

Роль теплоты перегрева расплава в процессе формирования отливки

Демченко Е.Б.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что процесс формирования непрерывной отливки протекает в условиях существенного влияния теплоты перегрева расплава. Она воздействует на затвердевающую корку, уменьшая скорость затвердевания, а в отдельных случаях и подплавляя её. В то же время теплота перегрева наиболее интенсивно отводится на начальной стадии процесса, когда температура расплава близка к температуре заливки, а интенсивность охлаждения отливки наибольшая. Кроме этого, неравномерное распределение теплоты перегрева в полости кристаллизатора, как при подводе расплава в одну точку в случае вертикального литья с открытым уровнем, так и при горизонтальном литье приводит к возникновению несимметричности фронта затвердевания по периметру и высоте отливки. Такой характер влияния теплоты перегрева на условия формирования отливки, безусловно, сказывается на стабильности процесса литья и качестве получаемых заготовок.

Отмечалось [1], что стабильность процесса литья и качество литой заготовки во многом определяются степенью контакта расплава, а затем твёрдой корки отливки с поверхностью рабочей втулки кристаллизатора, зависящей от процесса формирования и роста газового зазора. В свою очередь процесс формирования зазора обуславливается усадкой отливки, которая главным образом зависит от неравномерного распределения и отвода теплоты перегрева и конвективного движения расплава. Отсутствие плотного контакта расплава с поверхностью кристаллизатора в зоне мениска делает возможным осуществление процесса непрерывного литья различных металлов и сплавов. Например, стали или чугуна в медные или стальные гладкие кристаллизаторы. При плотном контакте происходит подплавление рабочей поверхности кристаллизатора и прекращение процесса литья. Плотный контакт также может приводить к взаимной адгезии расплава и материала кристаллизатора.

Степень контакта расплава с поверхностью рабочей втулки может быть приближённо оценена по соотношению температур поверхности втулки и поверхности корки отливки. Она зависит от многих факторов: температуры перегрева и химического состава расплава, усадки отливки, металлостатического давления в зоне контакта, материала, состояния поверхности (гладкая, профилированная) и интенсивности охлаждения рабочей втулки, наличия окислов, смазки и т.д.

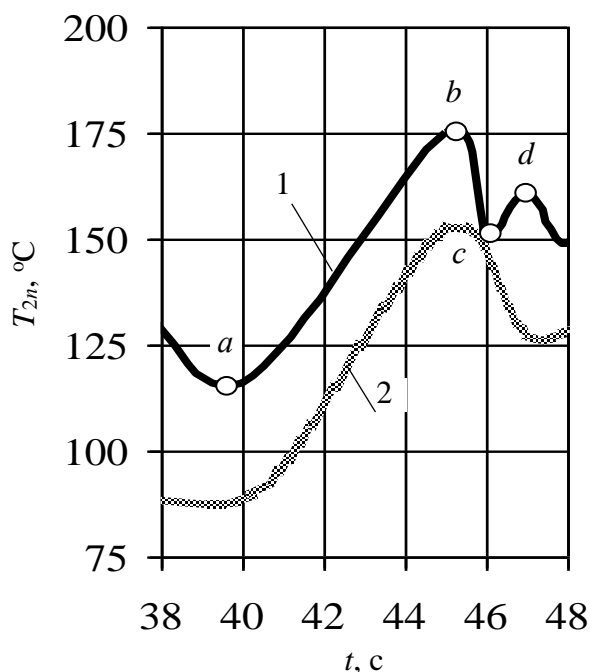
Для способов литья с открытым и закрытым уровнем степень контакта различна. При литье с открытым уровнем в самый первый момент взаимодействия расплава с поверхностью рабочей втулки идеального контакта между ними нет. Это происходит потому, что силы поверхностного натяжения превышают силы металлостатического давления расплава в зоне образования начальной корки отливки. Поэтому расплав лишь частично заполняет впадины между микро- и макро- выступами на рабочей поверхности втулки. Плёнка окислов и затвердевшая начальная корка ещё на мениске расплава обеспечивают образование газового зазора. Раннее образование газового зазора подтверждается проникновением смазки на мениск расплава подаваемой в нижнюю часть кристаллизатора. В связи с этим при выборе материала рабочей втулки необходимо учитывать факторы смачиваемости и адгезионного взаимодействия между материалами отливки и рабочей втулки.

При литье с закрытым уровнем едва ли можно говорить о наличии газового зазора в начальный момент формирования корки отливки. Выступающая часть рабочей втулки кристаллизатора постоянно находится в плотном контакте с расплавом. При циклическом режиме вытяжки отливки в момент остановки термическое сопротивление на границе «корка-поверхность втулки» меняется незначительно. Растущая начальная корка ещё недостаточно прочна,

чтобы в ней развились процессы усадки способные существенно изменить термическое сопротивление. Кроме того, сказывается значительная величина металлостатического давления расплава (особенно при горизонтальном литье) прижимающая корку к поверхности втулки. Только при движении корки по выступам поверхности втулки контакт нарушается и происходит образование газового зазора.

Изменение величины газового зазора, его постоянство по периметру кристаллизатора в значительной мере определяет равномерное затвердевание отливки. Однако в некоторых случаях, например, при вертикальном литье с открытым уровнем полых заготовок (подвод расплава в одну точку) и особенно при горизонтальном литье возникает неравномерный газовый зазор по периметру кристаллизатора.

Косвенным доказательством этого факта может служить изменение температуры поверхности втулки, в зоне, смещённой относительно места подвода расплава на 120° (кривая 2, рисунок 1) [2]. Кривые температур 1 и 2 получены в опытах при идентичных условиях литья.



1 - зона подвода расплава;
2 - смещение подвода на 120°
Рисунок 1 – Изменение температуры поверхности втулки

Видно, что температуры в этих зонах отличается на $(25...45)^\circ C$, что может быть объяснено только разной степенью контакта корки и поверхности втулки. Причины: неравномерное распределение теплоты перегрева расплава, неравномерная интенсивность теплообмена, разная скорость затвердевания корки и неравномерная усадка отливки по периметру кристаллизатора. Поэтому в местах возникновения газового зазора образуются участки корки отливки, имеющие более высокую температуру и меньшую толщину по отношению к участкам корки с более плотным контактом с поверхностью кристаллизатора.

Таким образом, исходя из анализа литературных источников и собственных теоретических и экспериментальных исследований механизмов формирования отливки, пер-

вопричиной возникновения разнотолщинности при непрерывном литье с открытым и закрытым уровнем следует считать неравномерность распределения и отвода теплоты перегрева расплава по периметру и высоте кристаллизатора [3,4]. Ведь именно с поступлением первых порций горячего расплава в кристаллизатор начинается процесс затвердевания и последующей усадки отливки. Рост твёрдой корки, усадка и образование газового зазора между коркой и поверхностью кристаллизатора полностью зависят от распределения теплоты перегрева: там, где её больше, корка будет тоньше, где меньше - корка будет толще. Следовательно, в этих зонах возникнут разные по величине силы усадки, нестабильное состояние зазора и, соответственно, неидеальность контакта корки и поверхности кристаллизатора. Это, в конечном итоге, приведёт к образованию разнотолщинности и овальности, а также к возможному образованию дефектов поверхности непрерывной отливки.

Снижения разнотолщинности, связанной с конвективным теплообменом, можно добиться применением разливки затопленной струёй с тщательной центровкой разливочного стакана относительно оси вытяжки слитка [5,6], внешних воздействий электромагнитного перемешивания расплава [7-9] локализуя действие вынужденной конвекции на фронт за-

твердевания, снижением перегрева расплава [10] с целью уменьшения толщины корки на выходе из кристаллизатора [11].

Разнотолщинность слитка обусловленная неравномерным теплоотводом в кристаллизаторе, в значительной мере устраняется за счёт увеличения скорости вытяжки, уменьшения ширины неохлаждаемых участков слитка, применения профилированных (ребристых, волнистых и т.д.) поверхностей кристаллизатора и повышения интенсивности вторичного охлаждения.

Литература

1. Демченко, Е.Б. Непрерывное литьё заготовок из чугуна для машино- и станкостроения / Е.Б. Демченко, Е.И. Марукович. – Минск: БНТУ, 2006. – 208 с.
2. Марукович, Е.И. Тепловые явления при формировании непрерывной отливки / Е.И. Марукович, Е.Б. Демченко // Минск: БНТУ, 2012. -208 с.
3. Тутов, В.И. Аналитический учёт влияния конвекции на кинетику затвердевания непрерывно-литой заготовки / В.И. Тутов, Е.Б. Демченко, Г.И. Столярова, А.Н. Крутилин, В.А. Гринберг // *Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов.* - Минск: Вышэйшая школа, 1990. - Вып.24. - С.78-81.
4. Демченко, Е.Б. К вопросу учёта неравномерного распределения теплоты перегрева в кристаллизаторе при непрерывном литье / Е.Б. Демченко, Марукович Е.И. // *Литьё и металлургия*, 2007. - №1. - С.101-103.
5. Казачков, Е.А. Исследование количественных характеристик потоков и размыва оболочки непрерывного слитка при разливке затопленной струёй / Е.А. Казачков, Л.И. Кузельная, Л.И. Мосюра // *Непрерывная разливка стали*, 1977. - Вып.4. - С.76-83.
6. *Merder, T. Numerical modeling of steel flow in the six-strand tundish with different flow control devices / T. Merder, J. Pieprzyca, M. Warzecha // Metalurgija 48 (2009) 3, p.143-146.*
7. Грачёв, В.Г. Электромагнитное перемешивание на сортовых, блюмовых и слябовых МНЛЗ / В.Г. Грачёв, И.Н. Шифрин, Б.А. Сивак и др. // *Сталь.* -2002. -№11. -С.21-26.
8. *Takatani K. Effects of Electromagnetic Brake and Meniscus Electromagnetic Stirrer on Transient Molten Steel Flow at Meniscus in a Continuous Casting Mold // ISIJ Int. Vol.43 (2003), No.6, pp.915-922.*
9. Эльдарханов, А.С. Некоторые аспекты применения внешних воздействий при непрерывной разливке стали / А.С. Эльдарханов, А.С. Нурадинов, В.Н. Баранова // *Сталь.* -2015. -№ 10. -С.17-20.
10. Пугачёв, И.А. К вопросу затвердевания непрерывного слитка в кристаллизаторе // «Современные наукоёмкие инновационные технологии», 2-4 декабря 2014 г. - Липецк: ЛГТУ, 2014. – С.607-610.
11. Федосов, А.В. Исследование деформации твёрдой корки стали, формирующейся в кристаллизаторе слябовых МНЛЗ / А.В. Федосов, В.И. Бурлаков, С.В. Ларионова // *Вестник Приазовского государственного технического университета.* – 2011. – № 22. – С. 78–81.