

УДК 538.4:621.74:669.017:669.15.196

**В. И. Дубоделов, М. С. Горюк, В. Б. Бубликов, А. А. Шейко,  
В. Н. Бондаревский, Б. Г. Зеленый, В. П. Латенко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

**ВЛИЯНИЕ МГД-ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРУ  
АУСТЕНИТНОГО ЧУГУНА\***

*Показано влияние электромагнитного действия на структурные составляющие аустенитного высокопрочного чугуна ЧН9Г6ДЗШ в отливках с толщиной стенок от 5 до 30 мм. Приведена зависимость влияния магнитной индукции в условиях различного углеродного эквивалента на количество ферромагнитной фазы (ФМФ) в структуре чугуна.*

*Показано вплив електромагнітної дії на структурні складові аустенітного високоміцного чавуну ЧН9Г6ДЗШ в виливках з товщиною стінок від 5 до 30 мм. Наведена залежність впливу магнітної індукції на кількість ферромагнітної фази (ФМФ) в умовах різного вуглецевого еквіваленту, як під дією електромагнітних сил, а також без такої дії.*

*MG-action on structure components of austenitic ductile iron, containing 9 N, 6 Ni, 6 Mn, 3 % Cu, at the castings with thickness of walls from 5 to 30 mm are set in the article. It has been shown dependence of quantity of ferromagnetic phase from quantity of flux density and reason carbon equivalent in period of electromagnetic action and without of this action.*

**Ключевые слова:** электромагнитное действие, высокопрочный чугун, магнитная индукция, углеродный эквивалент, магнитное поле.

При выполнении настоящей работы были проведены эксперименты по воздействию переменного магнитного поля (индукция – до 0,12 Тл) на структуру аустенитного чугуна в процессе его затвердевания в литейной форме.

В разработанном магнитодинамическом (МГД) устройстве применялась МГД-система, создающая бегущее электромагнитное поле (рис. 1). Это позволило использовать электромагнитные силы для формирования потока расплавленного металла, направленного вдоль фронта кристаллизации заготовки в литейной форме, а в случае необходимости изменять его скорость, направление, а также осуществлять силовое воздействие на затвердевающий металл.

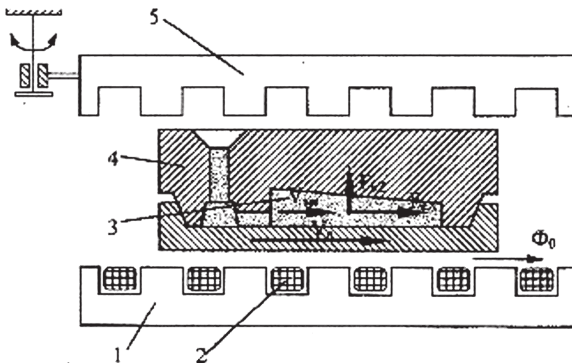


Рис. 1. Технологическая схема МГД-устройства для электромагнитной обработки металла в литейной форме бегущим магнитным полем: 1 - магнитопровод активного индуктора; 2 - обмотки; 3 - отливка; 4 - литейная форма; 5 - пассивный магнитопровод

\*В работе принимали участие В. Н. Фикссен, Н. А. Слажнев, А. О. Горшков, В. К. Погорский

При проведении таких экспериментов отливали ступенчатую литую заготовку, которая имитировала отливки с толщинами стенок 5, 10, 15 и 30 мм.

Во всех экспериментах МГД-систему включали одновременно с заливкой чугуна в литейную форму, а выключали после гарантированного завершения кристаллизации металла. Контрольные отливки заливали в такие же литейные формы и при тех же температурах, но без МГД-воздействия. Длительность обработки составляла 120 с.

В исследовании применяли базовый аустенитный чугун ЧН9Г6ДЗШ с учетом возможных колебаний состава сплава по содержанию углерода, кремния, марганца, углеродного эквивалента. Провели около 3000 измерений.

Статистическая обработка полученных результатов была проведена с помощью известных программ, что позволило определить тенденции влияния исследованных факторов на структурные параметры сплавов.

Исследовали количество графитных включений сфероидальной формы в структуре аустенитного чугуна, площадь, занятую графитной и карбидной фазами, количество ферромагнитной фазы.

На рис. 2 показана зависимость количества ферромагнитной фазы в аустенитном чугуне от величины индукции магнитного поля для отливок с толщиной стенки 5 (*a*), 10 (*б*), 15 (*в*), 30 (*г*) мм.

С ростом индукции магнитного поля от 0 до 0,12 Тл количество магнитной фазы в структуре аустенитного чугуна в отливках с толщинами от 5 до 30 мм увеличивается.

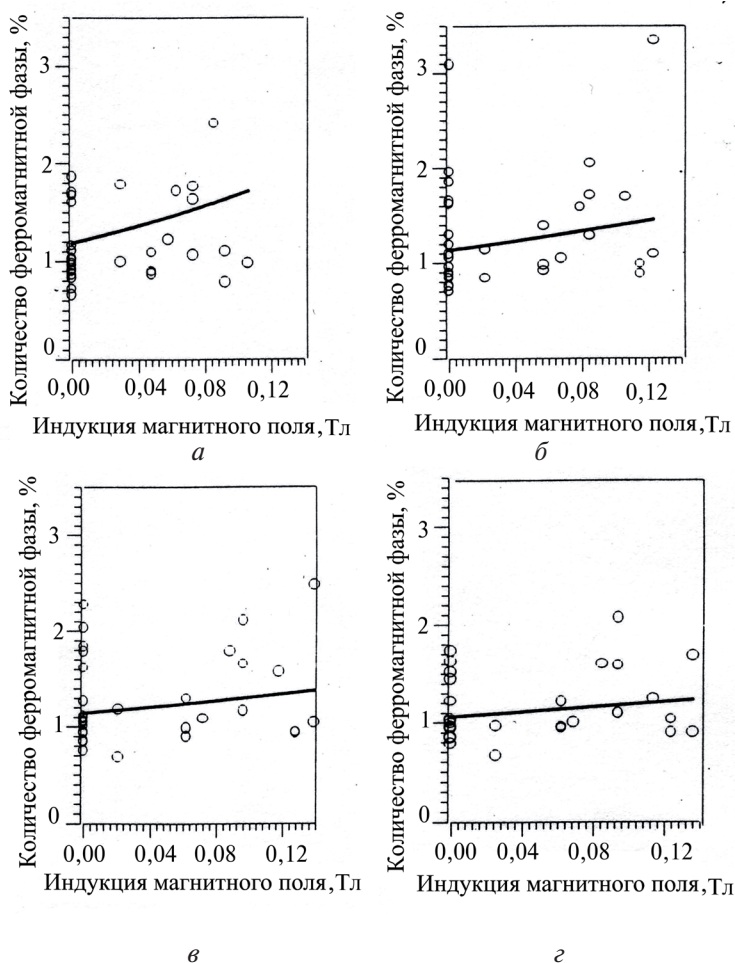


Рис. 2. Влияние индукции магнитного поля на количество ферромагнитной фазы в структуре сплава ЧН9Г6ДЗШ в отливках с толщиной стенки, мм: *a* - 5; *б* - 10; *в* - 15; *г* - 30

В отливках с толщиной стенки 5 мм она увеличивается с 1,2 до 1,8 %, а при 30 мм – с 1,2 до 1,4 %. Этот рост происходит не за счет карбидных включений, количество которых не превышает 2 %, а вследствие дополнительного образования  $\alpha$ -мартенсита. Вместе с тем, при возрастании индукции магнитного поля в структуре аустенитного чугуна снижается количество графитных включений (рис. 3, *а*). Одновременно с этим несколько повышается их средний размер.

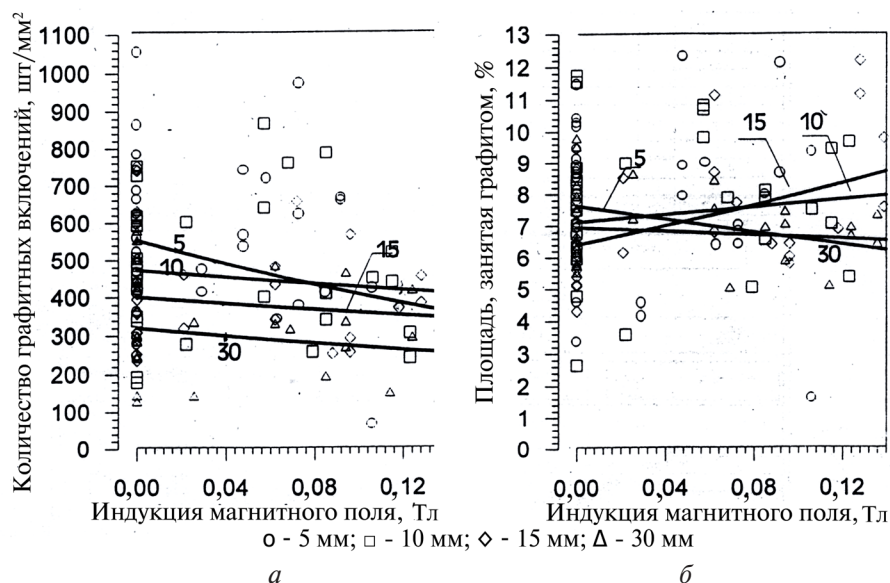


Рис. 3. Влияние индукции магнитного поля на количество графитных включений (*а*) и площадь, занятую графитом (*б*), в отливках из сплава ЧН9Г6Д3Ш с толщиной стенки 5; 10; 15; 30 мм

При магнитной индукции 0,04 Тл количество графитных включений в отливках с толщиной стенок 5, 10, 15, 20 мм соответственно составляет (шт./см<sup>2</sup>): 500, 450, 380, 300, а при магнитной индукции 0,12 Тл – соответственно 400, 380, 360, 280. При этом площадь, занятая графитными включениями, находится в пределах 6,6–7,2 % (рис. 3, *б*).

На аустенитный чугун дополнительное графитизирующее влияние (по сравнению с нелегированными чугунами) оказывает никель. Каждый процент никеля в химическом составе чугуна уменьшает растворимость углерода на 0,047 %, а кремния – на 0,33 %. Растворимость углерода дополнительно уменьшается на величину  $0,055 \cdot (\text{Ni} - \text{Si}) \%$  в результате совместного влияния никеля и кремния. Приведенные на рис. 3 результаты получены при исследовании аустенитного чугуна с углеродным эквивалентом 4,30. Повышение содержания графитизирующих элементов в составе чугуна ЧН9Г6Д3Ш, а вместе с ним и углеродного эквивалента с 4,20 до 4,45 приводит к заметному повышению содержания ФМФ в равной степени как при МГД-воздействии (0,04 Тл) на расплав, так и без него (рис. 4 *а, б*), как в тонкостенных отливках (5 мм), так и более толстостенных (10–20 мм).

При углеродном эквиваленте 4,30, который является оптимальной величиной для чугуна ЧН9Г6Д3Ш, количество ФМФ в его структуре находится в пределах 1,0–1,2 для отливок с толщинами стенок 5–30 мм. При таком содержании ФМФ практически не влияет на магнитную проницаемость чугуна. При повышении углеродного эквивалента до 4,45 количество ФМФ в структуре аустенитного чугуна возрастает до 2,3–2,5 (5 мм) и 1,5–1,7 % (10–20 мм).

Одновременно снижается площадь, занятая графитными включениями, которая при углеродном эквиваленте 4,45 находится в пределах 6,0–6,5 % (рис. 4, *б*).

Повышение в аустенитном чугуне ЧН9Г6Д3Ш углеродного эквивалента приводит к заметному снижению (в 1,2–1,5 раза) количества графитных включений (рис. 4, *в*). Этому способствует также МГД-воздействие на расплав (0,04 Тл).

Увеличение количества ферромагнитной фазы в структуре аустенитного чугуна под вли-

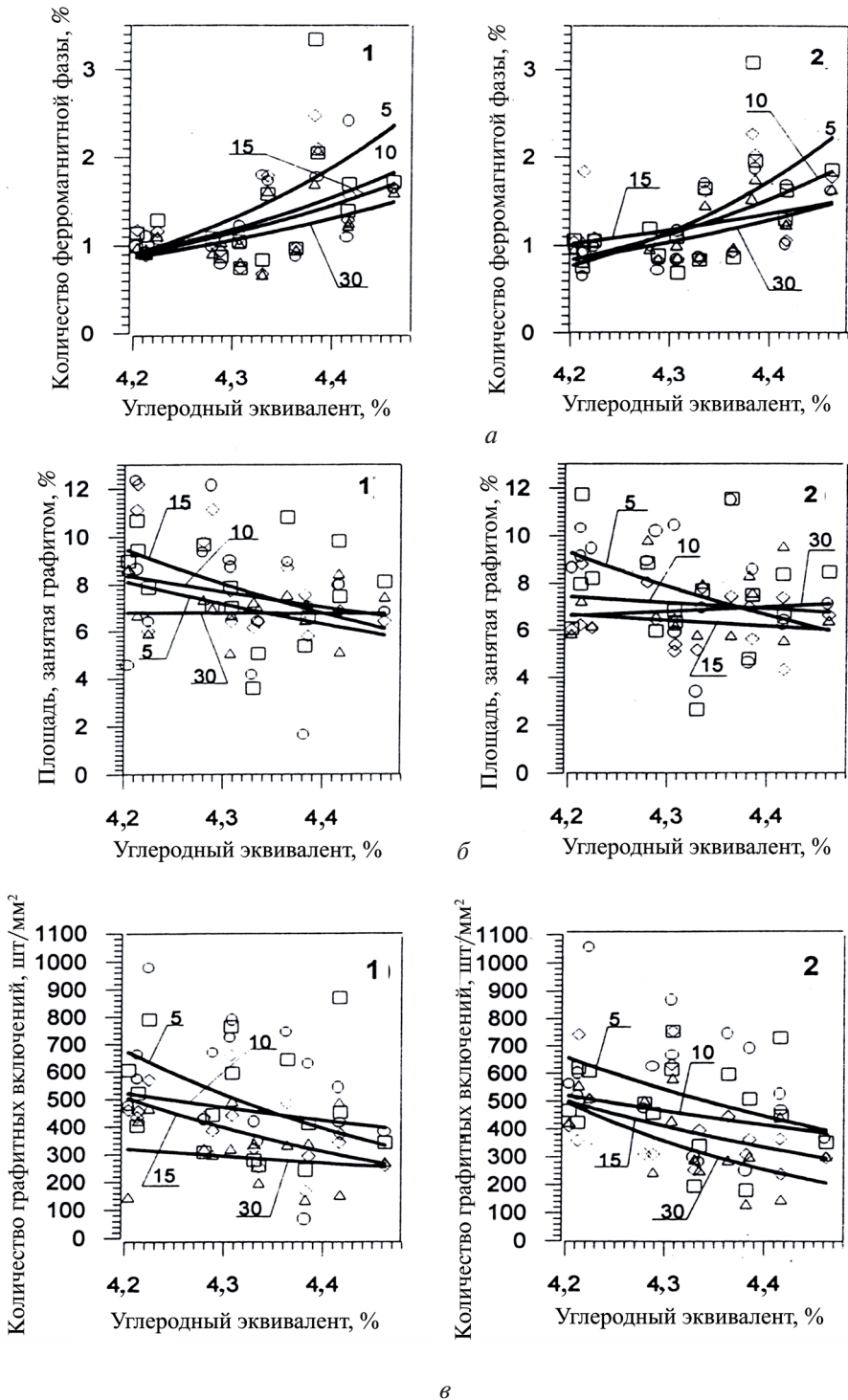


Рис. 4. Влияние МГД-обработки и углеродного эквивалента сплава ЧН9Г6Д3Ш на количество ферромагнитной фазы (а), площадь, занятую графитом (б), количество графитных включений (в): 1 - при применении МГД-обработки; 2 - без МГД-обработки; отливки с толщиной стенки, мм: ○ - 5; □ - 10; ◇ - 15; △ - 30

анием МГД-обработки расплава приводит к увеличению содержания в ней  $\alpha$ -мартенсита, что положительно влияет на некоторые физико-механические свойства сплава.

Повышается условный предел текучести чугуна ЧН9Г6Д3Ш. Более повышенный

уровень демпфирующей способности этого чугуна с шаровидным графитом объясняется возникновением более высоких пиков напряжений на краю иглоок мартенсита, вследствие чего дополнительно повышается логарифмический декремент затухания колебаний.

Увеличение гидроабразивной стойкости аустенитного чугуна с диспергированными изолированными карбидными включениями в его структуре в условиях эрозийного и ударно-абразивного износа объясняется дополнительной армирующей способностью мартенсита, расположенного вокруг карбидного включения в мягкой аустенитной металлической основе сплава.

Наряду с этим снижается коррозионная стойкость аустенитного чугуна ЧН9Г6ДЗШ в связи с увеличением его электродного потенциала при электрохимической коррозии в агрессивных средах.

### Заключение

МГД-воздействие оказывает заметное влияние на содержание ферромагнитной фазы в структуре аустенитного чугуна на ЧН9Г6ДЗШ, что позволяет за счет изменения количества ФМФ непосредственно влиять на такие физико-механические свойства аустенитного чугуна, как условный предел текучести, циклическая вязкость, гидроабразивная и коррозионная стойкость.

Поступила 25.04.2008

УДК 621.313:621.74:669

**Ф. Сиддики, Г. И. Касьян, А. А. Кучаев\*, Р. Я. Якобше\***

ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод», Донецк

\*Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНЛЗ ПРИ ЛИТЬЕ КРУГЛЫХ ЗАГОТОВОК В УСЛОВИЯХ ЗАО «ДОНЕЦКИЙ ЭЛЕКТРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

*ЗАО «Донецкий электрометаллургический завод» (ДЭМЗ) производит непрерывнолитую трубную заготовку из углеродистых, конструкционных, высоколегированных и нержавеющей марок стали для машиностроительных и подшипниковых заводов, трубной и нефтегазовой промышленности, атомной энергетики. Электросталеплавильный цех (ЭСЦ) поставляет круглые заготовки диаметром 120, 130, 150, 160, 180 мм. Представлены технические характеристики основных конструктивных элементов шестиручьевого сортовой машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Рассмотрены особенности технологии непрерывной разливки круглой заготовки закрытой струей.*

*ЗАТ «Донецкий электрометалургійний завод» (ДЕМЗ) виробляє безперервнолиту трубку заготовку з вуглецевих, конструкційних, високолегованих та нержавіючих марок сталі для машинобудівних та підшипникових заводів, трубної та нафтогазової промисловості, атомної енергетики. Електросталеплавильний цех поставляє круглі заготовки діаметром 120, 130, 150, 160, 180 мм. Представлені технічні характеристики основних конструктивних елементів шестиструмкової сортової МБЛЗ. Розглянуті особливості технології безперервного розливання круглої заготовки закритим струменем.*

*The CJSC «Donetsk Electrometallurgical Mill» (DEMM) produces continuously cast round billets for continuous cast pipe billets, as well as hot-rolled rounds of carbon, structural, high-alloy and stainless steel grades for mechanical engineering works, ball-bearing plants, pipe mills, oil and gas industry and nuclear power engineering. The electric arc furnace shop supplies 120, 130, 150, 160 and 180 mm round billets. The technical characteristics of main constructive elements of six-strand billet continuous caster are presented. The technological details of round billets continuous casting by closed stream are described.*