

**В. И. Дубоделов, Ю. П. Скоробагатько, В. Н. Фикссен, Н. А. Слажнев, В. К. Погорский, М. С. Горюк**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## Особенности приготовления литейных сплавов в магнитодинамических агрегатах и их влияние на качество литых изделий\*

*Рассмотрены особенности приготовления литейных алюминиевых и железоуглеродистых сплавов в магнитодинамических агрегатах. Показано, что комплексное силовое, тепловое, магнитогидродинамическое и гидродинамическое воздействие на металлические расплавы, реализуемое в таких устройствах, позволяет изменять структуру сплава в жидком состоянии и таким образом оказывать позитивное влияние на качество литых заготовок из них.*

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, чугун, сталь, магнитодинамические установки, миксеры-дозаторы, температура, электромагнитное перемешивание, разливка, МГД- и гидродинамическая обработка, расплав, структура, свойства

**М** агнитодинамические установки (МДУ) и миксеры-дозаторы конструкции ФТИМС НАН Украины являются высокоэффективным многофункциональным электротехнологическим оборудованием для приготовления и разливки металлов и сплавов (рис. 1). Такие оригинальные устройства позволяют реализовать в одном агрегате не только регулируемый индукционный нагрев расплава, но и управляемое электромагнитное движение (как перемешивание, так и разливку) жидкого металла [1, 2].

Сплавы системы Al-Si благодаря сочетанию высоких литейных, механических и специальных свойств широко используются в различных отраслях промышленности. Однако их недостатком является наличие в структуре крупных выделений кремния, которые обуславливают ухудшение структуры и механических свойств данных сплавов. Для устранения этих недостатков используют новые методы модифицирующей обработки металла, основанные на физическом воздействии на расплав. Для практической реализации таких концептуальных подходов весьма перспективным представляется применение вышеупомянутых магнитодинамических агрегатов.

В частности, магнитодинамические установки типа МДН-6А (рис. 1, а) применяются для внепечной обработки и разливки алюминиевых расплавов. Эффективность их применения для рафинирования и физического (без использования реагентных сред) модифицирования жидких алюминиевых сплавов объясняется уникальными особенностями, а именно – совмещением в одном агрегате двух взаимосвязанных конструктивно и функционально узлов – магнитодинамической единицы и тигля. Это позволяет последовательно и многократно подвергать жидкий металл теплосиловым воздействиям. Такая обработка сочетается с надлежащим уровнем факторов



а



б

**Рис. 1.** Основные типы магнитодинамических агрегатов для приготовления и разливки литейных сплавов: магнитодинамическая установка МДН-6А-0,63-М для алюминиевых сплавов (а); магнитодинамический миксер-дозатор МДН-6ч-3,0-1 для чугуна и стали (б)

влияния (изменение величины индукционного тока в канале – до нескольких десятков кА; оперативное изменение температуры алюминиевого расплава в широких пределах – 650-900 °С; высокая степень турбулизации жидкометаллической среды: линейная скорость потоков – до 5 м/с, критерий Рейнольдса (Re) –

\*По материалам VI Международной научно-практической конференции «Литье-2010», состоявшейся 21-23 апреля 2010 года в Запорожье

до  $10^5$ , скорость вихрей – до 1,7 м/с; высокий уровень объемных электромагнитных сил – до  $40 \cdot 10^5$  Н/м<sup>3</sup> и электромагнитного давления – до  $3 \cdot 10^5$  Па), обуславливающих превышение внешними инерционными силами сил поверхностного натяжения и внутреннего трения в обрабатываемом расплаве. При этом создаются предпосылки для разрушения микронеоднородностей наномасштабных размеров в жидких многофазных сплавах. Также проявляются магнитогиродинамические (МГД) эффекты, способствующие удалению из расплава водорода и неметаллических включений.

Магнитодинамическая установка МДН-6А конструктивно представляет собой индукционную канальную электропечь, совмещенную с электромагнитным насосом. В качестве исследуемого металла в экспериментах использовали доэвтектический алюминиевый сплав (химический состав представлен в табл. 1).

Анализ образцов алюминиевого сплава (исходного), отобранных из печи сопротивления и контрольных – из тигля магнитодинамической установки, показал, что структура силумина после выдержки в магнитодинамической установке (МДУ) существенно изменяется. При этом она была дендритной для обоих образцов (рис. 2) с близкими дендритными параметрами (порядка 20 мкм). Эвтектика – высокодисперсная и расположена в междендритном пространстве. Для образца сплава, подвергнутого электрофизической обработке при выдержке в магнитодинамическом устройстве (рис. 2, б), наблюдалась более дисперсная и однородная структура, чем в образце, отобранном из печи сопротивления (рис. 2, а). Что касается механических свойств исследуемого алюминиевого сплава, то для образцов металла, подвергнутого МГД воздействию, относительное удлинение более чем в 2 раза превышало

значение этого показателя для образца исходного металла, отобранного из печи сопротивления [3].

Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния комплексной МГД и гидродинамической обработки жидких алюминиевых сплавов 356 и 390 в магнитодинамической установке МДН-6А на свойства литых изделий. Установлено, что описанное воздействие на жидкий металл в течение от 1 до 17 ч по сравнению с воздействием на металл, выплавленный в печи сопротивления и разлитый ковшем, способствует существенному изменению структурного состояния расплава и в последующем – длительному сохранению эффекта физического модифицирования и улучшения структуры твердого металла. В результате такой электрофизической обработки в МДУ жидкого алюминиевого сплава 356 произошло измельчение зерна с 1,5 до 0,5 мм, исчезла разность дендритных параметров в центре и на периферии отливки, однородными стали размеры частиц Si, **повысились пластические свойства** (увеличение относительного удлинения до 3-х раз). В заэвтектическом силумине 390 размеры частиц первичного кремния в 3-4 раза уменьшились, а относительное удлинение сплава увеличилось в 2-3 раза. Отмечено также удаление вредных макропримесей – водорода и неметаллических включений [3].

Что касается обработки чугуна и стали в магнитодинамических агрегатах, то необходимо отметить следующее. Железоуглеродистые сплавы по сравнению с алюминиевыми имеют ухудшенные основные физические свойства: высокую температуру и химическую агрессивность самого расплава и его шлака, относительно низкую электро- и теплопроводность и др. С одной стороны, это приводит к необходимости существенного увеличения (в 3-5 раз) толщины футеровки в агрегатах для чугуна и стали, а с другой, – значительному росту (в 5-10 раз) мощности электро-

Таблица 1

**Химический состав алюминиевого сплава**

Алюминиевый сплав системы Al-Si	Химические элементы, %						
	Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Ti
Исходный сплав	7,15	0,38	0,03	0,18	0,10	0,10	0,029
Сплав после 17 ч выдержки в установке МДН-6А	6,67	0,41	0,03	0,22	0,10	0,10	0,024

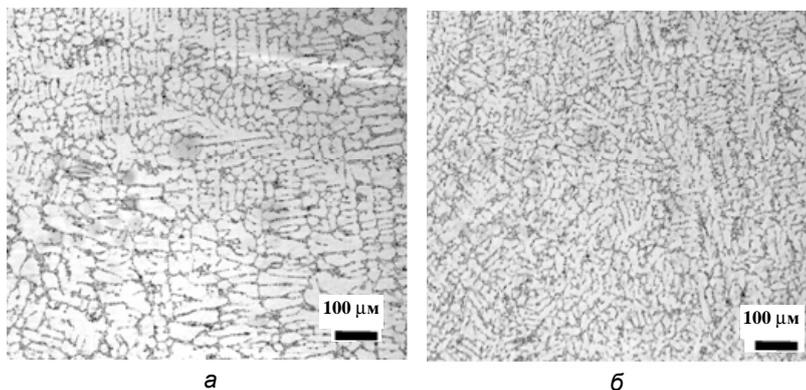


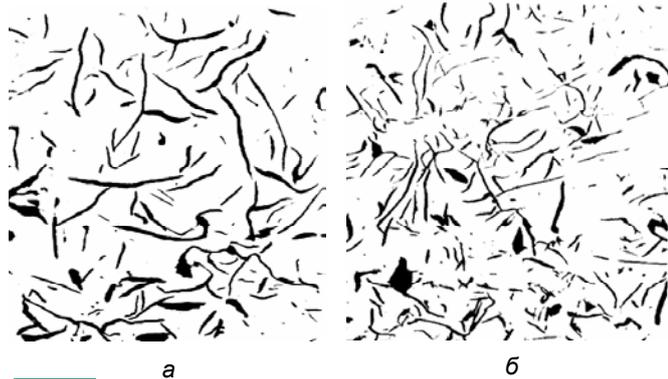
Рис. 2. Микроструктура образцов исходного силумина (а) после обработки в течение 17 ч в магнитодинамической установке МДН-6А (б)

магнитных систем оборудования. Вследствие действия такого комплекса неблагоприятных факторов возможности магнитодинамических устройств для чугуна и стали (см. рис. 1, б) по МГД обработке, особенно по разрушению микронеоднородностей в жидком сплаве, существенно ограничены по сравнению с агрегатами для алюминия. Однако, по эффективности воздействия на металлический расплав на макроуровне (нагрев, перемешивание) миксеры-дозаторы для чугуна и стали не уступают установкам для алюминия.

Авторами были проведены исследования влияния физической обработки серого чугуна (химический состав, %мас.: 3,1-3,3 С, 2,2-2,8 Si, 0,6-0,8 Mn, 0,5-0,7 Cr, 0,3-0,5 Cu, 0,1-0,2 Ni, ≤ 0,1 S, ≤ 0,15 P) в магнитодинамическом миксере-дозаторе при изготовлении отливок гильз цилиндров двигателей. В сравнении с традиционным технологическим процессом (выплавка в ИЧТ и последующая ковшовая разливка) отливки, разлитые

магнитодинамическим миксером-дозатором, имеют более плотную макроструктуру, в ней отсутствуют пористость и слоистость. Микроструктура гильзы по сечению однородна, размеры графитовых включений уменьшаются (рис. 3), а также измельчается структура металлической основы (перлита). Это обеспечивает изотропию основных свойств (твердости, временного сопротивления разрыву и изгибу) по поверхности и сечению отливки при одновременном их увеличении на 5-10 % (табл. 2) [4].

Аналогичные исследования, проведенные для отливок букс железнодорожных вагонов из стали 20 ГТЛ, показали, что применение магнитодинамического миксера-дозатора обеспечивает рост на 10-30 % установленных техническими условиями свойств таких из-



**Рис. 3.** Форма графита в сером чугуна в отливке гильзы цилиндра тракторного двигателя ( $\times 100$ ): ковшовая разливка (а); электромагнитная разливка магнитодинамическим миксером-дозатором (б)

делий (предел прочности на разрыв и текучести, относительное удлинение и сужение, ударная вязкость в диапазоне температур от  $-60$  до  $+20$  °С) [4].

Поскольку, как уже отмечалось, возможности магнитодинамических миксеров-дозаторов для чугуна и стали по МГД обработке расплава ограничены, главной причиной роста механических свойств отливок следует считать изменение условий термовременной обработки. Выдержка расплава в магнитодинамическом миксере-дозаторе во время коротких производственных пауз и в интервалах между разливами порций металла происходит при постоянной и достаточно высокой температуре, приближенной к температуре разлива. Кроме того, выдержка сопровождается непрерывным интенсивным перемешиванием расплава под действием электромагнитных сил, что способствует гомогенизации металла по химическому составу, температуре и структуре в жидком состоянии. Указанные факторы обеспечивают идентичные условия кристаллизации отливок и обуславливают измельчение и однородность структуры литого сплава [4].

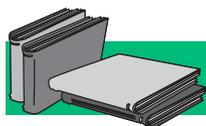
Таким образом, магнитодинамические агрегаты для приготовления и разлива литейных сплавов черных и цветных металлов благодаря своим конструктивным особенностям и функциональным возможностям (прежде всего, наличию управляемых электромагнитных, теплосиловых, магнитогидродинамических и гидродинамических факторов) способны обеспечивать бесконтактное, безынерционное,

**Таблица 2**

**Средние значения механических свойств партий чугуновых отливок**

Параметр	Способ разлива	
	ковшовая	электромагнитная
Временное сопротивление разрыву, МПа	200-220	220-230
Временное сопротивление изгибу, МПа	400-410	420-430
Твердость, НВ	200-210	220-225

не связанное с применением реагентных сред, и достаточно сильное влияние на структурное состояние жидкометаллических сред с последующим положительным воздействием на структуру и свойства сплавов и изделий из них в твердом состоянии.



**ЛИТЕРАТУРА**

1. Магнитодинамические насосы для жидких металлов / В. П. Полищук, М. Р. Цин, Р. К. Горн и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 256 с.
2. Новая энергосберегающая технология и миксеры-дозаторы магнитодинамического типа для выдержки, перегрева и разлива чугуна / В. К. Погорский, В. И. Дубоделов, М. С. Горюк, А. А. Райченко // Процессы литья. – 2000. – № 2. – С. 40-49.
3. Электрофизическая обработка сплавов системы алюминий-кремний в магнитодинамических установках / В. И. Дубоделов, Ю. П. Скоробагатько, В. Н. Фикссен и др. // Там же. – 2009. – № 6. – С. 35-43.
4. Горюк М. С., Ломакин В. М. Структура та властивості виливків, одержаних при розливі металу магнітодинамічним миксером-дозатором // Металознавство та обробка металів. – 2004. – № 1. – С. 40-45.

**Анотація**

*Дубоделов В. І., Скоробагатько Ю. П., Фікссен В. М., Слажнєв М. А., Погорський В. К., Горюк М. С.*

**Особенности приготовления литейных сплавов у магнитодинамических агрегатах та їх вплив на якість литих виробів**

*Розглянуто особливості приготування литейних алюмінієвих та залізобуглецевих сплавів у магнітодинамічних агрегатах. Показано, що комплексний силовий, тепловий, магнітогідродинамічний і гідродинамічний вплив на металеві розплави, здійснюваний в таких пристроях, дозволяє змінювати структуру сплаву в рідкому стані і таким чином позитивно впливати на якість литих заготовок з них.*

## Ключові слова

алюмінієвий сплав, чавун, сталь, магнітодинамічні установки, міксери-дозатори, температура, електромагнітне змішування, розливання, МГД, гідродинамічна обробка, розплав, структура, властивості

## Summary

*Dubodielov V., Skorobagatko Yu., Fikssen V., Slazhniev M., Pogorsky V., Goryuk M.*  
Features of preparation of casting alloys in magnetodynamic aggregates and their influence on quality of cast ingots

*There are viewed the features of preparation of casting aluminium and iron-carbon alloys in magnetodynamic aggregates. It is shown, that in these devices can be realized the combined power, thermal, magnetohydrodynamic, and hydrodynamic action on melts. Such action allows changing the structure of alloy in the liquid state. So, it provides the positively influence on quality of cast ingots.*

## Keywords

aluminum alloy, cast iron, MHD, mixer-feeder, temperature, electromagnetic mixing, casting, MHD and hydrodynamic processing of melt, structure, qualities

Поступила 09.06.10

**Предлагаем разместить в нашем журнале рекламу  
Вашей продукции или рекламный материал  
о Вашем предприятии**

**Расценки на размещение рекламы**  
(цены приведены в гривнах с учетом налога на рекламу)

2, 3 страницы обложки		страница внутри журнала	
цветная	1400	цветная	1050
черно-белая	700	черно-белая	500
1/2 страницы формата А4		1/2 страницы формата А4	
цветная	900	цветная	800
черно-белая	500	черно-белая	450
1/4 страницы формата А4		1/4 страницы формата А4	
цветная	550	цветная	300
черно-белая	300	черно-белая	200

При повторном размещении рекламы – скидка 15 %

**Редакция также может подготовить  
заказной номер журнала**

*Ориентировочная стоимость  
заказного номера – 6750 грн.  
(объем до 5 уч.-изд. л.)*

*Ориентировочная стоимость  
заказного спаренного номера – 13000 грн.  
(объем до 10 уч.-изд. л.)*

**Приглашаем Вас публиковать  
свои статьи и рекламные материалы  
в нашем журнале**