

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ РАЗЛИЧНОГО СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ

¹Волочко А.Т., ²Рубаник В.В., ³Nofal A., ¹Ковалько М.С.

¹ГНУ «ФТИ НАН Беларуси»

²ГНУ «ИТА НАНА Беларуси»

³CMRDI Cairo, Egypt

kovalko.m@mail.ru

Новые направления развития современного машиностроения требуют использования более технологичных материалов с широким диапазоном возможных способов повышения их физических и механических свойств. Применительно к чугунам, изменяя исходный химический состав, кинетику кристаллизации и режимы последующей термической обработки данного материала, можно добиться различных сочетаний показателей прочностных и пластических свойств.

Как известно [1], чугуны обладают гетерогенной структурой, что позволяет использовать различные способы упрочнения направленные как на изменение размеров и морфологии графитной фазы (в случае если углерод находится в свободном состоянии), так и на изменение типа металлической основы сплава. Наиболее известным приемом, позволяющим контролировать размер графитных включений и их размерное распределение, является модифицирование чугунов [2]. Получаемые в данном случае высокопрочные чугуны обладают хорошим уровнем пластичности и прочности. Применение разрабатываемых в последнее время модификаторов позволяет получить в высокопрочных чугунах все большую конструкционную прочность [3]. Однако, при новых задачах повышения комплекса эксплуатационных свойств чугунов, требующих снижения расхода применяющихся легирующих элементов и модификаторов, актуальным является поиск новых способов контролируемого воздействия на процесс формирования структурных составляющих в процессе их кристаллизации. Перспективным в данном случае является использование внешних источников физического воздействия на жидкий расплав – акустических, электрических, магнитных и др.

Особый интерес вызывает использование ультразвуковых колебаний при кристаллизации сплавов. Ультразвуковая энергия в расплаве является причиной возникновения в нем избыточных давлений и перемешиваний, что сказывается на изменении кинетики кристаллизации сплава. Исследования показывают, что распространение мощного ультразвука в расплаве является активным средством воздействия на структуру и свойства материала, позволяя интенсифицировать технологические процессы получения и обработки металлов [4]. В ряде работ [5,6] приведены данные о дегазации и измельчении микроструктуры алюминиевых сплавов при использовании ультразвуковых колебаний в процессе кристаллизации. При этом работ, касающихся исследований влияния обработки ультразвуком на характер структурообразования в высокопрочных чугунах, почти не имеется. В этой связи, целью данной работы является разработка способов подвода источников ультразвуковых колебаний к расплаву чугуна и исследование влияния ультразвуковой обработки на морфологию и свойства кристаллизующихся фаз в высокопрочных чугунах.

Для оценки степени влияния ультразвуковой обработки на структуру и свойства высокопрочных чугунов были проведены опытные плавки чугунов различных составов – доэвтектических, эвтектических и заэвтектических. Модифицирование чугуна для получения шаровидной формы графита проводилось путем ввода комплексного модификатора (1,5% ЭМ (пс)+0,3% ЭМ (п)) в струю расплава с последующим интенсивным перемешиванием в предварительно разогретом до 900°С ковше-тигле. Химический состав полученных образцов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых образцов

№ плавки	Массовая доля, %						
	C	Si	Mn	Cu	Mg	S	P
1	3,2	2,8	0,26	0,07	0,041	0,013	0,032
2	3,4	2,6	0,25	0,07	0,042	0,013	0,030
3	3,6	2,5	0,26	0,06	0,040	0,012	0,033

Модифицированный расплав чугуна различных плавов заливался в графитовую форму и далее подвергался ультразвуковому воздействию в течении 5 минут при верхнем и нижнем положении волновода.

Из полученных отливок чугуна вырезались продольные образцы для оценки микроструктуры и механических свойств в верхней, средней и нижней зонах при различных способах ультразвуковой обработки. Металлографический анализ структуры выполняли на металлографическом комплексе МИКРО-200, оснащенный программным обеспечением Image SP, которое позволяет автоматизировать процесс обсчета геометрических размеров структурных составляющих. Так как размер и морфология графитной фазы в высокопрочных чугунах является определяющим фактором структуры [7], в данной работе проводился обсчет размеров шаровидных включений графита и занимаемая ими удельная площадь. Для оценки влияния структурного состояния обработанных чугунов на механические свойства, производили измерение твердости методом Бринелля (ГОСТ 9012-59) и измерения коэффициента трения полученных образцов.

Результаты металлографических исследований показали, что наибольшая интенсификация процесса зарождения и роста графитных включений происходит вблизи контакта волновода и расплава, так как наименьшему размерному классу графитных включений соответствует наибольшая объемная доля занимаемой ими площади (55-90%). Дальнейшее отдаление от границы раздела «волновод-расплав» приводит к ослаблению процесса измельчения графитной фазы – доля более мелкодисперсного графита снижается до 25-30 %. В целом, использование ультразвука позволяет добиться увеличения количества дисперсных графитных включений (0-100 мкм) с 30 до 65 % от всей удельной площади графитной фазы (рисунок1).

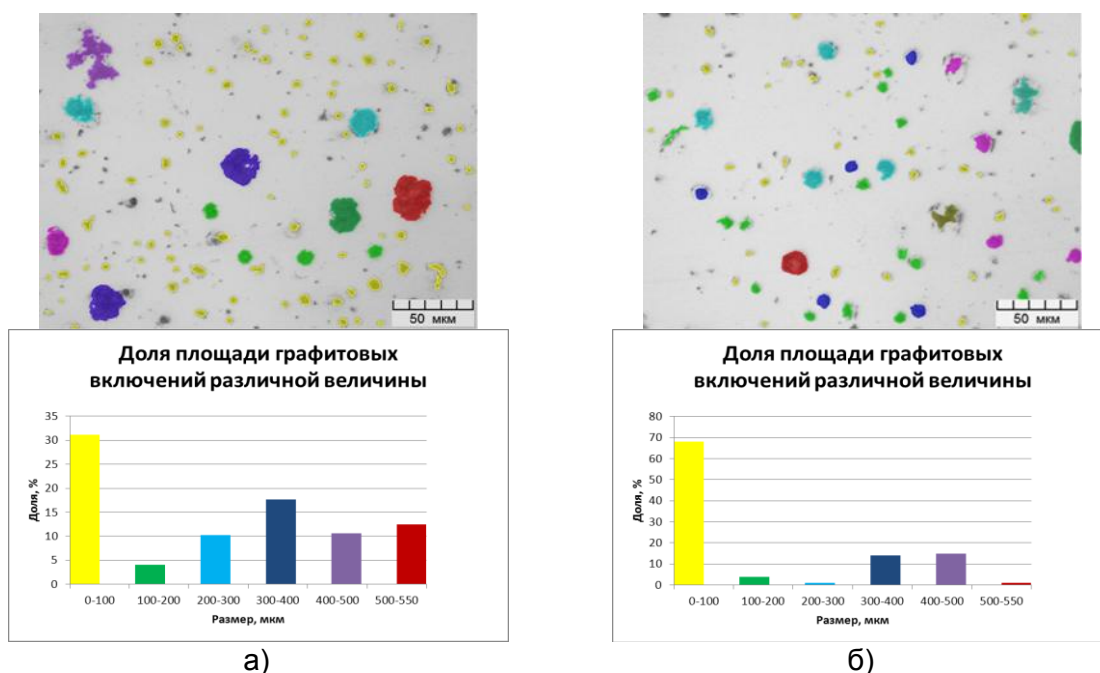
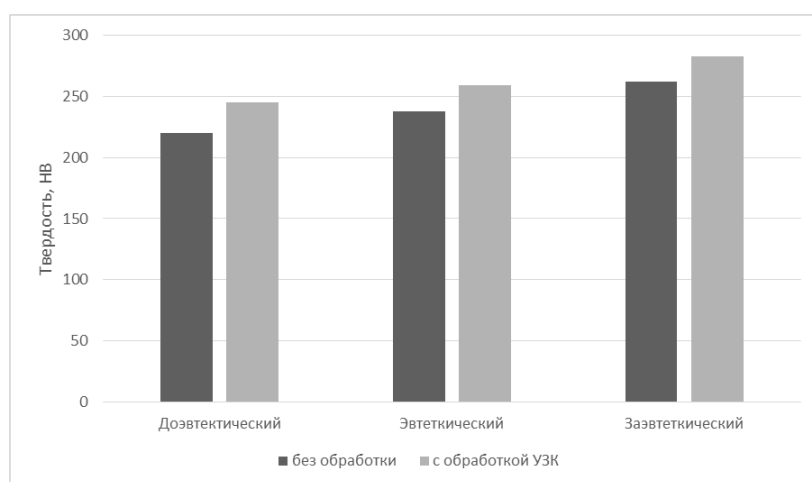


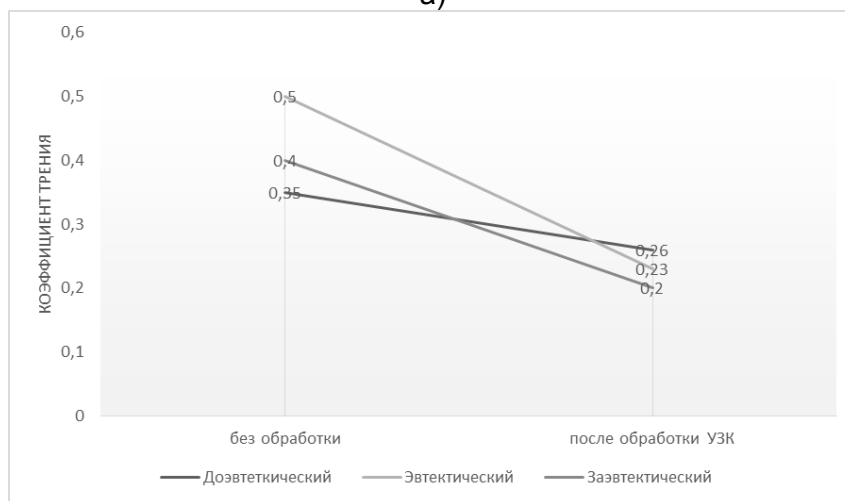
Рисунок 1 – Результаты металлографического анализа исходного необработанного (а) и обработанного ультразвуком (б) высокопрочного чугуна

В общем случае можно отметить, что для заэвтектических сплавов наблюдается более выраженная степень измельчения графита шаровидной формы. Это связано прежде всего с кинетикой кристаллизации чугунов данного состава. В соответствии с диаграммой состояния «Fe-C» при заэвтектическом содержании углерода в чугуне на первом этапе из жидкости расплава кристаллизуется графитная фаза. На данном этапе, когда распространение внешних колебаний происходит в жидкости, ультразвуковые волны интенсивно воздействуют на процесс зарождения графитных включений, позволяя увеличивать число центров кристаллизации. При кристаллизации доэвтектических чугунов на данном этапе происходит выделение из жидкости кристаллов аустенита, а затем и зарождение графитных включений. В этом случае воздействие ультразвуковых волн в твердой фазе более ограничено, что сказывается на эффективности изменения размеров графитной фазы.

Для оценки влияния характера изменения структуры высокопрочных чугунов после ультразвуковой обработки на механические свойства были проведены исследования прочностных и триботехнических свойств (рисунок 2).



а)



б)

Рисунок 2 – Влияние ультразвуковой обработки на твердость (а) и коэффициент трения (б) чугунов различного структурного состояния

Таким образом, использование ультразвуковой обработки расплава модифицированного чугуна позволяет значительно повысить механические свойства сплава (увеличение твердости на 15%), а также снизить коэффициент трения в 1,5-2 раза за счет увеличения количества более дисперсных включений графита. При этом, наибольший эффект на структуру и свойства наблюдается в случае использования ультразвуковой обработки чугунов заэвтектических составов, что подтверждается

механизмом структурообразования данных чугунов – первоначально из жидкости выделяются кристаллы графита, а не аустенита, как в случае доэвтектических или эвтектических структурных состояний чугунов.

Список использованных источников

1. Ковалько, М.С. Анализ возможностей получения аусферритных структур в высокопрочных чугунах без применения жидких охлаждающих сред / М.С. Ковалько, А.Т. Волочко // Со-временные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редкол.: А. В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 85-93.
2. Горушкина, Л.П. О механизме формирования микроструктуры магниевого чугуна/ Л.П. Горушкина, О.Б. Едина // Литейное производство. - 1996.- №11.-С. 15-17.
3. Ускенбаева А.М. Возможности наномодифицирования чугунов наноструктурными формами углерода / А.М. Ускенбаева, Н.А. Шамельханова, С.П. Королев // Сборник статей по материалам XLIV международной научно-практической конференции «Научная дискуссия: Вопросы технических наук». – Москва. – Интернаука. – 2016. - №3(33). – С. 45-53.
4. Абрамов О.В. Ультразвуковая обработка материалов / О.В. Абрамов, И.Г. Хорбенко, Ш. Швегла // Машиностроение, 1984. - 280 с.
5. Эскин Г.И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия / Г. И. Эскин // М. : Metallurgia, 1988. – 231
6. Марукович Е.И., Стеценко В.Ю., Гутев А.П., Рубаник В.В., Луцко В.Ф. Применение ультразвука при литье силуминов в кристаллизатор / МНК «Техническая акустика: разработки, проблемы, перспективы» 6–29 сентября 2016 г. Витебск, Беларусь: материалы конференции /УО «ВГТУ» – Витебск, 2016. – С.34–36.
7. Бунин К.П., Таран Ю.Н. Строение чугуна. Серия «Успехи современного материаловедения». / Бунин К.П., Таран Ю.Н // Metallurgia. – 1972. – 160 с.