

40 лет ИТМ НАН Беларуси

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ф. БЕВЗА, В. П. ГРУША, ИТМ НАН Беларуси

УДК 621.74.047

ПРИНЦИПИАЛЬНО НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ ПРОЦЕСС ЛИТЬЯ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГотовОК ИЗ ЧУГУНА МЕТОДОМ НАПРАВЛЕННОГО ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

The advantages of the new method of the hollow ingots production of cast iron are presented. The thermal state of crystallizer at cyclic temperature influences on its inside face, the ingot hardening and cast iron structure formation in conditions of intensive one-sided heat sink is examined. The comparative data on properties and exploitation characteristics of the parts, produced by different ways of casting is given.

Введение. В Институте технологии металлов НАН Беларуси разработан принципиально новый метод получения полых заготовок из чугуна без применения стержня направленным затвердеванием (намораживанием) [1–3].

Сущность метода заключается в следующем (рис. 1). Жидкий металл через сифонную литниковую систему 1 и соединительный стакан 2 подают в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор. Он состоит из стационарной 3 и подвижной 4 частей. Его заполняют на высоту, равную высоте получаемой отливки 5. Затем подачу металла прекращают и делают выдержку для намораживания стенки заготовки необходимой толщины. Затвердевшую корку 5, составляющую тело отливки, извлекают захватами 4 вверх из расплава и стационарного кристаллизатора 3. В это время в кристаллизатор подают новую порцию расплава, равную объему извлеченной отливки и возвращают подвижную часть кристаллизатора в исходное положение. Цикл повторяется.

Таким образом, затвердевание металла в кристаллизаторе происходит непрерывно в течение всего времени разливки, а извлечение заготовок осуществляют

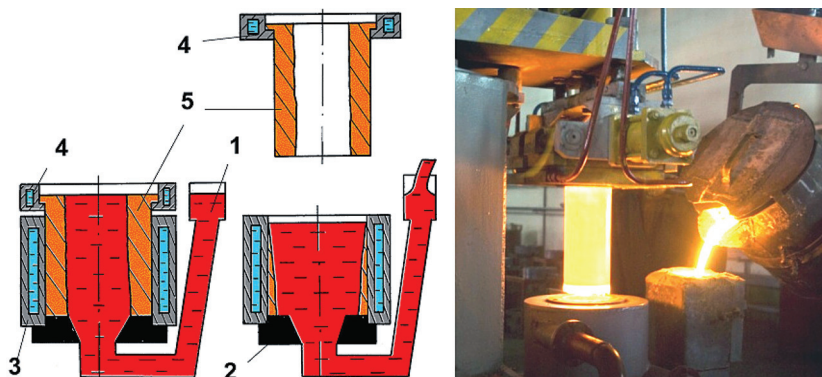


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и процесс (б) непрерывно-циклического литья полых заготовок без стержня: 1 – металлопровод; 2 – соединительный стакан; 3 – стационарная часть кристаллизатора; 4 – подвижная часть кристаллизатора (захваты); 5 – отливка



Марукович Е. И.



Бевза В. Ф.



Груша В. П.

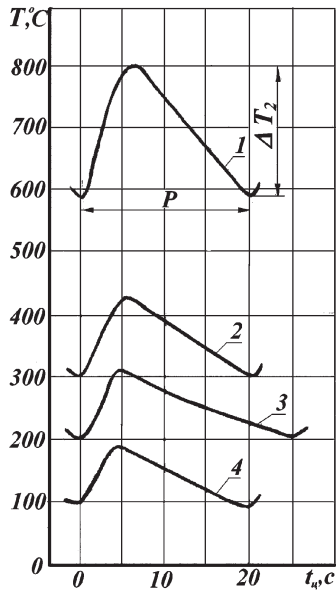


Рис. 2. Изменение температуры стенки кристаллизатора в течение одного цикла на удалении 0,5 мм от рабочей поверхности: 1 – $X_2 = 28$ мм; 2 – 17; 3 – 9; 4 – 7 мм

циклически с заданным периодом. В связи с этим метод получил название «**непрерывно-циклическое литье намораживанием**» (НЦЛН).

Основными преимуществами принципиально нового метода литья полых цилиндрических заготовок из чугуна по сравнению со всеми существующими являются:

- интенсивный односторонний теплоотвод от затвердевающей отливки, определяющий получение плотной мелкодисперсной структуры и повышение физико-механических свойств;
- обильное избыточное питание фронта затвердевания перегретым расплавом в течение всего времени формирования отливки в кристаллизаторе, что исключает появление усадочной и газовой пористости, раковин, неметаллических включений и т. п.;
- возможность управления процессом структурообразования отливок за счет использования их первичного тепла;
- отсутствие внутреннего стержня определяет свободную усадку затвердевающей отливки, что исключает брак по горячим трещинам и обеспечивает стабильность процесса литья.

Эксперимент и методика исследований. При НЦЛН внутренняя поверхность стальной рабочей втулки кристаллизатора испытывает циклические тепловые воздействия со стороны расплава. Ее наружная поверхность интенсивно охлаждается проточной водой.

Анализ температурного поля кристаллизатора проводили по величине перепада температур между внутренней и наружной поверхностью стенки рабочей втулки (ΔT_{2-3}), величине размаха коле-

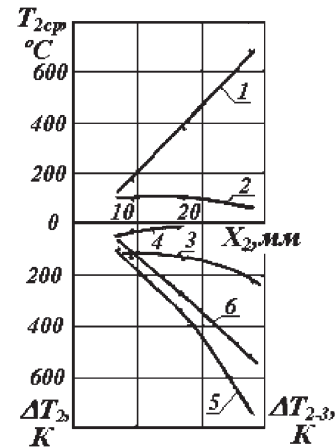


Рис. 3. Изменение средней температуры (1, 2), размаха колебаний (3, 4) и перепада температур по сечению рабочей втулки (5, 6) в зависимости от толщины стенки: 1, 3 – рабочая; 2, 4 – водоохлаждаемая поверхность; 5 – при максимальном; 6 – при минимальном значении температуры рабочей поверхности кристаллизатора

баний температуры рабочей поверхности (ΔT_2) и уровню средней температуры этой поверхности (T_{2cp}) при изменении толщины стенки от 7 до 28 мм и диаметра от 50 до 200 мм. На рис. 2, 3 показана зависимость указанных параметров от толщины стенки.

Эксперименты проводили на сером чугуне с пластинчатым графитом. Плавку чугуна массой 200 кг осуществляли в высокочастотной индукционной тигельной печи. Температура расплава в печи перед выливом в ковш составляла 1480 °С. Модифицирование чугуна проводили в ковше смесью 75% ферросилиция и черного (скрытокристаллического) графита.

Влияние тепловых условий затвердевания расплава на формирование структуры рассмотрено при литье чугуна следующего химического состава: 3,0–3,2% С; 1,8–2,0% Si; 0,7–0,9% Mn; 0,2% P; 0,04% S; 0,05% Cu; 0,1% Ni; 0,2% Cr. Литье осуществляли в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор диаметром 85 мм, толщиной стенки 12 мм, высотой 220 мм. Температура заливки чугуна составляла 1370 °С. Образцы для исследования структуры чугуна в литом состоянии вырезали из отливок после их охлаждения.

Результаты исследований и обсуждение. Изменение плотности теплового потока в течение цикла на рабочей поверхности кристаллизатора носит такой же характер, как и изменение его температуры. Во всех случаях тепловой поток в момент контакта кристаллизатора с жидким металлом практически мгновенно возрастает и носит пиковый характер (рис. 4). Затем в первые 3–5 с формирования отливки тепловой поток падает в несколько раз по отношению к максимальному

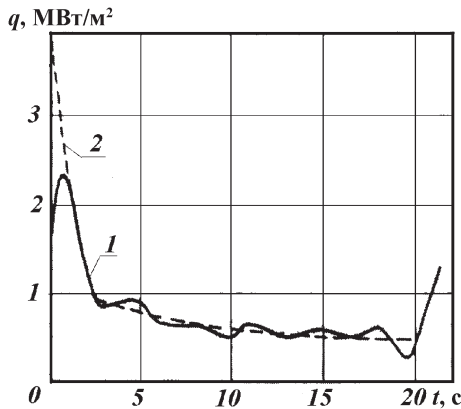


Рис. 4. Изменение плотности теплового потока на рабочей поверхности кристаллизатора в течение цикла: 1 – расчетная; 2 – усредненная кривая

значению. В последующем происходит его плавное снижение до минимальной величины.

Анализ показывает, что соответственно характеру изменения удельного теплового потока изменяется и скорость затвердевания чугуновой отливки. В начальный период, когда тепловой поток имеет максимальное значение, скорость затвердевания чугуна превышает 3 мм/с (рис. 5). При этом скорость изменения температуры на наружной поверхности отливки составляет около 450 К/с. Чугун, затвердевший в этот момент на поверхности кристаллизатора, представляет собой цементит. Толщина этого слоя может быть от 1,5 до 2,5 мм. Расстояние между осями дендритов 2-го порядка в этом слое составляет 2–12 мкм, размеры включений цементита – 2–3 мкм.

По мере нарастания твердой корки скорость затвердевания чугуна резко падает в первые 10 с до 0,5 мм/с, а затем плавно уменьшается до 0,3 мм/с в последующие периоды формирования. Это создает условия для роста глобулярных образований с неориентированными дендритами аустенита.

Особенностью процесса получения отливок направленным затвердеванием (намораживанием) является разогрев ее наружной поверхности до температуры ~980 °С после извлечения из кристаллизатора. При этой температуре отливку помещают в необогреваемую футерованную камеру. Скорость ее охлаждения в камере составляет около 0,1 К/с. Выдержка в камере в течение 80–120 с обеспечивает полный распад цементита в наружной зоне по толщине стенки отливки. При полном охлаждении отливки в камере получают ферритную металлическую матрицу. При охлаждении отливок от температуры 800 °С на воздухе структура чугуна имеет перлитную металлическую основу. При этом в наружной зоне отливки имеет место графит отжига размером

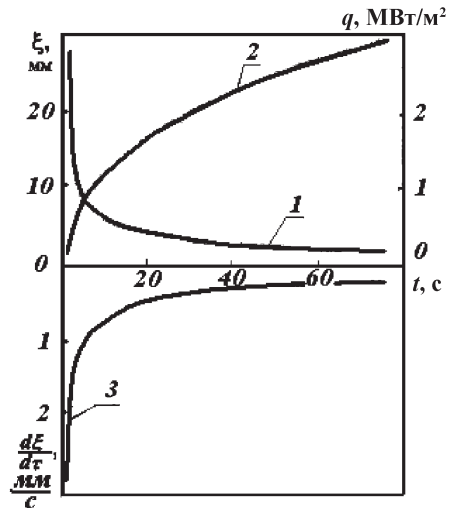


Рис. 5. Изменение плотности теплового потока на рабочей поверхности кристаллизатора (1), толщины стенки отливки (2) и скорости затвердевания серого чугуна (3) в течение времени формирования (диаметр отливки 105 мм)

10–20 мкм, в средней и внутренней зоне по толщине стенки – пластинчатый графит размером 45–90 мкм.

Опытный чугун имеет плотность 7220 кг/м³, твердость 220–240 НВ, прочность на разрыв 32–34 кг/мм². Для образцов, отлитых в песчано-глинистые формы, эти параметры имеют значения соответственно 7190 кг/м³, 150–200 НВ, 22–24 кг/мм².

Создание оптимальных условий формирования отливок при литье намораживанием обеспечивает существенное повышение прочностных и эксплуатационных характеристик материала.

Сравнительные испытания поршневых колец (ПК), изготовленных из отливок, полученных различными способами литья, показали, что наибольшей стойкостью к износу и задиру, а также высокими упругими свойствами обладают ПК, изготовленные НЦЛН. Анализу подвергали ПК и заготовки, полученные из серого чугуна одного химического состава литьем в песчаные формы (ПФ), непрерывным горизонтальным литьем (НГЛ) и НЦЛН. Результаты исследований приведены в таблице.

Свойства поршневых колец, изготовленных из отливок, полученных различными методами литья

Способ литья	Твердость НВ	Прочность σ_b/σ_{-1} , МПа	Износ*, мг/100 ч	Сопротивление задиру P_3 , МПа	Упругость, Н
НГЛ	235	229/121	51,2/70,6	20,8	8,5–10,0
НЦЛН	241	320/125	47,5/69,8	21,7	9,0–11,0
ПФ	235	295/115	54,3/72,7	18,4	6,0–8,0

* В числителе – ПК; в знаменателе – гильза цилиндра.

Выводы

1. Установлено влияние теплофизических характеристик процесса формирования отливок на

структурообразование серого чугуна с пластинчатым графитом. 2. Показан характер изменения структуры чугуна по толщине стенки отливки при интенсивном одностороннем теплоотводе. 3. Приведено описание условий устранения отбела (це-

ментитного слоя) на наружной поверхности отливки за счет ее первичного тепла. 4. Определен режим охлаждения отливок для получения ферритной либо перлитной металлической матрицы чугуна.

Литература

1. Бевза В. Ф., Марукович Е. И., Павленко З. Д., Тутов В. И. Непрерывное литье намораживанием. Мн.: Наука и техника, 1979.
2. Марукович Е. И., Бевза В. Ф., Груша В. П. Реализация концепции пристеночной кристаллизации для получения высококачественных полых цилиндрических заготовок из чугуна // Сб. науч. тр. VI МНТК «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин». Новополоцк, 2007. С. 33–35.
3. Марукович Е. И., Бевза В. Ф., Груша В. П. Затвердевание отливок при свободном формировании внутренней поверхности // Литье и металлургия. 2005. № 3. С. 15–19.