

- В. Рубаник, В. В. Рубаник мл., Д. А. Багрец, В. Г. Дородейко; заявители: ГНУ «ИТА НАН Беларуси», ЗАО «Медицинское предпр. Симург». – № а 20130042; опубл. 30.10.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2015. – № 5. – С. 43.
3. Shape memory alloys : fundamentals, modeling and applications / V. Brailovski, S. Prokoshkin, P. Terriault and F. Trochu. – Montreal: ETS Publ., 2003. – 844 p.

УДК 621.9.048.6+669-154:534.8

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЧУГУНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Савицкий В.О., м.н.с., Луцко В.Ф., с.н.с., Рубаник В.В., д.т.н.

*Институт технической акустики НАН Беларуси,
г. Витебск, Республика Беларусь*

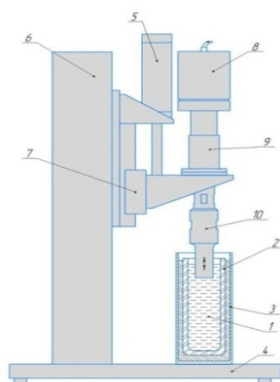
Реферат. В статье рассмотрено влияние ультразвуковой обработки расплавленного чугуна на его структуру.

Ключевые слова: чугун, ультразвуковая обработка, расплав, графит.

Ультразвуковая обработка металлов и сплавов является одним из наиболее эффективных способов улучшения их физико-механических и эксплуатационных свойств [1–3]. Вводимые в расплав ультразвуковые колебания интенсифицируют процесс дегазации, способствуют дополнительному перемешиванию расплава, препятствуют возникновению дендритной ликвации и концентрации неметаллических включений на границах зерен, что положительно влияет на формирование однородной структуры металла в процессе кристаллизации. Наряду с этим, мощный ультразвук позволяет в процессе модифицирования вводить в металл различные композитные элементы и тугоплавкие лигатуры, воздействуя непосредственно на кристаллическую решетку [4–6].

Ультразвук повышает механические свойства затвердевших расплавов и намного улучшает способность металла к пластической деформации. Воздействуя на фронт кристаллизации силуминов, ультразвуковая волна разрушает дендриты, способствует их измельчению. Обработка расплава ультразвуком приводит к формированию газовых зародышей, их коагуляции, что ускоряет процесс дегазации. В результате обработка расплавов силуминов при кристаллизации позволяет измельчить эвтектику, снизить газовую пористость слитков и повысить предел их прочности на разрыв на 20...40 % [7]. Чугун, например, становится прочнее, сопротивление разрыву возрастает более чем в три раза. К тому же после такой операции металл почти не поддается коррозии. Важно, что обработанный таким образом чугун приобретает свойства стали, а по некоторым данным даже превосходит ее [8].

Для исследования влияния воздействия ультразвуковых колебаний на структуру и свойства кристаллизующегося металла в ИТА НАН Беларуси была создана экспериментальная установка, основные узлы которой: ультразвуковой генератор и акустическая система, пневматический пресс, литейная оснастка и компрессор (рис. 1).



а



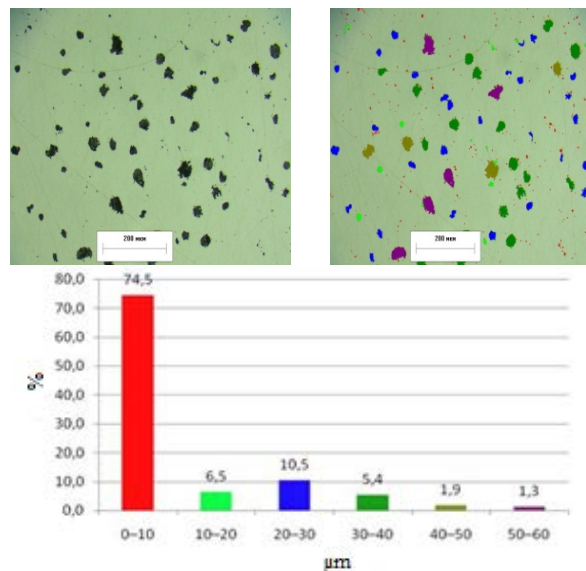
б

Рисунок 1 – Схема ввода ультразвуковых колебаний в кристаллизующий расплав (а) и вид экспериментальной установки (б): 1 – расплав, 2 – кокиль, 3 – стакан, 4 – основание, 5 – пневмоцилиндр, 6 – стойка, 7 – механизм перемещения, 8 – пьезоэлектрический преобразователь, 9 – бустер, 10 – излучатель

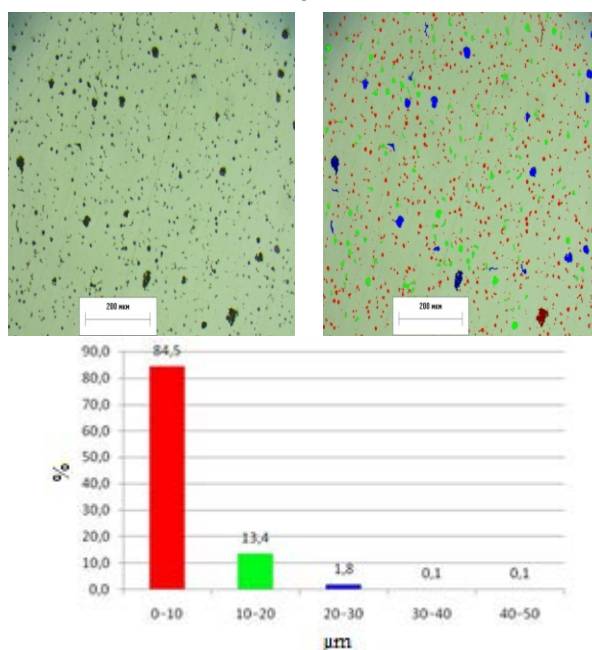
Целью данной работы являлось улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств железо-углеродистых сплавов путем ультразвукового воздействия на стадии динамического затвердевания отливок.

Источником ультразвуковых колебаний служил ультразвуковой генератор УЗГ-20-15 с частотой 22,4 кГц и мощностью 0,7кВт. Для передачи колебаний в расплав использовали акустические волноводы из жаропрочного сплава.

Разработанное оборудование позволило исследовать влияние ультразвуковых колебаний на структуру и свойства чугуна при кристаллизации.



а



б

Рисунок 2 – Микроструктура и распределение частиц графита по размеру для исходного (а) и после ультразвуковой обработки (б) чугуна

Модифицированный расплав чугуна заливали в графитовую форму и подвергали ультразвуковому воздействию в течение 5 минут (рис. 1). Из полученных отливок чугуна вырезали продольные образцы для оценки микроструктуры и механических свойств. Микроструктуру чугуна исследовали на металлографическом комплексе МИКРО-200, оснащённом программным обеспечением Image-Pro Plus 5.1, которое позволило автоматизировать процесс обьема геометрических размеров шаровидных включений

графита и занимаемую ими удельную площадь (рис. 2).

Установлено, что после ультразвуковой обработки (УЗО) расплава чугуна наблюдается заметное измельчение графитовых включений, а также более равномерное их распределение по объёму (рис. 2). Так, без ультразвуковой обработки расплава в чугуне присутствовали графитовые включения вплоть до 60 мкм, доля включений размером до 10 мкм составляла 74,5 %, от 10 до 30 мкм – 17 %. После УЗО расплава чугуна графитовое включение более 50 мкм отсутствовало. Доля включений размером до 10 мкм выросла до 84,5 %, доля графита размером до 30 мкм уменьшилась до 15,2 %, а включений размером больше 30 мкм осталось всего 0,3 %, тогда как без УЗО их доля составляла более 8 %. Рентгеноструктурный анализ образцов изменений не выявил.

Анализ результатов дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) показал (рис. 3), что в процессе нагревания при пересечении линии PSK на диаграмме состояния Fe-C материал испытывает превращение $\alpha\text{Fe} \rightarrow \gamma\text{Fe}$ (пик 793 °С). При охлаждении происходит обратное превращение $\gamma\text{Fe} \rightarrow \alpha\text{Fe}$ (пик 682,4 °С). Незначительное различие в энергиях прямого и обратного превращений в этом и других образцах, возможно, связано с неопределённостью их исходного состояния (количества в них мартенсита, феррита и остаточного аустенита). Также на ДСК-диаграммах образцов (рис. 3) кроме пиков прямого и обратного превращения железа наблюдаются дополнительные пики в диапазоне температур 709–725 °С, что связано с образованием новых фаз в результате модифицирования исходного чугуна.

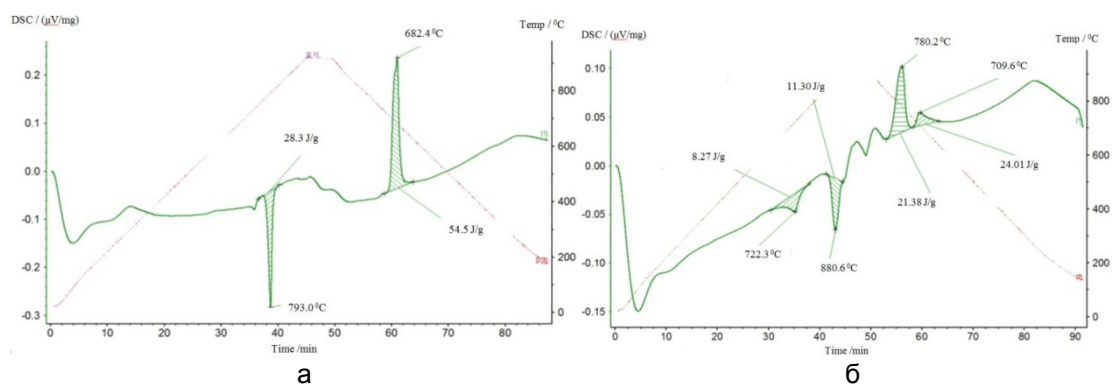


Рисунок 3 – DSC-кривые исходного образца (а) и после УЗО (б)

Таким образом, ультразвуковая обработка расплава чугуна в процессе его кристаллизации приводит к значительному измельчению графита, что, в свою очередь, должно привести к существенному улучшению физико-механических и эксплуатационных свойств.

Список использованных источников

1. Абрамов, В. О. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / В. О. Абрамов, [и др.] // М.: Янус-К, 2006. – 688 с.
2. Ефимов? В. А. Технологии современной металлургии / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов // М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
3. Воздействие мощного ультразвука на жидкие и твердые металлы / О. В. Абрамов. – М.: Наука, 2000. – 312 с.
4. Leighton T.G. The Acoustic Bubble. London: Academic Press, 1994.
5. Margulis, M.A. Sonochemistry and Cavitation. London: Gordon&Breach, 1996.
6. Ensminger D., Bond L.J. Ultrasonics: Fundamentals, Technologies, and Applications. Boca Raton: CRC Press, 2012.
7. Марукович, Е. И., Стеценко, В. Ю., Гутев, А. П., Рубаник, В. В., Луцко, В. Ф. Применение ультразвука при литье силуминов в кристаллизатор.
8. Хорбенко, И. Г. «Звук, ультразвук, инфразвук» // И. Г. Хорбенко. – Москва : Издательство «Знание», 1986.