

**Компьютерный термический анализ для контроля фазовых переходов заэвтектических силуминов с учетом влияния температурной обработки расплава**

Магистрант Арабей А.В.  
Научный руководитель – Рафальский И.В.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Свойства каждого конкретного сплава системы Al-Si главным образом определяются индивидуальными физическими свойствами, объемной долей, морфологией и распределением его основных фазовых составляющих:  $\alpha$ -Al твердого раствора и кристаллов кремния (Si). В промышленных силуминах содержание кремния находится на уровне от 5 до 23 % (масс.) и, как следует из равновесной диаграммы состояния, структура этих сплавов может быть доэвтектической, заэвтектической или эвтектической [1]. Кристаллы кремния, присутствующие в промышленных Al-Si сплавах, образуют практически чистые, беспримесные граненные кристаллы этого элемента, которые могут иметь различную морфологию: первичные, компактные включения в заэвтектических сплавах ( $\beta$ -фаза) и разветвленные пластины (или волокна) в эвтектике ( $\alpha$ -Al+Si). Доэвтектические и заэвтектические сплавы кристаллизуются аналогично сплавам эвтектического состава, но отличаются лишь выпадением первичных  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз соответственно [1,2].

Принято считать, что процесс эвтектической кристаллизации в силуминах является актом гетерогенного зарождения одной из фаз на подложках другой твердой фазы или посторонней примеси [2]. Однако единого мнения о решающей роли того или иного фактора, лимитирующего активность одной из фаз в качестве подложки для другой, не существует [1,2]. Более того, за последние годы накоплен значительный экспериментальный материал, свидетельствующий о существенной, если не решающей, роли жидкого состояния на процесс формирования кристаллической структуры силуминов [3-5]. Установлено, что после плавления силумины являются неоднородными, неравновесными системами, свойства которых зависят не только от химического состава, но и от условий приготовления сплава в жидкой фазе. Температурная обработка силуминов в жидком состоянии выше температуры ликвидуса приводит к значительному изменению не только свойств самих расплавов, но также к изменению свойств и структуры литых изделий после затвердевания сплавов. Эта взаимосвязь обнаруживается и подтверждается практикой производства отливок из силуминов.

В связи с вышеуказанным, особый интерес представляло исследовать влияния температурной предыстории выплавки расплава на температуры фазовых переходов, интервал кристаллизации и морфологию фаз при охлаждении и затвердевании силуминов. Для решения поставленной задачи изучали

параметры процесса кристаллизации и микроструктуры сплавов после их температурной обработки в жидком состоянии при различных перегревах от 720°C до 870°C.

В качестве объекта исследования использовали сплавы Al-16%Si заэвтектического состава, которые получали сплавлением в электрической печи типа СНОЛ алюминия марки А9 и лигатуры следующего состава: 30-32% кремния, 0,8-1,2% железа, остальное – алюминий.

Для исследования процесса кристаллизации использовалась универсальная микропроцессорная система термического анализа металлов и сплавов (УМСТА), построенная на базе микропроцессорных средств и персонального компьютера. Конструктивно УМСТА включает датчик, обеспечивающий измерения температур в интервале кристаллизации сплавов, персональный компьютер для обработки и визуализации термограмм, информационно-измерительный блок. В качестве термодатчика использовали хромель-алюмелевую термопару в защитном кварцевом колпачке. Сигнал от термопары (термо-ЭДС) поступал в информационно измерительный блок, где преобразовывался в цифровой код, из которого формировалась термограмма кристаллизации. Измерения температуры (преобразования сигнала термопары в цифровой код) во время процесса кристаллизации расплава осуществлялось через равные промежутки времени (0,4-1,2 с, в зависимости от общей продолжительности затвердевания пробы расплава). Полученные термограммы передавались для обработки в персональный компьютер с помощью интерфейса передачи данных через USB-порт.

Для исследования влияния температурных режимов обработки сплавов в жидком состоянии на характер распределения и морфологию кристаллических фаз проводили металлографический метод анализа образцов проб исследованных сплавов после термического анализа (диаметр пробы 30 мм, масса пробы 35 грамм, скорость охлаждения в жидком состоянии 1,8-2 °C/с). Исследования микроструктуры проводились на оптическом микроскопе при увеличении до 500 крат. Приготовление шлифов осуществлялось путем механической полировки с последующей обработкой образцов в 0,5%-ном водном растворе HF.

В результате термического анализа было установлено, что с увеличением температуры перегрева расплава имеется тенденция к увеличению температуры начала кристаллизации (рисунок 1) и, соответственно, увеличение общего интервала кристаллизации сплава (рисунок 2).



Рисунок 1 - Зависимость температуры начала кристаллизации сплава Al-16%Si от температуры перегрева сплава в жидком состоянии

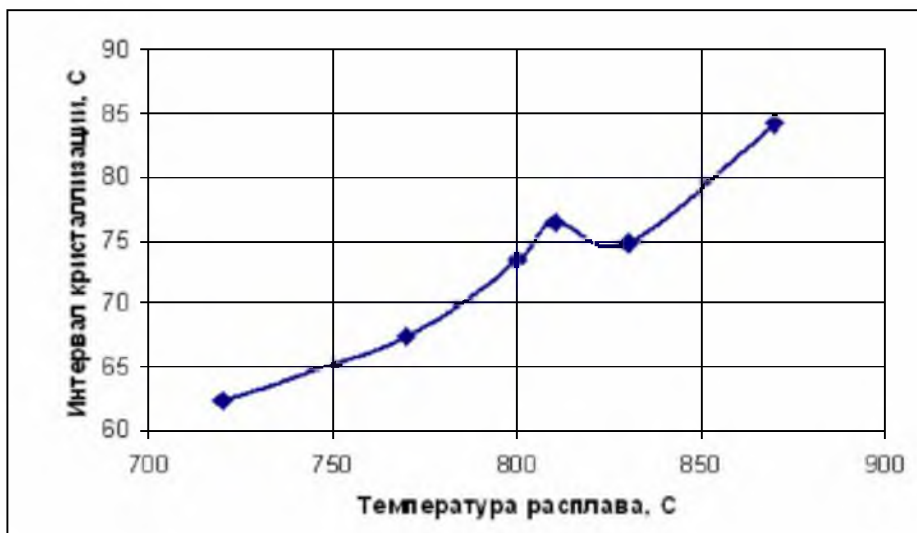
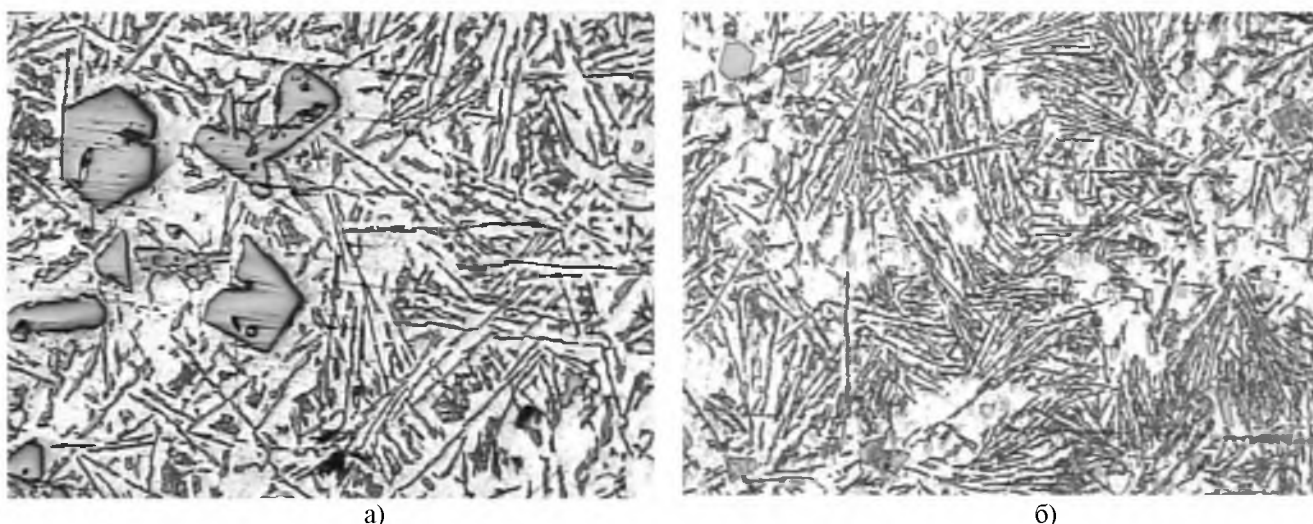


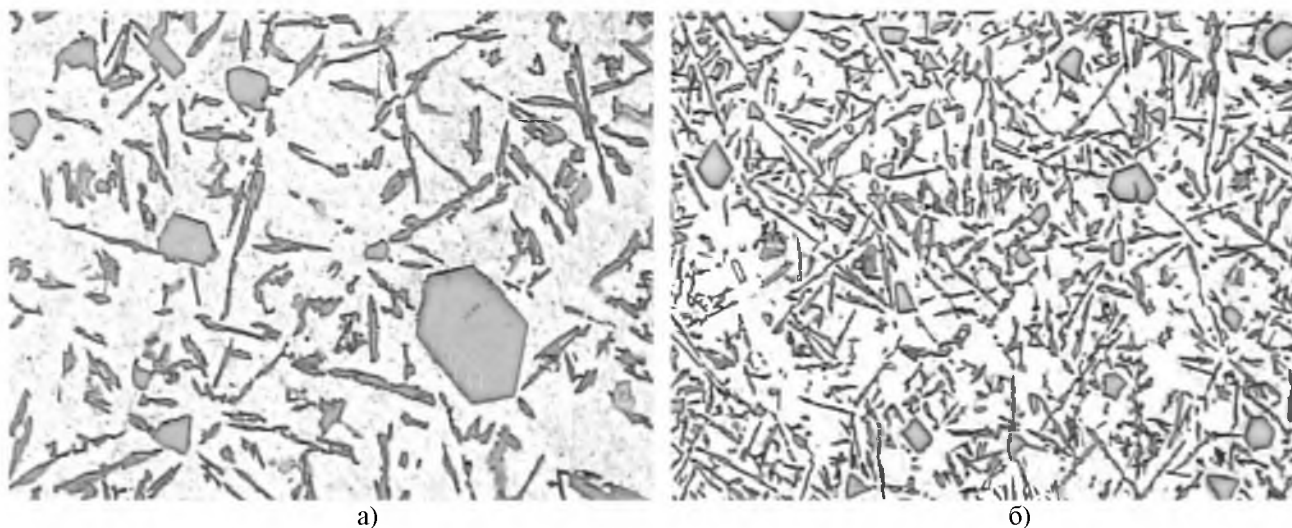
Рисунок 2 - Зависимость интервала кристаллизации сплава Al-16%Si от температуры перегрева сплава в жидком состоянии

Результаты металлографического анализа исследованных сплавов представлены на рисунках 3 - 5.



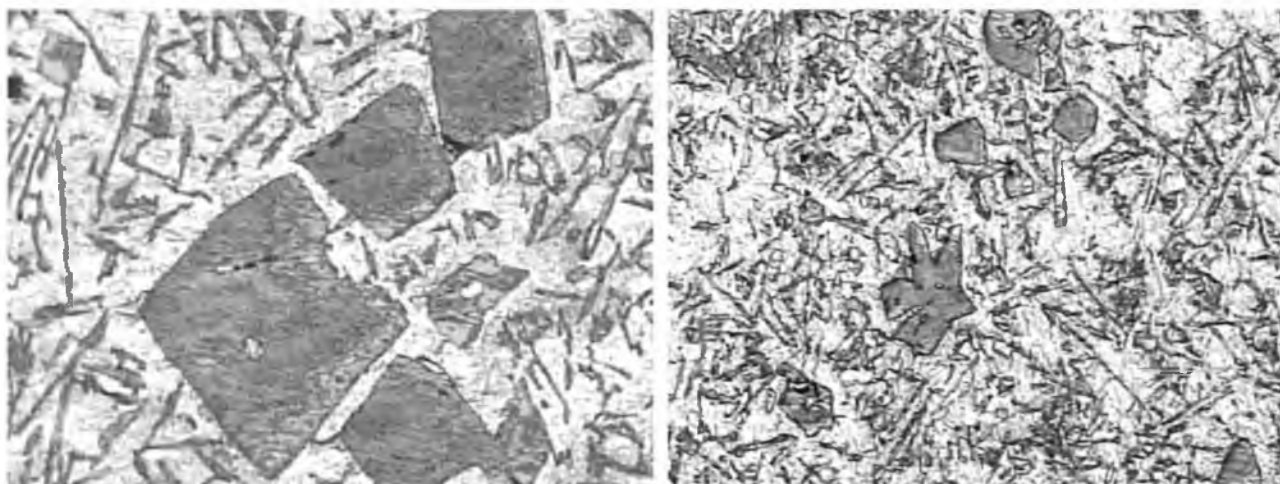
а – центральная часть образца; б – периферийная часть образца (x125)

Рисунок 3 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 720°C



а – центральная часть образца (x250); б – периферийная часть образца (x125)

Рисунок 4 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 830°C



а) – центральная часть образца (x250); б) – периферийная часть образца (x125)  
 Рисунок 5 - Микроструктура сплава Al-16%Si после выдержки в печи при температуре 870°С

Результаты металлографического анализа свидетельствуют о том, что изменение температурного режима плавки (т.е. температурной предыстории расплава) приводит к заметному изменению параметров кристаллизации и микроструктуры сплава. При этом режим температурной обработки оказывает влияние на размер и морфологию как эвтектических, так и первичных фаз. При относительно небольших перегревах (100°С над линией ликвидус) эвтектика имеет тонкопластинчатую и даже в отдельных участках волокнистую морфологию (рисунок 3), первичный кремний образуется преимущественно в форме компактных относительно небольших кристаллов. При этом наблюдалась ликвация кристаллов первичного кремния в центральной зоне всех исследованных образцов.

Установлено, что повышение температуры расплава до 790-830 °С приводит к формированию преимущественно более утолщенных пластин эвтектического кремния, меньшей протяженности по сравнению со сплавами, температура нагрева которых в жидком состоянии не превышала 720°С (рисунок 4). При этом для образцов, особенно для периферийной их части, характерно наличие относительно небольших по размерам компактных выделений кристаллов первичного кремния, что может благоприятно отразиться на эксплуатационных свойствах, например, износостойкости. Дальнейшее повышение температуры расплава до 870°С приводит к заметному росту размеров кристаллов первичного кремния и их сильной ликвации в центральной части пробы (рисунок 5). Морфология эвтектики существенно не изменяется, кремний в эвтектике кристаллизуется в различной форме – от небольших утолщенных зерен до отдельных протяженных пластин.

#### Литература

1. Мондольфо Л.Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: Пер. с англ. Под ред. Ф.И.Квасова, Г.Б.Строгонова, И.Н.Фридляндера.- М.: Металлургия, 1979.- 640 с.
2. Строганов Г.Б., Ротенберг В.А., Гершман Г.Б. Сплавы алюминия с кремнием.- М.: Металлургия, 1977.- 272 с.
3. Попель П.С., Никитин В.И., Бродова И.Г., Баум Б.А., и др. Влияние структурного состояния расплава на кристаллизацию силуминов.- Расплавы, 1987, Т.1, вып.3, - С.31-35.
4. Новохатский И.А., Кисунько В.З., Ладьянов В.И. Особенности проявлений различных типов структурных превращений в металлических расплавах.- Изв. вузов. Черная металлургия, 1985, Т 5, с.1-9.
5. Рафальский И.В., Арабей А.В. Влияние температурного режима плавки на свойства литейных алюминиевых сплавов / Литье и металлургия, №2, 2005.– С.132-134.