

## Литейное материаловедение, специальные способы литья

*The relation of geometrical parametres of casting with technological ones is shown. The monogram for definition of basic technological parametres of obtaining of castings by the method of continuously-cyclic iterative casting by freezing-up is presented.*

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. С. МАЗЬКО, В. П. ГРУША, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74.047

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА НАМОРАЖИВАНИЕМ

Для изготовления деталей ответственного назначения (гильз цилиндров, поршневых и уплотнительных колец и др.) используется в основном серый низколегированный чугун с пластинчатым графитом с содержанием элементов: 2,8–3,2% С; 1,6–2,2% Si; 0,6–1,2% Mn; 0,15–0,4% P; 0,1–0,4% Cr; 0,2–0,6% Ni; 0,2–1,0% Cu. Заготовки такого вида деталей отливаются в разовые формы либо центробежным способом, что связано с большой трудоемкостью и не исключает различного вида брака отливок.

Литье намораживанием значительно снижает трудоемкость изготовления отливок, уменьшает брак при существенном повышении физико-механических свойств материала.

Отличительными особенностями процесса непрерывно-циклического литья намораживанием (НЦЛН) является сифонная подача металла в водоохлаждаемый кристаллизатор, отсутствие стержня и полное извлечение отливки вверх из кристаллизатора и расплава. При этом затвердевает только периферийная часть объема жидкого металла, залитого в кристаллизатор и участвующего в формировании отливки. Наружная поверхность отливки формируется на стенке кристаллизатора, а внутренняя получается непосредственно из расплава. Поэтому толщина стенки определяется интенсивностью отвода тепла от затвердевающей отливки, временем намораживания, теплофизическими характеристиками и температурой заливаемого расплава.

Для каждого типоразмера отливок при заданном химическом составе чугуна в каждом конкретном случае необходимо определять основные технологические параметры литья: температуру подаваемого металла в кристаллизатор и время формирования.

Для получения отливок с одинаковой толщиной стенки необходимо обеспечивать постоянство

температуры металла, подаваемого в кристаллизатор в течение всего процесса литья. Соблюдение этого условия достигается при использовании подогреваемого миксера. Однако в реальных условиях разливка металла осуществляется, как правило, из необогреваемых ковшей. В этом случае температура расплава изменяется самопроизвольно и управлению не поддается. Во время разливки она монотонно понижается в ковше, литниковой системе и кристаллизаторе. Это приводит к увеличению толщины стенки и массы отливки и к неоправданному завышению припуска на механическую обработку по внутренней поверхности. На практике разливку металла часто осуществляют из нескольких ковшей путем их последовательной замены. Операция смены производится во время выдержки, равной времени формирования отливки, которое составляет 10–30 с. Поэтому операция происходит без остановки и нарушения процесса литья. При этом после смены ковшей наблюдается резкий перепад температуры металла в системе «заливочная чаша – кристаллизатор», так как температура расплава в новом ковше всегда выше, чем в предыдущем. Например, при получении отливок из чугуна диаметром 100 мм и высотой 240 мм использовали ковши емкостью 150 кг. Темп падения температуры металла в ковше в процессе разливки составлял 0,11–0,17 К/с. За время разливки одного ковша температура металла на входе в кристаллизатор снижается на 40–70К и к моменту окончания разливки составляет 1220–1240 °С. После смены ковшей температура расплава в литниковой системе возрастает до 1270–1290 °С. В этих условиях при постоянном времени формирования масса отливок, а следовательно, и толщина стенки изменяются обратно пропорционально изменению температуры расплава. К моменту окончания разливки металла из ковша масса отливок возрастает на 20–

30% по сравнению с отливками, получаемыми в начальный период разливки. Это связано с тем, что с уменьшением температуры металла средняя массовая скорость затвердевания чугуна возрастает с интенсивностью 0,004–0,005 кг/(с·К).

Минимизировать негативное влияние изменения температуры расплава можно путем корректировки времени формирования. Метод и оборудование для его реализации позволяют изменять этот параметр в период разливки без нарушения процесса литья. По мере снижения температуры расплава в литниковой системе время формирования необходимо уменьшать, а после смены ковшей вновь увеличивать. При ведении процесса литья с корректировкой времени формирования колебания массы отливок не превышают 10%.

Специфические способности формирования отливки в условиях интенсивного радиального теплоотвода иногда приводят к образованию нежелательных структурных составляющих в ее наружных слоях, что приводит к браку. Анализ условий формирования отливки и графитизации чугуна показал, что в начальный момент кристаллизации при непосредственном контакте рабочей поверхности кристаллизатора с жидким металлом затвердевание происходит с образованием цементита. По мере нарастания твердой корки скорость затвердевания падает, так как увеличивается термическое сопротивление корки и образующегося газового зазора. Дальнейшие слои отливки затвердевают с образованием аустенито-графитной эвтектики. Кристаллизация в условиях большого переохлаждения способствует образованию мелкодисперсной первичной структуры, что приводит к возникновению большого количества центров графитизации и сокращению путем диффузии углерода. Увеличение удельной поверхности раздела аустенита и цементита и высокая плотность несовершенств кристаллической решетки отбеленной наружной зоны облегчают образование и рост центров графитизации по границам зерен.

Повышение концентрации углерода приводит к увеличению времени графитизации за счет роста в структуре количества эвтектических карбидов. С увеличением содержания углерода растет количество центров графитизации и железокремнистого карбида, которые оказывают существенное влияние на формирование структуры отливок, содержащих 3,2–3,4% углерода и 1,9–2,3% кремния.

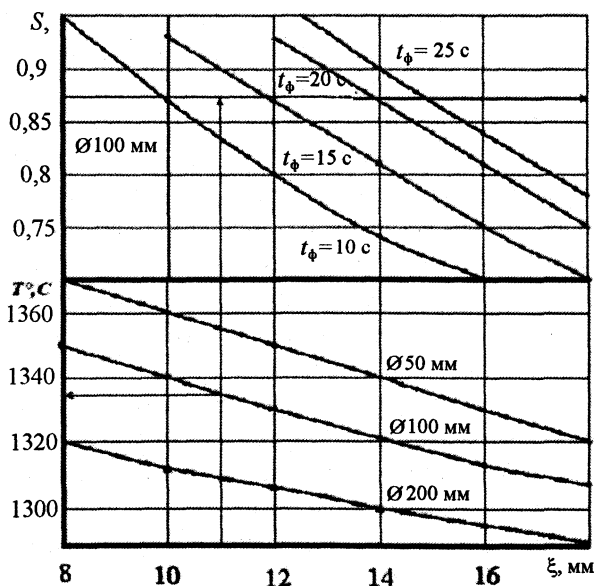
Концентрация углерода свыше 3,4% и кремния свыше 2,3% приводит к торможению процесса графитизации отливок диаметром 50–100 мм. Количество грубого сотового ледебурита, а также

размеры всех структурных составляющих приводят к уменьшению поверхности раздела аустенита и цементита и количества центров графитизации, увеличению путей диффузии углерода и падению скорости растворения карбидов.

С увеличением толщины стенки отливки и ее диаметра графитизация облегчается. Распад эвтектического цементита происходит в более широких пределах по содержанию кремния и углерода. Это связано с тем, что с ростом диаметра и толщины стенки увеличиваются время контакта корки с перегретой жидкой ванной и объем последней на единицу поверхности отливки. С увеличением диаметра кристаллизатора и уменьшением отношения толщины твердой корки к радиусу отливки растет зазор между отливкой и формой и повышается температура наружной поверхности отливки в момент ее извлечения из кристаллизатора, что также способствует распаду эвтектического цементита.

С уменьшением диаметра и толщины стенки отливки уменьшаются пределы по содержанию углерода и кремния. Если графитизация в отливках диаметром 50–100 мм происходит при концентрации кремния 1,9–2,3%, то полный распад эвтектического цементита в отливках с толщиной стенки 15–25 мм такого же диаметра наблюдается при содержании кремния 1,6–2,4%. С увеличением диаметра заготовки пределы по концентрации углерода и кремния в чугуне расширяются. Для отливок диаметром 100–200 мм независимо от толщины стенки эти пределы составляют соответственно 2,9–3,5 и 1,5–2,4%.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при построении



Номограмма для определения основных технологических параметров процесса литья

номограммы для определения основных технологических параметров процесса получения отливок различных геометрических параметров в зависимости от содержания углерода и кремния (см. рисунок). В верхней части номограммы построены экспериментальные кривые зависимости толщины стенки отливки от степени эвтектичности чугуна  $S_3 = (C + 1/3Si)/4,3$  при различных временах формирования отливки диаметром 100 мм. При получении отливок других диаметров необходимо корректировать время формирования в соответствии с формулой:

$$t_{\phi, D1} = D_1/D_2 t_{\phi 100} = (D_1 t_{\phi 100}) \cdot 10^{-2},$$

где  $t_{\phi, D1}$  – время формирования отливки заданного диаметра;  $D_1$  – заданный диаметр отливки;  $D_2 = 100$  мм – диаметр отливки, для которой построены экспериментальные зависимости времени формирования различной толщины стенки от степени эвтектичности чугуна.

В нижней части приведены экспериментальные зависимости толщины стенки отливок различного диаметра от температуры металла.

Номограмма используется следующим образом. По заданному содержанию углерода и кремния в чугуне определяется степень эвтектичности ( $S_3$ ) и проводится горизонтальная линия в верхней части номограммы. По заданной толщине стенки отливки на нижней оси номограммы проводится вертикальная линия до пересечения с ранее проведенной горизонтальной линией и определяется время формирования отливки, которое при необходимости корректируется в соответствии с формулой. В нижней части номограммы рассчитывается необходимая температура заливки для заданного диаметра отливки.

Таким образом, установленная взаимосвязь геометрических параметров отливки с технологическими параметрами и степенью эвтектичности чугуна позволяет в каждом конкретном случае определять режимы литья для получения качественных отливок методом НЦЛН.