

ЛИВАРНЕ ВИРОБНИЦТВО

УДК 669.14:66.065.5

© Жбанова О.М.¹, Саїтгарєєв Л.Н.²

ЗНИЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ НЕОДНОРІДНОСТІ СПЛАВУ 35ГЛ ШЛЯХОМ МОДИФІКУВАННЯ ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНИМ СТРУМОМ У ПРОЦЕСІ КРИСТАЛІЗАЦІЇ

Розглянуто метод обробки розплаву при кристалізації, який дозволяє отримувати якісні виливки сталі марки 35ГЛ. Показано, що електроімпульсна обробка розплаву покращує структуру і зменшує фізичну неоднорідність виливків, а також підвищує швидкість розчинення металевих домішок та інших компонентів в розплаві, що забезпечує дрібнокристалічну структуру та підвищує гомогенність металу, зменшує бал карбідів марганцю, знижує вміст газів і неметалічних включень.

Ключові слова: електроімпульсна обробка, конструкційна сталь, структура, кристалізація, неметалеві включення, фізична неоднорідність, карбіди марганцю.

Жбанова Е.Н., Саїтгарєєв Л.Н. Снижение структурной неоднородности сплава 35ГЛ путем модифицирования электроимпульсным током в процессе кристаллизации. Рассмотрен метод обработки кристаллизующегося сплава, который позволяет получать качественные отливки из стали марки 35ГЛ. Показано, что электроимпульсная обработка расплава улучшает структуру и уменьшает физическую неоднородность отливок. Обработка расплава током существенно повышает скорость растворения металлических примесей и других компонентов в расплаве, а также обеспечивает мелкокристаллическую структуру, повышает гомогенность металла отливки, уменьшает бал карбидов марганца, снижает содержание газов и неметаллических включений.

Ключевые слова: электроимпульсная обработка, конструкционная сталь, структура, кристаллизация, неметаллические включения, физическая неоднородность, карбиды марганца.

O.M. Zhbanova, L.N. Saithareyev. Reduction of structural inhomogeneity of 35GL alloys through modification by means of electric emission current in the process of crystallization. The method of a crystallizing alloy processing which makes it possible to obtain high-quality castings from 35GL steel has been considered. It has been shown that the electro impulse treatment of the melt improves the structure and reduces the physical heterogeneity of the castings. Processing of the melt with a current substantially increases the dissolution rate of metallic impurities and other components in the melt, provides a fine-grained structure, increases the homogeneity of the cast metal as well. The structural heterogeneity decreases as a result of the change in morphology and disorientation and as a result of manganese carbides grinding the size and quantity of the grain ball decrease from 7 to 8. Physical heterogeneity reduces due to the changes in the location and size of pores and nonmetallic inclusions; the content of gases and non-metallic inclusions reduces as well. In this article, studies of the modification of certain parameters by the electric impulse current, have been made. It results in a significant increase in the basic mechanical properties of the 35GL cast structural steel: the tensile strength increases by 9%, the toughness increases by 21%, and the hardness by 6% without changing the chemical composition of the steel, due to the fine grain structure.

¹ асистент, ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, lutvo.metalov@gmail.com

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, slevann@rambler.ru

Keywords: electro impulse treatment, steel, structure, nonmetallic inclusions, physical homogeneity, manganese carbides.

Постановка проблеми. У зв'язку з необхідністю економії матеріальних ресурсів у багатьох галузях промисловості, зокрема машинобудуванні, нагальною є потреба у розробці та впровадженні новітніх ресурсозберігаючих технологій. Актуальним завданням для металургійних підприємств залишається обробка розплаву для поліпшення його фізико-механічних властивостей. Основними факторами, які зумовлюють механічні властивості виливок, є фізична неоднорідність (мікротріщини, пористість, раковини), структурна неоднорідність (різний розмір зерна, різна кількість і характер фаз) та хімічна неоднорідність (нерівномірний розподіл компонента).

Існуючі методи зменшення фізичної та структурної неоднорідності базуються на рафінуванні металу, способах спеціальної електрометалургії, впливі зовнішніх полів під час кристалізації розплаву. Неможливість повністю усунути структурну неоднорідність у виливках, використовуючи тільки технологічні заходи, пов'язані з підготовкою розплаву і заливанням його у форму, пояснюється тим, що її утворення відбувається в процесі затвердіння виливка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для підвищення якості та властивостей виливків все більшого застосування знаходить метод впливу електричного струму на розплав при кристалізації [1]. Накопичені експериментальні та теоретичні дані свідчать про можливість впливу на металевий розплав у ливарній формі електричним струмом з метою управління потоками іонів і зміни вмісту компонентів по перетину виливка. Такі технологічні рішення дають можливість отримувати литі вироби з підвищеним вмістом необхідних компонентів у поверхневому шарі і знижувати їх вміст у тілі виливка. У зв'язку з цим представляє великий теоретичний і практичний інтерес проведення дослідження впливу електроімпульсного струму на кристалізаційні параметри конструкційних марганцевмісних сталей.

Імпульсний струм характеризується істотно нелінійним короткочасним характером протікання, який забезпечується розрядкою накопичувача електричної енергії на навантаженні. Імпульсно-періодичне струмове навантаження сплаву при кристалізації має певні переваги перед режимами постійного і змінного струму [2]. Насамперед, це більш низькі енерговитрати при одночасному зменшенні втрат на нагрів металу. Але роботи по вивченню механізмів і пошуку оптимальних схем такої обробки поки тільки розпочато і знаходяться на стадії лабораторних досліджень.

Роботи по обробці розплавів електричним струмом в процесі кристалізації, в основному, проводилися на кольорових металах [3-5]. Є позитивні результати застосування електрообробки при виготовленні виливків з чавунів [6-7]. Для зазначених сплавів обробка електричним струмом справляє позитивний вплив на процеси тепломасопереносу та структуроутворення, а також обумовлює спрямовану кристалізацію в міжелектродному просторі. Це є особливо важливим при отриманні тонкостінних литих виробів.

Слід зазначити, що електродія струму на марганцевмісні сталеві розплави раніше не вивчалася, тому потрібне проведення комплексу досліджень по вивченню впливу електрообробки сталевих розплавів під час кристалізації на структуру виливків та їх якісні характеристики.

Метою досліджень є обґрунтування можливості підвищення якості виливків із марганцевмісної конструкційної сталі 35ГЛ без введення додаткових легуючих елементів у результаті модифікування електроімпульсним струмом в процесі кристалізації розплаву.

Виклад основного матеріалу. У лабораторних умовах плавильного павільйону ДВНЗ «Криворізький національний університет» була випробувана технологія отримання дослідної партії виливків (розміри 35×45×80 мм) з металевих сплавів 35ГЛ, що включає модифікування імпульсним електричним струмом при кристалізації у ливарній формі.

Модифікування виливків із марганцевмісних конструкційних сталей здійснюється у результаті пропускання крізь розплав електроімпульсного струму частотою 5-33 Гц з щільністю 1,8-3,8 А/см², скважністю 5-24, силою 20-40 А, при підтримці напруги у межах 180-240 В через заформовані в піщано-глинисту форму електроди, які контактують безпосередньо з металом у процесі знаходження його в рідкому, твердо-рідкому стані і до закінчення кристалізації (рис. 1).

Металографічні дослідження отриманих зразків проводилися на оптичному мікроскопі МІМ-8 при збільшенні, що дорівнює 100. Контроль мікроструктури сплаву здійснювався згідно ГОСТ 10243-75.

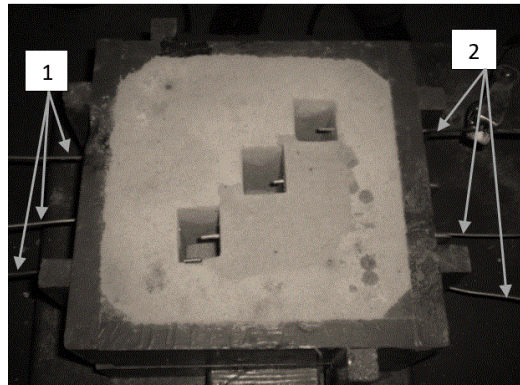


Рис. 1 – Піщано-глиниста форма для заливки зразків з підведенням імпульсного струму: 1 – катод, 2 – анод

У результаті електроімпульсної обробки литого металу його структура має більшу фізичну однорідність на відміну від базового зразка без електрообробки. На нетравленому шліфі базового зразка виявлені окремі скупчення неметалічних включень (екзогенних) (рис. 2, а). На більшості полів зору шліфа, обробленого струмом під час кристалізації, спостерігається дезорієнтовані включення розміром до 10 мкм (рис. 2, б). При обробці виливків електроімпульсним струмом з указаними параметрами кількість неметалевих включень зменшується у 1,4-2,5 рази. Твердість по Брінеллю зростає на 11 од. і становить 213 НВ.

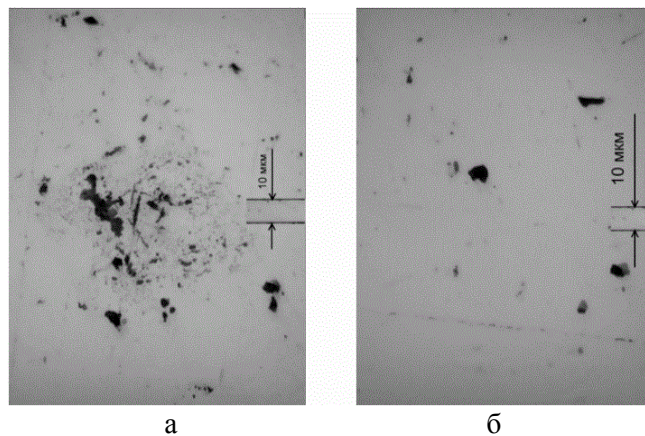


Рис. 2 – Мікроструктура литої сталі на нетравленому шліфові: а – базовий зразок; б – зразок після електроімпульсної обробки

Металографічні шліфи для виявлення мікроструктури труїли в 4% спиртовому розчині азотної кислоти. Мікроструктура базового зразка була неоднорідною – на тлі аустенітної структури спостерігали ділянки перлітної (рис. 3, а).

Мікроструктура зразка після електрообробки представлена на рисунку 3, б. Це практично однорідна аустенітна структура з дезорієнтованими частинками карбідів марганцю. Обробка електричним струмом вплинула на розмір і кількість карбідів марганцю. Бал зерна карбідів марганцю зменшився з 7 до 8.

В процесі експериментів встановлено, що об'ємна частка карбідів Mn змінюється в залежності від щільності токового впливу на розплав. Слід зауважити, що при силі струму більше 40 А збільшується об'ємна частка карбідів Mn і зменшуються їх середні розміри. При силі струму, меншій за 20А, істотних змін в розмірах і частці карбідів по перетину виливку не спостерігалось.

В результаті аналізу макроструктури сплаву встановлено, що розмір зерна виливка, який сформувався під дією електроімпульсно впливу, на 10-15% менше, ніж в аналогічній частині контрольного виливка. Зразок, який модифіковано електроімпульсним током, має в 1,15 рази

менші розміри дендритних осередків α -фази (у порівнянні з контрольним зразком), причому фаза в ході кристалізації виділяється в компактній формі. Авторами було зафіксовано і зменшення кількості макро- і мікропор в експериментальних зразках: при модифікуванні з силою струму 20А – в 1,8 рази, при силі струму 40А – в 2,3 рази.

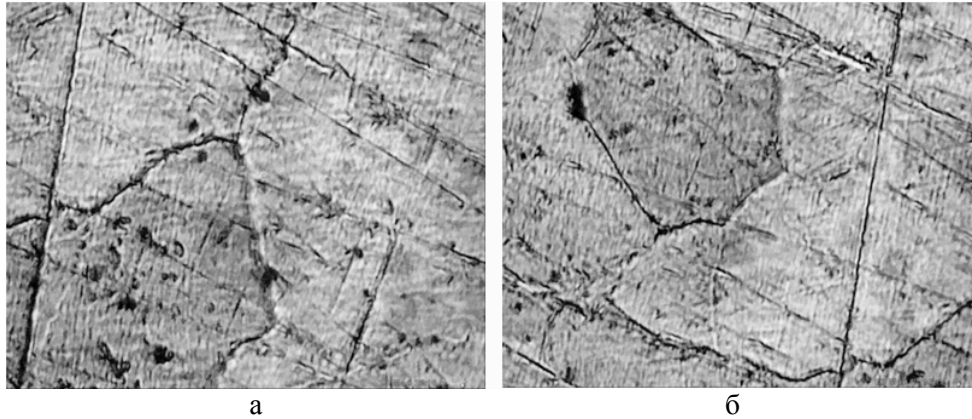


Рис. 3 – Мікроструктура литої сталі 35ГЛ: а – базовий зразок; б – зразок після електроімпульсної обробки

При обробці розплаву електричним імпульсним струмом частотою 5-33 Гц щільністю 1,8-3,8 А/см², скважністю 5-24, силою струму 40А, при підтримці напруги у межах 180-240 В модифікуючий ефект структурної однорідності (рис. 4) є найбільшим і полягає у величині зерен і довжині дендритів виливка. Зона стовпчастих кристалів має високу щільність, оскільки має незначну кількість газових бульбашок і раковин.

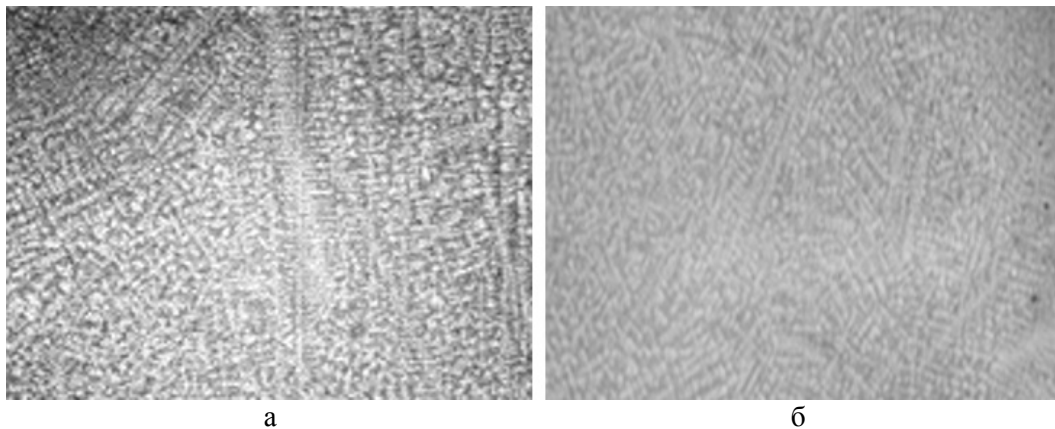


Рис. 4 – Макроструктура литої сталі 35 ГЛ ($\times 12$): а – базовий зразок; б – зразок після електроімпульсної обробки

Аналіз макроструктури базового зразка показав, що структурна зона внутрішньої частини виливка складається з різноосних різноорієнтованих дендритних кристалітів (рис. 4, а), у наружній частині присутня зона стовпчастих кристалів, де можуть виникати тріщини.

Модифікування рідкого металу електроімпульсним струмом сприяє розвитку зони дрібних рівноосних кристалітів (рис.4, б). Зона стовпчастих кристалів має високу щільність, оскільки має незначну кількість газових бульбашок і раковин унаслідок зменшення відстані між дендритами.

Напрямок осей першого порядку дендритів переважно збігається з напрямком відведення тепла (знизу-вгору) і поздовжньою віссю зразка. До верхньої частини зразка був прикладений позитивний електрод, до нижньої – негативний. Таким чином, дендрити витягнуті в напрямку від катода до анода.

При зміні полярності спостерігається хаотична орієнтація осей дендритів по відношенню до поздовжньої осі зразка, яка не збігається з напрямком відведення тепла. Розвитку дендритів в поздовжньому напрямку, найбільш вигодоно, перешкоджає електричний струм, що проходить через зразок.

Як показав аналіз мікроструктури зразків, первинне зерно металеві основи подрібнюється унаслідок виникнення та зростання центрів кристалізації в металевому розплаві, що приводить до поліпшення фізико-механічних властивостей сталі 35ГЛ (таблиця) після термічної обробки. Після властивості міцності сталі 35ГЛ збільшилися в середньому на 12% в порівнянні зі сталлю в межах похибки вимірювань (5,0%).

Таблиця

Фізико-механічні властивості сталі 35ГЛ

Характеристика зразків	Межа міцності, МПа	Ударна в'язкість, кДж / м ²	Твердість по Брінеллю (без гартування)
Базовий зразок	503	243	202
Зразок після модифікування електроімпульсним струмом	540	296	213

Висновки

Електроімпульсна обробка розплаву сталі 35ГЛ при його кристалізації у ливарній формі сприяє зниженню вмісту газів і неметалевих включень при їх більш рівномірному розподілі, крім того, спостерігається суттєве зменшення фізичної неоднорідності.

Модифікування електроімпульсним струмом частотою 5-33 Гц, щільністю 1,8-3,8 А/см², скважністю 5-24, силою 20-40 А при підтримці напруги у межах 180-240В забезпечує істотне підвищення основних механічних властивостей литої конструкційної сталі 35ГЛ: межа міцності збільшується на 9%, ударна в'язкість – на 21%, твердість – на 6%.

Перелік використаних джерел:

1. Иванов А.В. Электротокковая обработка жидких и кристаллизующихся сплавов в литейных технологиях / А.В. Иванов, А.В. Синчук, В.Н. Цуркин // Электронная обработка материалов. – 2011. – № 5, том 47. – С. 89-98.
2. Влияние наследственности на предсадочное расширение сплавов / И.Ф. Селянин [и др.] // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2005. – № 6. – С. 15-17.
3. Миненко, Г.Н. Об энергетическом воздействии на металлический расплав / Г.Н. Миненко // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2006. – № 3. – С. 10-12.
4. Миненко Г.Н. Физическая модель воздействия электрического тока на процесс кристаллизации сплава / Г.Н. Миненко, Ю.А. Смирнова // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2009. – № 3. – С. 48-49.
5. Воздействие электрического тока на жидкий алюминиевый сплав / В.И. Якимов [и др.] // Metallurgiya mashinostroeniya. – 2003. – № 3. – С. 36-39.
6. Тимченко С.Л. Исследование кристаллизации сплава под действием электрического тока / С.Л. Тимченко // Расплавы. – 2011. – № 4. – С. 53-61.
7. Кольчурина И.Ю. Влияние внешних воздействий на микроструктуру кристаллизующегося сплава / И.Ю. Кольчурина, И.Ф. Селянин // Литейное производство. – 2009. – № 8. – С. 13-15.

References:

1. Ivanov A.V., Sinchuk A.V., Tsurkin V.N. Elektrotokovaya obrabotka zhidkih i kristallizuyushchih splavov v liteyniyah tehnologiyah [Electro-current treatment of liquid and crystallizing alloys in foundry technologies]. *Elektronnaya obrabotka materialov – Electronic material processing*. 2011, no. 5, pp. 89-98. (Rus.)
2. Selyanin I.F., Deev V.B., Voytkov A.P. Vliyanie nasledstvennosti na predusadochnoe rasshirenie splavov [Influence of heredity on the pre-plant expansion of alloys]. *Metallurgiya mashinostroeniya – Metallurgy of machine building*, 2005, no. 6, pp. 15-17. (Rus.)
3. Minenko G.N. Ob energeticheskom vozdeystvii na metallicheskiy rasplav [On the energy impact on a metallic melt]. *Metallurgiya mashinostroeniya – Metallurgy of machine building*, 2006, no. 3,

- pp. 10-12. (Rus.)
4. Minenko G.N. Fizicheskaya model vozdeystviya 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 – Metallurgy of machine building*, 2009, no. 3, pp. 48-49. (Rus.)
 5. Yakimov V.I., Marin B.N., Zelinskiy V.V., Zapletin M.A. Vozdeystvie elektricheskogo toka na zhidkiy alyuminiyevyy splav [The effect of electric current on liquid aluminum alloy]. *Metallurgiya mashinostroeniya – Metallurgy of machine building*, 2003, no. 3, pp. 36-39. (Rus.)
 6. Timchenko S.L. Issledovanie kristallizatsii splava pod deystviem elektricheskogo toka [Investigation of alloy crystallization under the influence of electric current]. *Rasplavyi – Melt*, 2011, no. 4, pp. 53-61. (Rus.)
 7. Kolchurina I.Y., Selyanin I.F. Vliyanie vneshnih vozdeystviy na mikrostrukturu kristallizuyusche-gosya splava [The influence of external influences on the microstructure of the crystallizing alloy]. *Liteynoe proizvodstvo – Foundry*, 2009, no. 8, pp. 13-15. (Rus.)

Рецензент: Г.В. Губін
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «КНУ»

Стаття надійшла 29.04.2017