

*The modification of the eutectic structure in aluminum-silicon-magnesium alloys related to the thermal parameters analysis is investigated. The magnitude of the eutectic undercooling and eutectic arrest depression caused by modifying sodium and strontium has been correlated to the eutectic microstructure accordingly to the type of modifier. The reason for difference of cooling curves and microstructure of aluminum-silicon-magnesium alloys modified sodium and strontium is changing in growth mode of eutectic crystals from the liquid.*

И. В. РАФАЛЬСКИЙ, Г. В. ДОВНАР, С. В. КИСЕЛЕВ,  
П. Е. ЛУЩИК, А. В. БЕЛЬСКИЙ, БНТУ

УДК 621.746

## ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ СИЛУМИНОВ С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ МОДИФИКАТОРА

Основную долю литейной продукции из алюминиевых сплавов составляют отливки из сплавов системы Al–Si благодаря хорошему сочетанию механических и технологических свойств, высокой коррозионной стойкости, низкому удельному весу (плотности). Тем не менее, использование этих сплавов в производстве часто определяется возможностью обеспечить стабильность процесса модифицирования эвтектического кремния.

Важнейшее значение для выяснения механизма формирования структуры сплавов на основе системы Al–Si имеет исследование закономерностей структурообразования модифицированной эвтектики, при кристаллизации которой наблюдается смена морфологического типа эвтектических фаз – от грубой пластинчатой к тонкодисперсной волокнистой. Эти изменения микроструктуры, наблюдаемые после введения в расплавы модификаторов (щелочных и щелочноземельных металлов и их соединений), объясняются, как правило, либо заторможенным зарождением, либо изменением скорости роста кристаллов эвтектики при кристаллизации. В основе таких представлений лежат данные металлографических исследований и результаты термического анализа сплавов [1, 2].

Достижения последних лет в области компьютерной техники и электронных средств измерений позволили обеспечить высокий уровень точности термического анализа и возможность использовать его результаты для компьютерной обработки. Работы в данном направлении активно проводятся во всем мире как для решения научных, так и коммерческих задач: с помощью систем компьютеризированного термического анализа определяются физико-химические и механические свойства материалов в широком диапазоне температур, проводятся исследования химических реакций, выполняется анализ химического состава

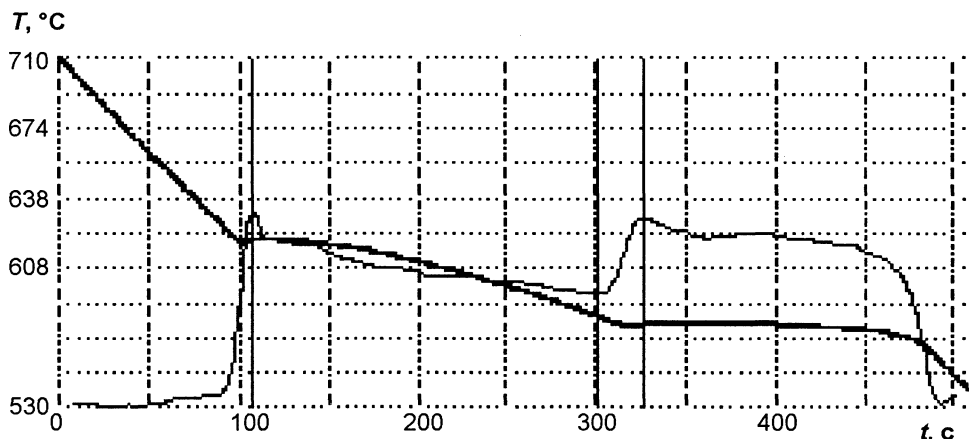
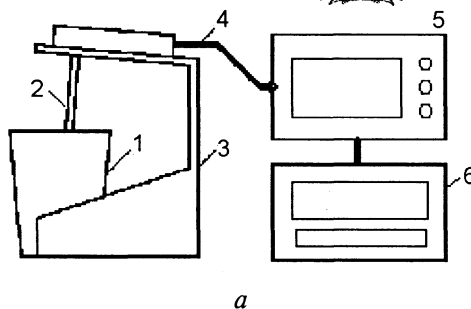
материалов [2–5]. В литейном и металлургическом производствах системы термического анализа применяют с целью экспрессной оценки и прогнозирования свойств и структуры сплавов черных и цветных металлов (рис. 1, а, б) [4].

В настоящей работе исследовали влияние модифицирования натрием и стронцием на процесс кристаллизации сплавов системы Al–Si, дополнительно легированных (до 0,8 мас.%) магнием. Выбор в качестве объекта исследования тройной модельной системы Al–Si–Mg объясняется тем, что легирование магнием повышает способность упрочнения сплавов при термической обработке. При выборе концентрации кремния и магния принимали во внимание их содержание в промышленных сплавах АК9, АК12. После записи и компьютерной обработки результатов термического анализа проводили металлографический анализ исследованных сплавов.

Несмотря на идентичность морфологических типов эвтектической структуры модифицированных натрием и стронцием сплавов, форма соответствующих кривых охлаждения оказалась различной. При введении стронция в модельные сплавы, не содержащих добавок магния, наблюдалось понижение температуры площадки эвтектической кристаллизации (для выбранных условий эксперимента на 5–6 К) с появлением выраженного (до 3 К) участка переохлаждения и рекалесценции эвтектики. После модифицирования натрием сплавов смещение начала эвтектической кристаллизации в область более низких температур сопровождалось исчезновением на кривых охлаждения участка, соответствующего переохлаждению и рекалесценции эвтектики. Металлографический анализ сплавов, модифицированных как натрием, так и стронцием (0,05 мас.%), показал, что эвтектика формировалась

полностью модифицированная, с тонкодисперсной волокнистой структурой.

Различие в кривых охлаждения модифицированных натрием и стронцием модельных сплавов объясняется особенностями образования и роста эвтектических фаз в начальной стадии эвтектической кристаллизации в зависимости от типа использованного модификатора. Металлографический анализ исследованных сплавов показал, что модифицирование натрием при достижении температуры начала эвтектической кристаллизации приводит к появлению большого количества мелких дендритных образований  $\alpha$ -фазы на поверхности ранее сформировавшихся первичных кристаллов  $\alpha$ -раствора. В отличие от натрия добавки в сплавы стронция препятствуют зарождению и росту эвтектической  $\alpha$ -фазы на поверхности первичных кристаллов  $\alpha$ -раствора, что сопровождается появлением на кривых охлаждения участка переохлаждения с рекалесценцией (рис. 2, а, б).



ТЕМПЕРАТУРА		
№	MIN	MAX
1	615,9	616,9
2	673,7	674,0

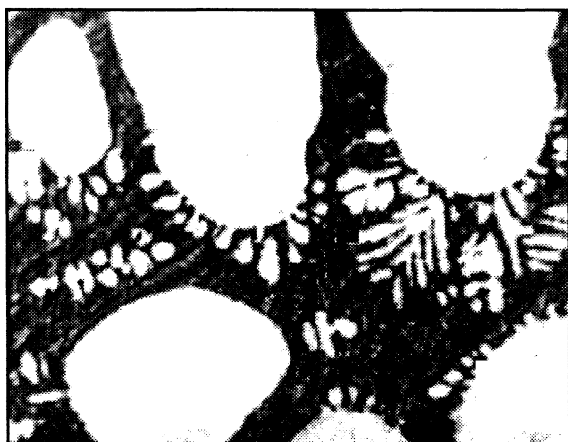
б

Рис. 1. Схема устройства для термического анализа (а) (1 – тигель с расплавом; 2 – хромель-алюмелевая термопара; 3 – штатив для термопары; 4 – соединительный кабель; 5 – измерительный блок; 6 – компьютер) и термограмма кристаллизации сплава системы Al-Si (б) [4]

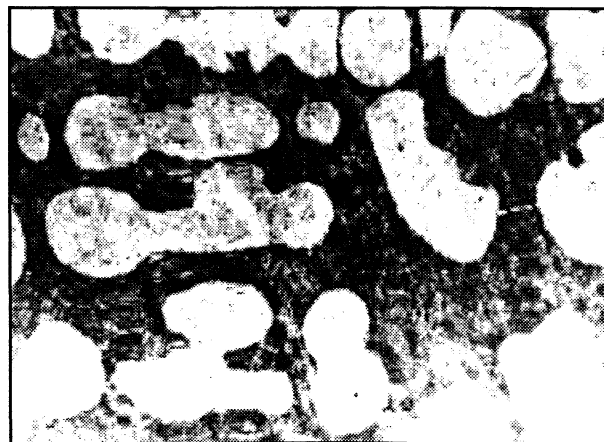
Введение в модифицированные сплавы добавок магния привело к значительным изменениям морфологии фаз и формы кривых охлаждения. Добавление магния в сплавы, модифицированные натрием, сопровождалось появлением на кривых охлаждения участка эвтектического переохлаждения с рекалесценцией и непрерывным понижением температуры эвтектической остановки (на 10–11 К при содержании магния 0,8 мас.%). Несмотря на появление в

структуре сплавов отдельных выделений кремния с более грубой морфологией, морфология эвтектики ( $\alpha$ +Si) оставалась волокнистой, характерной для модифицированных структур.

При введении магния в сплавы, модифицированные стронцием, свыше 0,2 мас.% значительно уменьшается интенсивность тепловыделения после начала эвтектической кристаллизации. Повышение температуры на участке эвтектичес-



а



б

Рис. 2. Микроструктура сплава Al-10%Si, модифицированного натрием (а) и стронцием (б), после начала эвтектической кристаллизации. x300

кого переохлаждения составляло менее 0,5 К. Несмотря на снижение температуры эвтектического превращения до значений, близких для сплавов, модифицированных натрием, эвтектическая структура сплавов, модифицированных стронцием, огрубляется и при содержании магния в сплаве 0,8% практически весь эвтектический кремний кристаллизуется в пластинчатой форме, эффект модифицирования частично либо полностью исчезает.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости использования различных математических моделей и характеристик кривой охлаждения для оценки морфологии эвтектического кремния в системах Al–Si–Mg с различным типом модификатора. Изменения температуры эвтектического превращения в модифицированных сплавах не связаны с формированием определенного морфологического типа эвтектической структуры и, таким образом, не могут однозначно определять степень модифицирования эвтектики. Для анализа структурообразования модифици-

рованных магнийсодержащих силуминов с различным типом модификатора требуется привлечение многомерных пространств параметров, построенных путем математической обработки различных участков кривых охлаждения, прежде всего участков переохлаждения и рекалесценции эвтектики [5].

### Литература

1. Алюминий: свойства и физическое металловедение: Справ. / Под ред. Дж.Хэтча; Пер. с англ. Э.З.Непомнящей. М.: Металлургия, 1989.
2. Thermal Analysis of Molten Aluminium: a New In-Process Technique for Quality Control / Proceedings of the AFS/CMI Conference, December 11–12, 1984, Rosemont, Illinois, USA.
3. Djurdjevic M., Sokolowski J.H., Jiang H. On-Line Prediction of the Al–Si Eutectic Modification Level Using Thermal Analysis // Materials Characterization. 2000. Vol. 45. P. 31–38.
4. Киселев С.В., Довнар Г.В. Универсальное устройство для термоанализа сплавов // Литейное производство. 2004. № 3.
5. Чичко А.Н., Рафальский И.В. О классификации структуры эвтектик сплавов на основе системы Al–Si с помощью ЭВМ // Неорганические материалы. 1992. Т. 28. № 8. С. 1640–1645.