [Modern Methods of Casting Production, which Contribute to Saving Materials and Fuel and Energy Resources: Abstracts of XIII Scientific and Technical. Conf. Founders of the Western Urals]. Perm'. 1984, pp. 28–29. (in Russ.)
3. Gorokhov Yu.V., Sherkunov V.G., Konstantinov I.L. The Research Methodology of Continuous Press-Casting of Metals. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 82–88. (in Russ.)
4. Berdiev A.E., Ganiev I.N., Gulov S.S., Sangov M.M. [Kinetics of Oxidation of a Hard Alloy AK7M2 Doped with Germanium]. *Proceedings of Universities. Chemistry and Chemical Technology*, 2013, vol. 56, no. 3, pp. 28–30. (in Russ.)

5. Berdiyev A.E., Ganiev I.N., Gulov S.S. Kinetics of Oxidation of a Solid Alloy AK7M2 + 0.05 % Sr, Doped with Germanium. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, 2014, vol. 55, iss. 5, pp. 416–418. DOI: 10.3103/S1067821214050046
6. Berdiyev A.E., Ganiev I.N., Gulov S.S. *Siluminy, modifitsirovannyye elementami podgruppy germaniya i strontsiya* [Silumin, Modified by Elements of the Subgroup of Germanium and Strontium]. Germany, Ed. House LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011. 142 p.
7. Olimov N.S., Ganiev I.N., Obidov Z.R., Shirinov M.Ch. Oxidation of the Alloys of the Al-Ge System, in the Liquid State. *Melt*, 2015, no. 4, pp. 28–36. (in Russ.)
8. Ganiev I.N. Parhulik P.A., Vakhobov A.V., Kupriyanova I.Yu., Ed. K.W. Gorev. *Modifitsirovaniye siluminov strontsiyem* [Modification of Silumin with Strontium]. Minsk, Science and Technology, 1985. 143 p.
9. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Dzhuraev T.D., Kalyaeva V.G. [Modification of Al-Si Alloys AL-4 and AL-9]. *Foundry*, 1975, no. 1, pp. 33–34. (in Russ.)
10. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Semenova A.N. Effect of the Composition and Microalloying with Strontium on the Structure and Properties of Al-Si-Mg Alloys. *Metal Science and Heat Treatment*, 1983, vol. 25, iss. 8, pp 623–625. DOI: 10.1007/BF00741928
11. Ganiev I.N., Trubnyakova E.D. [Modifying Effect of Strontium on the Corrosion-Electrochemical Behavior of Silumin, in Neutral Media]. *Journal of Applied Chemistry*, 1986. vol. 59, no. 11, pp. 2545–2548. (in Russ.)
12. Vakhobov A.V., Ganiev I.N. [Strontium-Effective Modifier of Silumin]. *Foundry*, 2000, no. 5, p. 28. (in Russ.)
13. Kargopolova T.B., Mahmadulloev Kh.A., Ganiev I.N., Khakhdodov M.M. [Barium – a New Modifier of Silumin]. *Foundry*, 2001, no. 10, pp. 6–9. (in Russ.)
14. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Khakhdodov M.M., Mahmadulloev Kh.A. [Development and Introduction of New Cast Aluminum Alloys, Strontium Containing Ligatures and Modifiers into Production]. *Metallurgy and Heat Treatment of Metals*, 2002, no. 10, pp. 38–39. (in Russ.)
15. Ganiev I.N., Gulov S.S., Ganieva N.I., Davlatnazarova N.V. [Influence of Strontium and Methods of Its Introduction into the Melt on the Properties of Industrial Silumin]. *Izvestiya AN Respubliki Tadjikistan. Otd. fiz.-mat., khim., geol. i tekhn. nauk* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Fiz.-Mat., Chemical., Geol. and Those. Sciences], 2007, no. 1, pp. 68–78. (in Russ.)
16. Gulov S.S., Ganiev I.N., Umarova T.M., Berdiyev A.E. [Corrosion-Electrochemical Behavior of the AK7M2 + 0.05% Sr Alloy Doped with Germanium in a 3% NaCl Solution]. *Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan*, 2009, vol. 52, no. 6, pp. 460–464. (in Russ.)
17. Gudchenko A.P., Zalinova I.M. [Modification of Al-Si Alloys with Strontium]. *Foundry*, 1972, no. 12, pp. 30. (in Russ.)
18. Zalinova I.M., Gudchenko A.P., Pankovaya L.E. [Kinetics of Strontium Oxidation in a Melt]. *Foundry*, 1974, no. 10, pp. 20–21. (in Russ.)
19. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Juraev G.D., Valyaeva V.G. [Modification of Al-Si Alloys with Strontium]. *Foundry*, 1975, no. 1, pp. 33–34. (in Russ.)
20. Alker K. Veredelung von Al-Si Legierungen durch Natrium oder Strontium: Eine Gegenüberstellung. *Geiberai – Praxis*, 1972, Nr. 24, S. 434–438.
21. Latkowski A., Gryziecki J., Jarominek J. Wpliw obrobki cieplnej na wlasnosc mechaniczne stopu Al-Si-Mg-Cu-Ni, modifikovanego strontem. *Rudy in metal niczelazne*, 1976, vol. 21, no. 3, pp. 52–56.
22. Hess P.D., Blackman E.V. Strontium as a Modifying Agent for Hypoeutectic Aluminium-Silicon Alloys. *AFS Transactions*, 1975, pp. 87–90.
23. Barbe P.S., Erdmann-Jeshitzer K., Krug T. *Anwendung der thermischen Analyse für Überwachung der Veredelungswirkung Strontium in der Legierung Ge-Al-Si 10,5*. *Giesserei*, 1982, Bd. 69, Nr. 14, S. 393–397.
24. Andurshevich A.A., Lubensky M.Z., Pimenova G.P. [Modification of Aluminum-Silicon Alloys with Strontium]. *Foundry*, 1983, no. 10, pp. 9–11. (in Russ.)
25. Justi S. Investigations with the High Temperature Microscope of Aluminum-Silicon Alloys Modified with Strontium. *Giessereiforschung*, 1975, vol. 27, no. 4, pp. 141–143.

26. Kutsenok N.L., Andrushevich A.A., Ganiev I.N., Yanchuk V.N. [Technological Features of Modifying Silumin with Aluminum-Strontium Ligatures]. *The Technology of the Automotive Industry*, 1983, no. 8, pp. 7–10. (in Russ.)

27. Zalinova I.M. Gudchenko A.P. [The Influence of Strontium on the Interaction of Silumin with Gases]. *Foundry*, 1977, no. 1, p. 35. (in Russ.)

28. Semenova O.N., Ganiev I.N., Vakhobov A.V. [The Effect of Chlorine and Phosphorus Additives on the Preservation of the Effect of Modifying Strontium Containing Silumin]. *Foundry*, 1984, no. 6, pp. 13–14. (in Russ.)

29. Ganiev I.N., Vakhobov A.V., Dzhuraev T.D., Ivlev V.A. [Effect of Strontium on the Impact Strength of AK9]. *Foundry*, 1976, no. 2, p. 41. (in Russ.)

Received 1 July 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Влияние германия и стронция на микроструктуру и механо-технологические свойства сплава АК9М2 / С.С. Гулов, И.Н. Ганиев, А.Э. Бердиев и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 50–58. DOI: 10.14529/met190106

FOR CITATION

Gulov S.S., Ganiev I.N., Berdiev A.E., Saidzoda R.Kh., Ashurmatov J.T. Effects of Germany and Strontium on the Microstructure and Mechano-Technological Properties of the AK9M2 Alloy. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 50–58. (in Russ.) DOI: 10.14529/met190106