

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №1, Том 10 / 2018, No 1, Vol 10 <https://esj.today/issue-1-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/44MMVN118.pdf>

Статья поступила в редакцию 14.02.2018; опубликована 09.04.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Воеводина М.А. Оптимизация теплофизических процессов формирования отливок // Вестник Евразийской науки, 2018 №1, <https://esj.today/PDF/44MMVN118.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Voevodina M.A. (2018). Optimization of thermal processes of castings. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(10). Available at: <https://esj.today/PDF/44MMVN118.pdf> (in Russian)

УДК 621

Воеводина Марина Александровна

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Хакасский технический институт (филиал), Абакан, Россия
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: v.m.a@list.ru

Оптимизация теплофизических процессов формирования отливок

Аннотация. В работе рассмотрена проблема повышения качества деталей, получаемых методом литья. Эту задачу предложено решить созданием на поверхности кокиля огнеупорного облицовочного покрытия. Направленное теплофизическое воздействие, реализуемое с помощью дифференцированного теплоотвода, является эффективным средством управления тепловыми процессами кристаллизации сплава. Суммарный эффект этого воздействия характеризуется изменением изотермических поверхностей, в частности фронта затвердевания отливки. При изготовлении изделий методом литья их физико-механические и эксплуатационные свойства формируются в процессе фазовых превращений, скорость которых определяется термодинамическими условиями, создаваемыми в кристаллизующемся сплаве внешним и внутренним теплоотводом.

В статье представлен графоаналитический метод расчета температур, получена зависимость, определяющая изменение температуры на поверхности формы в зависимости от физико-механических свойств покрытия. Предложенный автором метод позволяет оптимизировать выбор варианта облицовочного покрытия. Результаты расчетов подтверждены практическими исследованиями. На поверхность кокиля при изготовлении бронзовой втулки наносили огнеупорное покрытие толщиной 2-3 мм. При этом получили отливку с более высокими механическими характеристиками. Огнеупорное покрытие позволило обеспечить направленное затвердевание отливки.

Ключевые слова: условия кристаллизации; фазовые превращения; теплоизолирующие покрытия; кокиль; теплофизическое воздействие

Задача оптимизации теплофизических процессов формирования отливок состоит в разработке принципов управления температурным полем и процессами кристаллизации сплавов [1]. Эффективным средством управления этими процессами является направленное теплофизическое воздействие, реализуемое с помощью дифференцированного теплоотвода.

Суммарный эффект этого воздействия характеризуется изменением изотермических поверхностей, в частности фронта затвердевания отливки [2].

При изготовлении изделий методом литья их физико-механические и эксплуатационные свойства формируются в процессе фазовых превращений, скорость которых определяется термодинамическими условиями, создаваемыми в кристаллизующемся сплаве внешним и внутренним теплоотводом.

Внешний теплоотвод осуществляется с помощью литейной формы. При этом скорость теплоотвода определяется величиной теплового сопротивления зоны сопряжения отливки с поверхностью формы. Суммарное сопротивление этой зоны складывается из сопротивления, обусловленного изменением теплового сопротивления поверхностных слоев, неметаллических и газовых включений, а также специально используемых покрытий [3]. Теплофизические процессы в контактной зоне регулируют процессы теплового, физико-химического, механического взаимодействий расплава с литейной формой. Знание закономерностей контактного теплообмена позволяет оптимально определять геометрические и теплофизические параметры контактной зоны и создавать наиболее благоприятные условия для развития этих процессов [4, 5].

При формировании отливки в первую очередь кристаллизуются области, где возникают максимальные скорости движения изотермических поверхностей кристаллизации, в последнюю – области, скорость изменения температур в которых минимальна. При этом для создания благоприятных условий питания необходимо обеспечить последовательное направленное движение изотермы кристаллизации к прибыли или литниковой системе отливки [6]. Таким образом, изменение скорости движения изотермических поверхностей является характеристикой теплофизических процессов формирования отливок, позволяет прогнозировать влияние направленного теплофизического воздействия на процессы кристаллизации сплава [7].

Управление процессами тепломассопереноса и термонапряженным состоянием системы осуществляется контактным сопротивлением слоя, составной частью которого являются тепловые сопротивления специально используемых теплоизоляционных и теплопроводных покрытий. Физико-химическое воздействие покрытий и их прочность зависят от теплофизических условий, в которых находится покрытие.

Теплоизолирующие покрытия для кокилей – кокильные краски, содержащие огнеупорный наполнитель (мел, пылевидный кварц, тальк и др.), связующий материал (жидкое стекло, сульфидно-спиртовая барда, бентонит) и активизаторы [8]. Составы используемых огнеупорных облицовочных покрытий весьма многообразны. Технолог всегда стоит перед выбором оптимального состава покрытия.

При выборе покрытия использовали методику расчета зоны сопряжения отливки и формы. Для приближенного определения эквивалентной проводимости покрытия использовали формулу В.М. Одолевского [9].

$$\lambda_{\Sigma} / \lambda_c = 1 - m \left[(1 - \lambda)^{-1} - \frac{1}{3} (1 - m) \right]^{-1}, \quad \lambda = \lambda_c / \lambda_m,$$

где: λ_c и λ_m – коэффициенты теплопроводности покрытия и металла, m – масса расплава.

Из формулы видно, что эквивалентный коэффициент теплопроводности увеличивается при введении в состав покрытий высокотеплопроводных материалов и уменьшения

пористости. Сравнительный эффект влияние покрытия формы определяли из расчета температуры внутренней поверхности формы.

Температуру поверхности формы определяли из решения задачи теплопроводности стенки формы, интенсивность нагрева которой характеризуется усредненным коэффициентом контактного теплообмена α_k .

Тепловое сопротивление контактной зоны заменили дополнительным тепловым слоем толщиной $\delta = \lambda_\phi / \alpha_k$.

Расчетную формулу изменения температуры поверхности формы с дополнительным тепловым слоем преобразовали к следующему виду

$$\theta(1, \tau) = \frac{2 \cdot K_2}{1 + K_2} \sum h^{n-1} \cdot \frac{2 \cdot n - 1}{\sqrt{K_\lambda \cdot F_{02}}} \quad (1)$$

$$h = \frac{1 - K_2}{1 + K_2}, \quad K_2 = \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_\lambda}}, \quad K_\lambda = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

При эквивалентных коэффициентах теплопроводности покрытия $\lambda_n = 0,82 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$ и контактного теплообмена $\alpha_k = 480 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$, дополнительная толщина теплового слоя покрытия $\delta = 2,5 \text{ мм}$. Объемная теплоемкость покрытия $C_n = 670 \text{ кДж/м}^3 \cdot \text{град}$, коэффициент температуропроводности контактного слоя $\chi_1 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Коэффициент температуропроводности формы $\chi_2 = 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$, продолжительность прогрева контактной зоны толщиной $\delta = 2,5 \text{ мм}$, $\tau = \left(\frac{\delta}{2\pi \sqrt{\chi_1}} \right)^2 = 0,32 \text{ с}$.

Таблица

Теплофизические и геометрические параметры системы отливка-покрытие-форма

Параметр	Отливка	Покрытие	Форма
Начальная температура, °С	950	300	300
Толщина, мм	100	2-3	80
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·град	40	2	45
Удельная теплоемкость, кДж/кг·град	0,8	0,5	1,2
Плотность, кг/м ³	8200	2800	7100
Коэффициент контактного теплообмена, кВт/м ² ·град	1,5	0,8	0,2

Составлено автором

Распределение температуры в покрытии, на поверхности формы описываются зависимостью (1). Суммарное тепловое сопротивление зоны сопряжения отливки и формы равно сумме последовательно соединенных сопротивлений: между отливкой и покрытием

α_k^{-1} , переноса тепла через слой покрытия l_1 / λ_1 , контактного переноса тепла между покрытием и поверхностью формы.

$$\rho_k = \alpha_k^{-1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \alpha_\phi$$

Решение задачи выбора толщины покрытия формы представили графически.

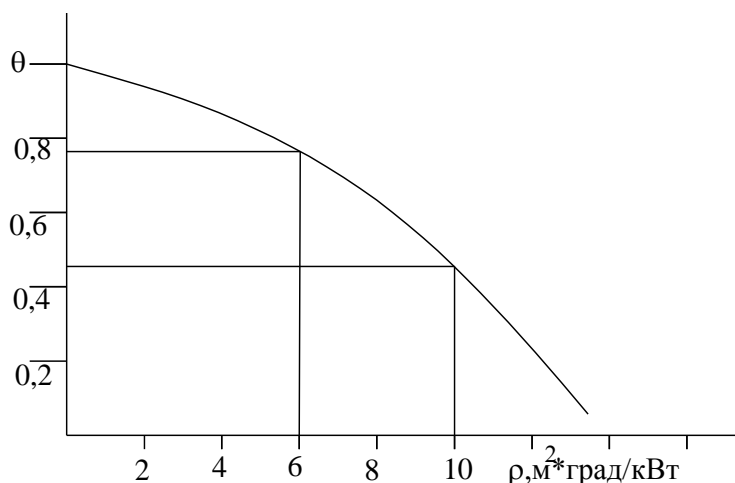


Рисунок. Зависимость толщины покрытия от его теплофизических свойств (разработано автором)

Согласно полученному графику можно оптимизировать толщину слоя наносимого на форму огнеупорного покрытия в зависимости от его физико-механических характеристик.

Результаты расчетов сопоставили с экспериментальными данными, полученными при изготовлении бронзовой втулки литьем в кокиль [10]. На чугунный кокиль нанесли пульверизатором огнеупорное покрытие толщиной 2-3 мм следующего состава: тальк (18), борная кислота (2,5), жидкое стекло (2,5), вода (77). Облицованный кокиль нагрели до 600 °С. Расплав бронзы БрАЖ9-4 приготовили в индукционной печи. Выпуск производили при температуре 900 °С. Механические испытания образцов полученных литьем в облицованный и необлицованный кокиль показали, что использование покрытия позволяет повысить механические характеристики расплава, так предел прочности при растяжении увеличился на 20 % (с 300 МПа до 360 МПа).

Таким образом, показана адекватность графоаналитического метода исследования тепломассопереноса в кристаллизующемся сплаве. Использование данного метода позволяет оптимизировать выбор огнеупорного покрытия формы и за счет обеспечения направленного затвердевания отливки повысить физико-механические выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов В.А., Легенчук В.И., Хорунжий Ю.Г., Кутищев С.М. Теплофизические особенности отливки крупных стальных слитков с охлаждающими добавками / Сб. «Проблемы стального слитка». М.: Metallurgy, 1976. – с. 202-205.
2. Журавлев В.А., Китаев В.М. Теплофизика формирования непрерывного слитка. М.: Metallurgy, 1974. – 216 с.
3. Самойлович, Ю.А., Крулевецкий, С.А., Горяинов, В.А., Кабаков, З.К. Тепловые процессы при непрерывном литье стали // – М.: Metallurgy. – 1982. – 152 с.
4. Воеводина М.А., Крушенко Г.Г. Повышение качества отливок из ЧШГ фильтрационным рафинированием. – Литейное производство. – №5. – 2011. – с. 2-5.
5. Воеводина М.А., Крушенко Г.Г. Препринт № 2-11. – Красноярск: ИВМ СО РАН. – 2011.
6. Монастырский В.П. Развитие методов моделирования процессов затвердевания отливок с направленной и равноосной структурой. – автореф. дисс. докт. техн. наук. – Москва. – 2014. – 44 с.
7. Юрченко Ю.Б., Иванова Л.А. Оптимизация теплофизических процессов в литейной форме. – Материалы 27 Всесоюз. научно-технической конференции литейщиков. – Одесса. – 1975. – с. 167-168.
8. Производство отливок из сплавов цветных металлов. Учебник для вузов // А. В. Курдюмов, М. В. Пикунов, В. М. Чурсин, Е. Л. Бибикив. – М.: Metallurgy, 1986. – 416 с.
9. Одолевский В.М. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем. – Журнал технической физики. – 1951. – вып. 6 – с. 667-685.
10. Воеводина М.А. Разработка литниковой системы для получения бронзовых отливок. – Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/> Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php> URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/83TVN217.pdf> Статья опубликована 25.04.2017.

Voevodina Marina Aleksandrovna

Siberian federal university
Khakass technical institute (branch), Abakan, Russia
E-mail: v.m.a@list.ru

Optimization of thermal processes of castings

Abstract. This article considers the problem of improving the quality of parts obtained by casting. This task is proposed to solve the creation on the surface of the chill mould refractory lining. Directional thermal effect provided by using a differentiated heat sink is an effective means to control the thermal crystallization of the alloy. The total effect of this influence is characterized by a change of isothermal surfaces, in particular of the front solidification of the casting. In the manufacture of products by moulding their physical-mechanical and operational properties are in the process of phase transformations, the speed of which is determined by the thermodynamic conditions created in the crystalline alloy of the external and internal heat sink.

The article presents graphic-analytical calculation method of temperature dependence that determines the temperature change on the mold surface depending on physical-mechanical properties of the coating. The author's proposed method allows to optimize the choice of option lining. The results of the calculations confirmed by practical research. On the surface of the chill mould in the manufacture of bronze bushings applied fire resistant coating thickness of 2-3 mm. the casting with higher mechanical properties. The refractory coating is allowed to provide the directional solidification of the casting.

Keywords: the conditions of crystallization; phase transformation; thermal insulation coating; metal mold