

С. И. Семькин, Т. С. Голуб

Институт черной металлургии НАН Украины, Днепропетровск

Исследование в лабораторных условиях особенностей влияния электромагнитных воздействий малой удельной мощности на механические свойства литой и термически обработанной малоуглеродистой стали*

Проведено лабораторное исследование по применению метода маломощного (1-10 Вт/кг) электромагнитного воздействия на жидкий кристаллизующийся железоуглеродистый расплав с содержанием углерода 0,3 %. Установлен эффект повышения прочностных характеристик литого металла под влиянием электромагнитных воздействий и последующее сохранение его после операции нормализации, вероятно, обусловленный формированием более мелкозернистой дисперсной структуры.

Ключевые слова: железо-углеродистый расплав, маломощное электромагнитное воздействие, механические свойства стали, литое состояние, нормализация.

Интенсификация тепло-массообменных процессов, которые происходят при кристаллизации сплавов, является одним из главных направлений научно-технического прогресса в черной металлургии. Основной целью применяемых на данный момент методов электромагнитных воздействий в процессе разлива и кристаллизации железоуглеродистых расплавов (сталей) является усиление гидродинамики жидкой фазы за счет использования электромагнитов высокой мощности [1]. Как показывает практика, применение внешних воздействий высокой мощности для достижения определенных задач не всегда оправдано. В частности, для управления процессом перемещения примесных элементов, находящихся в ионной форме в железо-углеродистом расплаве, или обмена заряженными частицами между взаимодействующими фазами при кристаллизации с определенной локализацией элементов в будущей твердой кристаллической структуре, что обеспечивает готовую сталь теми или иными механическими свойствами.

В Институте черной металлургии НАНУ в течение ряда лет разрабатывается метод наложения маломощного (уровень воздействия на 2-3 порядка ниже известных способов, применяемых при электродуговой плавке в печах или при непрерывной разливке стали) электрического и электромагнитного воздействия на железоуглеродистый расплав на различных этапах производства стали [2, 3]. Исследуемый способ показал высокую эффективность по влиянию на физико-химические и ионообменные процессы, протекающие в железо-углеродистой ванне при конвертировании.

Целью данных исследований было установление особенностей влияния электромагнитных воздействий с низкой удельной мощностью на механические свойства литой стали до и после термической обработки.

Методика исследований. Исследования были проведены на созданной в отделе физико-технических проблем металлургии стали лабораторной установке. Предварительно в индукционной печи ИПС-0,1 расплавили 50 кг шихты для получения стали с содержанием, %: 0,3 C; 0,34 Si; 0,3 Mn; 0,038 S; 0,044 P; 0,30 Cr. После достижения температуры 1600 °С, которую регистрировали пирометром, готовый расплав разлили в два одинаковых графитовых тигля: 1-й слиток был оборудован устройством наложения электромагнитных воздействий в процессе остывания металла и его кристаллизации (длительность воздействия составляла порядка 15 мин); 2-й слиток – без воздействий. Тигли были утеплены песчаной смесью и разделены теплоизоляционным экраном.

После охлаждения металла, из опытных слитков подготовили образцы для испытания на основные механические свойства: прочность, ударную вязкость и твердость, которые для сопоставления были взяты из одинаковых мест слитков. Подготовленные образцы были разделены на две равноценные группы: первая – предназначалась для испытаний на механические свойства в литом состоянии, а вторая – была подвержена термической обработке – нормализации и потом тоже испытана.

Термообработка образцов проводилась по следующему режиму: в печь, нагретую до 860 °С, загружали опытные образцы и, после выхода печи на рабочую температуру, выдерживали 20 мин. Затем образцы выгружали и охлаждали на воздухе.

В таблице 1 представлены результаты испытаний образцов в виде средних значений показателей, из которых следует, что уровень величин оцениваемых механических свойств образцов, полученных из сравнительной отливки (слиток № 2), близок к уровню табличных значений, соответствующих стали 30 Л до и после термообработки [4].

* В работе принимали участие от ИЧМ НАНУ: А. Ю. Борисенко, А. А. Кононенко, А. С. Дудченко, В. В. Вакульчук, Е. В. Семькина; от НМетАУ: М. Ю. Амбражей.

Средние значения механических свойств опытных образцов

Слитки	$\delta_5, \%$	$\sigma_{0,2}, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_{0,2} / \sigma_B$	КСУ, Дж/см ²	НВ·10 ⁻¹ , МПа
В литом виде						
№ 1	14,13	304,19	598,34	0,51	19,4	208,8
№ 2	16,77	250,19	473,55	0,53	16,0	153,8
отклонение	-15,7	21,6	26,4	-3,7	21,3	35,8
Ст 30Л [4]	12	245	470	0,52	33	145
После нормализации						
№ 1	17,50	390,44	627,68	0,62	51,6	–
№ 2	25,79	266,92	500,36	0,53	43,7	–
отклонение	-16,5	46,3	25,4	16,9	18,0	–
Ст 30Л нормализация [4]	17	260	480	0,54	35	–

Примечание: σ_B – временное сопротивление разрыву (предел прочности), Н/мм²; $\sigma_{0,2}$ – предел текучести условный, Н/мм²; δ_5 – относительное удлинение, %; КСУ – ударная вязкость, Дж/см²; НВ – твердость по Бринеллю, МПа

Установлено, что, по сравнению со слитком № 2, прочность металла (σ_B и $\sigma_{0,2}$) опытных образцов слитка № 1 (с наложением электромагнитных полей) была выше соответственно на 26,4 и 21,6 %.

При испытании было отмечено, что для образцов слитка № 1 был слабо выражен участок локального сужения образца перед его разрывом (т. н. «шейка»). Точеный участок образцов слитка № 1 тянулся равномерно. Образцы слитка № 2, как и следовало ожидать, после испытания на разрыв, характеризовались наличием «шейки», которая особенно четко проявилась после термообработки. При этом относительное удлинение образцов слитка № 1 было на 15,7 % меньше, чем образцов слитка № 2.

После нормализации данная тенденция сохранилась: для слитка № 1 показатели σ_B и $\sigma_{0,2}$ были выше на 25,4 и 46,3 %, чем для слитка № 2.

Отношение $\sigma_{0,2} / \sigma_B$ для слитка № 1 увеличилось, после нормализации на 16,9 %, по сравнению с образцами слитка № 2 (на 21,5 % по сравнению с аналогичными показателями для слитка № 1 до термообработки), что связано со значительным (на 28,4 %) повышением условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ после нормализации для образцов данного слитка и меньшим увеличением показателя σ_B .

Также было выявлено, что опытные образцы слитка № 1 в литом состоянии обладали более высокой твердостью (на 35,8 % по сравнению с образцами слитка № 2).

Испытания образцов на удар (оценка ударной вязкости при комнатной температуре) до термообработки показали, что образцы из слитка № 1 обладали большими значениями ударной вязкости (на 21,3 %), чем образцы слитка № 2. После термической обработки данная тенденция сохранилась: образцы слитка № 1 также обладали более высокой (на 18,0 %) ударной вязкостью, по сравнению с образцами слитка № 2 (таблица).

Обращает на себя внимание различие во внешнем виде изломов, полученных после испытаний на удар (рис. 1). Для образцов слитка № 1 в литом состоянии изломы имели блестящий мелкозернистый вид, при-

чем после термообработки блестящий характер излома сохранился при незначительном увеличении зернистости его поверхности.

Для образцов слитка № 2 в литом состоянии излом был более крупнозернистым и блестящим, а после термообработки приобрел серый матовый оттенок, характерный для «вязкого» металла.

Результаты исследования микроструктуры образцов, изготовленных из одинаковых участков опытных слитков (рис. 2) показали следующее. Микроструктура металла в литом состоянии для образцов слитка № 2 была близкой к стандартной структуре диаграммы состояния Fe-C для стали с содержанием углерода 0,3 % [5]. В тоже время микроструктура в литом состоянии для образца слитка № 1 отличалась меньшим количеством феррита и большей раздробленностью перлитной фазы.

После операции нормализации, как и следовало ожидать, микроструктура обоих опытных образцов характеризовалась меньшим размером зерен феррита

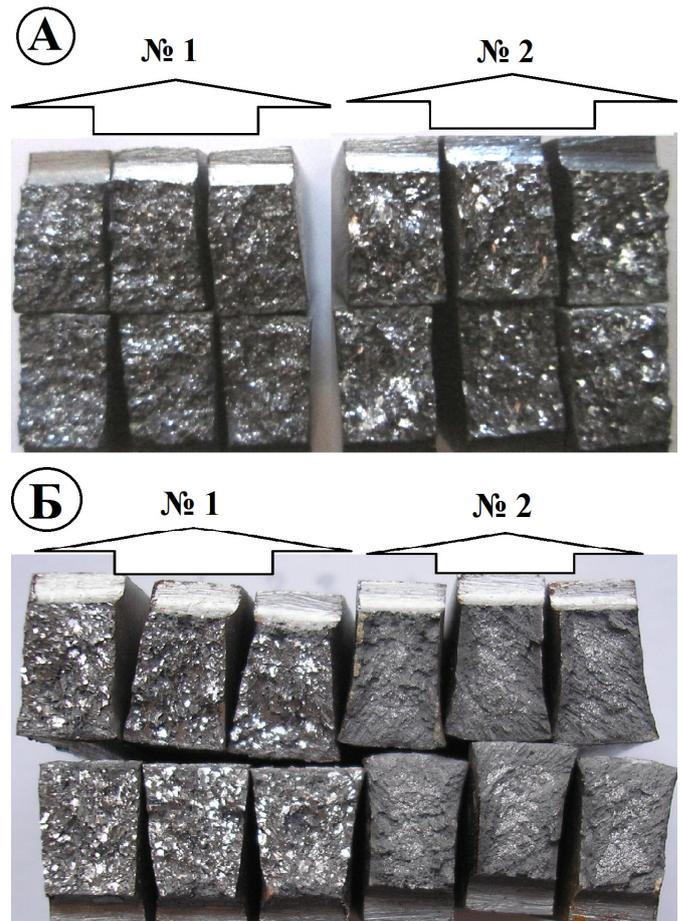


Рис. 1. Фотографии изломов образцов после испытания их на удар в литом состоянии (А) и после термообработки (Б): № 1 – образцы из слитка, подвергнутого маломощному электромагнитному воздействию, № 2 – образцы из слитка без воздействий

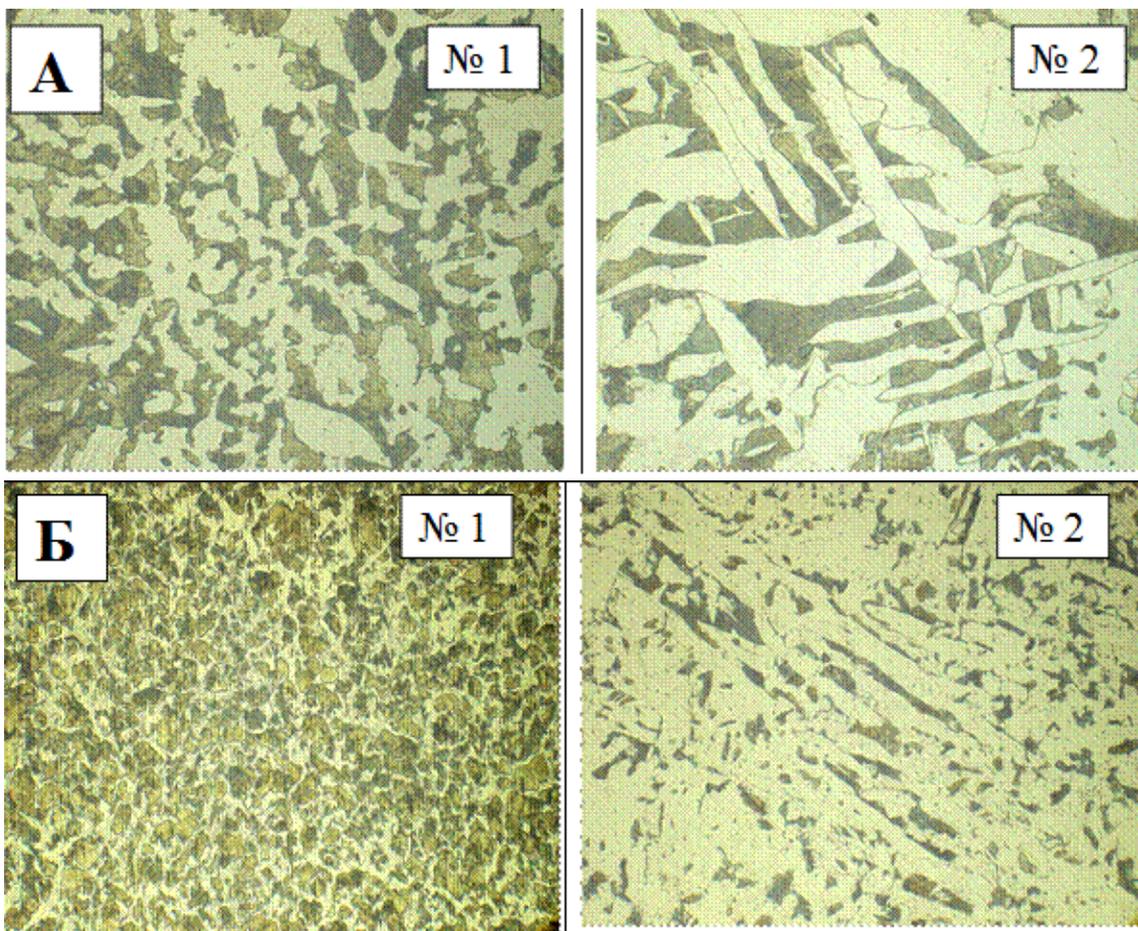


Рис. 2. Микроструктуры опытных образцов стали в литом состоянии (А) и после термообработки (Б): № 1 – образцы из слитка, подвергнутого маломощному электромагнитному воздействию, № 2 – образцы из слитка без воздействий, $\times 250$

и большей дисперсностью перлита, по сравнению с литым состоянием. При этом у образцов слитка № 1 структура была значительно более мелкозернистой и дисперсной.

Следовательно, отмеченные выше более высокие прочностные свойства образцов слитка № 1, вероятно, связаны с формированием в результате маломощного электромагнитного воздействия более мелкозернистой микроструктуры с меньшей долей феррита.

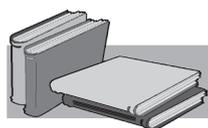
Выводы

Проведенные лабораторные исследования показали возможность получения более высоких проч-

ностных свойств отливок за счет электромагнитных воздействий удельной мощностью 1-10 Вт кг на железоуглеродистый расплав при его кристаллизации.

Установлено, что повышенный, по сравнению с обычными отливками, уровень механических свойств металла опытных образцов сохраняется после термической обработки – нормализации.

Микроструктурный анализ показал, что электромагнитное воздействие способствует измельчению микроструктуры кристаллизующейся малоуглеродистой стали. Это проявляется не только в литом состоянии, но и значительно усиливается после нормализации.



ЛИТЕРАТУРА

1. Колесниченко А. А. Новые системы электромагнитного перемешивания для непрерывной разливки стали / А. А. Колесниченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – № 8. – С. 161-168.
2. Опыт применения электрических воздействий от источника низких потенциалов в металлургической практике / С. И. Семькин, В. Ф. Поляков, Е. В. Семькина, А. Д. Зражевский и др. // *Материалы Международной научно-технической конференции*, Киев: КПИ. – 2002. – С. 317-320.
3. Семькин С. И. Исследование совместного воздействия на жидкую железо-углеродистую ванну электрических и магнитных полей / С. И. Семькин, В. Ф. Поляков, Е. В. Семькина // *Сб. научных трудов ИЧМ НАНУ*. – 1999. – Вып. № 3. – С. 188-193.
4. Зубченко А. С. Марочник сталей и сплавов. 2-е изд. доп. и испр. / А. С. Зубченко – М.: Машиностроение. – 2003. – 784 с.
5. Виноградова Л. А. Структура сталей: учебное пособие / Л. А. Виноградова – Ульяновск: УлГТУ. – 2009. – 54 с.

Анотація

Семикін С. І., Голуб Т. С.

Дослідження в лабораторних умовах особливостей впливу електромагнітної дії малої питомої потужності на механічні властивості литої і термічно обробленої маловуглецевої сталі

Проведено лабораторне дослідження із застосування методу малопотужного (1-10 Вт/кг) електромагнітного впливу на рідкий залізобуглецевий (із вмістом вуглецю 0,3 %) розплав, що кристалізується. Встановлено ефект підвищення характеристик міцності литого металу під впливом електромагнітних дій і, як наслідок, збереження його після операції нормалізації, ймовірно, обумовлений формуванням більш мілкозернистої дисперсної структури.

Ключові слова

залізо-вуглецевий розплав, малопотужний електромагнітний вплив, механічні властивості сталі, литий стан, нормалізація

Summary

Semykin S. I., Golub T. S.

Laboratory research of effect feature electromagnetic influence of low specific power on casted and heat treated low-carbon steel mechanical properties

Laboratory research concerned of application of low power (1-10 W/kg) electromagnetic influence method on liquid crystallizable iron-carbon melt with 0.3 % maintenance of carbon is conducted. Possibility of increase of durability of the cast metal was exposed with the maintenance of level of mechanical properties after normalization that probably conditioned with forming of more fine-grained dispersible structure.

Keywords

iron-carbon melt, low-powered electromagnetic influence, mechanical properties of steel, cast state, normalization

Поступила 25.04.14