



УДК 669.017

Поступила 29.01.2016

ВЛИЯНИЕ ЖИДКОЙ ФАЗЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИТОГО СПЛАВА Al-11,7% Si

EFFECT OF LIQUID PHASE ON THE STRUCTURE FORMATION OF CAST ALLOY Al-11,7% Si

А. И. АНИКИН, Т. Р. ГИЛЬМАНШИНА, В. И. АНИКИНА, А. А. КОВАЛЕВА, Н. А. БАБИЦКИЙ,
А. Ю. СЕМУШЕВА, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия, пр. Свободный,
79/10. E-mail: anikin24081989@mail.ru

A. I. ANIKIN, T. R. GILMANSHINA, V. I. ANIKINA, A. A. KOVALEVA, N. A. BABITSKY, A. Yu. SEMUSHEVA,
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, 79/10, Svobodnyi ave. E-mail: anikin24081989@mail.ru

В работе рассмотрено влияние тиксотропной термической обработки на структурообразование эвтектического алюминиево-кремниевого сплава в зависимости от температуры и времени выдержки вблизи эвтектического равновесия. Проведено теоретическое обоснование процесса на основе данных термоанализа и полученных микроструктур.

The influence of a thixotropic heat treatment on the structure formation of the eutectic aluminum-silicon alloy subject to the temperature and time of exposure near the eutectic equilibrium is given in the article. The theoretical study of the process based on the data obtained and the thermal analysis of microstructures is made and described.

Ключевые слова. Эвтектика, силумин, Al-Si, гетерогенизация, дендриты, микроструктура.

Keywords. Eutectic, silumin, Al-Si, heterogenization, dendrites, microstructure.

В настоящее время тиксолитые является одним из наиболее перспективных и малоизученных способов получения изделий. Первые попытки в этом направлении осуществлялись с целью получения качественных поверхностей отливок.

Данная работа посвящена изучению структурообразования при тиксотропной термической обработке алюминиево-кремниевого сплава, проходящей с участием жидкой фазы, режимы которой могут быть адаптированы для тиксотропного литья, что позволит изменять форму и размеры эвтектических кристаллов, влияющие, в конечном итоге, на механические свойства изделий.

Ранее проведенные исследования [1–3] показали, что термическая обработка при температурах, несколько превышающих эвтектическую, приводит при охлаждении к формированию неэвтектической структуры. Температура нагрева сплава определяет количество жидкой фазы и структуру.

Для каждого сплава температура эвтектики должна определяться практически, поскольку она зависит даже от незначительного содержания примесных элементов. Поэтому с целью определения температур фазовых переходов использовали термический анализатор на основе дериватографа Q-1000. Нагрев и охлаждение образцов в дериватографе Q-1000 проводили со скоростью 10 °С/мин до температуры нагрева T_n и выдерживали в течение времени выдержки $\tau_{\text{выд}}$. Контроль температуры и сбор оперативной информации с термопар (использовали Pt/Pt-Rh термопары, тип S) осуществляли с помощью двухканального программируемого ПИД-регулятора ТРМ-251 (Owen). Для надежного определения температуры эвтектического равновесия был проведен контрольный нагрев до 600 °С, существенно превышающий температуру плавления. Температура эвтектического равновесия составила 573,8 °С.

Максимальная температура нагрева и время выдержки оказали влияние на формирование микроструктуры, поскольку от этих параметров зависит соответственно количество жидкой фазы и межфазное взаимодействие.

На рис. 1 показана структура типичного литого сплава Al-Si, нагретого до температуры 600 °С, при которой образец полностью расплавлялся – длинные иглы кремнистой фазы распределены на фоне α -твердого раствора на основе алюминия.

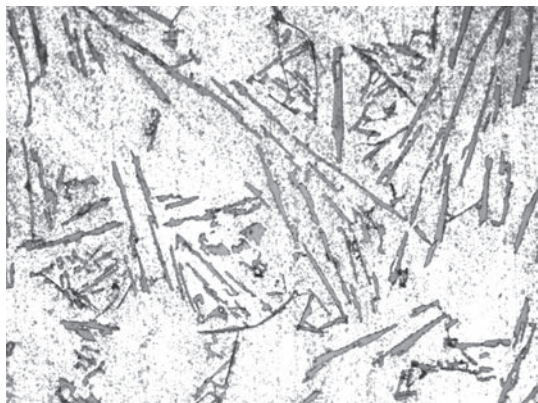


Рис. 1. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, температура нагрева (T_H) = 600 °C. $\times 500$

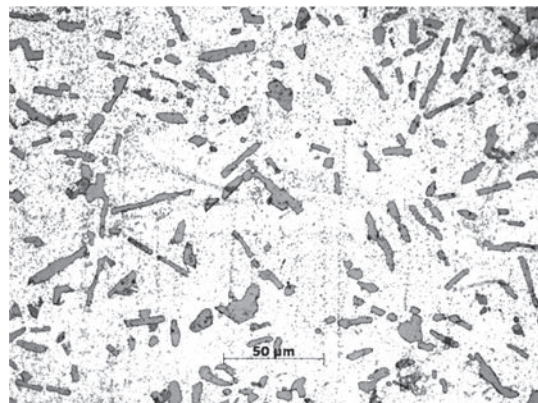


Рис. 2. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_H = 585$ °C. $\times 500$

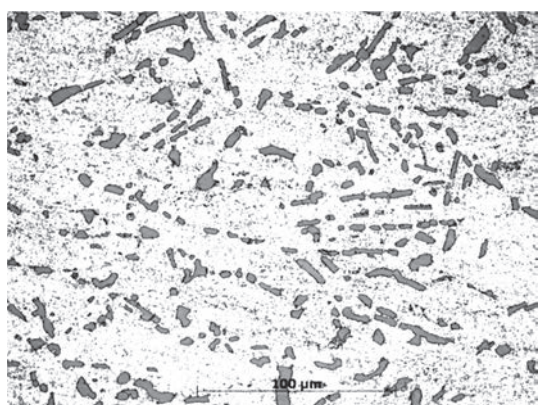


Рис. 3. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_H = 580$ °C. $\times 500$

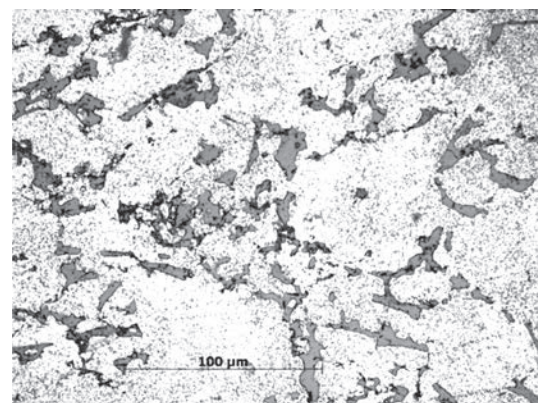


Рис. 4. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_H = 580$ °C, время выдержки ($\tau_{\text{выд}}$) = 10 мин. $\times 500$

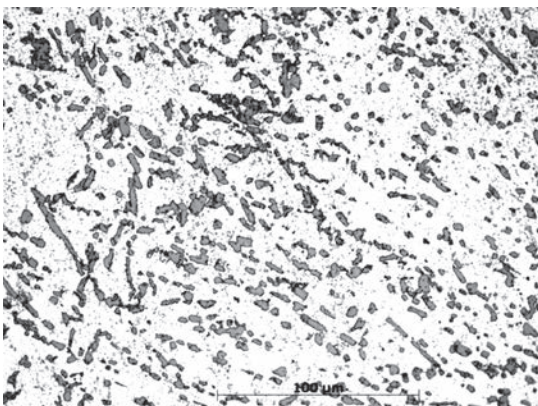


Рис. 5. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_H = 575$ °C. $\times 500$

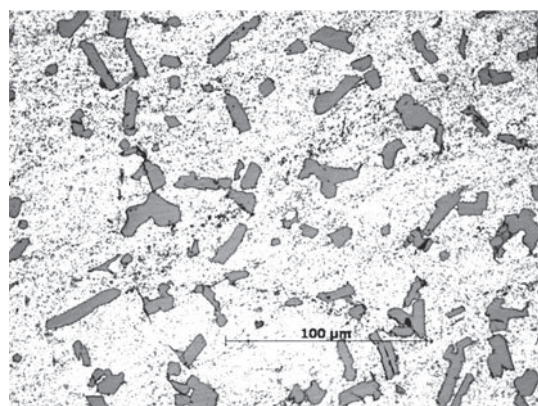


Рис. 6. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_H = 575$ °C, $\tau_{\text{выд}} = 10$ мин. $\times 500$

Нагрев образца до температуры, приближающейся к эвтектической, способствовал тому, что микроструктура сплава (рис. 2) состояла из более мелких кристаллов кремния (по сравнению с рис. 1).

Особенность эвтектической колонии данного сплава состоит в том, что зарождение инициирует кремниевая фаза, на которой растет как на подкладке вторая фаза в форме плоского дендрита.

Понижение температуры до 580 °C приводит к получению в структуре сплава измельченных частиц кремния, которые практически равномерно распределены по полю α -твердого раствора, причем края этих частиц сглажены (рис. 3). Выдержка при этой же температуре (580 °C) приводит к слиянию мелких частиц кремния, образующих кристаллы равноосной формы (рис. 4).

Проведение эксперимента при температуре 575 °C позволило получить в структуре выделение мелких кремниевых кристаллов равномерно по телу α -твердого раствора (рис. 5). Выдержка при температуре 575 °C в течение 10 мин привела к получению более крупных равноосных кристаллов кремния, чем при этой же температуре без выдержки (рис. 6).

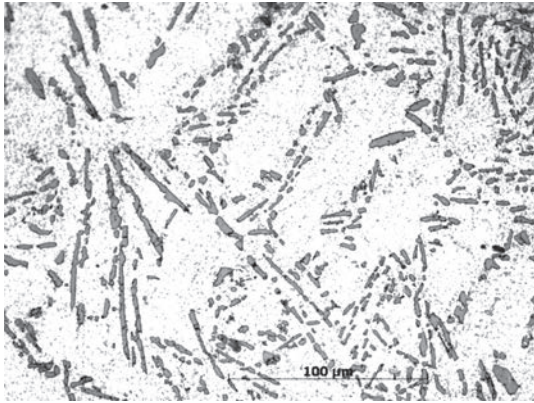


Рис. 7. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_n = 572$ °C. $\times 500$

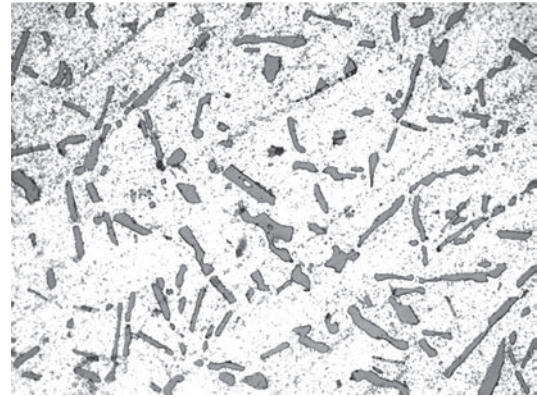


Рис. 8. Микроструктура сплава Al-11,7%Si, $T_n = 572$ °C, $\tau_{\text{выд.}} = 10$ мин. $\times 500$

Нагрев сплава до температуры 572 °C позволил получить микроструктуру с удлиненными кристаллами кремния, очень похожую на микроструктуру литого сплава (рис. 7). Выдержка при температуре 572 °C привела к образованию практически такой же структуры, как у литого сплава: крупные иглы кремния распределяются по полю α -твердого раствора (рис. 8). Формирование структуры сплава при 572 °C не приводит к диспергированию кремниевой фазы, поскольку превращения при этой температуре идут без участия жидкой фазы, т. е. протекает известная циклическая термообработка [4].

В работе [5] указано, что строение расплава системы Al-Si считают изученным. На основании исследования теплот смешения компонентов, взятых в соотношении, отвечающем эвтектической концентрации, показано, что процесс смешения является энергетически невыгодным, и именно поэтому в жидкой эвтектике отсутствует полное (поатомное) взаимное смешение компонентов, хотя химическая неоднородность обнаруживается не во всех эвтектических системах. Л. А. Жукова утверждает, что эвтектический расплав Al-Si не просто микрон неоднороден, а двухфазен, с отчетливо выраженными границами, разделяющими дисперсную и сплошную жидкие фазы.

Разнообразие полученных структур алюминиево-кремниевого эвтектического сплава связано с присутствием жидкой фазы при нагревании сплава, что определялось температурой. В области границы жидкой и твердой фаз имело место более сильное химическое взаимодействие разноименных атомов, что ослабляло связи с одноименными в собственной фазе и становилось причиной снижения температуры плавления эвтектической смеси кристаллов по сравнению с температурами плавления каждой из твердых фаз в отдельности.

В расплавах кремния с алюминием энергия смешения жидких компонентов отрицательна [5], что указывает на более сильное взаимодействие между разноименными атомами, чем между одноименными, и, следовательно, на отсутствие микрон неоднородности. Это позволяет сделать вывод о том, что присутствие жидкой фазы приводит к делению кремниевых частиц, причем это деление максимально происходит при температуре, ближайшей к эвтектической. Выдержка при этой же температуре приведет к слиянию мелких частиц в более крупные.

Литература

1. Влияние режимов термической обработки с участием жидкой фазы на формирование микроструктуры эвтектического Al-Si-сплава / А. И. Аникин, С. В. Беляев, Т. Р. Гильманшина [и др.] // *Литье и металлургия*. 2015. № 1(78). С. 52–57.
2. Гетерогенизация эвтектического Al-Si-сплава термообработкой с участием жидкой фазы / А. И. Аникин, С. В. Беляев, Т. Р. Гильманшина [и др.] // *Металлургия машиностроения*. 2015. № 1.
3. Патент РФ № 2525872 Способ формирования микроструктуры эвтектического Al-Si сплава; опубл. 20.08.2014.
4. Золоторевский В. С. Металловедение литейных алюминиевых сплавов / В. С. Золоторевский, Н. А. Белов. М.: МИСиС, 2005. 376 с.
5. Жукова Л. А. Строение и свойства двойных металлических сплавов в жидком и аморфном состояниях: учеб. электрон. текст. изд. / Л. А. Жукова [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://study.urfu.ru/Aid/Publication/2669/1/Jukova.pdf>.

References

1. Anikin A. I., Belyaev S. V., Gilmanshina T. R. et al. Vliyanie rezhimov termicheskoy obrabotki s uchastiem zhidkoj fazy na formirovanie mikrostruktury jevtekticheskogo Al-Si-splava [The thermal treatment modes with liquid phase participation influence on the microstructure of the eutectic Al-Si-alloy formation]. *Lit'e i metallurgiy = Foundry production and metallurgy*, 2015, no. 1 (78), pp. 52–57.

2. Anikin A. I., Belyaev S. V., Gilmanshina T. R. et al. Geterogenizacija jevtekticheskogo Al-Si-splava termoobrabotkoj s uchastiem zhidkoj fazy [The eutectic Al-Si-alloy heterogenization by the heat treatment with liquid phase participation]. *Metallurgiya mashinostroeniya = Metallurgy Engineering*. 2015, no. 1.

3. Patent RF № 2525872. Method of hypoeutectic Al-Si alloy microstructure formation; publ. 08/20/2014.

4. Zolotarevskiy V. S., Belov N. A. *Metallovedenie litejnyh aljuminievyh splavov* [Physical metallurgy of cast aluminum alloys]. Moscow, MIS&A Publ., 2005. 376 p.

5. Zhukova L. A. Stroenie i svoystva dvojnnyh metallicheskih splavov v zhidkom i amorfnom sostojanijah [Structure and properties of binary metal alloys in liquid and amorphous states]: *educational electronic edition text* [electronic resource]. Access mode: <http://study.urfu.ru/Aid/Publication/2669/1/Jukova.pdf>.

24 - 26 мая
УКРАИНА, ЗАПОРОЖЬЕ



**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ЛИТЬЕ. МЕТАЛЛУРГИЯ 2016**

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

Раздел «Литье-2016»:

- Получение, обработка и структурообразование сплавов
- Новые методы, прогрессивные технологии, оборудование в литейном производстве
- Перспективные формовочные материалы и смеси
Технологические процессы изготовления форм и стержней
- Моделирование, компьютерные и информационные технологии в литейном производстве
- Специальные способы литья и литье композиционных материалов
- Методы контроля литейных и металлургических процессов. Экономика и экология литейного производства

Раздел «Металлургия-2016»:

- Металлургия чугуна и стали: технологии, инновации, качество
- Современные технологии внеагрегатной обработки и разливы стали. Литейно-прокатные комплексы
- Производство ферросплавов, цветных металлов и специальных сплавов
- Технологические процессы обработки металлов давлением и термическая обработка
- Металлургическая теплотехника, теплоэнергетика и энергосбережение. Экология и утилизация отходов в металлургии
- Инновационные процессы и материалы в металлургии. Компьютерные и информационные технологии в металлургии

Дата подачи тезисов до 20 апреля 2016 года

Дата подачи заявок на участие до 20 апреля 2016 года

Дата отсылки статей до 2 марта 2016 года

**Подробности о программе
конференции на сайте**

www.expo.zp.ua

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ В КОНФЕРЕНЦИИ ОБРАЩАТЬСЯ:

Пономаренко Ольга Ивановна, тел. (057) 7076854, 067-744-30-47, e-mail: litvo21@kpi.kharkov.ua

Берлизова Татьяна Викторовна, тел. (057) 7076854, 095-695-21-66, e-mail: berta_lu@mail.ru

Гнилюскуренко Святослав Витальевич, тел. (044) 424-12-50, e-mail: expo@ptima.kiev.ua

Стоянов Александр Николаевич, тел. (056) 247-42-94; e-mail: kmetsteel@metal.nmetau.edu.ua

Организаторы:



Национальный университет
«Харьковский политехнический институт»



Национальная металлургическая
академия Украины



Физико-технологический институт
металлов и сплавов НАН Украины



Ассоциация литейщиков Украины



Запорожская торгово-промышленная палата