

Литейное материаловедение, специальные способы литья

The analysis of castings formation is presented and the package of measures directed on increase of stability of casting process is developed. Parametres of casting of hollow cylindrical billets by the method of directional solidification out of white high-chromium cast iron are defined.

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

УДК 621.74.047

НЕПРЕРЫВНО-ЦИКЛИЧЕСКОЕ ЛИТЬЕ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК ИЗ ВЫСОКОХРОМИСТОГО ЧУГУНА

Повышение качества деталей, их долговечности и ресурса работы, а также снижение трудоемкости изготовления всегда было и остается актуальной задачей. Так, на РУП «БМЗ» в сталепроволочном производстве существует проблема повышения ресурса работы дисков тормозных канатных машин свивки корда. Для изготовления таких деталей используют прокат круглого сечения (диаметром 115 мм) различных марок специальных сталей (Х12М, 18ХГТ, ШХ15 и др.). Деталь представляет собой кольцо с рабочей (полированной) наружной поверхностью высотой 11 мм, наружным диаметром 108 мм и радиальной толщиной 13 мм. Ресурс работы диска тормозного составляет около 6 мес, работает он в условиях сухого трения в паре с колодками из политетрафторэтилена. Основными критериями выхода его из строя являются задиры на рабочей поверхности и истирание, приводящее к изменению геометрических размеров. Изготовление деталей из этих марок стали сопряжено с рядом проблем: во-первых, это дефицит материала, во-вторых, большой его расход при механической обработке.

Перед нами была поставлена задача – разработать материал и способ изготовления детали, обеспечивающие высокий ресурс ее работы.

Современные способы литья уже не всегда могут обеспечить всевозрастающие требования к качеству литых деталей, особенно при получении заготовок, имеющих форму полых тел вращения, таких, как кольца, гильзы, втулки различного назначения. Перспективным в аспекте повышения качества за счет создания благоприятных условий фазового перехода, отличающих его от всех традиционных способов получения полых отливок, является разработанный в институте метод литья на-

мораживанием, осуществляемый в непрерывно-циклическом режиме (НЦЛН).

Сущность метода заключается в том, что затвердевание отливки происходит в тонкостенной металлической водоохлаждаемой форме (кристаллизаторе) при интенсивном радиальном теплоотводе от ее наружной поверхности, однонаправленном движении и обильном питании фронта кристаллизации расплавом на протяжении всего времени формирования. После извлечения отливки из расплава и кристаллизатора в него сифоном подают новую порцию металла, после чего цикл повторяется.

Условия формирования отливки предотвращают образование в ней большинства литейных дефектов, присущих традиционным способам литья, и обеспечивают получение материала с высокодисперсной структурой, повышенной плотностью и твердостью, что существенно увеличивает ресурс работы деталей [1].

В условиях трения высокую износостойкость имеют белые чугуны с карбидами тригонального типа (Me_7C_3), основной особенностью которых является наличие в микроструктуре легированных карбидов железа и (или) карбидов легирующих элементов, обеспечивающих высокую износостойкость [2]. Литье специального износостойкого чугуна всегда было актуальной задачей и вызывало интерес исследователей. Задача получения отливок из белого высокохромистого чугуна (БВХЧ) методом непрерывно-циклического литья также была достаточно хорошо решена для заготовок диаметром до 70 мм при относительно небольшой (до 12 мм) толщине стенки и малых временах выдержки. Такие заготовки использовали для изготовления деталей, работающих в условиях абразивного износа [3].

На основании изложенного выше можно отметить, что всем требованиям как по условиям получения, так и по качеству отвечают полые цилиндрические заготовки, полученные методом намораживания, из белого чугуна с содержанием хрома 12–14%.

Однако до настоящего времени получение этим методом толстостенных отливок ($\xi \geq 20$ мм) диаметром более 100 мм из БВХЧ вызывало значительные трудности. Дело в том, что одним из основных параметров, определяющих толщину стенки отливки при НЦЛН, является время выдержки (t), т. е. время, в течение которого намораживается заданная толщина стенки. При достаточно длительном t для получения толстостенной отливки может произойти перемерзание каналов литниковой системы, что приводит к прекращению процесса разливки.

Кроме времени формирования при литье намораживанием, толщина стенки отливки (ξ) определяется также металлургическими и технологическими параметрами процесса разливки: химическим составом металла, температурой заливки и теплофизическими характеристиками материала отливки и формы. Каждый из этих параметров оказывает определенное влияние на темп намораживания металла и соответственно на продолжительность времени выдержки для получения заданной толщины стенки отливки.

Весьма существенное влияние на скорость намораживания ($d\xi/dt$) оказывают теплофизические характеристики материала отливки. Удельный темп намораживания высокохромистого чугуна в 1,9–2,3 раза меньше, чем серого. Это объясняется тем, что линейная усадка белых чугунов близка к линейной усадке стали и составляет 2,3–2,7%, что способствует образованию значительного газового зазора между кристаллизатором и наружной по-

верхностью затвердевающей отливки и снижению интенсивности теплоотвода от этой поверхности. Кроме того, теплопроводность этого материала находится в пределах 12–15 Вт/(м·К) [2], что меньше, чем у серого. Эти особенности высокохромистого чугуна определяют значительное снижение интенсивности теплопередачи от фронта затвердевания и соответственно скорости намораживания металла (рис. 1, кривая 2).

При литье намораживанием скорость кристаллизации металла в наружных слоях отливки составляет около 2,5 мм/с. По мере удаления фронта затвердевания от стенки кристаллизатора скорость значительно снижается и уже при толщине стенки отливки 12–14 мм она составляет примерно 0,4–0,5 мм/с. Из рисунка видно, что с 10 до 50 с скорость затвердевания снижается примерно в 4 раза (с 0,5 до 0,12 мм/с). При этом если для формирования отливки с толщиной стенки 12–14 мм t составляет около 20 с, то для отливки с толщиной стенки 18–20 мм – около 45–50 с.

Заметное влияние на темп намораживания оказывает также химический состав (степень эвтектичности S_3). При литье высокохромистого чугуна изменение степени эвтектичности в пределах 0,86–1,1 приводит к снижению удельного темпа намораживания (G) примерно на 20% (рис. 2).

Для изготовления детали «Диск тормозной» были выбраны следующие геометрические параметры отливки: наружный диаметр – 112 мм, внутренний диаметр – 74–76 мм, высота без затравочной части – 190 мм.

Для литья заготовок готовили расплав чугуна со степенью эвтектичности 0,87, содержащий около 13% Cr. Плавку белого высокохромистого чугуна производили в индукционной печи ИСТ 025 с кислой футеровкой. В качестве шихтовых материалов использовали пердедельный чушковый чу-

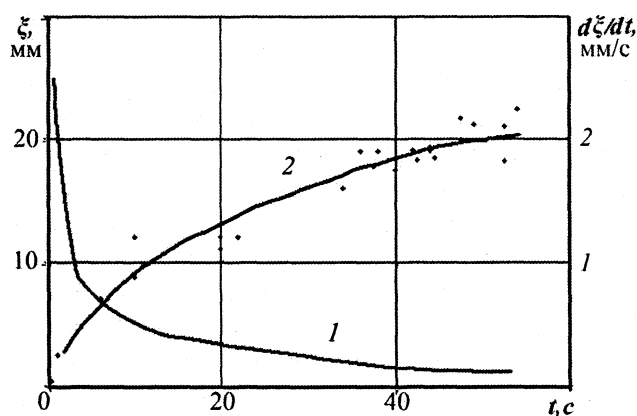


Рис. 1. Кинетика изменения толщины стенки отливки (1) и скорости затвердевания (2) белого высокохромистого чугуна ($S_3 = 0,87$)

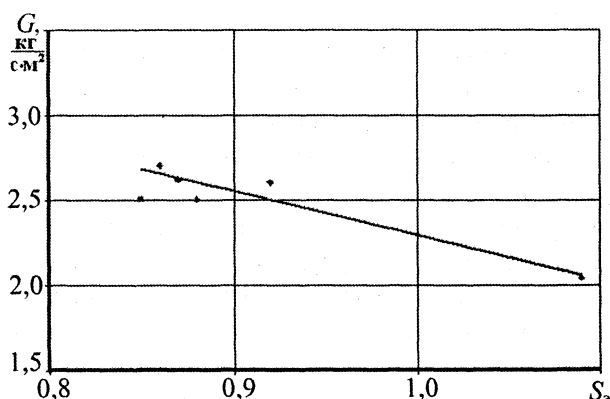


Рис. 2. Зависимость удельного темпа намораживания от степени эвтектичности белого высокохромистого чугуна

гун, сталь, феррохром. Для введения в расплав (десятых долей процента) легирующих элементов использовали ферромolibден и феррованадий. Разливку металла осуществляли в литейную установку ЛЗМ-1М для непрерывно-циклического литья полых заготовок методом направленного затвердевания без применения стержня [4]. Рабочую втулку кристаллизатора выполняли из стали (Ст3) со средним диаметром внутренней полости 113,5 мм при разности диаметров на верхнем и нижнем торце 1 мм. Толщина стенки кристаллизатора составляла 9 мм. Продолжительность времени формирования (t) отливки определяли на основе экспериментальных данных (рис. 2). При средней степени эвтектичности чугуна $S_3 = 0,87$ и массе отливки 9 кг это время составляет около 50 с.

На ход процесса литья и условия разливки металла, особенно при получении отливок с большим временем выдержки, существенное влияние оказывает температурный режим расплава в системе «заливочная чаша – кристаллизатор». По требованиям технологии необходимо было обеспечить постоянство температуры расплава, подаваемого в зону формирования отливки на протяжении всей кампании разливки.

Для повышения надежности процесса непрерывно-циклического литья необходимо стабилизировать температуру расплава, подаваемого из необогреваемого разливочного ковша и минимизировать потери расплава в каналах литниковой системы, включающей металлопровод и соединительный стакан.

Температура расплава перед выливкой из печи составляет 1580–1600 °С. Разливочный ковш предварительно разогревали до температуры 600–700 °С. Задача по поддержанию в нем температуры рас-

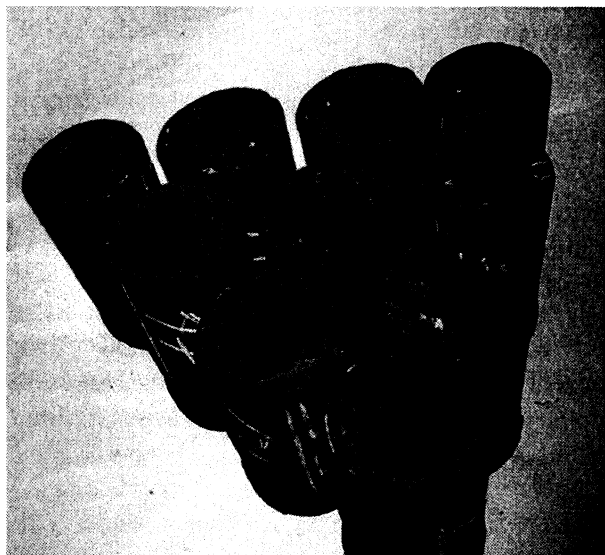


Рис. 3. Партия отливок из БВХЧ



Рис. 4. Опытная партия деталей «Диск тормозной» из БВХЧ

плава в заданном интервале решалась за счет периодического долива порций перегретого металла. На протяжении всего процесса литья в разливочный ковш периодически (через 200–250 с) осуществляли долив перегретого расплава массой около 45 кг. При этом колебания температуры в ковше при доливе в него новых порций не превышали 15–20 К, а перегрев над температурой ликвидус составлял примерно 95–105 К [5]. Применение этого технологического приема позволяет поддерживать температуру в заданном интервале на протяжении всей кампании разливки.

Условия работы литниковой системы и температурный режим расплава в ее каналах во многом определяются конструкцией и материалом, из которого она изготовлена. В начальный период на этапе прогрева стенки потери тепла в каналах литниковой системы определяются теплоаккумулирующей способностью материала, а в последующий период литья охлаждение расплава происходит за счет передачи тепла в окружающую среду.

Анализ потерь тепла от расплава в каналах литниковой системы показал, что существенного снижения их интенсивности можно добиться за счет значительного повышения термического сопротивления стенки. Наиболее эффективной с точки зрения повышения термического сопротивле-

ния, а соответственно минимизации тепловых потерь является конструкция элементов литниковой системы, выполненной в виде многослойной стенки с воздушным зазором между слоями. Так, конструкция стенки толщиной 30 мм с зазором величиной 3 мм повышает общее термическое сопротивление в 5 раз по сравнению с аналогичной толщиной однослойной стенки, выполненной, например, из шамота. Металлопровод и соединительный стакан изготавливали с искусственным воздушным зазором толщиной 3,0–3,5 мм [6, 7]. Принятые технические решения не потребовали при их реализации применения новых дорогостоящих теплоизоляционных и огнеупорных материалов, но при

этом дали реальный эффект, заключающийся в снижении вероятности прекращения процесса литья по причине замерзания.

Разработанная конструкция технологической оснастки и режимов литья обеспечили надежное ведение процесса и получение отливок с заданными параметрами (рис. 3) для изготовления детали «Диск тормозной». Опытная партия деталей (рис. 4) из заготовок, полученных по разработанной технологии, проходит эксплуатационные испытания в условиях действующего производства на РУП «БМЗ», которые показали, что ресурс их работы по сравнению с серийными увеличился более чем в 3 раза. Испытания продолжаются.

Литература

1. Непрерывно-циклическое литье намораживанием – эффективная технология получения высококачественных заготовок / А. М. Бодяко, В. Ф. Бевза, С. В. Галагаев // *Литье и металлургия*. 2005. № 3. С. 20–27.
2. Чугун: Справ. изд. / Под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. М.: Металлургия, 1991.
3. Б о д я к о А. М. Получение абразивно-стойких деталей из белых чугунов методом направленного затвердевания // *Ученые и специалисты – народному хозяйству: Тез. докл. Могилев*, 1983.
4. Установка для получения отливок методом непрерывно-циклического литья намораживанием / В. С. Мазько, В. П. Груша // *Сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Могилев, 21–22 апреля 2005 г. Могилев, 2005. Ч. 1. С. 54–55.*
5. Г р у ш а В. П. Температурный режим расплава высокохромистого чугуна при литье намораживанием // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев, 20–21 ноября 2008 г. Могилев, 2008. С. 44.*
6. Пат. 4791 Республика Беларусь. Металлопровод для сифонной подачи расплава в кристаллизатор / Е. И. Марукович, В. Ф. Бевза, В. П. Груша, В. С. Мазько.
7. Пат. 4552 Республика Беларусь. Разливочный стакан / Е. И. Марукович, В. Ф. Бевза, В. П. Груша, В. С. Мазько.