



УДК 621.74

Поступила 26.07.2013

И. Н. ЕРДАКОВ, Южно-Уральский государственный университет

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ОТЛИВКИ ИМПУЛЬСНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Представлены результаты экспериментальных исследований затвердевания алюминиевого сплава АК7ч в электрическом поле, формируемом генератором импульсов марки FID-technology. Приведены схема экспериментальной установки, фотографии микроструктур сплава, результаты физико-механических испытаний, термометрирования кристаллизации сплава и рентгенофазового анализа.

The results of experimental studies of the AK7ч aluminium alloy solidification in the electromagnetic field produced by a pulse generator of the FID-technology are presented. The scheme of the experimental set, the photos of microstructures of the alloy, the results of physical and mechanical tests termometry of the alloy crystallization and X-ray analysis are adduced.

Одним из перспективных способов получения мелкозернистой структуры и улучшения свойств литых изделий без изменения химического состава отливок является обработка сплава импульсным электромагнитным полем [1, 2]. Данный способ воздействия благодаря техническим особенностям генератора импульсов выгодно отличается от других меньшими энергетическими затратами, что позволяет отнести его к энергосберегающим процессам.

Дальнейшее развитие указанного способа физического воздействия представлялось целесообразным в изучении влияния импульсной электромагнитной обработки металлических сплавов на стадии кристаллизации [3].

Разрабатывая методику формирования литой структуры металлического сплава в электромагнитном поле, было изучено несколько вариантов

экспериментальной установки [4]. Наиболее эффективное воздействие оказалось в случае погружения в расплав металлических электродов без диэлектрика между ними. Схема такой установки показана на рис. 1.

Установка собирается следующим образом. Сначала изготавливается разовая песчано-глинистая форма, в которую устанавливаются электроды и термопара. Затем к одной паре электродов подключается генератор импульсов и в полости литейной формы создается электромагнитное поле высокой напряженности. При необходимости та часть электродов, которая контактирует с формой, может быть покрыта изоляционным материалом.

В исследованиях электромагнитное поле создавалось генератором марки FID-technology. Параметры физического воздействия следующие: длительность импульса – 0,5 нс; амплитуда импульса – 10 кВ; фронт импульса – 0,1 нс; частота повторения импульсов – 1000 Гц.

Отличительные особенности генераторов марки FID-technology по сравнению с генераторами марки GNP [1] – более высокие значения амплитуд импульсов и возможность работы с погруженным в расплав активным электродом без кварцевой трубки.

На опытном производстве Челябинского тракторного завода сплав силумина марки АК7ч обрабатывали электромагнитными импульсами в стандартных формах из ХТС. В такие формы отливают стальные клинья. Она не пропускает ток, поэтому на медных электродах изоляционный материал отсутствовал (рис. 2).

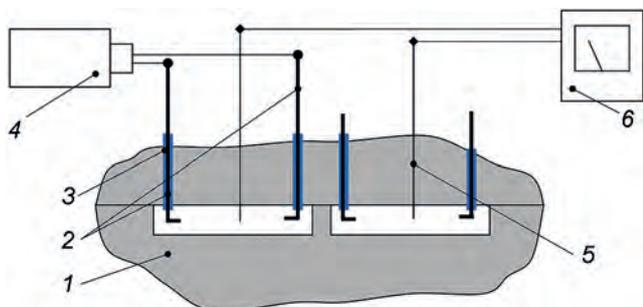


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения воздействия импульсного электромагнитного поля на стадии кристаллизации сплава: 1 – разовая песчано-глинистая форма; 2 – электроды; 3 – изоляционный материал; 4 – генератор электромагнитного поля марки FID-technology; 5 – термопара; 6 – милливольтметр

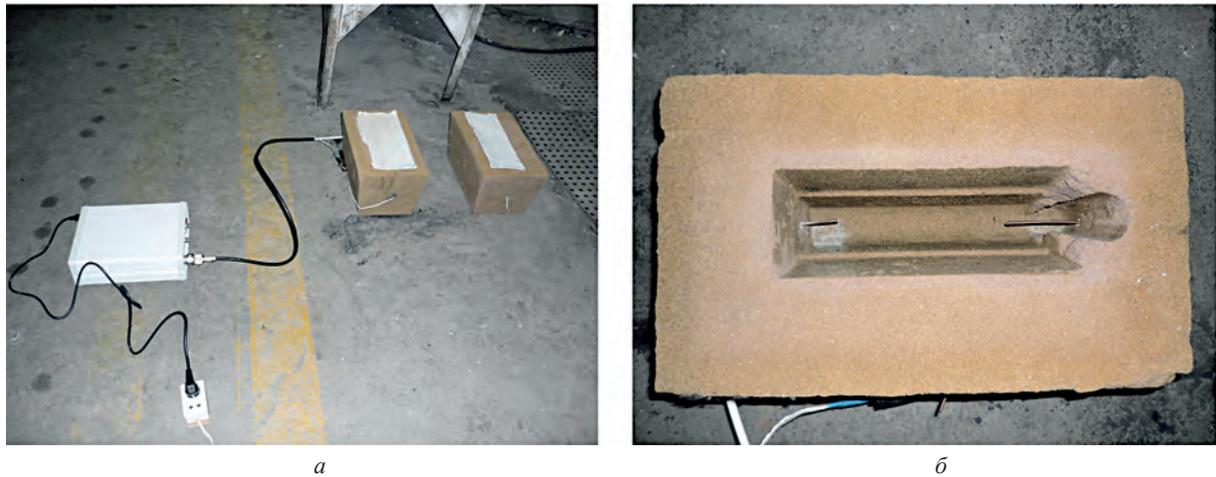


Рис. 2. Обработка импульсным электромагнитным полем сплава в условиях опытного производства Челябинского тракторного завода: а – процесс обработки расплава; б – форма из ХТС с электродами

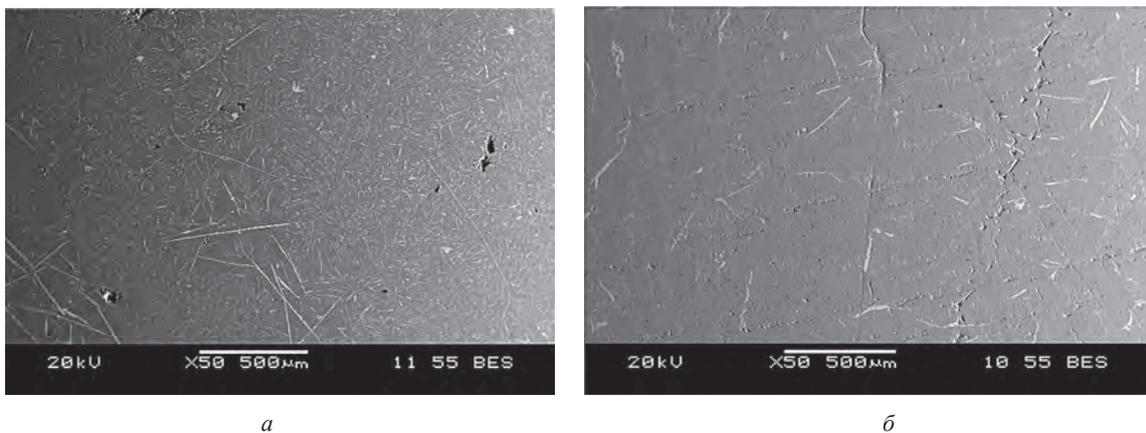


Рис. 3. Микроструктура силумина марки АК7ч на расстоянии 40 мм от активного электрода ($T_{зал} = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$): а – контрольный образец; б – экспериментальный образец

Результаты физико-механических (твердомер марки ТШ-2, разрывная машина Р-5) и металлографических исследований (растровой электронной микроскопией на JOEL JSM-64600LV), термометрирования (хромель-алюмелевые термопары, электронный автоматический потенциометр ЭПР-09мз) и рентгенофазового анализа (ДРОН-3М, картотека ASTM) представлены в табл. 1, 2 и на рис. 3–5.

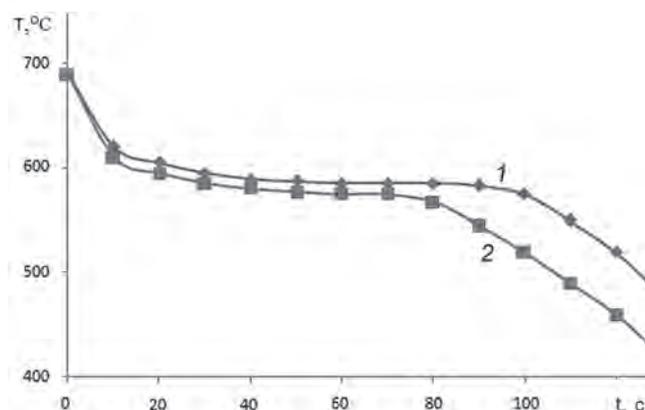


Рис. 4. Кривые охлаждения силумина марки АК7ч на расстоянии 40 мм от активного электрода ($T_{зал} = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$): 1 – контрольный образец; 2 – экспериментальный образец

Таблица 1. Влияние импульсной электромагнитной обработки кристаллизующегося силумина марки АК7ч

Тип образца	$T_{зал} = 700\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{зал} = 740\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T_{зал} = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %
Контрольный	159	115	1,3	145	111	1,2	131	105	1,1
Экспериментальный	172	138	1,7	196	155	1,8	223	164	1,9

Таблица 2. Поверхностная твердость образцов из сплава АК7ч

Тип образца*	Поверхностная твердость при изменении расстояния от активного электрода НВ					
	10 мм	20 мм	30 мм	40 мм	50 мм	60 мм
Контрольный	84	85	81	78	78	78
Экспериментальный	99	96	95	91	90	90

* Температура заливки сплава составляла $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ экспериментальных данных показывает, что затвердевание силумина под действием импульсного электрического поля протекает в условиях переохлаждения сплава с замедленным выделением эвтектического кремния. В направ-

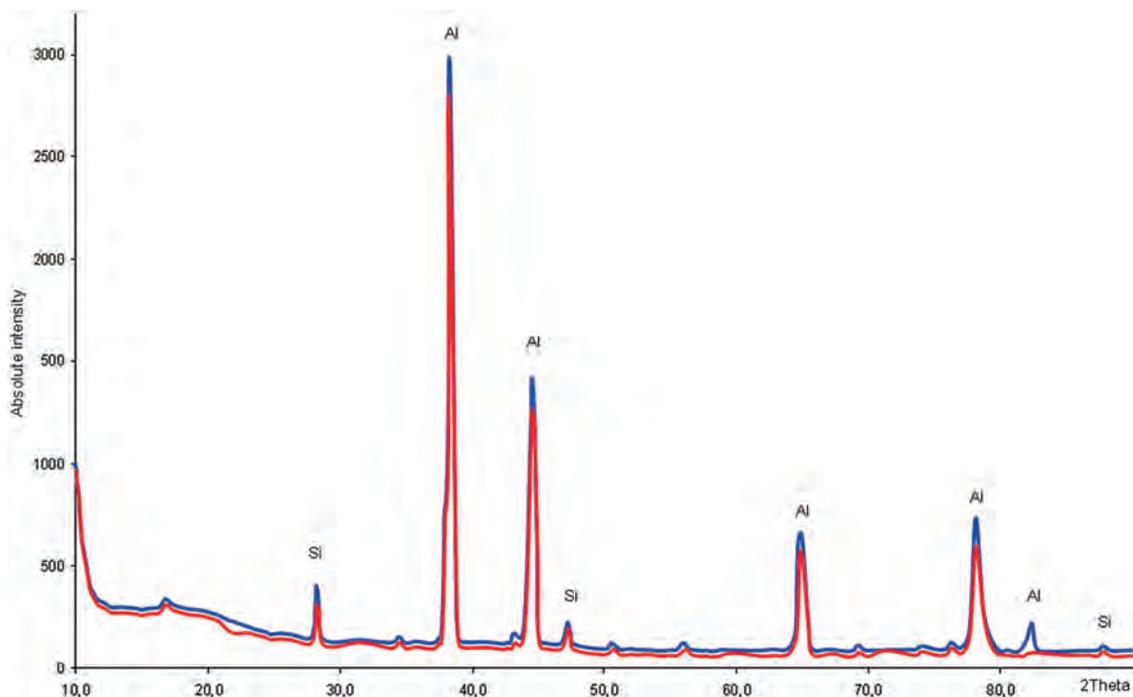


Рис. 5. Результаты рентгенофазового анализа образцов из сплава АК74ч, вырезанных на расстоянии 40 мм от активного электрода ($T_{\text{зал}} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$): синяя кривая – контрольный образец; красная кривая – экспериментальный образец

лении к активному электроду формируется плотная мелкозернистая структура сплава. Повышение температуры заливки с 700 до 800 °С приводит к увеличению физико-механических свойств кристаллизующегося в электромагнитном поле сплава.

Рассматриваемое физическое поле поляризует двойной электрический слой на поверхности первоначально образовавшихся зародышей кристаллов. Своим полем диполи расплава снижают работу выхода электрона из зародыша и потенциаль-

ную энергию электронов, зарождающихся твердых частиц в ближайших объемах расплава. В итоге уменьшается контактная разность потенциалов на границе фаз, критический размер зародыша становится меньше [5].

Применение нового способа затвердевания сплава в импульсном электромагнитном поле на опытном производстве челябинского тракторного завода повысило качество машиностроительных отливок и обеспечило суммарный годовой экономический эффект размером 100 тыс. руб.

Литература

1. Крымский В. В., Корягин Ю. Д., Сарычева Н. А. Изменение свойств цветных сплавов под действием наносекундных электромагнитных импульсов: Препринт. Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2004.
2. Диплом № 349 от 5 февраля 2008 г. на научное открытие «Явление изменения физических характеристик металлических расплавов при воздействии на них наносекундных электромагнитных импульсов» / Э. Х. Ри, Л. Г. Знаменский, Б. А. Кулаков, В. В. Крымский и др.
3. Ермаков И. Н. О кристаллизации алюминиевого сплава в импульсном электромагнитном поле / И. Н. Ермаков, В. В. Новокрещенов // Литейное производство. 2012. № 2. С. 34–35.
4. Ермаков И. Н. Методика формирования литой структуры металлического сплава в электромагнитном поле высокой напряженности / И. Н. Ермаков, В. В. Новокрещенов // Заготовительные производства в машиностроении. 2012. № 11. С. 3–5.
5. Деев В. Б. Влияние электрического тока на кристаллизацию алюминиевых сплавов, содержащих железо / В. Б. Деев, И. Ф. Селянин, Н. В. Башмакова и др. // Литейщик России. 2007. № 8. С. 12–15.