

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

качестве отливки-представителя выбрана гильза цилиндра с наружным диаметром 105 мм, внутренним — 65 мм и высотой 180 мм. Материал отливки — СЧ 20. Хромель-алюмелевые термопары с толщиной проволоки 0,5 мм устанавливали в различных зонах кристаллизатора на расстояниях 2,0 и 1,5 мм соответственно от рабочей и водоохлаждаемой поверхности рабочей втулки. Показания термопар записывали осциллографом НО-441.

На рис. 1 показано изменение температуры во времени в различных точках поперечного сечения стенки медной рабочей втулки в трех зонах по высоте кристаллизатора. Продолжительность процесса литья составляла 85 с при общей длине стопки отливок 1000 мм. Кривые 1,2 показывают изменение температуры в верхней зоне, кривые 3,4 — в средней, а кривые 5–6 — в нижней зоне. Зоны расположены соответственно на расстояниях 60, 125 и 175 мм от верхней плоскости кристаллизатора. Водяное охлаждение кристаллизатора включали до начала процесса заливки. Температура жидкого металла при заливке — 1320 °С, шаг протяжки 60–70 мм.

Как видно из рис. 1, кривые имеют пульсирующий характер. Причем кривые, показывающие изменение температуры в различных точках одной и той же зоны, имеют адекватный характер, в грубом приближении напоминающий эквидистантный. Пульсирующий характер объясняется режимом извлечения отливки, при котором периодически протяжка сменяется выдержкой. В начале процесса литья, когда затравка находится в кристаллизаторе, происходит прогрев верхней зоны (кривые 1, 2, рис. 1) и одновременно начинается незначительный прогрев остальных зон. По мере продвижения затравки в кристаллизаторе заметно усиливается прогрев средней зоны. Прогрев нижней зоны заметен, когда затравка начинает выходить из кристаллизатора. За это время, в зависимости от режима вытяжки, температура верхней зоны успевает совершить 1–2 циклических колебания.

При извлечении отливки из кристаллизатора уровень металла в нем падает. Высота снижения уровня металла определяется скоростью и временем вытяжки. По мере заполнения кристаллизатора жидким металлом происходит подъем уровня металла в нем и соответственно — подъем температуры верхней зоны. Поэтому резкие колебания температур в верхней зоне (кривые 1, 2, рис. 1) соответствуют колебаниям уровня металла в кристаллизаторе.

В верхней зоне температура втулки максимальна как на рабочей поверхности ($T_{р.п} = 220$ °С), так и на водоохлаждаемой ($T_{в.п} = 125$ °С). Градиент температуры по сечению втулки максимален и составляет 8,6 °С/мм.

Величина температуры нагрева кристаллизатора во второй зоне (кривые 3–4, рис. 1) значительно ниже температур нагрева верхней зоны. Так, максимальные значения температуры на рабочей и водоохлаждаемой поверхностях соответственно равны 150 °С и 95 °С, градиент температуры по сечению при этом составляет 4,3 °С/мм. Более низкие значения температур прогрева объясняются тем, что отливка попадает во вторую зону после потери значительной части своего теплосодержания. На характер изменения и величину температур нагрева оказывает влияние и процесс образования зазора между отливкой и кристаллизатором в результате протяжки и усадки отливок.

Уровень температур в третьей нижней зоне значительно ниже (кривые 5–6 рис. 1), так как наиболее существенное влияние на величину теплопередачи

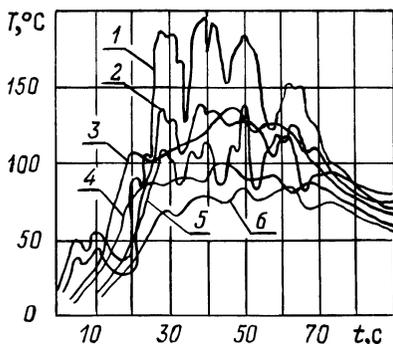


Рис. 1. Изменение температуры во времени в различных точках рабочей втулки.

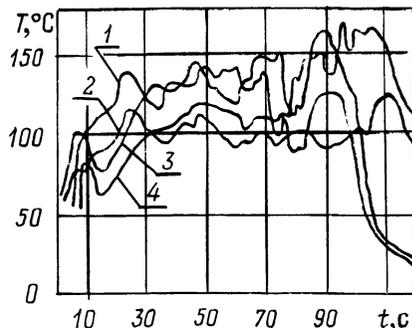


Рис. 2. Изменение температуры верхней зоны кристаллизатора при шаге протяжки 15–25 мм и температуре заливки 1260 °С.

оказывает зазор между отливкой и кристаллизатором, образующийся в результате усадки.

Таким образом, верхняя зона кристаллизатора испытывает самые большие циклические тепловые нагрузки.

О влиянии режима извлечения и температуры заливки на тепловой режим кристаллизатора можно судить по данным рис. 2. Кривые 1, 2 показывают нагрев верхней зоны при шаге протяжки 15–25 мм, температуре заливки 1320 °С, когда водяное охлаждение включено сразу же после начала процесса заливки. Кривые 3, 4 показывают нагрев верхней зоны при температуре заливки 1260 °С. Из сопоставления характера кривых 1, 2 на рис. 1 и 2 видно, что при уменьшении шага рывка колебания температур носят менее резкий характер. Градиент температуры по толщине рабочей втулки уменьшается до 4,4 °С/мм. Очевидно, что при непрерывном режиме извлечения заготовок, когда колебания уровня жидкого металла в кристаллизаторе незначительны, циклическое изменение температур будет иметь меньшую амплитуду и основное влияние на нее будет оказывать процесс образования газового зазора.

Уровень температур прогрева втулки в первых циклах зависит от режима охлаждения кристаллизатора перед началом процесса литья. Если водяное охлаждение включено до начала заливки металла, то уровень верхней зоны кристаллизатора в первых циклах литья невелик: 50–55 °С (кривые 1,2, рис. 1). Если же охлаждение включается после заливки первых порций металла, то время выхода кристаллизатора на рабочий температурный режим сокращается с 18 до 6 с.

При снижении температуры жидкого металла с 1320 °С до 1260 °С градиент температуры по сечению уменьшается до 3,4 °С/мм.

На основании исследования теплового режима можно сделать вывод, что для уменьшения амплитуды колебаний температуры в верхней зоне протяжку отливок следует осуществлять с небольшим шагом (5–10 мм) или еще лучше осуществлять ее непрерывно.