

метно проявляется у отливок, изготовленных во второй полости, где условия вентиляции наихудшие. Менее интенсивно возрастает пористость с увеличением скорости прессования у отливок, изготовленных в первой и третьей полостях. Здесь на протяжении почти всего процесса заполнения воздух и газы могут удаляться в промывники. В первой полости удаление газов облегчается благоприятным характером движения сплава. В третьей полости – наличием боковых промывников, перекрытие которых происходит постепенно, по мере заполнения полости формы.

При низких скоростях прессования пористость отливок, изготовленных при различных условиях заполнения и вентиляции, различается незначительно – 0,1 % для отливок толщиной 2 мм, 0,2 % для отливок толщиной 4 мм и 0,5 % для отливок толщиной 6 мм. При возрастании скорости прессования до 1,7 м/с различия в пористости отливок увеличиваются соответственно до 0,32 %, до 1,0 % и до 1,0 %. При этом максимальные значения пористости находятся соответственно в следующих пределах: 0,26–0,58 %; 0,68–1,72 %; 1,58–2,58 %. Следовательно, на образование пористости в отливках при литье под давлением оказывает влияние усадка сплава при затвердевании, характер заполнения полости формы и ее вентиляция. При неблагоприятных условиях заполнения и вентиляции пористость отливок в 2–3 раза выше, чем при улучшенных условиях вентиляции и благоприятном характере заполнения. Наиболее сильное влияние на образование пористости в отливках при литье под давлением оказывает скорость прессования. Пористость, образующаяся в результате захвата газов при высоких скоростях прессования, в 2–5 раз превышает усадочную пористость.

*УДК 621.745.55:669.131.6*

**В.М. МИХАЙЛОВСКИЙ, В.М. КОРОЛЕВ, канд.техн.наук,  
И.В. ДОРОЖКО, канд.техн.наук,  
М.И. ВОРОБЕЙ (БПИ)**

### **ВЛИЯНИЕ МАГНИЯ, ЦЕРИЯ И ИТРИЯ НА ХЛАДОСТОЙКОСТЬ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА**

Многочисленными исследованиями [1] установлен широкий круг элементов-модификаторов, которые рекомендуется использовать для получения чугуна с шаровидным графитом. Среди них практическое применение нашли Mg, Ce, Y, обеспечивающие в достаточно широком диапазоне концентраций высокую степень сфероидизации графитных включений и прочностные свойства чугуна. Вместе с тем при определении оптимальных добавок модификатора не всегда учитывается возможность отрицательного влияния его избыточного содержания или образуемых им карбидных и интерметаллоидных фаз [2] на пластические и вязкостные характеристики сплава, особенно при минусовых температурах.

В работе исследовали влияние микродобавок магния, церия и иттрия на хладостойкость высокопрочного чугуна, выплавленного из металлизированных железорудных окатышей. Базовый состав сплава получали в индукционной

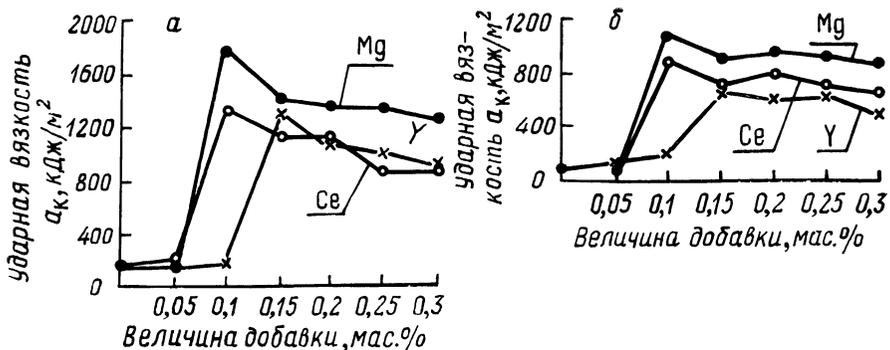


Рис. 1. Влияние Mg, Ce, Y на ударную вязкость чугуна из металлизированных окатышей: а, б – соответственно температура испытаний +20 °С и -60 °С.

высокочастотной печи с последующим переплавом в силитовой печи в шамотографитовом тигле ТГ10 при температуре 1440 °С. Исследуемый сплав имел следующий химический состав: 3,4–3,6 % С; 2,4–2,6 % Si; 0,01 % Mn; 0,008 % S; 0,021 % P. Магний вводился в расплав в виде железомagneйового брикета, иттрий и церий – в колокольчике из стальной фольги. Величина добавки изменялась от 0,05 до 0,3 % к массе жидкого металла. После модифицирования расплав разливали в сухие песчаные формы для получения образцов 10 x 10 x 55 мм. Перед механическими испытаниями отливки подвергались термической обработке по режиму: нагрев до 960 °С, выдержка – 4 ч, охлаждение с печью до 720 °С, выдержка – 4 ч, охлаждение с печью до 600 °С и дальнейшее охлаждение на воздухе для получения ферритной структуры металлической основы. Твердость образцов после отжига существенно не отличалась и находилась в пределах 142–148 НВ.

Измерение ударной вязкости проводили на ротационном копре типа РС0 на образцах без надреза по ГОСТ 9454–78. Охлаждение образцов до температуры -60 °С осуществлялось в специальном криостате в смеси ацетона и жидкого азота.

Представленные на рис. 1 результаты исследования показывают, что зависимость ударной вязкости ( $a_k$ ) от величины добавки модификатора носит экстремальный характер. Максимум  $a_k$  наблюдается при введении в сплав 0,1 % Mg; 0,1 % Ce и 0,15 % Y. Следует отметить высокий уровень абсолютных значений ударной вязкости, составляющих для магниевого, цериевого и иттриевого чугунов соответственно 1800; 1360; 1355 кДж/м<sup>2</sup> при температуре испытания +20 °С и 1133; 890; 747 кДж/м<sup>2</sup> при -60 °С. Последнее можно объяснить низким содержанием вредных примесей и неметаллических включений в чугуне, выплавленном из металлизированных окатышей.

Металлографический анализ исследованных образцов подтвердил решающее влияние на ударную вязкость степени сфероидизации графитных включений. В зависимости от вводимой добавки Mg, Y и Ce она изменяется от пластинчатой (0,05 %) до шаровидной (0,1 % Mg) или близкой к ней (0,1 % Ce и 0,15 % Y) и далее к хлопьевидной (0,2–0,3 %). При больших концентрациях модификатора в структуре исследуемых чугунов обнаруживаются мелкие вклю-

чения неправильной формы, которыми являются, по-видимому, соединения модификатора с компонентами сплава.

На ударную вязкость может оказывать влияние не только форма, но и количество графитных включений, на которых происходит локализация возникающих трещин и уменьшение скорости распространения последних. Исследование образцов с помощью автоматического структурного анализатора "Epiqwant" показали, что в чугунах с 0,15 % Mg количество включений графита примерно в три раза больше, чем в иттриевом, и в четыре раза больше, чем в цериевом чугунах, а средний линейный размер их в два и три раза соответственно меньше.

Приведенные результаты свидетельствуют о различной степени влияния температуры испытания на ударную вязкость исследуемых чугунов. Анализ диаграмм ударного разрушения показал, что процессу разрушения образца при комнатной температуре предшествует значительная его деформация. При минусовых температурах величина деформации резко уменьшается, особенно в чугунах, модифицированных церием и иттрием. Если при снижении температуры испытания с +20 °С до -60 °С ударная вязкость магниевого чугуна (0,1 % Mg) снизилась на 37 %, то у иттриевого (0,15 %) на 45 %. Существенное снижение ударной вязкости во всех исследованных чугунах начинает проявляться уже при температуре 0 °С. При этом наиболее склонен к охрупчиванию под действием отрицательных температур чугуна, модифицированный иттрием. Магниевый и цериевый чугуны обладают примерно одинаковой чувствительностью к отрицательным температурам, однако последний имеет более низкие абсолютные значения ударной вязкости.

Проведенные исследования показали, что применение качественных шихтовых материалов и эффективных способов глобуляризации графита позволяет существенно повысить хладостойкость высокопрочного чугуна и расширить область его применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Х у д о к о р м о в Д.Н. Роль примесей в процессе графитизации чугунов. — Минск: Наука и техника, 1968. — 105 с. 2. Л ю б ч е н к о А.П., У м а н с к и й Г.П. О некоторых особенностях формирования и строения шаровидных зерен графита в модифицированном чугуне: Тез. докл. X Всесоюз. конфер. по высокопрочному чугуну. — Киев: ИПЛ АН УССР, 1977, с. 73–74.

УДК 621.746.6

И.В. ЗЕМСКОВ, канд. техн. наук,  
Е.Б. ДЕМЧЕНКО,  
Г.А. ГАРАНИН (БПИ)

#### ТЕПЛОЙ РЕЖИМ КРИСТАЛЛИЗАТОРА ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ

Тепловой режим исследовали методом термического анализа. Кристаллизатор — водоохлаждаемый, скорость протекания воды в рубашке 1,8 м/с. Рабочая втулка выполнена из меди. Ее толщина равна 11 мм, высота — 200 мм. В