

## СВОЙСТВА ЧУГУНА ПОСЛЕ ВИБРАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Б.И.Краевой

В работах [1-3] показано, что вибрации звуковой и ультразвуковой частот оказывают положительный эффект на процесс кристаллизации высокопрочного чугуна. Поскольку проведенные опыты были осуществлены в особых условиях охлаждения, возникла необходимость изучения эффекта воздействия упругих колебаний при затвердевании отливки в условиях, приближающихся к реальным. В настоящей работе излагаются результаты исследований влияния низкочастотных вибраций на структуру и свойства обычного и магниевых чугуна при заливке в земляную и металлическую формы.

Опыты проводились с чугуном состава 3,5-3,7% углерода, 2,6-2,8% кремния, 0,4-0,5% марганца, до 0,04 и 0,02-0,04% фосфора и серы соответственно. Чугун выплавлялся в индукционной печи с кварцевым тиглем. Модифицирование сплава проводилось в ковше при температуре жидкого металла 1450-1480°C. В качестве модификатора использовалась лигатура Fe - Si - Mg с содержанием магния около 15%. При заливке в землю количество вводимого модификатора изменялось в пределах от 0,25 до 0,50%, а при заливке в кокиль - от 0,1 до 0,25%. Последующая дополнительная обработка расплава ферросилицием не производилась.

Вибрации земляной или металлической формы, закрепленной на вибрационной площадке, осуществлялись эксцентриковым вибратором типа И-116 мощностью 1 квт. Частота вибрации равнялась 230 гц, а амплитуда колебаний составляла 0,3-0,8 мм. Режим обработки чугуна вибрациями предусматривал получение максимальных структурных изменений, поэтому вибрирование формы с кристаллизующимся расплавом проводилось с момента заливки металла в форму до конца затвердевания отливки. Одновременно производилась заливка аналогичных образцов чугуна без применения вибрации.

При заливке в землю вибрационной обработке подвергались цилиндрические отливки диаметром 30 мм и тrefовидные четырехлепестковые заготовки с диаметром лепестка 28 мм. Высота отливок составляла 150 мм, вес - около 0,5 и 3,0 кг соответственно. В пределах исследованных концентраций вводимого магния /0,25-0,5%/ литые ци-

цилиндрические образцы диаметром 30 мм благодаря модифицированию имели во всех случаях структуру половинчатого чугуна. Под воздействием вибраций склонность к отбелу уменьшалась незначительно. Эффект вибрации наблюдался наибольшим в нижних сечениях отливки, в местах, наиболее близко расположенных к месту крепления вибратора на вибрационной площадке. Полностью же ликвидировать отбел по всему объему подобных отливок после их вибрационной обработки не удается, поэтому механические свойства литых цилиндрических образцов не исследовались.

Механические свойства литого чугуна обычного и модифицированного различным количеством магния и залитого в землю с применением и без применения вибраций изучались на образцах, вырезанных из трещиноватых отливок. Исследования показали, что предел прочности на разрыв и твердость чугуна, отлитого с применением вибрации несколько ниже, чем у чугуна, отлитого без вибрации при всех условиях модифицирования. С увеличением добавки магния предел прочности в чугунах, полученных с применением и без применения вибрации, растет и достигает максимальных значений ( $\sigma_B = 60 \text{ кг/мм}^2$  - с применением вибрации и  $\sigma_B = 63 \text{ кг/мм}^2$  - без нее) при вводе магния в пределах 0,3-0,4%. Изменение твердости чугуна имеет характер аналогичный изменению прочности, т.е. при увеличении добавок модификатора твердость растет непрерывно, но более интенсивно - при добавках до 0,3%. При 0,3 и 0,4% магния она сохраняется без изменений, достигая значений HB 230 и 235  $\text{кг/мм}^2$  соответственно для чугуна после вибрационной обработки и без нее.

Указанные изменения свойств находятся в соответствии с характером изменения структуры чугуна от применения вибраций и количества вводимого магния. Микроструктурные исследования показали, что вибрации не вносят заметных изменений в структуру обычного и магниевого чугуна и лишь несколько увеличивают количество свободного феррита. Добавки магния изменяют форму графита на шаровидную, что и отражается резко на свойствах чугуна. При 0,5% магния в структуре чугуна, отлитого без вибрации и с применением вибраций, отмечается появление некоторого количества эвтектического цементита, в связи с чем наблюдается некоторое падение прочности и повышение твердости литого чугуна.

Относительно слабое влияние вибраций при кристаллизации чугуна в земляной форме следует объяснить тем, что упругие колебания не могут эффективно передаваться материалом формы от вибратора в расплав. Очевидно, формовочная смесь в значительной степени "гасит" энергию упругих колебаний и снижает, таким образом, эффективность воздействия вибраций на формирование структуры чугуна. Однако в результате вибрационной обработки улучшается ряд технологических свойств чугуна. Вибрации повышают жидкотекучесть и способствуют, таким образом, лучшему заполнению литейной формы. Исследование строения отливок показало, что вибрации способствуют получению более плотных отливок, в них отсутствуют газовые раковины, а усадочная раковина получается более сосредоточенной.

При литье в металлическую форму вибрированию подвергались цилиндрические отливки, диаметр которых изменялся по высоте последовательно от 20 к 50 и 80 мм. При этом общая высота такой отливки составляла 150 мм, а вес около 3,0 кг. В опытах применялись различные технологические варианты получения отливок, которые определялись количеством вводимого модификатора и скоростью охлаждения отливки. Последняя изменялась толщиной стенки кокиля /20 и 25 мм/ и температурой его подогрева /80-100°C/.

Изучение микроструктур опытных отливок показало, что вибрации обычного и модифицированного магнием чугуна способствуют ускорению процессов графитизации при кристаллизации чугуна, измельчают количество и размер графитовых включений. Эффект от вибрации чугуна в металлической форме обусловлен скоростью охлаждения расплава в период его кристаллизации, а также количеством вводимого модификатора.

В безмагневом чугуне при обычных условиях заливки образуется структура серого чугуна с феррито-перлитной металлической основой. На поверхности отливок обычно наблюдался отбеленный слой глубиной от 4 до 7 мм, толщина которого в результате вибрации уменьшалась до 1-2 мм. Вибрационная обработка способствует увеличению структурно свободного феррита и вызывает значительные изменения в характере распределения графита в металлической основе серого чугуна. Так, при охлаждении расплава без вибрации в структуре преобладает междендритная форма мелкопластинчатого графита, образование которого обусловлено условиями ускоренного охлаждения в металлической форме.

Под воздействием вибраций чугун кристаллизуется с меньшим переохлаждением [1], поэтому размеры частиц пластинчатого графита заметно увеличиваются.

При добавке 0,1- 0,15% магния отливки имеют структуру половинчатого чугуна со смешанной формой графита. Степень отбела изменилась по сечению и была максимальной у поверхности отливки.

При 0,2-0,25% магния образуется полностью шаровидная форма выделений графита и заметно увеличивается количество ледобурита по всему сечению отливок. Вибрации ускоряют процессы графитизации при кристаллизации чугуна, однако достичь полного устранения отбела чугуна при данных условиях опытов не представлялось возможным. Во всех случаях эффект вибрации на процесс графитизации наблюдался максимальным в центральных зонах и был минимальным у поверхности отливки.

Макро- и микроисследованиями было установлено, что воздействие вибрации на процесс графитизации чугуна при кристаллизации его в кокиле является неодинаковым по высоте ступенчатой отливки. Так, в сечении диаметром 20 мм при обычных условиях заливки вследствие быстрого охлаждения образуется структура белого чугуна со столбчатым строением по всему сечению. После вибрационной обработки наблюдается также структура белого чугуна, но уже с беспорядочной ориентацией измельченных кристаллов ледобурита. В сечении отливок диаметром 50 мм упругие колебания оказывают воздействие на процесс графитизации при кристаллизации чугуна, вследствие чего уменьшается степень отбела отливок, увеличивается количество выделений графита и уменьшается их размер. Еще в большей мере эффект вибрации проявляется в сечении отливки диаметром 80 мм. Воздействие вибраций на процесс кристаллизации отливок усиливается с уменьшением толщины стенки кокиля и повышением температуры его подогрева. Это следует объяснить различной скоростью охлаждения отливок, а следовательно, изменением времени воздействия упругих колебаний на кристаллизующий расплав. При кристаллизации чугуна с меньшей скоростью охлаждения уменьшается степень его переохлаждения, что также оказывает влияние на степень отбела чугуна. Следует отметить, что выявление эффекта от вибрации при литье в металлическую форму усложняется тем, что структура чугуна, вследствие быстрого отвода тепла через стенки формы, получается неоднородной по сечению отливки. Поэтому эффект воздействия вибраций определялся методом сравнения микроструктур и

твердости обоих видов чугуна в местах, равноудаленных от поверхности отливки.

В соответствии со структурными изменениями литого чугуна обычного и залитого в условиях вибраций изменяется и его твердость (рис. I). Благодаря стабилизирующему действию прирадок магния твердость обоих видов чугуна интенсивно возрастает по мере увеличения

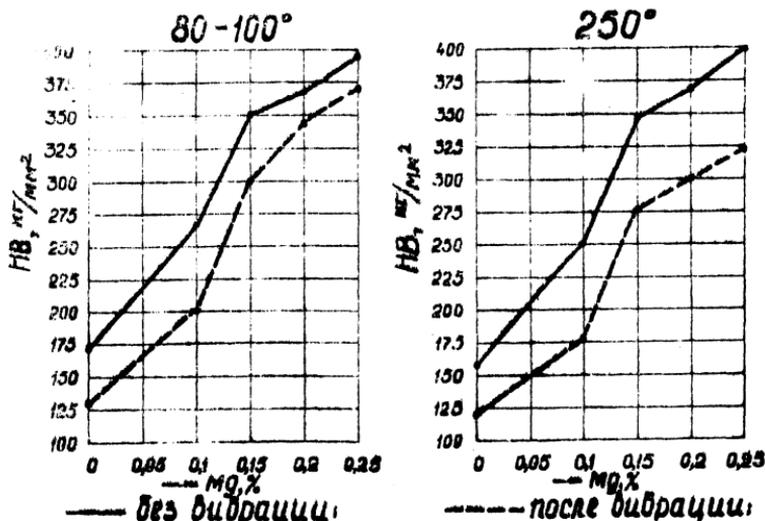


Рис. I

Твердость литого чугуна, залитого в кокиль с толщиной стенки 20 мм и температурой подгрева 80-100 и 250°C

количества вводимого модификатора. Вибрационная обработка уменьшает степень отбела чугуна, увеличивает в его структуре количество свободного феррита и вызывает, таким образом, снижение твердости отливок. Изменение твердости литого чугуна при всех принятых технологических вариантах затвердевания отливок в кокиле имеет характер, аналогичный рассмотренному выше, и отличается только абсолютными значениями твердости в каждом отдельном случае.

Отливки магниевого чугуна с шаровидной формой графита подвергались отжигу на феррит по ступенчатому режиму с выдержкой при 950 и 720°C. Исследования механических свойств отожженного чугуна показали, что при заливке в вибрирующие металлические формы увеличивается предел прочности на разрыв и относительное удлинение, а твердость сохраняется прежней по сравнению с чугуном, кристаллизовавшимся в обычных условиях.

## В ы в о д ы

В результате проведенных исследований показано, что в земляной форме, несмотря на относительно небольшую скорость охлаждения отливки, вибрации оказывают слабое влияние на процесс кристаллизации чугуна и его свойства, ввиду недостаточной упругости материала формы. При заливке в ящик вибрации способствуют значительному ускорению процесса графитизации при кристаллизации чугуна, однако ввиду слишком высокой скорости затвердевания отливок достичь полного устранения отбела высокопрочного чугуна не удается. Это, по-видимому, связано с недостаточным временем воздействия вибраций на расплав и увеличением степени переохлаждения при кристаллизации чугуна с большей скоростью охлаждения. Вибрации улучшают ряд технологических свойств чугуна, повышают механические свойства чугуна с шаровидной формой графита.

## Л и т е р а т у р а

1. Ю. В. Горев, Л. А. Шевчук. "Литейное производство". №5, 1961.

2. К. В. Горев, В. И. Краевой. Сб. научных трудов физико-технического института АН БССР, вып.7, 1961.

3. К. В. Горев, Л. Н. Белозерский. Сб. "Теплофизика в литейном производстве", Минск, 1967.