

УДК 669.14:66.065.5

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13Л ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Е. Н. ЖБАНОВА, Л. Н. САИТГАРЕЕВ, И. Э. СКИДИН

*Государственное высшее учебное заведение
«Криворожский национальный университет», Украина*

Г. А. БЯЛИК

Запорожский национальный технический университет, Украина

Ключевые слова: электровоздействие, сталь, структура, кристаллизация сплава, литье, пористость, бронь.

Введение

Главной задачей современного машиностроения является повышение качества выпускаемой продукции при снижении ее себестоимости. Среди многих показателей качества ответственных отливок для горно-металлургического оборудования основным является срок их работы.

Так, основными причинами недостаточно высокого качества стальной отливки «Бронь» являются пористость и раковины усадочного характера, особенно в тепловых узлах. Вследствие отсутствия направленного затвердевания и разности давлений над коркой металла и внутри раковины на поверхности отливки формируются значительные углубления, утончающие стенки детали и приводящие к снижению срока ее эксплуатации.

Легирование стали 110Г13Л хромом [1] и термическая обработка отливки обеспечивает повышенную стойкость броней, однако является энерго- и ресурсозатратным. Утепление прибылей с помощью засыпки экзотермическими и теплоизолирующими смесями приводит к ухудшению условий труда, а также к увеличению стоимости продукции. Существуют и другие методы управления литой структурой, направленные на снижение усадочных дефектов (рис. 1) [2], среди которых наиболее интенсивно развивающимися на сегодня являются способы регулирования физических свойств отливок путем воздействия на расплав электрическим током и ультразвуком [3], [4].



Рис. 1. Классификация физических методов воздействия на структуру

Работы по обработке расплавов электрическим током в процессе кристаллизации, в основном, проводились на цветных металлах [5], [6]. Имеются положительные результаты применения электрообработки при изготовлении отливок из чугунов [7]. Для указанных сплавов обработка электрическим током оказывает позитивное влияние на процессы тепломассопереноса и структурообразования, а также обуславливает направленную кристаллизацию в межэлектродном пространстве. Наряду с этим, ток, являясь внутренним источником энергии, дополнительно прогревает отливку и стабилизирует температурное поле по времени и по объему, что способствует снижению вероятности возникновения недоливов [8]. Это является особенно важным при получении тонкостенных литых изделий.

Целью работы является проведение комплекса исследований по изучению влияния электрообработки стали во время ее кристаллизации на структуру отливок и их качественные характеристики, поскольку электровоздействие тока на формируемую стальную отливку ранее не изучалось.

Основная часть

В условиях литейного цеха были проведены испытания технологии получения отливок «Броня» из стали 110Г13Л с применением электрообработки расплава в процессе его кристаллизации в литейной форме. Эксперименты проводились на разработанной авторами установке (рис. 2) в диапазоне значений силы тока от 25 до 40 А.

При формовке пенополистироловой модели были заформованы электроды из марганецсодержащей стали (рис. 3, а), через которые осуществлялась подача постоянного электрического тока с момента заливки жидкого расплава температурой 1490 °С до конца кристаллизации. При этом сопротивление в цепи через жидкий металл составило 0,2–0,3 Ом, а напряжение – 12–20 В.

Для анализа структуры сплава из термических узлов отливки (рис. 3, б) были вырезаны образцы размером 10 × 10 × 100 мм. Металлографические исследования проводились на оптическом микроскопе МИМ-8 при увеличении 200. Контроль макроструктуры по балу пористости осуществлялся согласно ГОСТ 10243–62.

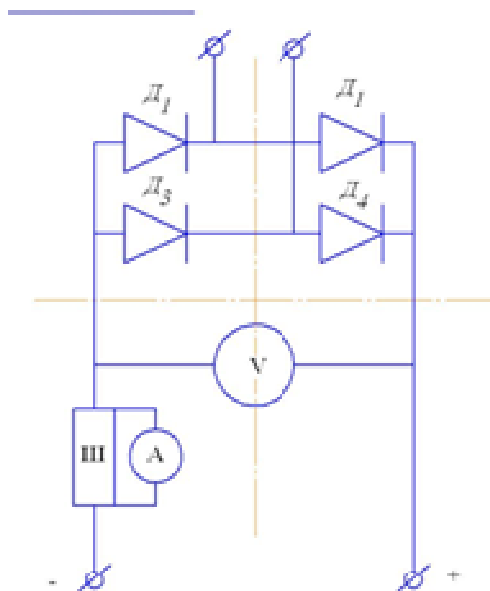


Рис. 2. Схема установки

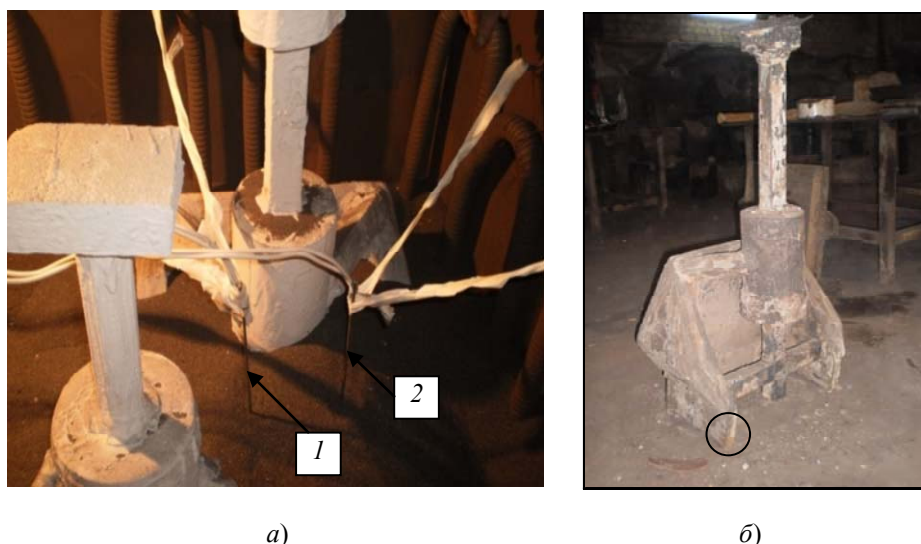


Рис. 3. Модель и готовая отливка: *а* – места подвода электродов: 1 – катод; 2 – анод; *б* – контролируемый термический узел

Далее литые заготовки «Броня» обрабатывались в одной садке по режиму: посадка в печь при температуре 350 °С; выдержка 1,5–2 ч; нагрев до 670–700 °С; выдержка 3 ч; нагрев до 1080–1120 °С; выдержка в течение 10–11 ч; закалка в воде. Затем детали были переданы в эксплуатацию на действующее производство для сравнения сроков их эксплуатации.

Результаты и обсуждение

Влияние электровоздействий на формирование кристаллической структуры и развитие усадочных дефектов показано на рис. 4. Установлено, что отливка, полученная без электрообработки, имеет открытые усадочные раковины; у отливки, подвергнутой воздействию постоянного тока, явно выраженные внешняя и внутренняя раковины отсутствуют.

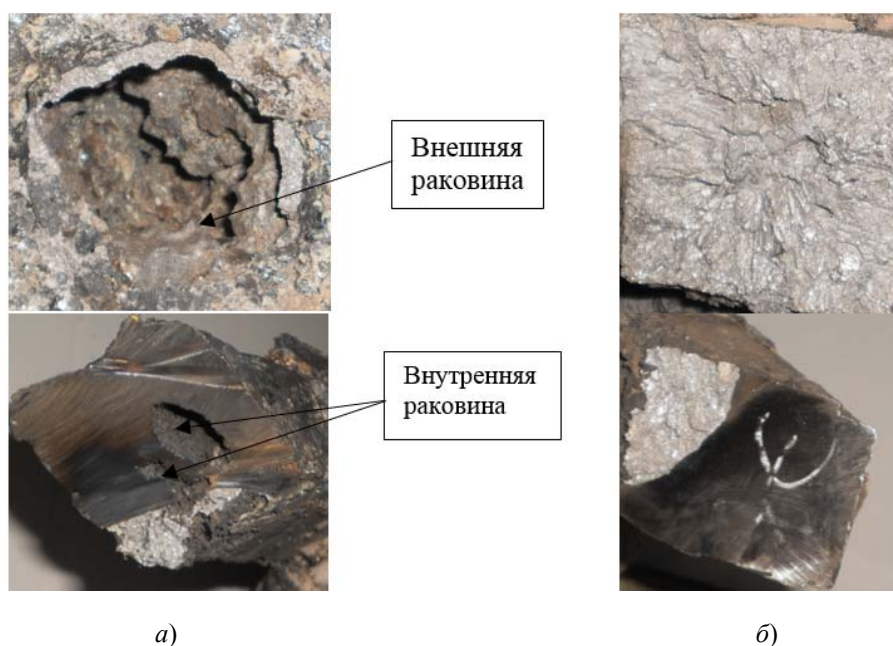


Рис. 4. Поверхностные и внутренние дефекты отливок: *а* – без обработки расплава; *б* – с обработкой расплава

Макроструктура удовлетворительная во всех образцах (рис. 5). Однако в образцах без электрообработки макроструктура более крупная (рис. 5, а) и зона дендритов протяженная. В результате электровоздействия наблюдается большая физическая однородность, уменьшаются объем и протяженность трещин, снижается содержание газов и неметаллических включений (рис. 5, б).

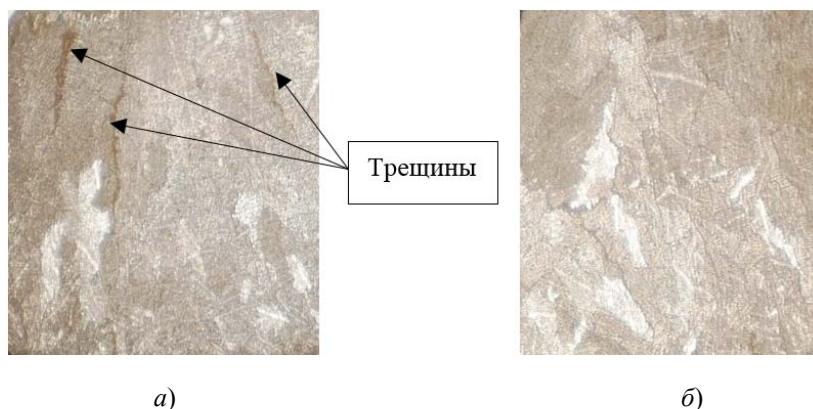


Рис. 5. Макроструктура исследуемых образцов:
а – базовый образец; б – образец после электрообработки

Микроисследование показало, что структура сплава по сечению исследуемых образцов одинаковая и состоит из аустенита, тонкопластинчатого перлита и карбидов, выделяющихся как внутри, так и по границам зерен, форма карбидов преимущественно игольчатая. Микростерно необрабатываемой током отливки (феррит) собрано в крупные скопления (рис. 6, а). В обработанной отливке (рис. 6, б) феррит распределен равномерно в объеме, зерно более мелкое. Неметаллические включения в обработанной отливке становятся мельче и их количество снижается в 1,5 раза. При этом наблюдается существенное уменьшение микропористости (см. таблицу).

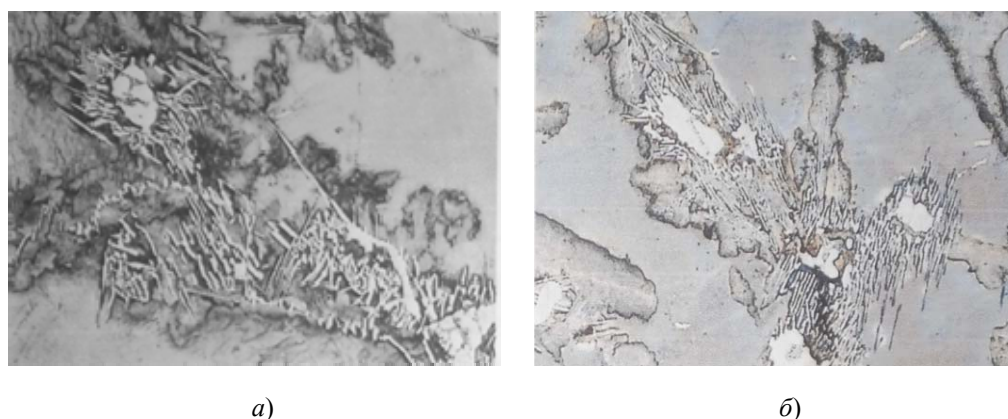


Рис. 6. Микроструктура сплава 110Г13Л в литом состоянии до термообработки:
а – без обработки расплава; б – с обработкой расплава

Изменение пористости в стали 110Г13Л до и после электровоздействия

Характеристики пор	Образец до обработки	Образец после обработки
Объемная доля пор, %	8,3	2,1
Расстояние между порами, мкм	223	764
Количество пор на 1 см ² , шт.	10–15	6–8
Диаметр пор, мкм	< 0,5	< 0,1

Исследование твердости образцов показало, что в отливке, полученной без электровоздействий, она составляет $242 \pm 0,08$ НВ, в образце после электрообработки твердость достигает $272 \pm 0,07$ НВ, что на 12,4 % больше.

Заключение

Электрический ток, проходя через жидкую сталь, увеличивает скорость образования критических зародышей, что приводит к активной кристаллизации. Металл в зоне объемной кристаллизации имеет более мелкую структуру и большую плотность благодаря существенному снижению микропористости, размера и количества неметаллических включений, а также дефектов усадочного характера. Твердость полученного сплава повышается на 12,4 %.

Анализ термически обработанных броней из стали 110Г13Л, полученных по предложенному способу повышения износостойкости стальных отливок в результате электровоздействия на расплав при кристаллизации, показал, что срок их эксплуатации может быть увеличен в 2 раза.

Литература

1. Sethian, J. A., Crystal growth and dendritic solidification / J. A. Sethian, J. Strain // J. Comput. Phys. – 1992. – Vol. 92. – P. 231–253.
2. Strain, J. A boundary integral approach to unstable solidification / J. Strain // J. Comput. Phys. – 1989. – Vol. 85. – P. 342–389.
3. Mikheev, L. M. Mobility of a diffuse simple crystal-meltinterface / L. M. Mikheev, A. A. Chernove // J. Cryst Grow. – 1991. – Vol. 112. – P. 591–596.
4. Исследование влияния облучения расплава наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) на процессы кристаллизации и структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства серых чугунов / Э. Х. Ри [и др.] // Тр. восьмого съезда литейщиков России. Том I. Черные и цветные сплавы. – Ростов н/Д, 2007. – С. 68–71.
5. Влияние наследственности на предусадочное расширение сплавов / И. Ф. Селянин [и др.] // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 6. – С. 15–17.
6. Знаменский, Л. Г. Электроимпульсные нанотехнологии в литейных процессах / Л. Г. Знаменский, В. В. Крымский, Б. А. Кулаков. – Челябинск : ЦНТИ, 2003. – 130 с.
7. Влияние температурно-временной и низкочастотной акустической обработок расплава на структурообразование в сплаве Al-5%Fe / Т. И. Яблонских [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2006. – Т. 102, № 5. – С. 522–527.
8. Влияние облучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами на ее строение, процессы кристаллизации и структурообразования и свойства литейных сплавов / Э. Х. Ри [и др.]. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 171 с.

Получено 04.04.2017 г.