

**Анализ процессов формирования отливок литьем в формы,
полученных с учетом теплофизического режима заполнения**

Студенты группы 10404129 Кучмин Я.С., Коршак В.Е.

Научный руководитель - Фасевич Ю.Н.

Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Основным для получения фасонных стальных отливок при проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях показали достоверность разработанных методик и схем технологического процесса изготовления фасонных отливок методом обеспечивающим устойчивый режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки за счет разогрева прибыльной части на простую по конфигурации и размерам песчано-глинистую форму. Разработка достаточно специфического комплекса вычислительных моделей, позволяет прогнозировать процессы заполнения и затвердевания. Главное назначение для взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка» при режиме наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки сводится к обеспечению плавного подвода сплава из прибыльной части в полость формы и непрерывному питанию отливки в процессе ее затвердевания.

Чтобы добиться наилучших условий питания отливки, следует обеспечить ее направленную кристаллизацию взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка». Тепловые условия в верхней прибыльной части и в литниковой системе должны обеспечить выполнение следующего требования [1]: требуемую продолжительность перегрева в верхней прибыльной части $t_{ликв.п}$ для создания режима наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки. Должно быть создано условие (1.1) с большей продолжительностью затвердевания для верхнего сечения отливки $t_{затв.н.}$, т.е.

$$t_{ликв.п} > t_{затв.н.} \quad (1.1)$$

В работах [1, 2] для реализации выполнения необходимого требования получено следующее условие:

$$\left(\frac{\lambda_{кр}}{\delta_{кр}}\right)_{пр} = \frac{0,67 + \frac{2,093}{1,131 - X_2'}}{\delta_{тэ}}; \quad (1.2)$$

где $\lambda_{кр}$ и $\delta_{кр}$ – теплопроводность и толщина прибыльной части элементов «литниковая система–отливка»;

$\delta_{тэ}$ – приведённая толщина стенки прибыли

Условие (1.2) получено для быстроизнашиваемых деталей из инструментальной быстрорежущей стали справедливо при следующих требованиях:

непрерывность теплообмена в процессе кристаллизации отливки (заготовки), которая обеспечивается прибыльной частью взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка», которая формируется на модели отливок и заформовывается, после заливки теплофизическая смесь от соприкосновения с жидким металлом начинает сгорать и выделяет большое количество тепла, вокруг жидкого металла образуется раскаленная «рубашка» и металл прибыли поддерживается в жидком состоянии до полного затвердевания отливки.

кристаллизация отливки с прибыльной частью $t_{ликв.п}$ для создания режима наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки рассматривалась в целом во взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка»;

при заполнении песчано-глинистой формы сгорание смеси должно образовывать легко воспламеняющееся пористое вещество, способное до начала кристаллизации отливки обеспечивать медленное и устойчивое протекание режима наложения гидродинамического давления. Прибыльная часть взаимосвязанных элементов «литниковая система–отливка» должна

обладать хорошей формуемостью и оптимальной прочностью в сыром состоянии, низкой температурой воспламенения, не давать пригара на поверхностях прибылей (т.е. отсутствием химического взаимодействия между металлом прибылей и смесью). Но, конечно, самое главное – технологический процесс должен давать температуру до 2500 °С тем самым предохраняя расплав от охлаждения. Вследствие подогрева металла прибылей питание отливки жидким металлом улучшается, и величина прибылей может быть значительно уменьшена.

В работе [1] приведены примеры применения уравнения (1.2) для определения геометрических размеров питателей и условий их теплоизоляции (λ и δ), обеспечивающих получение качественных отливок.

Как показали результаты расчета температурного поля и моделирование тепловых условий формирования отливки, для обеспечения технологического процесса требуемыми условиями питания стальных и чугуновых отливок если расход металла, затрачиваемого на прибыль ω_p , будет удовлетворять следующему условию:

$$1 \leq \frac{\omega_p}{\omega_n} \leq 6 \text{ и } \frac{\omega_n}{\omega_m} \geq 0,5 \quad (1.3)$$

Для обеспечения направленной кристаллизации в песчано-глинистой форме и непрерывного питания, отливки с использованием технологических элементов литниковой системы с теплофизическими свойствами прибылей должны удовлетворять требованиям (1.2) и (1.3). С целью обеспечения плавного характера необходимо соблюдать режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки на расплав в процессе заливки. Наилучшие условия питания отливки, исключающие проникновение усадочной раковины в тело отливки применительно условиям (1.2) и (1.3), достигаются при ограниченной номенклатуре отливок, приведенной в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Типовые литниково-питающие системы

Схема системы	Отливки- представители
1	2
	Стальная отливка (корпус) с расположением прибылей в горизонтальной оси
	Детали с большим количеством тепловых узлов в горизонтальной плоскости, протяженные отливки
	Цилиндрические корпусные отливки, вкладыши подшипников, протяженные по вертикальной оси

	Корпусные детали
	Тонкостенные вытянутые в виде стержня отливки (заготовки)

Для выявления эффективности влияния исследуемых теплофизических свойств прибылей, обеспечивающих устойчивый режим наложения гидродинамического давления до начала кристаллизации отливки за счет разогрева прибыльной части на характер формирования и глубину залегания дефектов усадочного происхождения в значительной мере представляет интерес температурный интервал ликвидус–солидус (так как именно в этом интервале формируются литейные дефекты в отливках, в том числе усадочные раковины и пористость).

В зависимости от структурно-механических свойств сплава в интервале ликвидус-солидус можно выделить несколько зон. Выше температуры ликвидуса расплав ведет себя как ньютоновская жидкость. При переходе через границу ликвидуса до температуры, при которой происходит структурообразование, расплав представляет собой суспензию, характеризующуюся вязким течением. В двухфазной зоне по мнению [3, 4], можно выделить суспензионный и фильтрационный механизмы питания отливки. Границей суспензионного питания, когда дефицит питания компенсируется за счет перемещения кристаллизующегося расплава, следует признать границу текучести, т.е. при температуре ниже температуры нулевой жидкотекучести Тнж питание осуществляется путем фильтрации расплава между растущими кристаллами к фронту кристаллизации.

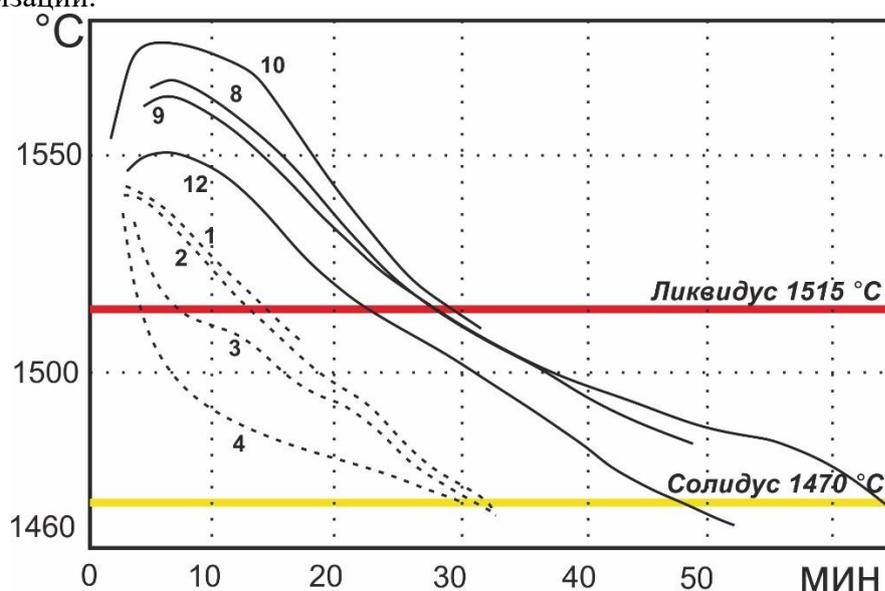


Рисунок 1.1 - Изменение температуры при затвердевании опытных отливок [5]

На рисунке 1.1 представлены температурные кривые исследуемых отливок. Группа кривых, соответствующих температурам исследуемых теплофизических свойств прибылей, обеспечивающих устойчивый режим наложения гидродинамического давления и отливки,

расположена в значительно более высокой температурной области, чем температурные кривые обычной отливки и ее прибыли. Так, например, если через 5 мин после заливки формы металлом температура в центральной зоне экзотермической прибыли (кривая 4) равна 1575° С, то в этой же зоне обычной прибыли (кривая 1) через тот же промежуток времени температура 1540° С. Особенно большая разница в температурах металла наблюдается в верхних частях отливок под прибылями. Если в отливке, изготовленной с в результате разогрева прибыльной части, например, через 10 мин (кривая 12) температура находилась на уровне 1545° С, то в обычной отливке в этой же зоне и в этот момент времени металл имел температуру 1490° С.

Если металл в центральной зоне обычной прибыли (кривая 1) достигает температуру ликвидуса через 14 мин, а солидуса через 32 мин, то в этой же зоне (кривая 10) экзотермической прибыли температуры ликвидус и солидус достигаются соответственно через 26 и 65 мин. Для верхних частей этих отливок картина выглядит следующим образом. Если в подприбыльной зоне обычной отливки (кривая 4) температура ликвидуса достигнута через 4 мин, а солидуса — через 29 мин, то для этой же части отливки с прибылью, обеспечивающей устойчивый режим наложения гидродинамического давления (кривая 12) температура ликвидуса достигнута только через 28 мин, а солидуса — через 48 мин.

В работе [1] приведена формула (1.4) для оценки изменения давления вдоль фильтрующегося потока сплава при затвердевании отливки:

$$P = P_0 - \frac{\varepsilon_v \cdot l^2}{8K(R\sqrt{t} \cdot m_c - t)} \quad (1.4)$$

где ε_v - относительный коэффициент объемной усадки сплава;

K- коэффициент фильтрации;

R- половина толщины стенки отливки;

$m_c = t_{затв}/R^2$ – относительная продолжительность затвердевания отливки;

P_0 – давление в начале потока, т.е. при $l = 0$

В литературе [1, 6, 7] предложен ряд формул для прогнозирования пористости отливок и зоны действия прибыли на этапе фильтрационного заполнения.

Выявление важных технологических параметров за счет получения характеристик, исследуемых теплофизических свойств прибылей и осуществлённый литературный анализ состояния вопроса показывает, что разработка технологического алгоритма проектирования конструкций литниково-питающих систем для управления процессом структурообразования в фасонных отливках подходит к своему логическому завершению. Для создания вычислительного алгоритма корректировки литых технологических процессов необходимо создать структуру (систему) автоматизированного расчета технологических параметров включающую в себя блоки взаимодействия программных технологических модулей способные оптимизировать гидродинамические и теплофизические процессы во взаимосвязанных элементах «литниковая система–отливка» [8].

Список использованных источников

1. Категоренко Ю.И., Чуркин Б.С., Чуркин А.Б. Автоматизированная система расчета технологических параметров при литье под регулируемым давлением: монография / Ю.И Категоренко и др.; под ред. Ю.И Категоренко. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2013. 104 с.
2. Чуркин Б.С., Гофман Э.Б., Шестаков Н.В. и др. Теория и технология методов литья под регулируемым газовым давлением. Свердловск: Изд-во Свердл. инж.-пед. ин-та, 1990. - 203 с.
3. Борисов Г.П. Давление в управлении литейными процессами. -Киев: Наукова Думка, 1988. 272 с.

4. Чуркин А. Б. Организация питания отливок при литье под регулируемым давлением / А.Б. Чуркин // Литейное производство. 2003. №11. С.12-15
5. Справник В.И., Выгоднер Д.Ф. Обогрев прибылей отливок экзотермическими смесями. - М.: Машиностроение, 1981, - 104 с.
6. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки. В 2-х частях. Ч. 2. М.: Машиностроение, 1979. - 335 с.
7. Бондарев В.А., Вейник А.И. Связь диаграммы состояния и условий питания отливки / Литейные свойства металлов и сплавов. М.: Наука, 1967. - С. 173-178.
8. Фасевич Ю.Н., Рудницкий Ф.И. Разработка методики экспериментальных исследований управления кристаллизацией литых заготовок путем оптимизации теплофизических свойств элементов литниковой системы // Литье и металлургия. 2018, №3.