

2. Зуев А. Б. К истории процесса литья в твердожидком состоянии // Литейн. пр-во. – 2003. – № 4. – С. 20-22.
3. Пат. 85981 Украина, С2. Спосіб тиксолиття виливка / В. П. Головаченко, Г. П. Борисов, В. М. Дука. – Опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5.
4. Добаткин В. И., Эскин Г. И. Закономерности модифицирования и недендритной кристаллизации легких сплавов // Процессы литья. – 1992. – № 1. – С. 31-32.
5. Kaufmann H., Fragner W., Uggowitz P. Influence of Variations in Alloy Composition on Castability and Process Stability. Semi-solid Casting Processes // International Journal of Cast Metals Research. – 2005. – Vol. 18, № 5. – P. 279-283.
6. Гидро моделирование процесса виброциркуляционной обработки алюминиевых сплавов и ее влияние на структуру и свойства отливок / В. П. Головаченко, Г. П. Борисов, Н. П. Исачева и др. // Процессы литья. – 2004. – № 1. – С. 30-33.
7. Смутьский А. А., Семенченко А. И., Елов С. М. Термический анализ алюминиевых сплавов // Процессы литья. – 2002. – № 1. – С. 10-16.

Поступила 18.04.2011

УДК 621.74.047

Е. И. Марукович, В. Ф. Бевза, В. П. Груша

Институт технологии металлов НАН Беларуси, Могилев

НАМОРАЖИВАНИЕ – НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ЛИТЬЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ЗАГОТОВОК

Представлены преимущества нового метода производства полых заготовок из чугуна. Рассмотрены тепловое состояние кристаллизатора при циклических температурных воздействиях на его внутреннюю поверхность, затвердевание отливки и структурообразование чугуна в условиях интенсивного одностороннего теплоотвода. Приведены сравнительные данные по свойствам и эксплуатационным характеристикам деталей, полученных различными способами литья, а также техническая характеристика литейного оборудования.

Ключевые слова: чугун, кристаллизатор, направленное затвердевание (намораживание), отливка, тепловой поток, свойства.

Подана перевага нового методу виробництва порожнистих заготовок з чавуну. Розглянуто тепловий стан кристалізатора при циклічних температурних діях на його внутрішню поверхню, твердіння виливки та структуроутворення чавуну в умовах інтенсивного одностороннього тепловідводу. Наведено порівняльні дані по властивостям та експлуатаційним характеристикам деталей, які отримані різними способами лиття, а також технічні характеристики ливарного обладнання.

Ключові слова: чавун, кристалізатор, спрямоване затвердіння (наморожування), виливка, тепловий потік, властивості.

Advantages of new method of manufacture of hollow billets of cast iron are presented. Thermal condition of crystallizer at iterative temperature influences on its internal surface, solidification of casting and structurization of cast iron in the conditions of intensive unilateral heat sink are examined. Comparative data on properties and operational characteristics of the details obtained by various methods of casting are shown. The technical characteristic of foundry equipment is presented.

Keywords: cast iron, crystallizer, directional solidification (freezing-up), casting, heat current, properties.

Введение

Организация направленного затвердевания металла в процессе формирования отливки позволяет исключить большинство литейных дефектов, получить плотную мелкодисперсную структуру и высокие механические свойства. В Институте технологии металлов Национальной академии наук Беларуси разработан принципиально новый метод получения полых цилиндрических заготовок без применения стержня путем направленного затвердевания (намораживания) из различных типов чугунов [1–4].

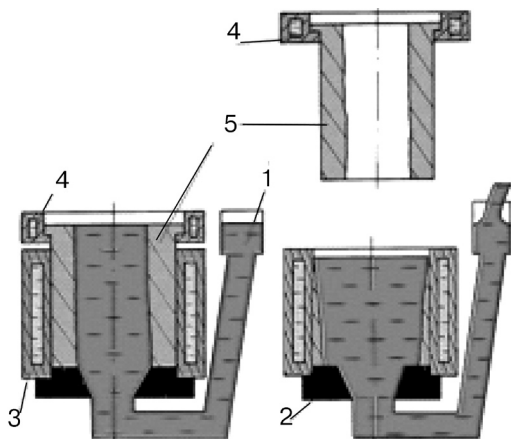


Рис. 1. Принципиальная схема непрерывно-циклического литья полых заготовок намораживанием: 1 – литниковый канал; 2 – соединительный стакан; 3 – стационарная часть кристаллизатора; 4 – подвижная часть кристаллизатора (захваты); 5 – отливка

Сущность метода заключается в следующем (рис. 1). Жидкий металл через сифонную литниковую систему 1 и соединительный стакан 2 подают в стальной водоохлаждаемый кристаллизатор, состоящий из стационарной 3 и подвижной 4 частей, до его заполнения 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 на величину, превышающую его высоту. Одновременно с началом извлечения заготовки расплав, находящийся в ее осевой части, попадает на освобождающиеся участки рабочей втулки кристаллизатора 3 и начинается намораживание следующей отливки. В

это время в кристаллизатор через сифонную литниковую систему, обеспечивающую плавное заполнение, подают новую порцию расплава, объемом, равным объему извлеченной отливки, возвращают подвижную часть кристаллизатора в исходное положение и вновь заполняют его до заданного уровня. Цикл повторяется.

Таким образом, затвердевание металла в кристаллизаторе происходит непрерывно в течение всего времени разливки, а заготовки извлекают циклически с заданным периодом. В результате в непрерывно-циклическом режиме литья получают полые заготовки мерной длины, равной высоте кристаллизатора. В связи с этим метод получил название «непрерывно-циклическое литье с намораживанием» (НЦЛН).

Основными принципиальными преимуществами нового метода по сравнению со всеми существующими являются:

- сочетание интенсивного одностороннего теплоотвода, определяющего получение плотной мелкодисперсной структуры, с постоянным избыточным питанием фронта затвердевания перегретым расплавом в течение всего времени формирования отливки в кристаллизаторе, исключающим появление усадочной и газовой пористости, раковин, неметаллических включений и т. п.;

- возможность управления процессом структурообразования чугуна вне формы за счет использования первичного тепла отливки, температура которой после извлечения из кристаллизатора всегда выше A_{c3} ;

- отсутствие внутреннего стержня, что исключает возникновение в отливке больших напряжений и брак по горячим трещинам;

- высокая производительность процесса литья и получение заготовок мерной длины без операции порезки в условиях непрерывной разливки.

Методика исследований и эксперимент

Исследования проводились при литье заготовок из серого чугуна в кристалли-

затары скольжения с рабочими втулками, изготовленными из малоуглеродистой нестареей стали, имеющей удовлетворительные характеристики по термической стойкости и позволяющие создавать сварные конструкции. Толщина стенки варьировалась в пределах от 7 до 28 мм, диаметр – от 50 до 200 мм.

При НЦЛН основным элементом, играющим роль формообразователя и теплообменника для затвердевающей отливки, является кристаллизатор. Устойчивость процесса литья и качество получаемых заготовок определяются его работоспособностью, которая во многом зависит от температурных условий работы. Температурное поле рабочей втулки обуславливается, в основном, теплофизическими характеристиками материала втулки, ее геометрическими параметрами (толщина стенки X_2 , диаметр D_1) и режимом теплового нагружения, которые при непрерывных процессах литья зависят от условий взаимодействия рабочей втулки кристаллизатора с жидким металлом и затвердевающей коркой. В момент контакта с металлом температура рабочей поверхности резко возрастает до максимального значения (рис. 2, кривая 1). Скорость повышения температуры в этот момент превышает 150 К/с. Затем, после образования твердой оболочки, ее температура относительно плавно уменьшается. Размах колебаний температуры на рабочей поверхности в течение цикла составляет около 180 К. По мере удаления от рабочей поверхности колебания температуры заметно уменьшаются и на водоохлаждаемой поверхности не превышают 5 % от амплитуды колебаний на рабочей поверхности.

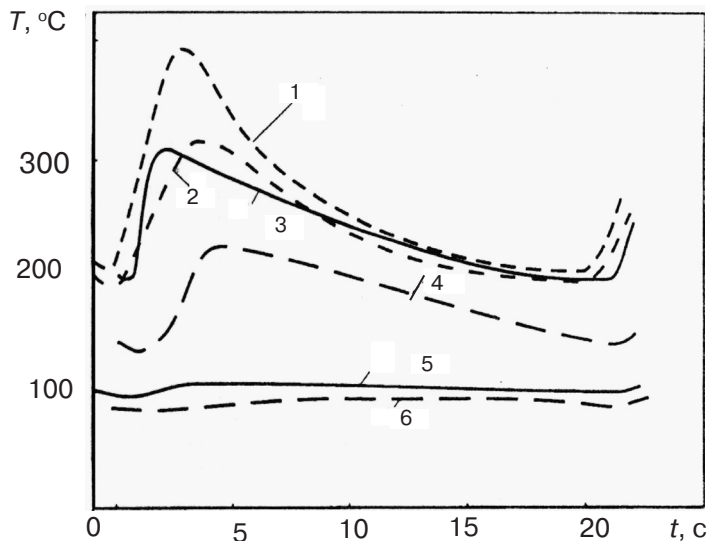


Рис. 2. Изменение температуры стенки кристаллизатора в течение одного цикла на различном удалении (x) от рабочей поверхности ($\varnothing 157$; $X_2 = 11,85$ мм); кривая 1 – $x = 0$; 2, 3 – 1,75; 4 – 6,0; 5 – 10,9; 6 – 11,85 мм; ———— – эксперимент; - - - - - – расчет

На основе проведенных исследований и опыта эксплуатации кристаллизаторов рекомендуется применять рабочие втулки из малоуглеродистой стали с толщиной стенки 8-16 мм. Причем, большую толщину X_2 следует применять при литье заготовок большего диаметра.

Затвердевание и охлаждение отливок

Условия затвердевания отливок, в основном, определяются характером изменения и величиной плотности теплового потока на рабочей поверхности кристаллизатора. Установлено, что изменение плотности теплового потока в течение цикла носит такой же характер, как и изменение температуры (рис. 3, кривая 1).

Анализ показывает, что соответственно характеру изменения удельного тепло-

вого потока изменяется и скорость затвердевания отливки. В начальный период, когда тепловой поток имеет максимальное значение, скорость затвердевания металла превышает 3 мм/с (рис. 3, кривая 2). По мере нарастания твердой корки она резко падает в первые 10 с до 0,5 мм/с, а затем плавно уменьшается до 0,3 мм/с в последующие периоды формирования.

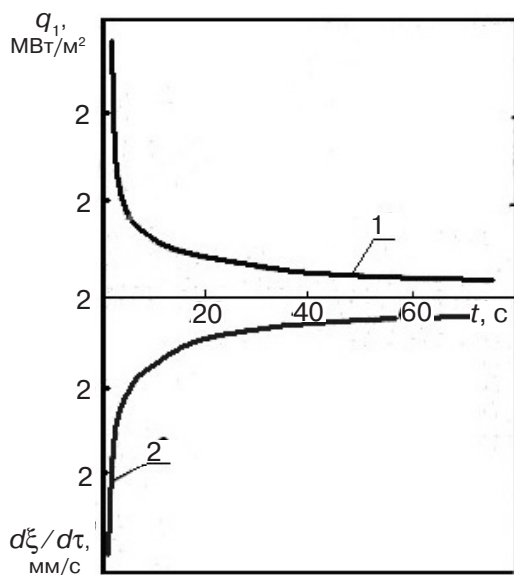


Рис. 3. Изменение удельного теплового потока на рабочей поверхности кристаллизатора (1) и скорости затвердевания серого чугуна (2) в течение времени формирования

процессы структурообразования. Например, для получения феррито-перлитной либо ферритной металлической матрицы применяют экранирование и снижают скорость охлаждения отливок в интервале температур 1000-800 °С до 0,4-0,6 К/с при использовании индивидуальных экранов и до 0,1 К/с – при применении стационарной камеры, футерованной огнеупорным кирпичом. Для получения перлитной матрицы отливки охлаждают на воздухе в естественных условиях. В результате, с помощью соответствующих приемов (экранирование, подогрев либо принудительное охлаждение) на различных стадиях охлаждения отливок оптимизируют режим теплоотвода с точки зрения получения заданной структуры, свойств и минимизации остаточных напряжений.

Структура и свойства отливок

Качество чугунных отливок определяется характером включений графита и структурой металлической матрицы, от которой зависят механические и служебные свойства деталей. В качестве показателей микроструктуры приняты величина графитных включений ($ПГ_d$), содержание структурно-свободного цементита (Ц) и феррита (Фе). Толщина стенки отливки (ξ) и шероховатость ее внутренней поверхности ($\Delta\xi/\xi$, где $\Delta\xi$ – усредненная высота выступов) также отнесены к показателям качества, так как непосредственно зависят от технологических параметров процесса. На рассмотренные показатели влияют следующие основные технологические факторы: время формирования отливки ($12\text{ с} \leq t \leq 34\text{ с}$), температура подачи металла в кристаллизатор ($1180^\circ\text{C} \leq T_c \leq 1380^\circ\text{C}$); скорость охлаждения отливки вне кристаллизатора до температуры перлитного превращения ($0,12\text{ К/с} \leq W \leq 1,75\text{ К/с}$); условия проведения перлитного превращения (на воздухе в естественных условиях, при экранировании); химический состав чугуна, учитываемый степенью эвтектичности

Полученная взаимосвязь тепловых параметров и кинетики нарастания твердой корки в условиях постоянного перегрева на фронте затвердевания дает возможность провести анализ изменения условий первичной кристаллизации чугуна и прогнозировать характер структуры отливок по толщине стенки, что обеспечивает обоснованный выбор режима вторичного охлаждения для получения заданной конечной структуры.

После намораживания заданной толщины стенки отливку удаляют из кристаллизатора и расплава, ее охлаждение происходит вне формы [5]. Условия охлаждения в этот период оказывают большое влияние на формирование конечной структуры и свойств отливки.

При НЦЛН появляется возможность в достаточно широких пределах изменять интенсивность охлаждения отливки и соответственно оказывать влияние на

Новые методы и прогрессивные технологии литья

($0,74 \leq S_3 \leq 1,0$); содержание кремния ($1,26 \leq Si \leq 2,5$); объединенный коэффициент ($-0,13 \leq C_k \leq -0,04$), учитывающие влияние легирующих элементов на отбел.

В общем виде регрессионная зависимость между показателями качества отливки и параметрами процесса литья может быть представлена следующим образом:

$$\xi = f_1(t, S_3, T_c, X_2);$$

$$\frac{\Delta \xi}{\xi} = f_2(t, S_3, T_c);$$

$$ПГ_{д} = f_3(t, S_3, C_k);$$

$$Ц = f_4(t, S_3, C_k, W);$$

$$\Phi_e = f_5(Si, S_3).$$

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. Анализ подвергались ПК и заготовки, полученные литьем в песчаные формы (ПФ), непрерывным горизонтальным литьем (НГЛ) и НЦЛН (таблица).

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

Способ литья	Твердость, НВ	Прочность σ_b/σ_{-1} , МПа	Износ*, мг/100 ч	Сопrotивление 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

Полученные результаты по принципиально новому методу позволили организовать производство высококачественных деталей с высокими эксплуатационными характеристиками из различных типов чугунов. Для реализации этого метода литья полых цилиндрических заготовок был создан комплекс специального литейного оборудования и технологической оснастки. Полуавтоматическая литейная машина с возвратно-вращательным перемещением рабочего органа (рис. 4) имеет следующие технические характеристики:

Размеры отливок, мм:

наружный диаметр.....	50-200
высота.....	100-250
толщина стенки.....	10-30
Производительность, шт/ч.....	60-180
Расход оборотной охлаждающей воды, м ³ /ч.....	20
Привод.....	пневманический
Рабочее давление воздуха, МПа.....	0,5
Расход воздуха, нм ³ /ч.....	100
Система управления.....	электрическая

Масса, кг.....	1500
Габаритные размеры машины, мм.....	1000×1500×2000

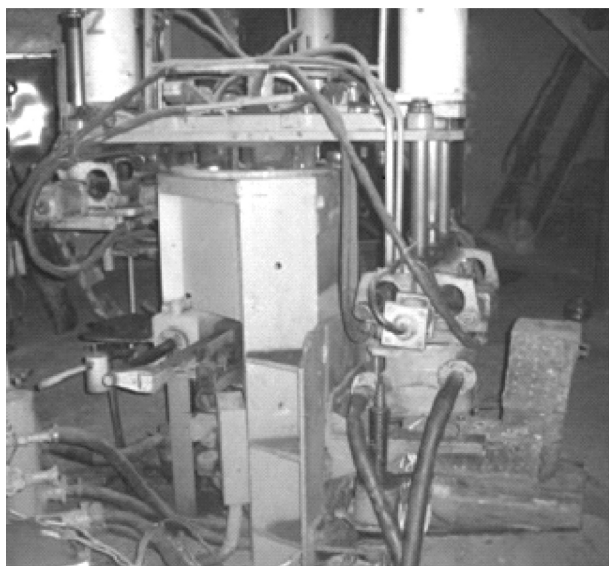


Рис. 4. Общий вид машины НЦЛН

Заключение

Разработанный технологический процесс обеспечивает:

- значительное повышение комплекса механических свойств материала отливок и ресурса работы деталей;
- получение заготовок с заданной структурой без дополнительной термической обработки;
- высокую производительность процесса литья;
- получение заготовок заданной длины без операции разрезки в условиях непрерывного литья;
- улучшение экологической обстановки.

Созданы оригинальное литейное оборудование и специализи-

рованное предприятие – УЧ НПП «Технолит» в г. Могилеве, которое осуществляет промышленный выпуск по новой технологии более 700 наименований изделий ответственного назначения из специальных чугунов.



Список литературы

1. Непрерывное литье намораживанием / В. Ф. Бевза, Е. И. Марукович, З. Д. Павленко, В. И. Тутов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 208 с.
2. А. с. 799241 СССР. Способ непрерывного литья полых заготовок / А. Г. Анисович, В. Ф. Бевза, В. С. Мазько, Е. И. Марукович, Г. Е. Иванов. – Оpubл. 1979, Бюл. № 3.
3. *Марукович Е. И., Бевза В. Ф., Груша В. П.* Реализация концепции пристеночной кристаллизации для получения высококачественных полых цилиндрических заготовок из чугуна. Материалы, технологии и оборудование в производстве эксплуатации, ремонте и модернизации машин. – Новополоцк, 2007. – С. 33-35.
4. *Толочко Н. К., Марукович Е. И., Бевза В. Ф.* Современные литейные технологии // Литье чугуна намораживанием. – Минск: БГАТУ, 2009. – С. 29-60.
5. *Анисович Г. А., Бевза В. Ф.* Охлаждение отливки при циклическом литье намораживанием. // Докл. АН БССР. – 1986. – Т. XXX, № 11. – С. 991-994.

Поступила 12.01.2011