ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖЕЛЕЗА

В.Б. Деев, Н.В. Башмакова, О. Г. Приходько, И.Ф. Селянин
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

Использование повышенного количества низкосортной шихты при выплавке алюминиевых литейных сплавов значительно снижает их свойства: способствует насыщению газами, неметаллическими включениями, приводит к неизбежному накоплению нежелательных примесей, в том числе и железа.

Железо в алюминиевых сплавах является одной из вреднейших примесей. Железосодержащие фазы ($FeAl_3$, Al_2SiFe, Al_4Si_2Fe, Al_5SiFe и др.), как правило, имеют грубокристаллическое строение и негативно влияют на механические свойства сплавов, особенно на относительное удлинение. Наибольшую опасность представляет β-фаза (Al_5SiFe), кристаллы которой выпадают в виде хрупких пластин. Данная фаза создает эффект охрупчивания, что значительно снижает механические характеристики и коррозионную стойкость алюминиевых сплавов.

Нейтрализация вредного влияния железа на свойства сплавов возможна при условии получения железосодержащих фаз в компактном виде, что достигается введением в сплав марганца, хрома, а также применением внешних воздействий на расплавы (электрические и магнитные поля, высокотемпературные перегревы, ультразвук). Многочисленные экспериментальные и теоретические исследования по влиянию внешних воздействий на расплавы в процессе кристаллизации и в период плавки показали, что они позволяют существенно измельчить структурные составляющие сплавов с повышением технологических и механических свойств.

Одним из перспективных способов внешнего воздействия на сплавы в процессе кристаллизации является обработка электрическим током. Однако механизм физико-химического воздействия электрического тока на процесс кристаллизации исследован недостаточно как в экспериментальном, так и теоретическом плане. Имеющиеся данные носят отрывочный характер и часто противоречат друг другу.

В данной работе исследовано влияние электрического тока на процесс кристаллизации алюминиевого сплава АК7ч с различным содержанием железа. Для исследования процесса кристаллизации использовались методы термического, дифференциально-термического анализов и термоЭДС, которые реализовывались на установке, сконструированной в условиях СибГИУ.

Сущность термического анализа основана на том, что происходящие в металлах процессы изменения агрегатного состояния, аллотропические превращения, растворение или выделение избыточных фаз и т.д. сопровождается определенным тепловым эффектом. При регистрации изменения температуры исследуемого сплава в процессе нагрева или охлаждения тепловой эффект, сопровождающий превращение, проявляется в виде нарушения плавного хода кривых. Это позволяет установить температурные и временные интервалы превращений в сплаве, а в ряде случаев и их интенсивность.

Метод дифференциального термического анализа обеспечивает более надежные результаты. Сущность его состоит в том, что с помощью быстродействующего электронного оборудования для изучения кристаллизации расплава анализируют кривую охлаждения в координатах температура-время, производную кривой охлаждения, дифференциальную кривую в координатах теплота-время. По кривым ДТА можно оценить характер кристаллизации и определить соотношения между количествами теплоты, выделившимися при образовании фаз.

ТермоЭДС относится к термоэлектрическим явлениям, которые представляют собой совокупность физических явлений, обусловленных взаимосвязью между тепловыми и электрическими процессами в металлах. ТермоЭДС возникает в замкнутой цепи, состоящей из разнородных проводников, если места контактов поддерживаются при разных температурах. Величина термоЭДС зависит от разности температур горячего и холодного контактов и от материала проводников. ТермоЭДС материала чувствительна к присутствию примесей, к ориентации кристаллических зерен, термической и холодной обработке материала. Пики термоЭДС приходятся на температуру фазовых превращений.

На рис. 1 – 8 приведены термические кривые и зависимости абсолютной термоЭДС (α) сплавов от средней температуры горячего и холодного контактов термопар ($T_{ср}$) без воздействия тока и под воздействием тока. В табл. 1 приведены параметры кристаллизации исходного сплава АК7ч и обработанного элек-

трическим током с различным содержанием железа, определенные методом ДТА.

Из анализа полученных данных следует, что обработка электрическим током сплава АК7ч в процессе кристаллизации уменьшает температурный интервал кристаллизации (ΔT_{LS}) на 10 – 18 ^{0}C, что способствует формированию мелкозернистой структуры сплавов с компактными включениями железосодержащих фаз. Об этом свидетельствовало исследование микроструктуры и механических свойств, которые показали соответствие требованиям ГОСТа 1583-93.

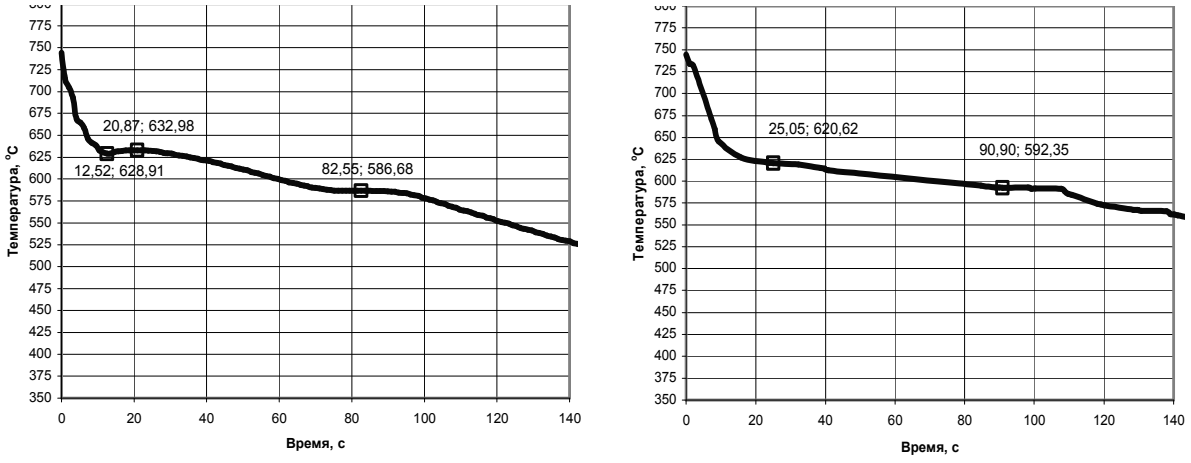
Таблица 1 – Параметры кристаллизации сплава АК7ч в зависимости от содержания железа и параметров обработки

Содержание железа, % масс.	Плотность тока j, А/м^2	Температура ликвидус T_L, ^{0}C	Температура солидус T_S, ^{0}C	Интервал кристаллизации ΔT_{LS}	Полное время кристаллизации $\tau_п$, сек	Увеличение времени кристаллизации $\Delta\tau$, сек
0,52	–	632	586	46	95,07	15,72
	$(1,5 \div 1,7) \cdot 10^5$	620	592	28	110,79	
1,05	–	628	584	44	70,97	10,49
	$(1,5 \div 1,7) \cdot 10^5$	620	590	30	81,46	
1,48	–	628	585	43	74,1	11,69
	$(1,5 \div 1,7) \cdot 10^5$	622	589	33	85,79	
2,06	–	632	584	48	70,25	12,3
	$(1,5 \div 1,7) \cdot 10^5$	624	590	34	82,55	

Экспериментальные данные также показали увеличение времени затвердевания сплава ($\tau_п$) при пропускании тока в сравнении с исходным в 1,11…1,16 раз, за счет дополнительной теплоты, сообщаемой расплаву. В обработанных сплавах величина первого пика при температуре ликвидус (T_L) уменьшается, а величина второго пика при температуре солидус (T_S) растет. В исходном сплаве наблюдается обратная зависимость, это означает, что в обработанных сплавах увеличивается доля твердой фазы, выпадающей вблизи T_S, и уменьшается ее доля вблизи T_L.

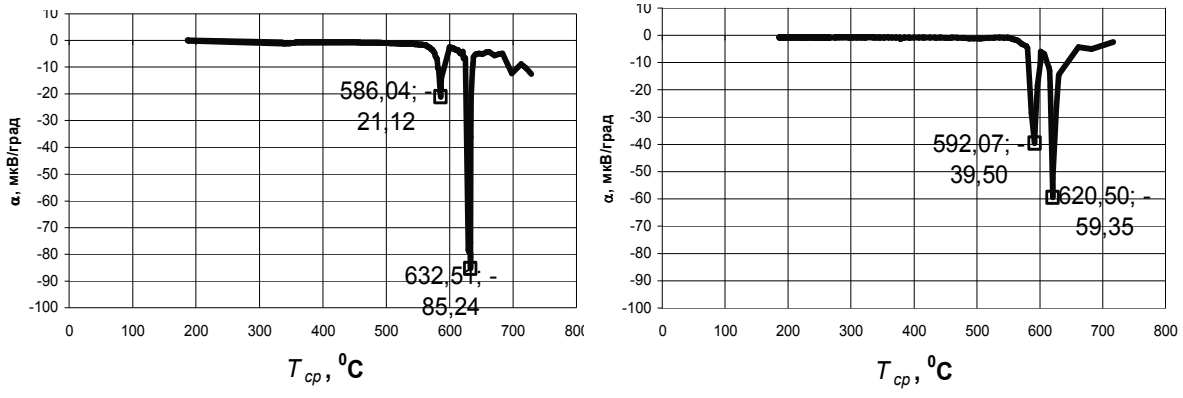
Таким образом, на примере алюминиевого сплава АК7ч показано, что применение электрического тока при кристаллизации интенсифицирует протекание данного процесса. Это выражается в получении мелкозернистой структуры и в определенной нейтрализации негативного влияния железа.

Также следует заметить, что при использовании низкосортных шихтовых материалов, содержащих высокий процент вредных примесей, в частности, железа, целесообразным перед обработкой расплава электрическим током является применение температурно-временной обработки. Температурно-временная обработка позволит снизить уровень микронеоднородности расплава и повысить технологические и механические свойства сплава в литом состоянии.



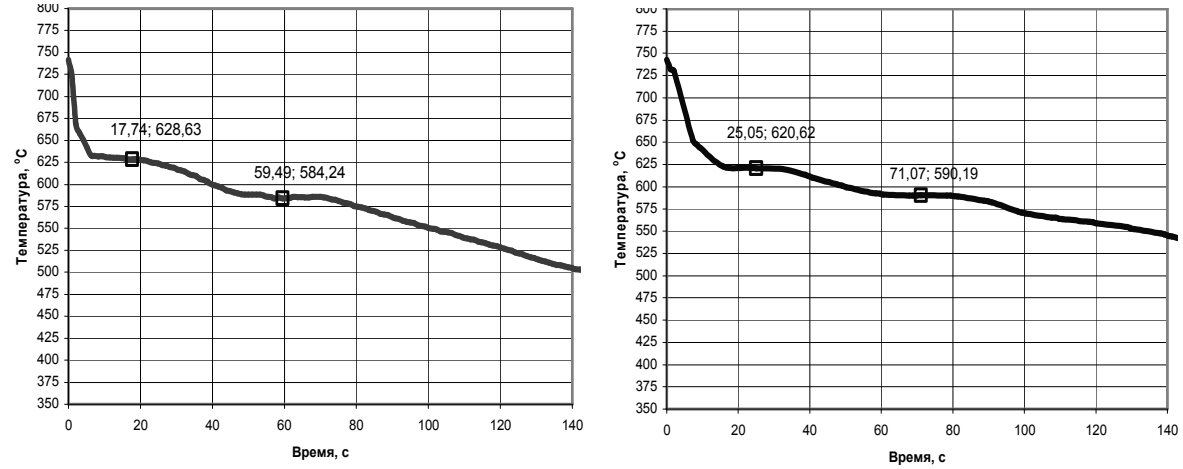
а *б*

Рисунок 1 – Термические кривые сплава АК7ч (0,52 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



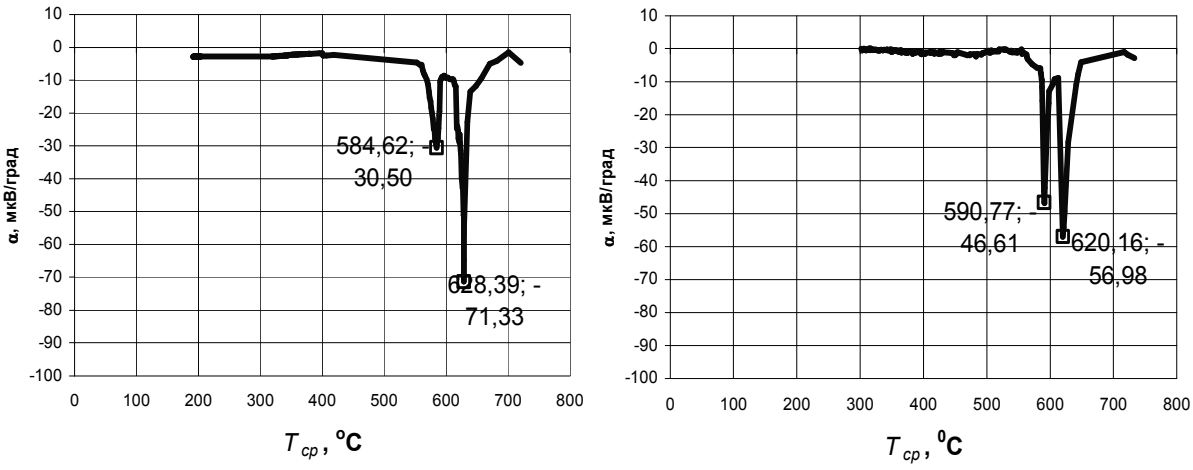
а *б*

Рисунок 2 – ТермоЭДС сплава АК7ч (0,52 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



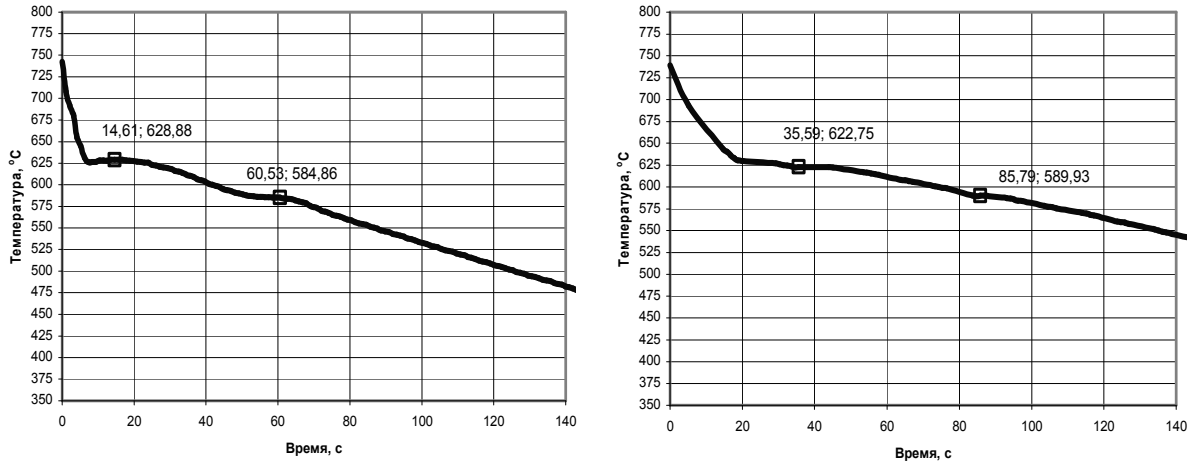
а *б*

Рисунок 3 – Термические кривые сплава АК7ч (1,05 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



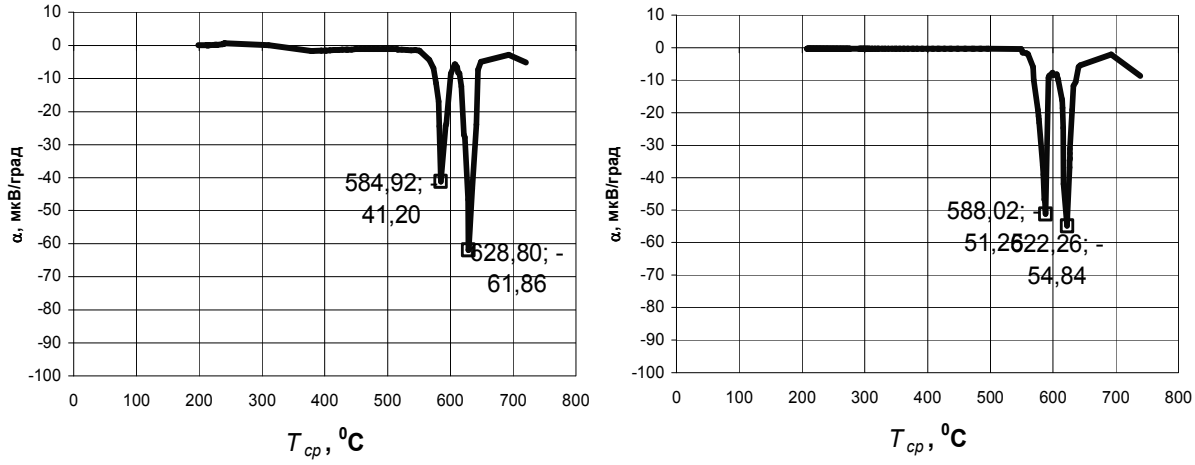
а *б*

Рисунок 4 – ТермоЭДС сплава АК7ч (1,05 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



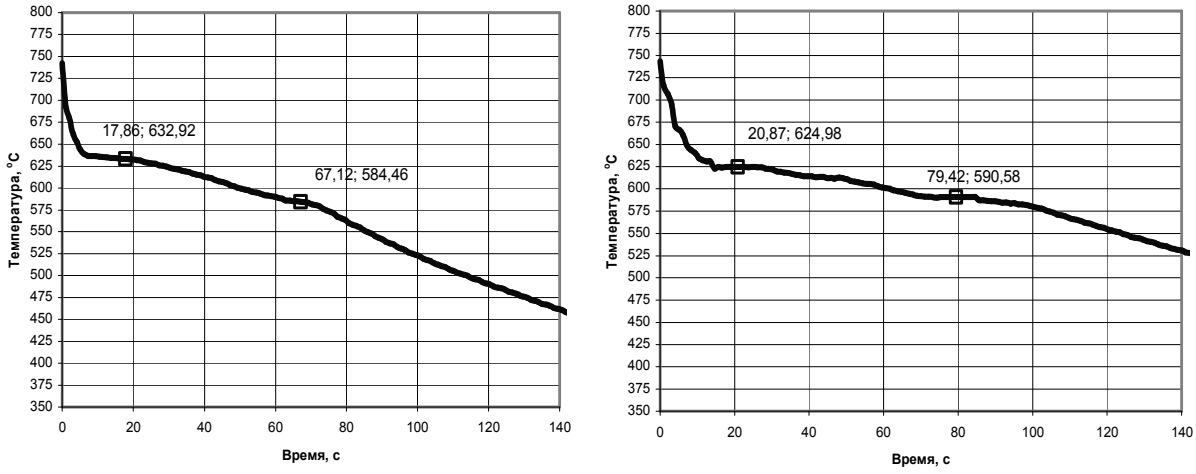
а *б*

Рисунок 5 – Термические кривые сплава АК7ч (1,48 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



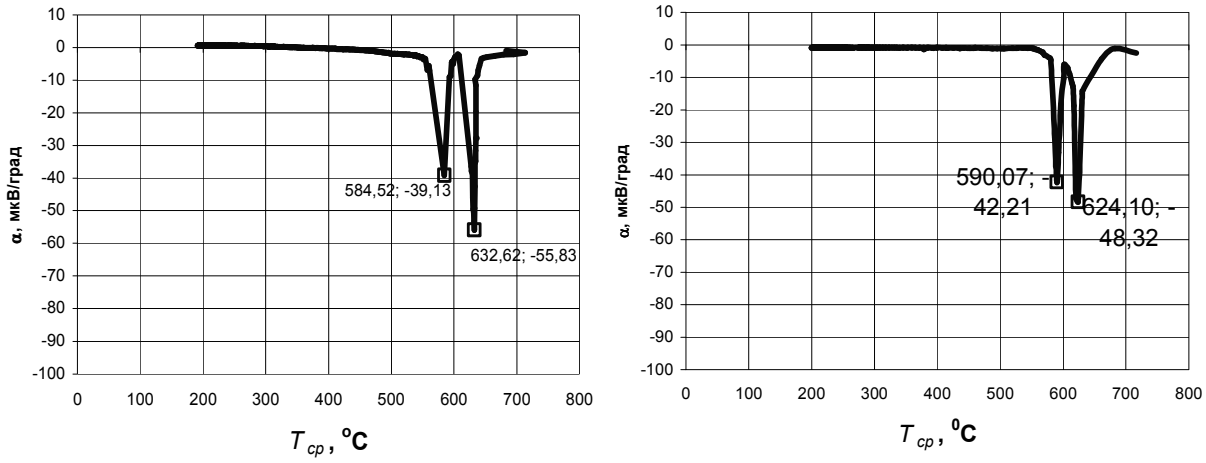
а *б*

Рисунок 6 – ТермоЭДС сплава АК7ч (1,48 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



а *б*

Рисунок 7 – Термические кривые сплава АК7ч (2,06 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током



а *б*

Рисунок 8 – ТермоЭДС сплава АК7ч (2,06 % Fe): *а* – исходный сплав; *б* – сплав, обработанный электрическим током