

04, апрель 2016

УДК 620.18

Влияние температуры нагрева расплава на механические и литейные свойства алюминиевого сплава (АК12)

Щербинин В.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Литейные технологии»*

*Научный руководитель: Тимченко С.Л., к.ф.-м.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «физика»*

scherbininva@student.bmstu.ru

Введение

Изучение свойств сплавов является довольно распространенной темой в научных исследованиях. Например, в статье [1] экспериментально изучалось влияние электрического тока плотностью $j \sim (10^5 - 10^7) \text{ А/м}^2$ на процесс кристаллизации алюминиевого сплава (АК12) при литье в песчаные формы и показана возможность управления процессом кристаллизации с помощью внешнего электрического воздействия.

В статье [2] экспериментально установлена зависимость механических и литейных свойств алюминиевого сплава от термовременной обработки (нагрев расплава до критической температуры), при которой начинается распад микро- неоднородностей в расплаве, унаследованных от шихты и оптимальную изотермическую выдержку, позволяющую значительно повысить уровень однородности расплава. Кристаллизация расплава из состояния, близкого к гомогенному, способствует получению мелкозернистой структуры и повышенным эксплуатационным свойствам.

В настоящей работе была поставлена задача изучения влияния перегрева расплава АК12 на его литейные и механические свойства.

Сплавы системы Al-Si известны под общим названием силумины. Силумины характеризуются хорошими литейными свойствами и герметичностью, средней прочностью и достаточной коррозионной стойкостью. Они применяются для изготовления сложных отливок.

АК12 – эвтектический сплав, матричным компонентом которого является алюминий, содержит 12 % кремния [3].

Плотность силуминовых сплавов находится в диапазоне от 2,5 до 2,94 г/см³. По сравнению с алюминием силуминовые сплавы обладают большей прочностью и износостойкостью.

Силумины устойчивы к коррозии во влажной атмосфере и морской воде, в слабокислой и щелочной среде.

Экспериментальная часть

С целью изучения влияния температуры перегрева расплава на механические и литейные свойства были изготовлены образцы из алюминиевого сплава АК12, полученные при следующих температурах перегрева расплава: 800, 850 и 925 С°. Для набора статистики были изготовлены по четыре образца при одной заливке. Заливка расплава проводилась в песчано-глинистые и кокильные формы.

Для подтверждения химического состава используемого сплава были изготовлены шлифы и проведен его спектральный химический анализ. На снимке (рис. 1) видны характерные следы от воздействия лазера, используемого для получения паров сплава (марка: LAES MATRIX). Впоследствии был проведен анализ спектра этих паров.

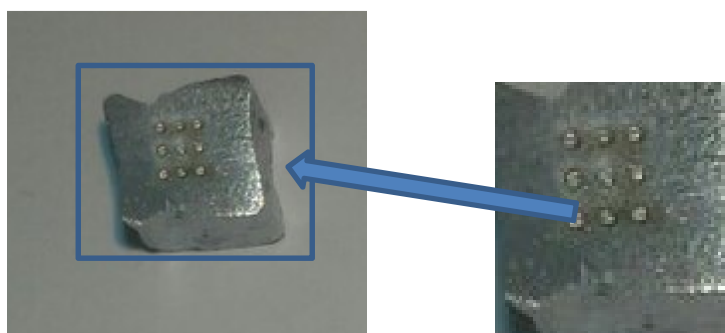


Рис. 1. Шлифы для химического анализа

Атомы каждого химического элемента имеют строго определённые резонансные частоты, в результате чего именно на этих частотах они излучают или поглощают свет. Это приводит к тому, что в спектро스코пе на спектрах видны линии (тёмные или светлые) в определённых местах, характерных для каждого вещества. Интенсивность линий зависит от количества вещества и его состояния. В количественном спектральном анализе определяют содержание исследуемого вещества по относительной или абсолютной интенсивностям линий или полос в спектрах.

Результаты спектрального анализа образцов, заливка которых осуществлена при температуре 925 С° представлены в таблице 1, а при температуре заливки 800 С° - в таблице 2.

Таблица 1

Процентное содержание химических элементов в образце при температуре заливки 925 С°

Образец	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Al
1 образец(1)	0,23	0,45	0,08	0,15	0,03	10,7	0,03	0,18	остальное
1 образец(2)	0,26	0,58	0,09	0,20	0,06	10,8	0,04	0,20	остальное
1 образец(3)	0,23	0,49	0,09	0,17	0,05	11,1	0,03	0,19	остальное
Среднее арифметическое	0,24	0,51	0,09	0,17	0,04	10,9	0,03	0,19	Основной

Таблица 2

Процентное содержание химических элементов в образце при температуре заливки 800 С°

Образец	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Al
2 образец(1)	0,22	0,45	0,08	0,15	0,03	10,9	0,03	0,22	остальное
2 образец(2)	0,18	0,38	0,09	0,14	0,02	10,9	0,04	0,23	остальное
2 образец(3)	0,21	0,51	0,10	0,17	0,07	11,5	0,03	0,24	остальное
Среднее арифметическое	0,20	0,45	0,09	0,15	0,04	11,1	0,03	0,23	Основной

Для объяснения результатов химического анализа используемого сплава воспользуемся фазовой диаграммой состояния силуминовых сплавов [4], представленной на рис. 2.

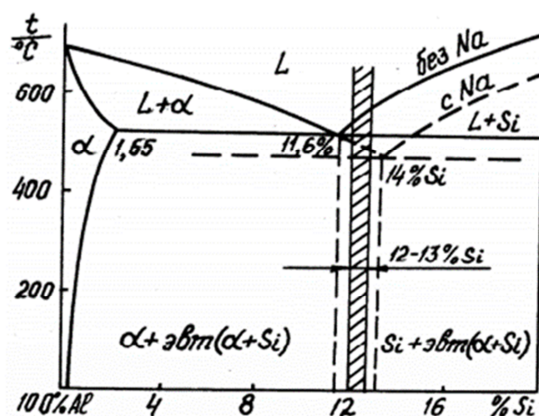


Рис. 2. Диаграмма состояния Al-Si

Оптимальными литейными свойствами обладают сплавы с минимальной температурой плавления и минимальным температурным интервалом кристаллизации, содержащие 12-13 % Si. Обычный силумин по структуре является заэвтекктическим сплавом (процент содержания кремния в сплаве превышает 12 %). Структура такого сплава состоит из игольчатой грубой эвтектики (α +Si) и первичных кристаллов кремния (рис. 3а). Кремний при кристаллизации эвтектики выделяется в виде грубых хрупких кристаллов игольчатой формы, которые играют роль внутренних концентраторов напряжений. Такой сплав обладает низкими механическими свойствами: $\sigma_b = 120$ МПа; $\delta = 2$ %. Для повышения механических свойств, силумины модифицируют натрием (0,05 - 0,08 %) путем присадки к расплаву смеси солей 67 % NaF и 33 % NaCl [4].

Подтверждением этого является эксперимент «Анализ структуры шлифов», описанный ниже. При детальном изучении структуры шлифа АК12, полученной в ходе работы, можно наблюдать игольчатую грубую эвтектику (α +Si) и кристаллы кремния Si, которые описаны выше. На рисунке 3б показана структура шлифа АК12 при температуре заливки 800 С°.

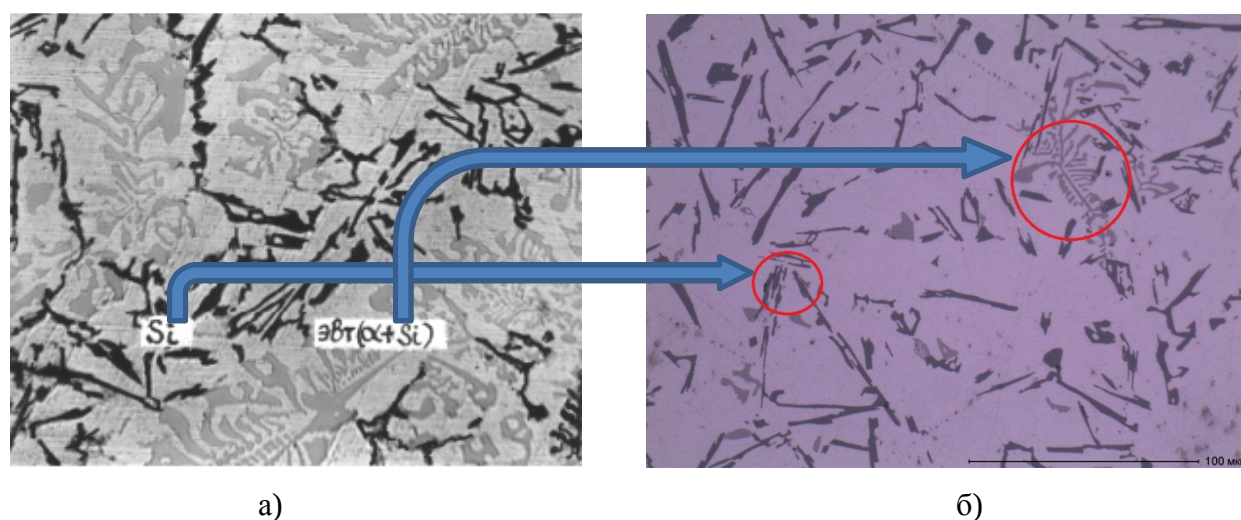


Рис. 3. Микроструктура силумина: а) заэвтекктический сплав; б) структура шлифа АК12 при температуре заливки 800 С°(увеличение x500)

Изменения в структуре приводят к повышению механических свойств: $\sigma_b = 200$ МПа; $\delta = 12$ %. Одновременно улучшаются и литейные свойства сплавов (возрастает жидкотекучесть, повышается плотность отливок и т.д.).

Из процентного содержания кремния в выделившихся парах можно сделать вывод что экспериментальный сплав является доэвтекктическим, но по своим свойствам близким к эвтекктическому.

В работе проводились исследования жидкотекучести сплава и механических свойств образцов при различных температурах заливки. Ниже приведен расчет литниково-питающей системы для получения отливок.

Измерение жидкотекучести сплава АК12 при различных температурах

В данной работе жидкотекучесть исследовалось с помощью кокиля (проба Самарина-Нехендзи) (рис. 4). Исследовались результаты заливок при различных температурах нагрева жидкого металла с помощью печи сопротивления. Размер зерна вблизи поверхности отливки в случае литья в кокиль и в песчанно-глинястые формы будет значительно различаться. В кокиле величина зерна больше. Это объясняется разной скоростью остывания отливки при которой происходит формирование зерна. На рис. 5 показаны части металлической пробы на жидкотекучесть при различных температурах заливки.

По рисунку 5 можно определить различие жидкотекучести при различных температурах заливки. При $925\text{ }^{\circ}\text{C}$ она высшая, так как замечается характерная плоская «шапка», что свидетельствует о уменьшении поверхностного натяжения с ростом температуры. При $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ хорошо видна более выпуклая поверхность, это свидетельствует о большем поверхностном натяжении по сравнению с первой пробой.

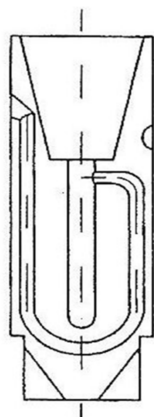


Рис. 4. Форма для исследование на Жидкотекучесть (проба Самарина-Нехендзи)



Рис. 5. Концы проб на жидкотекучесть при разных температурах

Эксперимент на растяжение

Испытание на растяжении проводилось на станке марки Zwick/Roel Z100. Заготовку растягивали до полного разрыва. Проведен анализ величин механических характеристик данного сплава. Испытанию подверглись 5 образцов: 3 при температуре $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, и 2 при $925\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полученные данные показаны в таблице 3.

Таблица 3

Анализ величин механических характеристик сплава АК12 при перегреве 925 С°

Образец	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ	ψ	Примечание	
XIII №1 (850)	МПа		%		Разрушение за пределами расчетной длины	
	100,0	163	менее 1 %			
	XIII №2 (850)	103,4				190
	XIII №3 (850)	100,7				163
IX №2(925)	93,5	164	1,6	2,9		

где $\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, который соответствует напряжению, при котором остаточная деформация составляют 0,2 % от длины испытываемого образца; σ_B – предел прочности; δ – удлинение при разрыве; ψ – относительное сужение.

На рис. 6 представлена обобщенная диаграмма растяжения заготовок, результаты испытаний которых занесены в таблицу 3. По оси абсцисс отложено деформация заготовки в миллиметрах, по оси ординат усилие растяжения в мегапаскалях.

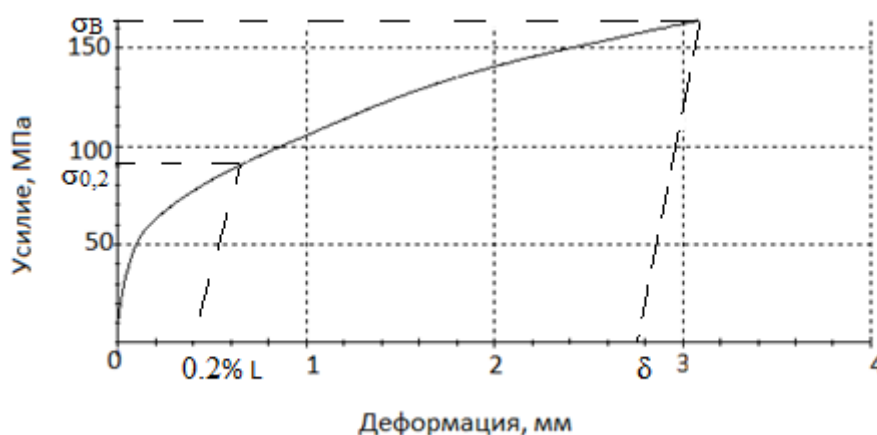


Рис. 6. Диаграмма растяжения заготовки IX №2(925)

Вывод: При квалифицированной формовке предел прочности сплава при 850 С° существенно больше чем при 925 С°. Относительное сужение и удлинение при разрыве обратно пропорционально температуре заливки.

Это объясняется тем, что разность температур заливки сплава и охлаждающей среды дает разный градиент температуры, который влияет на формирование структуры сплава. При температуре перегрева 925 С° тепловая энергия сплава, залитого в полость литейной формы, частично передается формовочной смеси, которая при последующем

затвердевании слитка играет роль «аккумулятора». Таким образом, опока с помощью полученной энергии увеличивает время кристаллизации слитка, что способствует формированию зерен с большим размером (в сравнении с зернами, полученными при кристаллизации слитка с температурой перегрева 850 С°), способствует образованию дендритной и зональной ликвации.

По литературным данным [6] для данного сплава имеются следующие результаты: $\sigma_b=200$ МПа, $\sigma_{0,2}=140$ МПа, $\delta=5$ %. Разница в экспериментальных и теоритических данных связано с образованием дефектов отливки (трещины, песчаные и газовые раковины).

Эксперимент на удар

Для проведения эксперимента использовалась установка *walter+bai ag* модели РН450. Схема испытания показана на рис. 7.

Суть эксперимента заключается в том, что молот, закрепленный в установке и обладающий некоторой потенциальной энергией, разрушает заготовку, размеры которой приняты согласно [5]. Одновременно происходит измерение энергии разрушения отливки с последующим нахождением ударной вязкости сплава АК12. Данные эксперимента приведены в таблице 4. Испытанию подверглись 5 образцов: 2 при температуре заливки 800 С° и 3 при 850 С°. Ударная вязкость находилась в соответствии с формулой 6.

$$КС = \frac{U}{S}, \quad (6)$$

где КС- ударная вязкость, Дж/см²; U - энергия, необходимая на разрушение заготовки, Дж;
S - площадь поперечного сечения заготовки в месте надреза, см²;

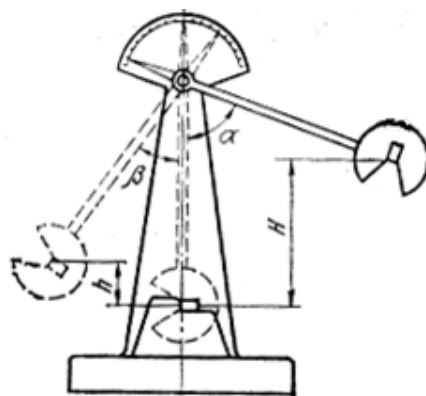


Рис. 7. Схема испытания на удар

Значения ударной вязкости, полученной в ходе эксперимента, при температуре заливки 800 С° и 850 С°

	Ударная вязкость Дж/см ²		
	1 образец	2 образец	3 образец
800 С°	3,04	2,89	-
850 С°	1,35	1,52	1,43

По полученным данным можно сделать вывод: ударная вязкость больше при меньшей температуре заливки.

С точки зрения литейных технологий, согласно [7], при заливке в формы возникает внутреннее напряжение. При повышении температуры заливки напряжения в отливке становятся больше, а из-за этого и ударная вязкость падает. Так же причиной понижения ударной вязкости при повышении температуры заливки является тот факт, что образуется большее количество пор в сердцевине отливки.

Анализ структуры шлифов

Форма растущих в расплаве кристаллов зависит от степени переохлаждения жидкости, направления теплоотвода, содержания примесей в стали и других параметров. На рис. 8 схематически представлены основные структурные зоны, которые могут встречаться в непрерывно-литом слитке. Кристаллы, образующиеся в процессе затвердевания металла, могут иметь различную форму в зависимости от скорости охлаждения, характера и количества примесей. Чаще в процессе кристаллизации образуются разветвленные (древовидные) кристаллы, получившие название дендритов.

При затвердевании слитка кристаллизация начинается у поверхности более холодной формы и происходит вначале преимущественно в примыкающем к поверхности тонком слое сильно переохлажденной жидкости. Вследствие большой скорости охлаждения это приводит к образованию на поверхности слитка очень узкой зоны 1 сравнительно мелких равноосных зерен. Далее образуется зона дендритов (2) направление распространения которой совпадает с направлением отвода тепла. Зона 3 кристаллизуется в последнюю очередь и имеет хрупкую структуру с содержанием большого количества пор. Зона 4 образуется вследствие усадки (уменьшения объема).

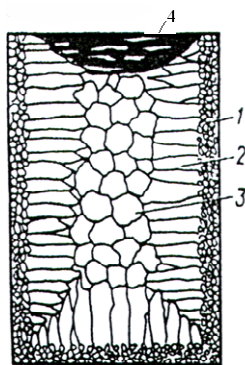
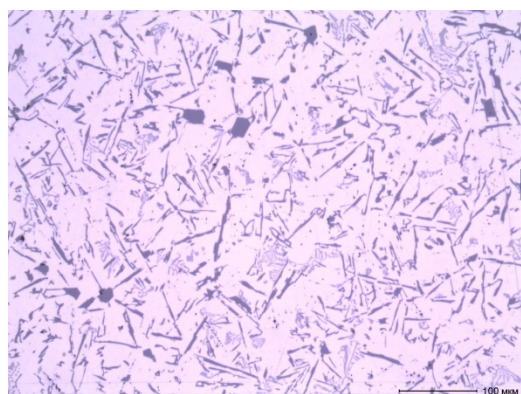
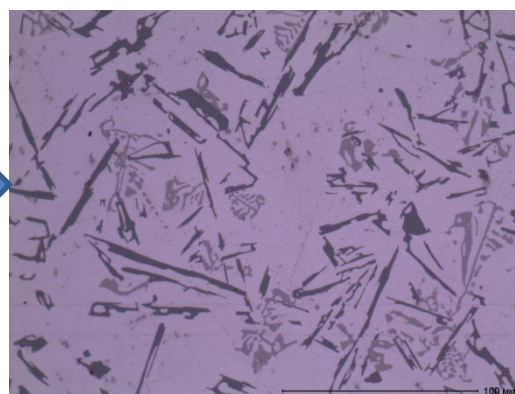


Рис. 8. Структурные зоны

Анализировались структуры шлифов сплава АК12 при различных температурах заливки ($850\text{ }^{\circ}\text{C}$, $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $925\text{ }^{\circ}\text{C}$). На рис. 9 -11 изображена микроструктура данного сплава.

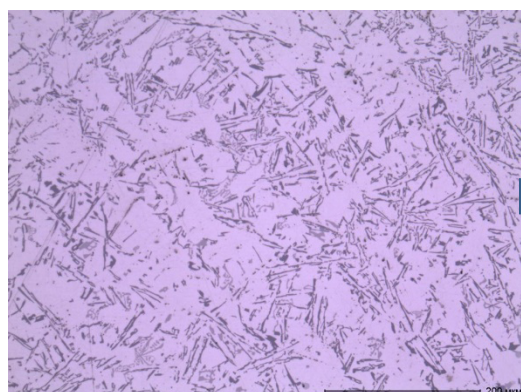


а)

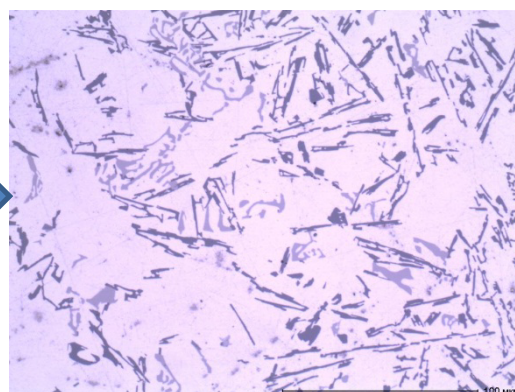


б)

Рис. 9. Структура шлифа ($800\text{ }^{\circ}\text{C}$): а) увеличение (x200); б) увеличение (x500)



а)



б)

Рис. 10. Структура шлифа ($850\text{ }^{\circ}\text{C}$): а)увеличение (x200); б)увеличение (x500)

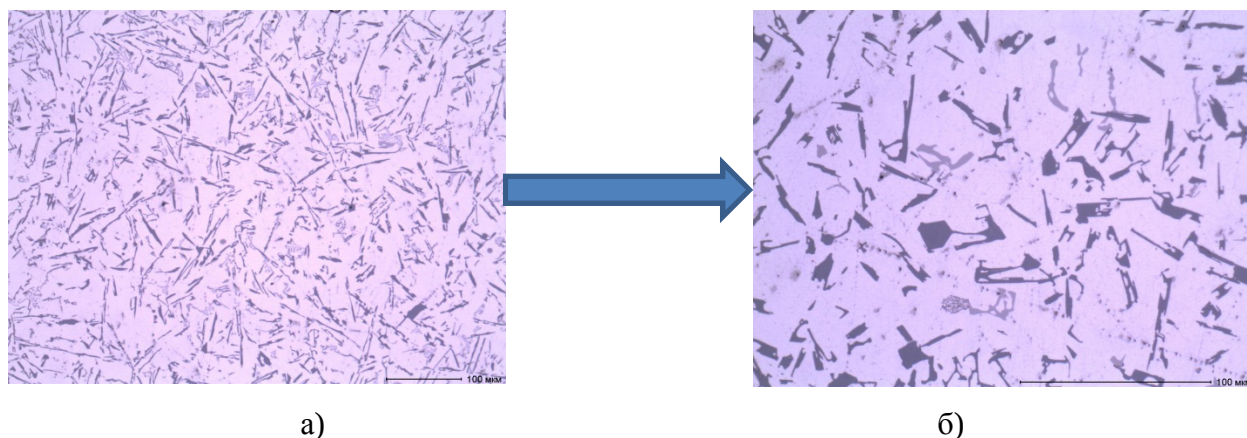


Рис. 11. Структура шлифа (925 С°): а)увеличение (х200); б)увеличение (х500)

Так как скорость отвода тепла во всех данных случаях кристаллизации одинакова, то вероятность зарождения дендритных зерен зависит от разницы температуры формы и температуры заливки, то есть от величины первоначального переохлаждения. На рис. 12 представлена зависимость скорости роста кристаллов (с. к.) и скорости зарождения центров кристаллизации от (ч. ц.) от величины переохлаждения [8].

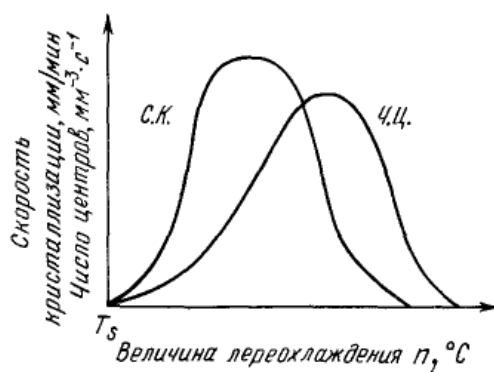


Рис. 12. Зависимость ч.ц. и с.к. от величины переохлаждения

Вывод: Из рис. 9-11 видно уменьшение количества дендритных зон с увеличением температуры заливки, а значит литейные и механические свойства улучшаются. Также видно, что эвтектика является более дисперсной при $T_{зал} = 850 \text{ С}^\circ$.

Закключение

В данной работе были представлены эксперименты с литейным сплавом АК12, исследовано влияние температуры нагрева расплава на механические и литейные сплавы.

Проведен спектральный анализ данного сплава. Результаты этого анализа образцов, заливка которых осуществлена при температуре 925 С° представлены в таблице 1, а при температуре заливки 800 С° - в таблице 2.

Микроструктура шлифа АК12 показала наличие грубой, игольчатой эвтектики (α +Si), и кристаллы кремния Si (рис.3).

По результатам экспериментов на растяжение и на удар выявлены предел прочности, условный предел текучести (σ_b , $\sigma_{0,2}$) и ударная вязкость (КС). Относительное сужение и удлинение при разрыве обратно пропорционально температуре. При повышении температуры заливки напряжения в отливке становятся больше, а из-за этого и ударная вязкость падает.

Также из эксперимента на жидкотекучесть видно, что с ростом температуры заливки сплава поверхностное натяжение уменьшается, что свидетельствует об увеличении жидкотекучести.

Список литературы

- [1]. Тимченко С.Л. Исследование кристаллизации сплава под действием электрического тока // Расплавы. 2011. № 4. С. 53-61.
- [2]. Деев В.Б., Морин С.В., Селянин И.Ф., Хамитов Р.М.. Перегрев расплавов литейных алюминиевых сплавов // Ползуновский альманах. 2004. № 4. С. 23-24.
- [3]. ГОСТ 1583-93. Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия. Введ. 1993-10-04. М.: Издательство стандартов, 1996. 29 с.
- [4]. Мельников В.П., Давыдов С.В. Лабораторная работа. Изучение структуры и свойств цветных сплавов: методическое пособие. Брянск: Брянский государственный технический университет, 2008. № 3. 18 с.
- [5]. ГОСТ 9454-78. Металлы. Метод испытания на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенной температурах. Введ. 1979-01-01. М.: Издательство стандартов, 1978. 26 с.
- [6]. Лецик В.И.. Литьё цветных металлов в металлические формы. Режим доступа: <http://edportal.net/referaty/metalurgiya/162718/> (дата обращения 20.05.2015).
- [7]. Гуляев А.П.. Металловедение. М.: Металлургия. 1986. 544 с.
- [8]. Дальский А.М., Барсукава Т.М., Бухаркин Л.Н. Технология конструкционных материалов. М.: Машиностроение, 2004. 512 с.