

УДК 669.14:66.065.5

Е.Н. ЖБАНОВА, ассистент

Л.Н. САИТГАРЕЕВ, доцент, кандидат технических наук

В.В. ТКАЧ, профессор, кандидат технических наук

И.Э. СКИДИН, старший преподаватель

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 35ГЛ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА РАСПЛАВ В ПРОЦЕССЕ ЕГО КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Криворожский национальный университет

Рассмотрена зависимость качественных характеристик литых деталей из конструкционной стали марки 35ГЛ от воздействия электроимпульсного тока в процессе кристаллизации отливки. Показано, что электроимпульсная обработка расплава улучшает структуру литья и уменьшает пористость отливок. Ключевые слова: литье, сталь, кристаллизация электроимпульсное воздействие, структура, пористость, жидкотекучесть

Актуальность проблемы и ее связь с научными и практическими задачами. Высокие требования к качеству литых деталей способствуют разработке новых способов производства отливок, обеспечивающих сокращение дефектов макроструктуры (усадочная раковина, усадочная пористость и рыхлость).

Анализ достижений. Проблема улучшения структуры литой стали является предметом многочисленных исследований [1-3]. В литейном производстве наиболее широко применяются тепловые, механические и электромагнитные методы, направленные на повышение качества и свойств отливок из различных сплавов. Тепловые воздействия основаны на термовременной и термоскоростной обработке расплава, а также на управлении литой структурой путем изменения скорости затвердевания и градиента температуры. Различные механические методы базируются на перемещении одних микрообъемов материала относительно других (перемешивание, фильтрация, продувка газами, обработка ультразвуком и вибрацией). Электромагнитные методы заключаются в обработке расплава либо затвердевающей отливки электромагнитными полями.

Электрическая обработка расплавов в процессе плавки и кристаллизации является интенсивно развивающимся направлением регулирования физических свойств отливок. Наложение на жидкий кристаллизующийся металл электрического поля позволяет эффективно управлять движением расплава, процессами теплопереноса, структурой и свойствами отливок [4]. В работе [5] показано, что кристаллы алюминиевых и медных сплавов пронизаны многочисленными мелкими круглыми порами, наличие которых способствует снижению плотности отливки на 5 % по сравнению с ее физической плотно-

стью. Прохождение электрического тока через расплав указанных сплавов способствует снижению вероятности возникновения макро- и микродефектов структуры [6]. Обработка жидкого расплава электрическим током обуславливает направленную кристаллизацию в межэлектродном пространстве, что позволяет управлять процессом формирования структуры отливок. Наряду с этим электрический ток дополнительно прогревает отливку, стабилизируя температурное поле по времени и по объему.

Влияние электроимпульсных воздействий в процессе формирования структуры стальных отливок ранее не изучали, поэтому данное направление исследований является перспективным и актуальным

Постановка задачи. Целью данной работы является обоснование возможности снижения количества дефектов макро- и микроструктуры стальных отливок при применении электроимпульсной обработки расплава в процессе его кристаллизации.

Изложение основных материалов статьи и результаты. В условиях литейного цеха ООО «Гормашремонт» были проведены испытания технологии получения экспериментальных отливок из стали 35ГЛ с применением электроимпульсной обработки металла в процессе его кристаллизации. Заливку форм осуществляли при температуре 1510 °С методом литья по выжигаемым моделям. Электрическую обработку отливок производили электроимпульсным воздействием со следующими параметрами: сила тока – 40 А, скважность – 15, частота – 10,64 Гц; длительность электроимпульсной обработки расплава составляла 20 с (рис. 1).

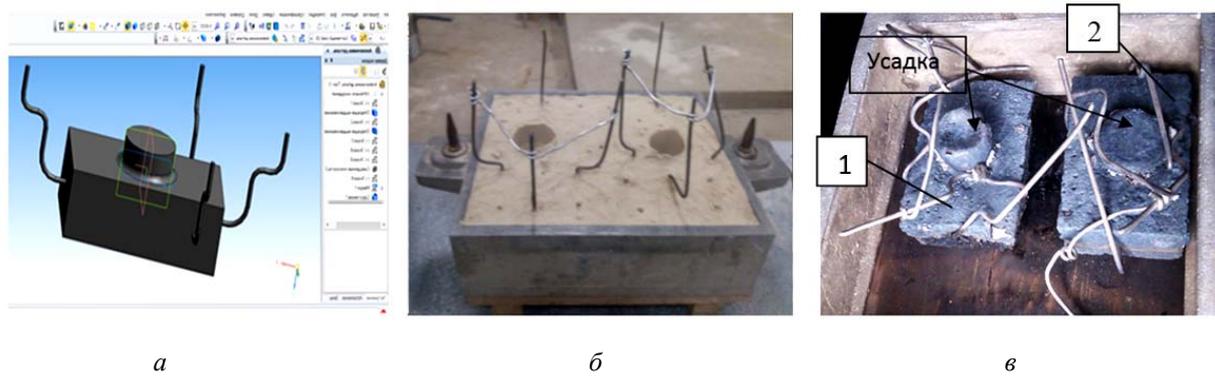


Рисунок 1 – Схема подвода тока к расплаву:
 а - модель отливки; б - верхняя полуформа с подводом электродов;
 в - полученные экспериментальные отливки

Согласно нормативным требованиям к отливкам из конструкционных сталей, к которым относится сталь 35ГЛ, усадка в отливке не должна превышать 3 % [7]. Установлено, что объемная усадка отливки (рис 1,в), полученной по литейной технологии без применения электроимпульсного воздействия в процессе кристаллизации металла, составила 3,7 %, а ее величина (рис. 1,в), после применения электроим-

пульсного воздействия – 2,1 %, то есть уменьшилась на 40...45 %. В экспериментальных отливках наблюдали улучшение литейных свойств металла: более эффективное заполнение формы.

Как показано на рис. 2,а, электроимпульсная обработка обеспечивает отсутствие в образце внутренних раковин и ярко выраженных пор, имеющихся в базовом образце (рис 2,б).



Рисунок 2 – Образцы, вырезанные из отливок стали 35ГЛ:
 а - после электроимпульсной обработке в процессе кристаллизации;
 б - без электроимпульсной обработки

Полученные результаты можно объяснить тем, что электрический ток разогревает локальные области и микрообъемы материала, обеспечивает стабилизацию температурного поля по объему отливки. Как показано в работе [8], электроимпульсное воздействие изменяет скорости конвективных потоков в расплаве: скорости потоков «смещения» от фронта затвердевания к центру слитка увеличиваются, что сопровождается разрушением структуры циркулиру-

ющих потоков. В целом, абсолютные значения скоростей периферийных (близких к корке затвердевания) потоков и восходящих потоков (близких к центру отливки) увеличиваются в 1,5...2,0 раза, что приводит к переходу от режима естественной конвекции к режиму вынужденной конвекции.

В литейном металловедении особое внимание уделяется формированию первичной структуры отливок, то есть структуры после первич-

ной кристаллизации и полного затвердевания металла. Нами проведены исследования по изучению влияния электроимпульсной обработки расплава на его первичную микроструктуру. Исследование фазового состава микроструктуры стали 35ГЛ и балла зерна выполняли на оптиче-

ском микроскопе «4хс-ν» с цифровой камерой, подключенной к компьютеру. Фотографии микроструктуры образцов, полученные при увеличениях $\times 100$ и $\times 500$, анализировали методом сравнения.

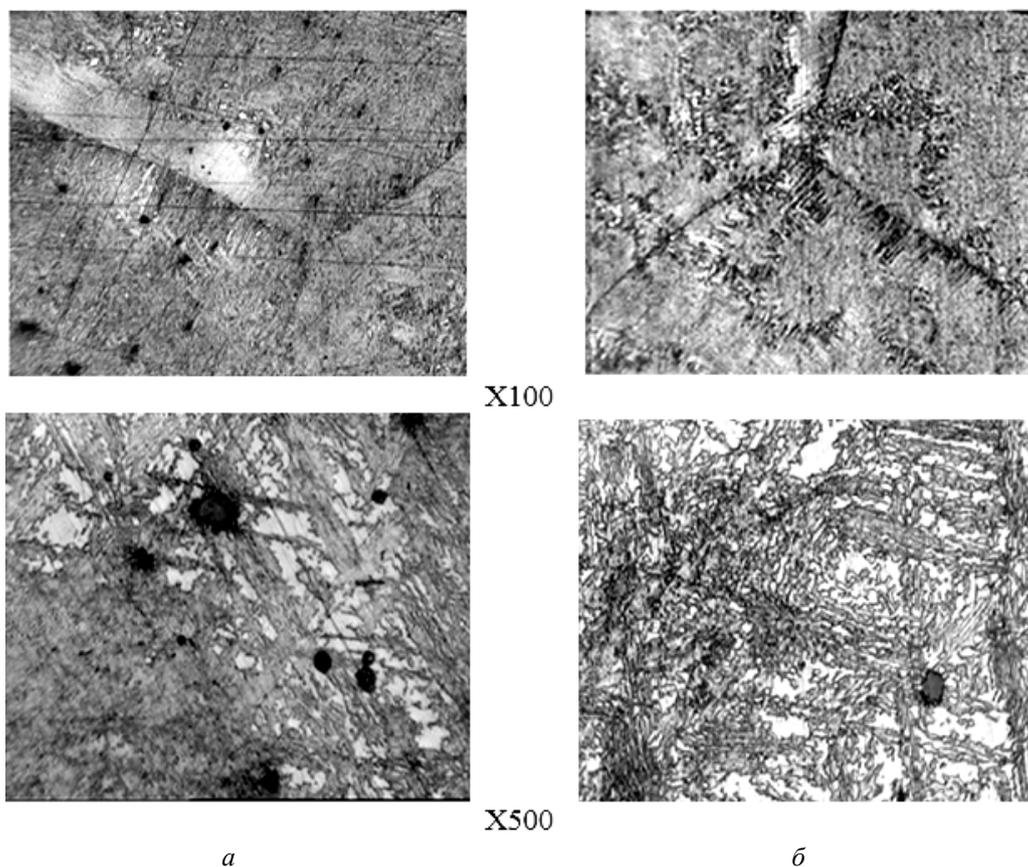


Рисунок 3 – Микроструктура образцов литой стали 35ГЛ без термической обработки

Как известно, особенностью литой стали 35ГЛ является грубозернистость ее строения, которая обуславливает невысокие механические свойства, особенно характеристики пластичности и вязкости, а также показатели сопротивления микропластическим деформациям металла. Исследования образца отливки показали, что при затвердевании образуются, преимущественно, кристаллы сложной формы – дендриты (рис 3,а). Балл зерна по [9] составляет 7, а показатель твердости, измеренный методом Бринелля [10], – 102 ед.

Изучение структуры образца отливки, полученного при электроимпульсной обработке кристаллизующегося металла, свидетельствует о значительном уменьшении дендритной ликвации (рис. 3,б) – разрушаются дендриты, измельчаются первичные зерна, диспергируются неметаллические включения в объеме зерен, а также неметаллические прослойки на границах пер-

вичных зерен, устраняется межкристаллитная пористость и существенно снижается химическая (ликвационная) неоднородность. Полученная микроструктура является однородной, феррито-перлитной, с выделением перлита в виде перлитной сетки. Балл зерна уменьшился до 8, что соответствует требованиям к марки стали 35ГЛ [11]. Твердость возрастает на 8 % и составляет 113 НВ.

Выводы. Обработка отливок из стали 35 ГЛ электроимпульсным током оказывает благоприятное влияние на процесс кристаллизации расплава в форме, что улучшает первичную структуру получаемой отливки и способствует сокращению таких дефектов, как наличие газовых раковин внутри и на поверхности изделия. Наблюдается улучшение литейных свойств металла: более эффективное заполнение формы и кристаллизация с меньшей усадкой, что способствует снижению пористости отливки.

Бібліографічний список

1. **Селянин, И. Ф.** Закономерности кристаллизации алюминиевых сплавов с различным содержанием железа и марганца / И. Ф. Селянин, В. Б. Деев, Н. В. Башмакова и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 2005. – № 6. – С. 48-50.
2. **Ковалевич, Е. В.** Исследование влияния облучения расплава наносекундными электромагнитными импульсами (НЭМИ) на процессы кристаллизации и структурообразования, физико-механические и эксплуатационные свойства серых чугунов / Е. В. Ковалевич, Х. Ри, Е. Б. Кухаренко, А. П. Ширшов // Труды восьмого съезда литейщиков России. Том I. Черные и цветные сплавы. – Ростов-на-Дону, 2007. – С. 68-71.
3. **Марков, А. И.** Ультразвуковая обработка материалов / А. И. Марков. – М. : Машиностроение, 1980. – 237 с.
4. **Селянин, И. Ф.** Влияние наследственности на предусадоочное расширение сплавов / И. Ф. Селянин, В. Б. Деев, А. П. Войтков и др. // Металлургия машиностроения. – 2005. – № 6. – С. 15-17.
5. **Знаменский, Л. Г.** Электроимпульсные нанотехнологии в литейных процессах / Л. Г. Знаменский, В. В. Крымский, Б. А. Кулаков. – Челябинск : Изд-во ЦНТИ, 2003. – 130 с.
6. **Бродова, И. Г.** Влияние температурно-временной и низкочастотной акустической обработок расплава на структурообразование в сплаве Al-5 % Fe / И. Г. Бродова, Т. И. Яблонских, А. В. Долматов и др. // Физика металлов и металловедение. – 2006. – Т. 102, № 5. – С. 522-527.
7. **Ри, Э. Х.** Влияние облучения жидкой фазы наносекундными электромагнитными импульсами на ее строение, процессы кристаллизации и структурообразования и свойства литейных сплавов / Э. Х. Ри, Хосен Ри, С. В. Дорофеев и др. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 171 с.
8. **Ри, Хосен.** Об упорядочении структуры ближнего порядка жидких чугунов при охлаждении / Хосен Ри, В. А. Тейх // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1980. – № 11. – С. 123-126.
9. **ГОСТ 5639-82.** Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Дейст. с 01.01.83. – М. : ИПК Изд-во Стандартов, 1983. – 21 с.
10. **ГОСТ 9012-59.** Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю : Дейст. с 01.01.60. – М. : Стандартиформ, 2007. – 40 с.
11. **ГОСТ 977-88.** Отливки стальные. Общие технические условия: - Действующий с 01.01.90. – М. : ИПК Изд-во Стандартов, 2004. – 35 с.

ЖБАНОВА ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА, асистент кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, Криворізький національний технічний університет (Кривий Ріг, Україна). E-mail: zhbanova.olena@gmail.com

САЙТГАРЕЄВ ЛЕВАН НАІЛЬОВИЧ, кандидат технічних наук, доцент кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, Криворізький національний технічний університет (Кривий Ріг, Україна). E-mail: slevan@rambler.ru

ТКАЧ ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, кандидат технічних наук, професор кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, Криворізький національний технічний університет (Кривий Ріг, Україна). E-mail: tkach_v-v@mail.ru

СКІДІН ІГОР ЕДУАРДОВИЧ, старший викладач кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва, Криворізький національний технічний університет (Кривий Ріг, Україна). E-mail: skidin_igor@mail.ru

ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИЛИВОК З СТАЛІ 35ГЛ ЗА ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА РОЗПЛАВ ПІД ЧАС ЙОГО КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Розглянуто залежність якісних характеристик литих деталей з конструкційної сталі марки 35ГЛ від дії електроімпульсного струму під час кристалізації вилівка. Показано, що електроімпульсна обробка розплаву покращує структуру лиття та зменшує пористість вилівоків.

Ключові слова: литво, сталь, кристалізація, електроімпульсна дія, структура, пористість, рідкоплинність

ZHBANOVA HELEN, Assistant of Department of Ferrous Metals and Foundry, Krivorozhskij National University (Krivoy Roh, Ukraine); E-mail: zhbanova.olena@gmail.com

SAITGAREEV LEVAN, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Ferrous Metals and Foundry, Krivorozhskij National University (Krivoy Roh, Ukraine); E-mail: slevan@rambler.ru

TKACH VITALIY, Candidate of Technical Sciences, Professor of Department of Ferrous Metals and Foundry, Krivorozhskij National University (Krivoy Roh, Ukraine). E-mail: tkach_v-v@mail.ru

SKIDIN IGOR, Senior Teacher of Department of Ferrous Metals and Foundry, Krivorozhskij National University (Krivoy Roh, Ukraine); E-mail: skidin_igor@mail.ru

IMPROVEMENT OF THE QUALITY OF CASTINGS FROM THE STEEL 35GL IN ELECTROPULSE IMPACT ON THE MELTING OF THE CRYSTALLIZATION PROCESS

The dependence of the quality characteristics of cast parts from structural grade 35GL on the effect of electric pulse current in the process of crystallization of castings is considered. It is shown that the electroprocessing of the melt improves the casting structure and reduces the porosity of the castings.

Keywords: foundry, steel, crystallization, electroimpulse action, structure, metal, porosity, fluidity

Стаття надійшла до редакції 10.03.2017 р.
Рецензент, проф. Г.В. Губін

Текст даної статті знаходиться на сайті ЗДІА в розділі Наука
<http://www.zgia.zp.ua>