

Р.М. Хамитов¹, А.Н. Дробышев², В.А. Дегтярь¹

¹Сибирский государственный индустриальный университет

²ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИИ НА КРИСТАЛЛИЗУЮЩИЙСЯ РАСПЛАВ СЕРОГО ЧУГУНА

Известно, что принудительные колебания и перемешивание расплава (механические и ультразвуковые колебания, продувка газами, наложение электромагнитных колебаний) во время затвердевания эффективно измельчают структуру литейного сплава, но механизм измельчения зерна изучен недостаточно. Среди исследователей по этому вопросу нет единой точки зрения.

Многие исследователи, такие как Д.К. Чернов, В.Д. Добаткин, В.О. Гаген-Терн, Н.И. Хворинов, А. Оно [1] придерживаются гипотезы, в соответствии с которой любой вид перемешивания под воздействием физических полей приводит к разрушению столбчатых дендритов фронта кристаллизации, к увеличению переохлаждения. Обломки дендритов затем становятся активными центрами образования равноосных измельченных дендритов.

Для исследования и выявления причин модифицирующего действия вибрации на литейные сплавы выбрали серый чугун следующего состава: 3,36 % C; 1,93 % Si; 0,61 % Mn; 0,03 % Cr; 0,16 % Ni; 0,106 % P; 0,067 % S.

В сером чугуне графит не образует дендритов на фронте кристаллизации. По этой причине для исследования и был выбран модельный сплав в виде серого чугуна.

Плавку чугуна проводили в индукционной печи ИСТ-0,16. В качестве основного компонента шихты был взят литейный чугун. Для доводки металла по составу использовали стальной лом и ферросплавы. Перегрев металла в печи для всех плавов поддерживали постоянным – 1450 °С. Выдержка чугуна после достижения расплавом температуры перегрева составляла 8 – 10 мин. Заливку металла в формы производили при температуре 1320 – 1350 °С с ковшем емкостью 25 кг.

Контроль температуры в тигле индукционной печи и в ковше перед заливкой осуществляли вольфрам-рениевой термопарой кратковременного погружения в комплексе с измерительным комплексом.

Для создания вибрации применяли установку, обеспечивающую частоту вибрации 10

– 100 Гц с амплитудой 0,1 – 1,25 мм [2]. Импульс колебаний передавался в вертикальном осевом направлении через металлическую платформу.

Расплав заливали в песчано-глинистую форму, в которой формировался цилиндрический образец диам. 30 и длиной 220 мм. Металлом одной плавки заливались сразу два образца: контрольный и экспериментальный, подвергаемый воздействию вибрации в литейной форме.

На вырезанных из образцов темплетях проводили металлографические исследования с помощью инвертированного металлографического микроскопа OLIMPUS GX-51 при различных (50, 100 и 200) увеличениях в светлом поле. Размеры включений графита определяли с помощью программного обеспечения микроскопа и пакета прикладных программ для металлографических исследований Siams Photolab 700. Оценку микроструктуры производили по ГОСТ 3443 – 87.

Для определения плотности металла использовали метод гидростатического взвешивания темплетов. На основании измерений плотности на каждом уровне рассчитывали среднее значение по пробе.

Исходная структура чугуна без вибрационной обработки имеет сетчатое расположение графита, а в чугуне, подвергнутом вибрации, образуется розеточный и точечный графит.

При режимах вибрации с ускорениями до 5 м/с² заметного изменения размера графита не наблюдалось (рис. 1). Установлено, что наложение на форму вибрации с ускорениями порядка 5 – 15 м/с² приводит к измельчению размеров включений графита. Дальнейшее повышение ускорения вибрации оказывает незначительное влияние на размер и форму графита. Наиболее благоприятное влияние на измельчение графита оказывает вибрация с небольшой амплитудой 0,1 – 0,12 мм и частотой 10 – 12 Гц.

Плотность образцов, подвергнутых различным режимам вибрации, в зависимости от ускорения вибрации меняется нелинейно (рис. 2).

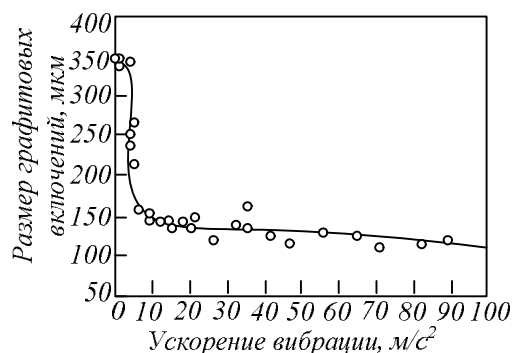


Рис. 1. Влияние параметров вибрации на длину графитовых включений в сером чугуна при литье в песчано-глинистую форму

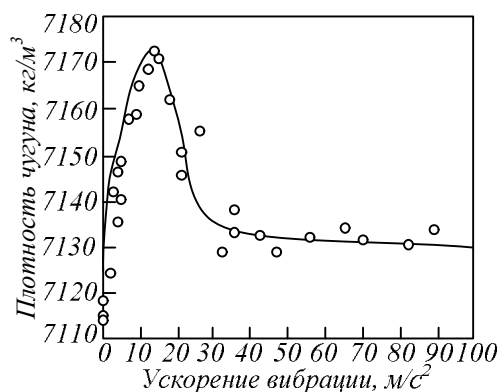


Рис. 2. Влияние параметров вибрации на плотность серого чугуна при литье в песчано-глинистую форму (центр образца)

Максимальное увеличение плотности чугуна в средней части образца на 0,78 – 0,83 % получено при вибрации с ускорением 15,1 м/с^2 .

Экспериментально установлено, что плотность чугунов в верхней части пробы без вибрации на 3,1 – 3,6 % ниже, чем в ее нижней части. Вибрация снижает эту разницу, причем минимальные значения (примерно 1,9 %) получены при ускорениях вибрации 15 – 22 м/с^2 (амплитуда 0,9 – 1,0 мм, частота 19 – 23 Гц).

Снижение газосодержания и увеличение плотности чугуна объясняются улучшением условий для всплытия газовых пузырей под действием вибрации. Газовые и неметаллические включения, образующиеся в жидком металле или попадающие извне, могут при благоприятных условиях всплыть в прибыли, в выпоры или в поверхностный слой чугуна.

Дальнейшее увеличение ускорения вибрации (увеличение частоты и амплитуды колебаний), хотя и сопровождается уменьшением длины графитных включений, но при этом повышается и газовая пористость в образце. Таким образом, неправильно выбранный режим вибрации может приводить к образованию мелкозернистой структуры, но с повышенной межкристаллической пористостью и пониженными показателями механических свойств.

Полученные экспериментальные данные позволяют заключить, что вибрация как и другие методы физического воздействия на кристаллизующиеся расплавы приводят к интенсивному их перемешиванию. За счет интенсивного движения расплава на контактной поверхности зародыша удаляются адсорбированные пленки, состоящие из газов O_2 , H_2 , N_2 и других поверхностно активных веществ типа соединений серы SO_2 . Зародыш превращается в активно действующий центр кристаллизации. Удаление газов из расплава приводит к уменьшению газоусадочной пористости, а сле-

довательно, и к росту плотности чугуна (рис. 2). Следствием активизации зародышей является резкое уменьшение размера (рис. 1) и числа графитовых включений в конечном продукте. Количество графитовых включений в базовых образцах по оценочной шкале [3] относилось к типу Г4 (3 – 5 % площади шлифа), после виброобработки – к типу Г10 (8 – 10 % площади шлифа).

Предлагаемая концепция процесса измельчения структуры соответствует экспериментальным данным, полученным другими методами физического воздействия на металлические расплавы в процессе кристаллизации. Перемешивание, вибрация, ультразвук, газопульсовая обработка, электрогидравлический удар, постоянный электрический ток, магнитные поля, вакуумирование, продувка инертными газами приводят одновременно к интенсивному перемешиванию расплава, дегазации, переохлаждению, активизации зародышей и, как следствие, к измельчению конечной структуры сплава [4, 5].

Выводы. Приведены результаты исследования влияния различных режимов вибрации на размер графитовых включений и плотность серого чугуна при его кристаллизации. Экспериментально установлены оптимальные значения амплитуды и частоты вибрации, обеспечивающие измельчение размеров включений графита и увеличение плотности чугуна в образцах. Показано, что вибрация как и другие методы физического воздействия на кристаллизующиеся расплавы приводят к интенсивному его перемешиванию и измельчению структурных составляющих в литом изделии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Теория литейных процессов / Под ред. Хосена Ри. – Хабаровск.: Изд-во «РиоТиП», 2008. – 580 с.
2. Куценко А.И., Селянин И.Ф., Хамитов Р.М., Морин С.В. / Влияние вибрации формы на тепловые процессы охлаждения отливки // Ползуновский вестник. 2005. № 2 – 2. С. 167 – 169.
3. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. – Л.: Машиностроение, 1978. – 758 с.
4. Специальные способы литья. Справочник / Под ред. В.А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 736 с.
5. Ефимов В.А., Эльдараханов А.С. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.

© 2014 г. Р.М. Хамитов, А.Н. Дробышев,
В.А. Дегтярь

Поступила 20 июня 2014 г.