

Е. Н. Жбанова, ст. преп., e-mail: zhbanova.olena@gmail.com

Л. Н. Саитгареев, канд. техн. наук, доц.

И. Э. Скидин, ст. преп.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет», Кривой Рог

Обработка стали электрическим током в литейной форме

Цель работы – анализ влияния электроимпульсной обработки током переменной полярности расплава марганецсодержащих сталей в литейной форме в процессе кристаллизации. Установлено, что в результате улучшается структурная, химическая и физическая однородность структуры указанных сплавов, что обеспечивает повышение предела прочности соответственно на 7 и 19 %, ударной вязкости – на 21 и 17 % без изменения химического состава.

Впервые установлены параметры обработки электрическим током сменной полярности расплавов марганецсодержащих сталей в литейной форме в процессе кристаллизации, которые обуславливают дробление зерен карбида марганца и металлической основы сплавов.

Практическая значимость работы заключается в повышении качества структуры литого сплава, которая позволяет получать лучшие физико-механические свойства стали после ее термической обработки.

Ключевые слова: литье, электроимпульсная обработка, структура, кристаллизация, неметаллические включения, физическая однородность, карбиды марганца.

Введение. Актуальной задачей металлургических предприятий является улучшение физико-механических свойств сталей. Наиболее целесообразным, по мнению авторов статьи, является улучшение этих свойств еще на этапе формирования изделий и заготовок, вследствие уменьшения физической неоднородности (микротрещины, пористость, раковины), структурной неоднородности (размер и расположение зерен), а также химической неоднородности (распределение компонентов). Влияние на указанные параметры структуры без изменения химического состава расплава и без применения затратных и трудоемких способов возможно, вследствие электроимпульсной обработки металла при его кристаллизации. Но параметры тока, которые бы обеспечили необходимый эффект обработки для стальных отливок не обоснованы, что подтверждает актуальность исследований.

Целью работы является обоснование возможности повышения качества отливок из конструкционной стали 35ГЛ и износостойкой стали 110Г13Л, без введения дополнительных легирующих элементов в результате обработки электроимпульсным током в процессе кристаллизации расплава.

Материалы и методы. Для повышения качества отливок все большее применение находит метод воздействия электрического тока на расплав при кристаллизации. Такие технологические решения позволяют получать литые изделия с повышенным содержанием необходимых компонентов в поверхностном слое и снижать их содержание в теле отливки [1]. Импульсно-периодическая токовая нагрузка сплава при кристаллизации имеет определенные преимущества перед режимами постоянного и переменного тока. Прежде всего, – это более низкие энергозатраты при одновременном уменьшении потерь на нагрев металла.

Работы по обработке расплавов электрическим током в процессе кристаллизации, в основном, проводились на цветных металлах и сплавах [2–4]. Есть положительные результаты применения электрообработки при изготовлении отливок из чугунов [5]. Для указанных сплавов обработка электрическим током оказывает позитивное влияние на процессы тепломассопереноса и структурообразования, а также обуславливает направленную кристаллизацию в межэлектродном пространстве [6]. Это особенно важно при получении тонкостенных литых изделий.

Следует отметить, что действие тока на марганецсодержащие стальные отливки ранее не изучалось, поэтому требуется проведение комплекса исследований по изучению влияния обработки током на структуру стального расплава при кристаллизации.

В лабораторных условиях плавильного павильона ГВУЗ «Криворожский национальный университет» была опробована технология получения опытной партии отливок из металлического сплава 35ГЛ и 110Г13Л, которая включает обработку в процессе кристаллизации расплава электроимпульсным током переменной полярности.

Полученные металлографические шлифы образцов изучали под микроскопом МИМ-8М, оснащенный видеокамерой, соединенной с компьютером. Контроль микроструктуры сплава осуществлялся по ГОСТ 10243-75.

Результаты и обсуждение. Обработка отливок из марганецсодержащих сталей осуществляется в результате пропускания электрического тока через тугоплавкие электроды, заформованные в песчано-глинистой форме, которые контактируют непосредственно с металлом в процессе нахождения его в жидком, твердодожидком состоянии и до окончания кристаллизации.

Переменная полярность положительно влияет на уменьшение химической неоднородности благодаря

отсутствию электропереноса химических элементов между анодом и катодом. Длительность импульсов больше 10^{-3} с тока обеспечивает улучшение структурной однородности, вследствие уменьшения размеров зерен феррита. Сила тока 30–40 А является оптимальной для процесса обработки. Большие значения силы тока способствуют увеличению размеров зерен карбидов марганца, ток меньше 30 А имеет незначительное влияние на микроструктуру образцов марганецсодержащих сталей. Диапазон частоты тока 5–33 Гц является оптимальным, поскольку меньшая частота тока не обеспечивает удаление неметаллических включений, а частота свыше 33 Гц способствует скоплению карбидов марганца на границах зерен металлической основы. Сквозность меньше 5 меандров не влияет на структуру и физико-механические свойства исследуемых образцов.

Обработка конструкционной стали марки 35ГЛ и износостойкой стали марки 110Г13Л при кристаллизации расплава электроимпульсным током переменной полярности с длительностью импульсов больше 10^{-3} с в пределах частоты 5–33 Гц, сквозности 5–24 меандров, силы 30–40 А, при напряжении 180–240 В обеспечивает уменьшение объема и протяженности трещин, снижение содержания газов, существенное (в 1,4–2,5 раза) уменьшение неметаллических примесей FeP, MnP, Fe₃P, Mn₃P, что в целом, свидетельствует о значительном улучшении физической однородности сплавов, по сравнению с базовыми (необработанными) образцами.

Микроструктура базового образца стали 35ГЛ свидетельствует о наличии больших скоплений карбидов марганца на границах зерен феррита (рис. 1, а). В обработанном по предложенной методике образце, раз-

мер ферритных зерен уменьшается на 53 %, карбиды марганца расположены в центре зерен (рис. 1, б) и занимают в 1,46 раза меньшую площадь (табл. 1). В обработанных образцах стали 110Г13Л размеры зерен уменьшаются на 60 % по сравнению с базовыми образцами, площадь карбидов марганца уменьшается почти в 2,9 раза (см. табл. 1).

Для определения физико-механических свойств для всех образцов применялся следующий режим термической обработки: нагрев от 600 до 950 °С и выдержка при этой температуре в течение 40 минут. Закаливание проводилось в воде 18 °С.

Анализ микроструктур закаленных образцов показал, что избыточные карбиды растворяются в зернах феррита или расположены исключительно в их центрах. Обработка током с указанными параметрами обеспечивает уменьшение размера ферритных зерен и зерен карбидов марганца соответственно в 2 и 1,5 раза.

Микроструктурные перестройки в расплавах при их обработке электроимпульсным током обеспечивают значительное повышение уровня физико-механических свойств для закаленных образцов сталей 35ГЛ и 110Г13Л, прежде всего, предел прочности (на 7 и 19 % соответственно) и ударной вязкости (на 21 и 17 % соответственно), без изменения химического состава сплавов (табл. 2).

Такой эффект обработки, по мнению авторов статьи, достигается вследствие микроструктурных перестроек в расплаве под действием тока переменной полярности с длительностью импульсов больше 10^{-3} с в пределах частоты 5–33 Гц, сквозности 5–24 меандров, силы 30–40 А, при напряжении 180–240 В, который меняет ближний порядок атомов

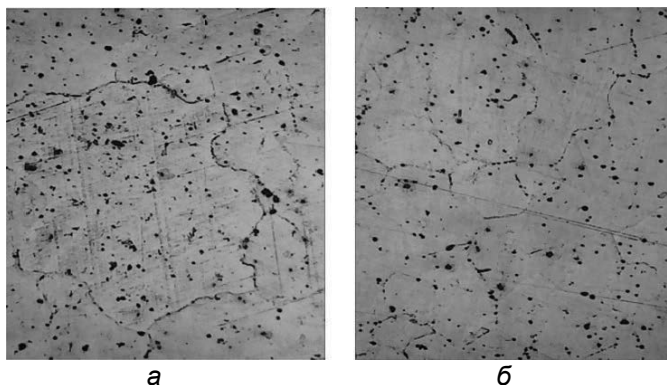


Рис. 1. Микроструктура стали 35ГЛ: а – базовый образец; б – образец после обработки

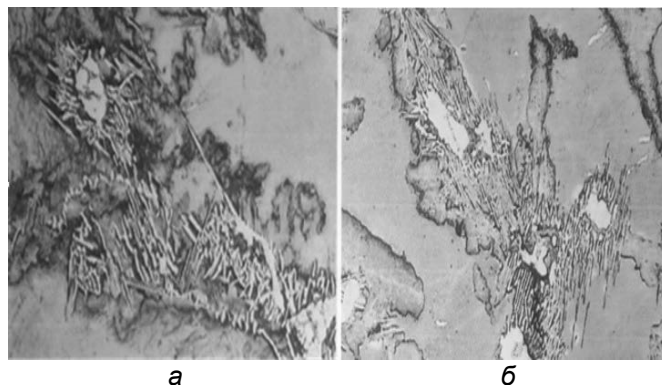


Рис. 2. Микроструктура стали 110Г13Л: а – базовый образец; б – образец после обработки

Таблица 1

Количественный анализ карбидной составляющей стали

Марка сплава	Обработка электрическим током	Длина кристаллов марганца, мкм	Площадь кристаллов марганца, мкм ²	Размер зерен	
				макрозерно, мм	микрозерно, мкм
35ГЛ	нет	12	11	15	60
110Г13Л		10,1	14	16,1	154
35ГЛ	да	3,2	7,5	11	28
110Г13Л		2,8	4,8	4,0	93

Физико-механические свойства сталей

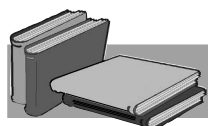
Обработка током	Марка стали	Предел прочности, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²
нет	35ГЛ	503	243
	110Г13Л	553	190
да	35ГЛ	540	296
	110Г13Л	659	223

в кластерах и уменьшает их размер вследствие резонансных явлений, которые происходят в процессе энергетического воздействия.

Выводы

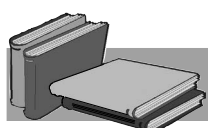
Результаты исследований показали, что электроимпульсная обработка расплава стали 35ГЛ и 110Г13Л током переменной полярности с длитель-

ностью импульсов больше 10^{-3} с в пределах частоты 5–33 Гц, скважности 5–24 меандров, силы 30–40 А, при напряжении 180–240 В во время кристаллизации способствует существенному уменьшению физической и структурной неоднородности и повышению физико-механических свойств сплавов 35ГЛ и 110Г13Л: предела прочности – на 37 и 106 МПа, ударной вязкости – на 53 и 33 кДж/м² соответственно.



ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. В., Синчук А. В., Цуркин В. Н. Электротоксовая обработка жидких и кристаллизующихся сплавов в литейных технологиях // Электронная обработка материалов. – 2011. – № 5. – том 47. – С. 89–98.
2. Кищенко О. М., Ткач В. В. Сучасні методи регулювання процесу кристалізації ливарних сплавів // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – Вип. 30. – С. 221–223.
3. Миненко Г. Н. Об энергетическом воздействии на металлический расплав // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2006. – № 3. – С. 10–12.
4. Якимов В. И., Мар'ин Б. Н., Зелинский В. В., Заплетин М. А. Воздействие электрического тока на жидкий алюминиевый сплав // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2003. – № 3. – С. 36–39.
5. Миненко Г. Н., Смирнова Ю. А. Физическая модель воздействия электрического тока на процесс кристаллизации сплава // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2009. – № 3. – С. 48–49.
6. Ткач В. В., Кищенко Е. Н. Влияние электровоздействия в процессе кристаллизации на свойства стали 110Г13Л // Электрометаллургия. – 2015. – № 7. – С.9–11.



REFERENCES

1. Ivanov A. V., Sinchuk A. V., Tsurkin V. N. (2011). Elektrotokovaya obrabotka zhidkikh i kristallizuyushchikhsia splavov v liteinykh tekhnologiyakh [Electro-current treatment of liquid and crystallizing alloys in foundry technologies]. Elektronnaia obrabotka materialov, no 5, vol. 47, pp. 89–98 [in Russian].
2. Kishchenko O. M., Tkach V. V. (2012). Suchasni metody reguliuvannya protsesu krystalizatsii lyvarnykh splaviv [Modern methods of regulation of the process of crystallization of foundry alloys]. Visnik Krivoriz'kogo national'nogo universitetu, no. 30, pp. 221–223 [in Ukrainian].
3. Minenko G. N. (2006). Ob energeticheskom vozdeistvii na metallicheskiy rasplav [On the energy impact on a metallic melt]. Metallurgiya mashinostroeniya, no. 3, pp. 10–12 [in Russian].
4. Yakimov V. I., Mar'in B. N., Zelinskiy V. V., Zapletin M. A. (2003). Vozdeistvie elektricheskogo toka na zhidkii aliuminievyi spлав [The effect of electric current on liquid aluminum alloy]. Metallurgiya mashinostroeniya, no. 3, pp. 36–39 [in Russian].
5. Minenko G. N., Smirnova Yu. A. (2009). Fizicheskaya model' vozdeistviya elektricheskogo toka na protsess kristallizatsii splava [The physical model of the effect of an electric current on the crystallization process of an alloy]. Metallurgiya mashinostroeniya, no. 3, pp. 48–49 [in Russian].
6. Tkach V. V., Kishchenko E. N. (2015). Vliyanie elektrovozdeistviya v protsesse kristallizatsii na svoystva stali 110G13L [Effect of electrostatic action in the process of crystallization on the properties of 110G13L steel]. Elektrometallurgiya, no. 7, pp. 9–11 [in Russian].

Анотація

Жбанова О. М., Сaitгареев Л. Н., Скідін І. Е.

Обробка сталі електричним струмом у ливарній формі

Метою роботи є аналіз впливу електроімпульсної обробки струмом змінної полярності розплаву марганцевмісних сталей в ливарній формі в процесі кристалізації. Встановлено, що в результаті поліпшується структурна, хімічна і фізична однорідність структури зазначених сплавів, що забезпечує підвищення межі міцності відповідно на 7 та 19 %, ударної в'язкості – на 21 і 17 % без зміни хімічного складу.

Вперше встановлено параметри обробки електричним струмом змінної полярності розплавів марганцевмісних сталей в ливарній формі в процесі кристалізації, які обумовлюють дроблення зерен карбіду марганцю і металевої основи сплавів.

Практична значимість роботи полягає в підвищенні якості структури литого сплаву, яка дозволяє отримувати кращі фізико-механічні властивості сталі після її термічної обробки.

Ключові слова

Литво, електроімпульсна обробка, структура, кристалізація, неметалеві включення, фізична однорідність, карбіди марганцю.

Summary

Zhbanova E., Saitgareev L., Skidin I.

Treatment of steel by electric current in the foundry form

The purpose of the research is to analyze the effect of the electro-pulse treatment of the melt of manganese-containing steel in the foundry form during the crystallization process under the influence of alternating current. It was found that as a result of this treatment, structural, chemical and physical homogeneity of the compositions of these alloys improves, which provides an increase in the ultimate tensile strength by 7 and 19 %, respectively, and the impact strength by 21 and 17 % without changing the chemical composition.

For the first time, the parameters for the treatment of the melts of manganese-containing steels in the foundry form during the crystallization process by applying the alternating current, which causes crushing of the grains of manganese carbide and the metal base of the alloys, are established.

The practical significance of the research is in the improvements of the structural quality of the cast alloys, which allows obtaining the best physical and mechanical properties of the steel after its heat treatment.

Keywords

Casting, electro-pulse treatment, structure, crystallization, nonmetallic inclusions, physical homogeneity, manganese carbides.

Поступила 13.10.17