

## СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.74.04:669.15-196.5:519.633

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВТУЛОК

**В. А. Пумпур, П. Ю. Дувалов, В. М. Андриенко**

*Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов Национальной академии наук Беларуси», г. Могилев*

*Представлены результаты исследований по определению оптимальной комбинированной формы для получения литьем заготовок втулок из износостойкого хромистого чугуна. Основным критерием выбора вида и размеров элементов комбинированной формы является средняя скорость роста металлической корки в процессе затвердевания отливки с момента ее образования на стенках формы-кристаллизатора. Исследования выполнялись на основе математического моделирования теплообмена при литье втулки.*

**Ключевые слова:** литье чугуна, износостойкий хромистый чугун, математическое моделирование.

### DETERMINING THE OPTIMAL COMBINED MOLD FOR CASTING WEAR-RESISTANT BUSHINGS

**V. A. Pumpur, P. Yu. Duvalau, V. M. Andryienka**

*State Scientific Institution "Institute of Metal Technology  
National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev*

*The article presents the results of studies on determining the optimal combined mold for casting bushing blanks from wear-resistant chromium cast iron. The main criterion for selecting the type and size of the combined mold elements is the average growth rate of the metal crust during the solidification of the casting from the moment of its formation on the walls of the crystallizer mold. The research was carried out on the basis of mathematical modeling of heat exchange during casting of the bushing.*

**Keywords:** cast iron casting, wear-resistant chromium cast iron, mathematical modeling.

Втулки, работающие в условиях абразивного износа, должны обладать необходимыми эксплуатационными свойствами, прежде всего, высокой износостойкостью, твердостью и достаточной прочностью. Такие свойства достигаются получением соответствующей структуры заготовок при литье, которая в наибольшей степени определяется скоростью кристаллизации и затвердевания отливок в форме. Более высокая скорость кристаллизации износостойкого хромистого чугуна (ИЧХ) позволяет получить структуру отливки с более мелкими зернами металлической матрицы и карбидной фазы, повысить плотность литого металла, исключить усадочные дефекты и пористость.

Цель исследований – определить оптимальный вариант комбинированной формы и размеры составляющих ее элементов для обеспечения наиболее высокой средней скорости затвердевания заготовки втулки из ИЧХ.

Заготовка для последующего изготовления втулок представляет собой полый цилиндр высотой 300 мм, толщиной 14,5 мм, с наружным и внутренним диаметрами, равными соответственно 66 и 29 мм. Комбинированная форма для получения заготовки литьем состоит из внутреннего и наружного элементов. Рассматривались 4 варианта конструкции комбинированной формы для литья заготовки (рис. 1).

Внутренний элемент формы представляет собой:

- цилиндр из стали 20 с песчаным стержнем внутри (рис. 1, а);
- песчаный стержень из холодно-твердеющей смеси (ХТС) (рис. 1, б);
- полый стальной цилиндр (рис. 1, в, г).

Наружный элемент формы представляет собой или ХТС (рис. 1, а–в), или полый цилиндр из стали 20 (рис. 1, г), на внешней поверхности которого происходит конвективный теплообмен с воздушной средой.

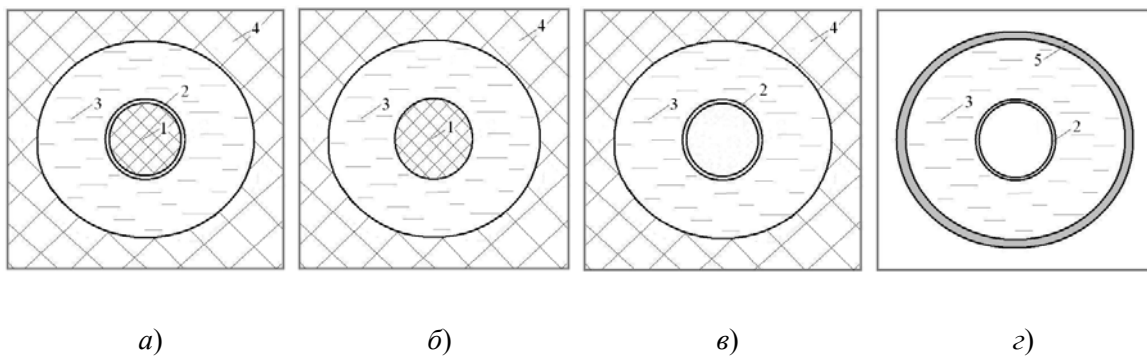


Рис. 1. Рассматриваемые варианты комбинированных форм:  
 1 – внутренний стержень из ХТС; 2 – внутренний стальной цилиндр;  
 3 – отливка; 4 – наружная форма из ХТС; 5 – наружный полый стальной цилиндр

Исследования проводились на основе использования специально разработанного программного комплекса, реализующего математическую модель теплообмена при литье заготовки втулки из ИЧХ в рассматриваемые комбинированные формы. При разработке математической модели было принято допущение о мгновенном заполнении формы расплавом при заливке. Кроме того, рассматривался теплообмен лишь в поперечном сечении отливки, так как высота заготовки значительно превосходит ее толщину, т. е. реализована двухмерная математическая модель теплообмена в цилиндрической системе координат.

Температура заливаемого расплава  $T_{зал} = 1400$  °С. Начальная температура элементов формы – 100 °С. Температура горячего воздуха внутри полого стального цилиндра (рис. 1, в и г) принималась равной 200 °С. Теплообмен между формирующейся отливкой и стальной поверхностью формы учитывался посредством граничных условий третьего рода с коэффициентами контактного теплообмена, равными  $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Теплообмен между формирующейся отливкой и поверхностью формы из ХТС учитывался посредством граничных условий третьего рода с коэффициентом контактного теплообмена, равным  $10^5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [1]. Теплообмен между внутренним стальным цилиндром и поверхностью песчаного стержня учитывался посредством граничных условий третьего рода с коэффициентом контактного теплообмена, равным  $10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Входными варьируемыми факторами численных экспериментов являлись:

- материал внутреннего стержня: ХТС (песок) или корундовый песок;
- материал наружной стенки формы: сталь 20 или ХТС;
- толщина стенки внутреннего элемента формы – стального цилиндра (рис. 1, а)  $b_{цв}$ : 2 или 3 мм;
- толщина стенки наружного элемента формы – стального цилиндра (рис. 1, в)  $b_{фн}$ : 3 или 5 мм;
- толщина стенки наружного элемента формы из ХТС (рис. 1, а, б и в)  $b_{фн}$ : 10 или 30 мм.

Определяли и анализировали:

- температурные поля по толщине затвердевающей отливки, внутренней и наружной стенок формы в динамике;
- средние температуры по толщине затвердевающей отливки, внутренней и наружной стенок формы в динамике;
- время снятия перегрева расплава при литье  $\tau_{пер}$ , с, после заливки в форму;
- момент начала затвердевания отливки  $\tau_{0зтв}$ , с;
- время полного затвердевания отливки  $\tau_{зтв}$ , с, после заливки в форму;
- продолжительность затвердевания отливки от момента снятия перегрева  $\Delta\tau_{зтв} = \tau_{зтв} - \tau_{пер}$ , с;
- продолжительность роста корки  $\Delta\tau_{кор} = \tau_{зтв} - \tau_{0зтв}$ , с, от момента начала затвердевания;
- ширину и скорость увеличения двухфазной зоны в процессе затвердевания отливки;
- толщину затвердевшей части отливки (корки) и скорость ее затвердевания на рабочих поверхностях формы в динамике;
- долю двухфазной зоны  $\delta_{дф}$  и затвердевшей корки  $\delta_{кор}$  отливки в процессе затвердевания, %;
- среднюю скорость роста корки  $V_{кор}$  за время  $\Delta\tau_{кор}$ .

Проведено 14 численных экспериментов. В результате выполненных исследований определено следующее.

Применение ХТС и корундового песка в качестве материала стержня, находящегося внутри цилиндра (рис. 1, а), оказывает примерно одинаковое влияние на кинетику затвердевания отливки. Средняя скорость роста корки  $V_{кор}$  при использовании корундового песка выше на 4,1 % при  $b_{фн} = 10$  мм и на 8,4 % – при  $b_{фн} = 30$  мм по сравнению с ХТС. Увеличение толщины внутреннего элемента формы – стального цилиндра – дает еще меньший эффект:  $V_{кор}$  увеличивается лишь на 0,8–1,6 %.

Использование в качестве внутреннего элемента комбинированной формы стального цилиндра с песчаным стержнем внутри (рис. 1, а) малоэффективно, так как он достаточно быстро прогревается, достигая температуры самой отливки, что приводит в дальнейшем к значительному увеличению продолжительности ее затвердевания и снижению его скорости. Средняя скорость роста корки без применения цилиндра (рис. 1, б) увеличивается многократно по сравнению с вариантом на рис. 1, а – от 0,366 до 4,625 мм/с.

Оптимальным вариантом комбинированной формы, обеспечивающей наиболее высокую среднюю скорость затвердевания заготовки втулки  $V_{кор} = 5,781$  мм/с, является

форма, в которой в качестве внутреннего элемента используется полый цилиндр из стали 20 толщиной 3 мм, а в качестве наружного – полый цилиндр из стали 20 толщиной 5 мм (рис. 1, *з*). При использовании ХТС в качестве наружного и внутреннего элементов формы (рис. 1, *б*) средняя скорость затвердевания ниже на 25 %. При использовании ХТС в качестве наружного элемента формы, а в качестве внутреннего – полого стального цилиндра (рис. 1, *в*) средняя скорость затвердевания ниже на 3 %.



*Рис. 2.* Полученные заготовки из износостойкого хромистого чугуна

Кроме того, именно при литье в комбинированную форму, представленную на рис. 1, *з*, обеспечивается одинаково высокая скорость роста металлической корки на обеих поверхностях стального кристаллизатора. В отличие от формы, представленной на рис. 1, *в*, где происходит направленное затвердевание отливки со стороны внутреннего полого цилиндра, на поверхности ХТС толщина корки незначительна. В свою очередь, вариант на рис. 1, *в* обеспечивает более устойчивый и технологичный процесс затвердевания отливки. Данный способ позволил получить заготовки требуемого качества и без дефектов (рис. 2).

#### Литература

1. Затвердевание отливок из износостойких чугунов при литье в кокиль, песчаную и комбинированные формы / Э. Ф. Барановский, В. А. Пумпур, В. М. Ильющенко, К. Э. Барановский // Литейное производство. – 2011. – № 2. – С. 20–24.

УДК 621.74.043.1:669.15-196.5

### **ПРИМЕНЕНИЕ СТАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ В КАЧЕСТВЕ ВНУТРЕННЕГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛОТВОДА В ДЕТАЛЯХ ИЗ ХРОМИСТОГО ЧУГУНА**

**П. Ю. Дувалов, В. М. Андриенко, А. А. Сушко**

*Государственное научное учреждение «Институт технологий металлов Национальной академии наук Беларуси», г. Могилев*

*Показана возможность увеличения твердости чугуна и улучшения микроструктуры в центральной зоне отливки за счет размещения стального стержня в центре формы перед заливкой.*

**Ключевые слова:** износостойкий хромистый чугун, ИЧХ, неоднородность микроструктуры и твердости, HRC, стальной стержень, форма.