

УДК 621.74.043

Литье под давлением тонкостенных протяженных отливок

Коротченко Игорь Андреевич^{1(*)}

korotigor@bmstu.ru

Коротченко Андрей Юрьевич¹

korotchenko@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Проведена серия вычислительных экспериментов по моделированию заполнения расплавом пресс-формы для каналов различной толщины и построено уравнение регрессии для определения понятия «тонкостенные протяженные отливки». Уравнение регрессии построено на основе двухфакторного эксперимента, в котором анализировалось влияние таких параметров как: толщина стенки отливки, скорость впуска расплава на длину канала, которую может заполнить расплав.

Ключевые слова: литье под давлением, уравнение регрессии, тонкостенные протяженные отливки

Injection molding of thin-walled extended castings

Korotchenko Igor Andreevich^{1(*)}

korotigor@bmstu.ru

Korotchenko Andrey Yurievich¹

korotchenko@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

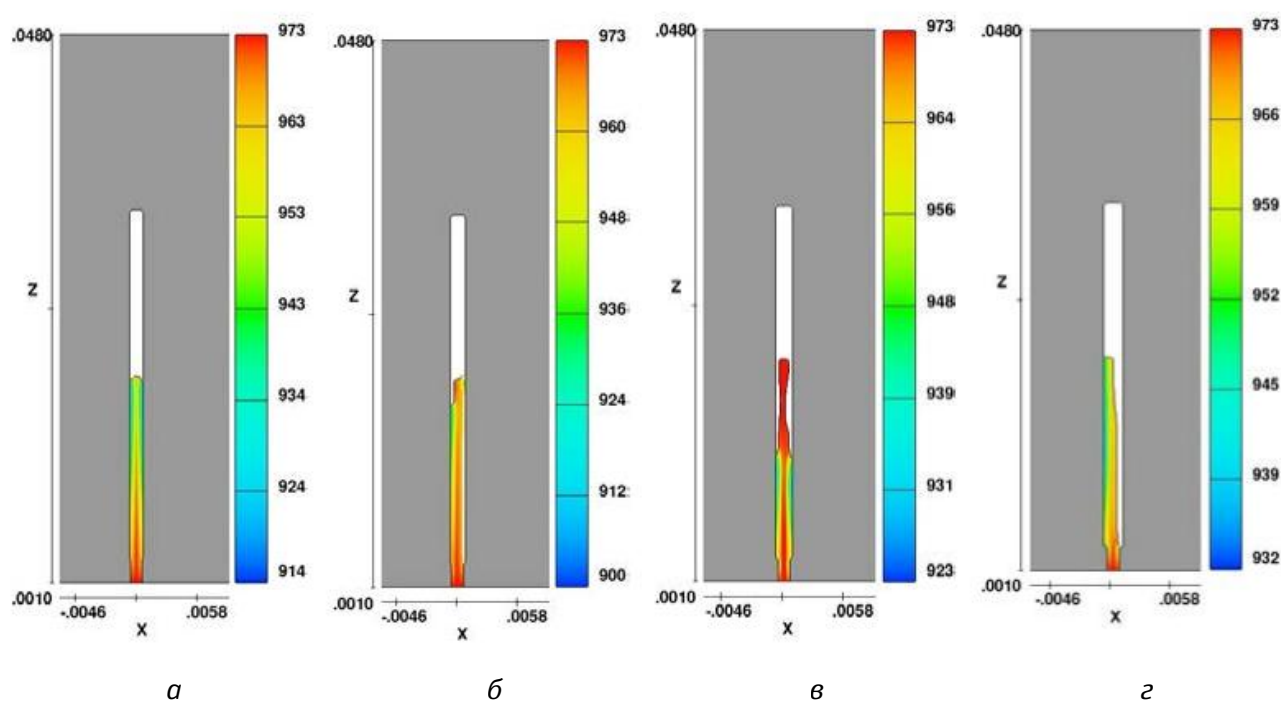
Abstract. A series of computational experiments on modeling the melt filling of a mold for channels of various thicknesses has been carried out and a regression equation has been constructed to define the concept of “thin-walled extended castings”. The regression equation is based on a two-factor experiment in which the influence of parameters such as the wall thickness of the casting and the melt inlet velocity on the channel length that the melt can fill was analyzed.

Keywords: injection molding, regression equation, thin-walled extended castings

Введение. Как было показано в работах [1–3], характер заполнения расплавом полости пресс-формы может быть принципиально различным. Для одних отливок заполнение полости пресс-формы происходит сплошным потоком, при интенсивном теплообмене расплава со стенками пресс-формы, при котором возникают большие потери перегрева и накопление доли твердой фазы. Для других отливок заполнение расплавом полости пресс-формы происходит по принципу формирования оболочки, после чего происходит заполнение внутренней полости этой оболочки, характер заполнения расплавом таких отливок подробно описан [4, 5]. В этом случае расплав почти не теряет перегрев, и доля твердой фазы в расплаве не образуется. Очевидно, что в первом случае необходимо учитывать потери перегрева при заполнении расплавом полости пресс-формы, такие отливки отнесем к категории тонкостенных.

Основная часть. Для того чтобы определить границы применимости термина тонкостенности к отливкам, проведем серию экспериментов по моделированию выхода расплава из питателя в программе FLOW-3D при разном соотношении толщины питателя к толщине стенки отливки. Стандартные толщины питателей лежат в диапазоне 1–3 мм. Поэтому проведем эксперименты с тремя толщинами питателей: 1, 2, 3 мм. Для каждой толщины питателя смоделируем отливку со следующими толщинами стенок: больше питателя на 20 %, больше питателя на 30 %, больше питателя на 50 %, больше питателя на 75 %. Согласно [6], скорость впуска для формирования дисперсного потока для данных толщин питателя будет лежать в диапазоне от 15 м/с для питателя 3 мм, до 30 м/с для питателя 1 мм.

На рисунке показано заполнение каналов в форме с питателем толщиной 1 мм.



а — толщина канала составляет 1,2 мм; б — 1,3 мм; в — 1,5 мм; г — 1,75 мм. Цветовая шкала показывает изменение температуры расплава

Моделирование движение потока расплава на выходе из питателя толщиной 1 мм со скоростью 30 м/с:

На рисунке отчетливо видно, что при толщине канала на 20 и 30 % больше толщины питателя, расплав контактирует с вертикальными стенками канала и идет интенсивный теплообмен. При превышении толщины питателя на 50 % и более, первые порции расплава не касаются боковых стенок и перегрев почти не теряют.

Аналогично проведем моделирование заполнения каналов в форме с питателем толщиной 2 и 3 мм. Моделирование показало, что при толщине стенки 2 мм, поток расплава касается боковых стенок только в канале, у которого толщина стенки больше питателя на 20 %. При превышении толщины питателя на 30 % и более поток расплава стенок не касается и перегрев почти не

теряет. Для канала толщиной 3 мм моделирование показало, что в случае, когда толщина канала больше питателя на 20 %, поток расплава касается стенок пресс-формы, при интенсивном теплообмене, а уже при превышении толщины питателя на 30 % и более, поток расплава стенок не касается и перегрев почти не теряет.

Таким образом, серия вычислительных экспериментов показала, что к тонкостенным отливкам можно отнести отливки толщиной менее 3 мм, у которых толщина стенки отливки равна толщине питателя или больше толщины питателя не более чем на 20 %.

Для таких отливок будет характерно заполнение полости пресс-формы сплошным фронтом расплава, с интенсивным теплообменом между расплавом и пресс-формой, а значит высокими потерями перегрева и образованием твердой фазы на носике потока.

Далее определим для отливок понятие протяженности, т. е. найдем такие условия, при которых длина отливки будет оказывать существенное влияние на образование твердой фазы на носике потока, которая будет приводить к остановке потока расплава. Другими словами, к категории протяженных отливок следует отнести такие отливки, для которых необходимо учитывать потери перегрева расплава при заполнении полости отливки в пресс-форме. Т. к. рекомендации по технологии литья [7] указывают, что для ЛПД достаточно расплаву иметь температуру ликвидуса на выходе из питателя. Чтобы проверить это утверждение, построим уравнение регрессии: зависимость длины канала отливки от толщины стенки отливки и от скорости впуска расплава при выходе из питателя. Для этого воспользуемся методами полнофакторного эксперимента. Уравнение регрессии для двух параметров будет иметь следующий вид:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2,$$

где y — функция длины канала отливки, мм; X_1 — первый фактор (толщина стенки отливки, мм); X_2 — второй фактор (скорость впуска, м/с); b_0, b_1, b_2 — коэффициенты уравнения регрессии.

Результаты влияния факторов на функцию будем получать моделированием заполнения расплавом пресс-формы в программе FLOW-3D. Сначала зададим два базовых фактора: толщину стенки отливки $\delta_{отл}$ 2 мм, с отклонением 1 мм в каждую сторону и скорость впуска расплава из питателя $u_{пит}$ 30 м/с, с отклонением 15 м/с. Температуру заливки установим равной температуре ликвидуса. Результаты сведем в табл. 1.

Результаты моделирования заполнения пресс-формы расплавом, т. е. насколько расплав заполнит канал $L_{отл}$ в пресс-форме при разных скоростях и толщинах представлены в табл. 2.

Проведенный статистический анализ по критериям Кохрена, Стьюдента и Фишера показал, что результаты воспроизводимы, все коэффициенты уравнения регрессии значимы и что уравнение регрессии адекватно. Итоговое уравнение регрессии имеет вид

$$L_{\text{отл}} = 379 + 42 \cdot (\delta_{\text{отл}} - 2)/1 + 125 \cdot (u_{\text{пит}} - 30)/15.$$

Пользуясь данным уравнением регрессии, возможно в зависимости от толщины отливки и скорости движения расплава, определять длину канала в отливке, которую сможет заполнить расплав, прежде чем на носике потока образуется критичная доля твердой фазы и расплав остановится. Таким образом, можно определиться с термином протяженности отливки. Так, для отливки толщиной 1 мм, при скорости впуска 30 м/с, длина канала, которую сможет заполнить расплав, составляет 337 мм, т. е. отливки длиной более 337 мм для описанных исходных данных можно отнести к категории протяженных, т. е. для таких отливок необходимо учитывать потери перегрева при заполнении полости отливки.

Таблица 1

Исходные данные

Характеристика	Фактор	
	X ₁	X ₂
Основной уровень	2	30
Интервал варьирования	1	15
Нижний уровень	1	15
Верхний уровень	3	45

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Фактор		Результат
	X ₁	X ₂	
1	+	+	545
2	+	–	298
3	–	+	465
4	–	–	210

Закключение. На основе вычислительных экспериментов определены геометрические соотношения и технологические параметры, при которых отливки можно отнести к классу «тонкостенных протяженных». Для таких отливок будет характерно заполнение полости пресс-формы сплошным фронтом расплава, с интенсивным теплообменом между расплавом и стенками пресс-формы.

Список источников

- [1] Коротченко И.А. Особенности получения качественных алюминиевых отливок для машиностроения методом литья под давлением. *Инженерное и экономическое обеспечение деятельности транспорта и машиностроения. VIII Междунар. науч. конф. молодых ученых: сб. тр.* Гродно, ГрГУ им. Янки Купалы, 2024, с. 52–59.

- [2] Коротченко И.А., Коротченко А.Ю. Особенности получения тонкостенных протяженных отливок литьем под давлением. *Будущее машиностроения России. XVII Всерос. конф. молодых ученых и специалистов: сб. докл.* Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2025, т. 1, с. 113–115
- [3] Коротченко И.А., Коротченко А.Ю. Потери перегрева в тонкостенных протяженных отливках при литье под давлением. *Прогрессивные литейные технологии. XII Междунар. науч.-практ. конф.: сб. докл.* Москва, 2024, с. 19–26.
- [4] Беккер М.Б. Литье под давлением. Москва, Машиностроение, 1990, 400 с.
- [5] Гини Э.Ч., Зарубин А.М., Рыбкин В.А. *Технология литейного производства: специальные виды литья.* Москва, Издательский центр «Академия», 2005, 352 с.
- [6] Каширцев Л.П. *Литейные машины. Литье в металлические формы.* Москва, Машиностроение, 2005, 368 с.
- [7] Белопухов А.К. *Технологические режимы литья под давлением.* Москва, Машиностроение, 1985, 272 с.