

РАСЧЁТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ ВЫТЯЖКИ НЕПРЕРЫВНОЙ ОТЛИВКИ

Марукович Е.И., Демченко Е.Б.

*Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилёв, Беларусь
Белорусский национальный технологический университет, г. Минск, Беларусь,
edemchenko@bntu.by),*

Основы разработки технологии непрерывного литья с открытым и закрытым уровнем, в том числе и расчёта оптимальных тепловых и технологических параметров подробно изложены в работах [1,2].

Оптимальными параметрами принято считать параметры, когда какому-либо определённому значению одного параметра или значений группы параметров соответствуют строго определённые значения другого параметра или группы других параметров. Т.е. строго говоря, имеет место прямая взаимосвязь между параметрами, установленная в результате расчёта технологии. К наиболее значимым тепловым параметрам следует отнести: температуру заливаемого расплава, т.е. его перегрев; температурный напор, скорость, температуру и режим течения охлаждающей среды, определяющие температурный режим кристаллизатора; глубину жидкой лунки и величину смещения теплового центра отливки; скорости и режим движения конвективных потоков расплава; максимальную температуру, время и длину участка разогрева отливки за пределами кристаллизатора. К технологическим параметрам: шаг вытяжки, время движения и остановки, определяющие режим движения отливки; толщину корки отливки на выходе из кристаллизатора, пожалуй, главный параметр на котором собственно и строится расчёт всей технология литья. При этом следует отметить следующее обстоятельство - значения оптимальных параметров литья не обязательно должны быть максимальными.

Большой объём знаний накопленный в результате многочисленных исследований и опытно-промышленной эксплуатации процессов, показал, что немаловажный интерес представляет практическое применение этих знаний для расчёта ещё одного из основных технологических параметров – предельной скорости вытяжки отливки. Он не только даёт представление о возможностях способов вообще, но и является, пожалуй, ключевым технологическим параметром, на основе которого рассчитываются и выбираются другие параметры литья, осуществляется процесс проектирования технологической оснастки и оборудования.

Покажем, каким образом можно вычислить предельную скорость вытяжки, используя знания, полученные при исследовании механизма формирования отливки на мениске расплава [3].

При вертикальном литье с открытым уровнем формирование начальной корки на мениске расплава протекает в условиях, когда сила поверхностного натяжения T стремится удержать корку на мениске и оттянуть её от поверхности кристаллизатора, а сила металлостатического давления F напротив пытается её прижать (рисунок 1). Если баланс сил нарушается и, в определённый момент, сила металлостатического давления становится больше силы поверхностного натяжения, то происходит либо разгибание корочки у основания мениска или её надлом, сопровождающийся переливом расплава и образованием заплыва (рисунок 1,б).

Если ввести в расчёт ещё и силу прочности корки P , то условие равновесия на мениске можно сформулировать следующим образом: если $F \leq T + P$, то корка при подъёме уровня расплава прижимается к кристаллизатору; если $F > T + P$, корка ломается с образованием заплыва

Решением условия равновесия сил

$$\rho g h_{кр} - \frac{2\sigma}{r} - \frac{2\sigma_{\theta} \xi}{r} = 0 \quad (1)$$

явилось уравнение для расчёта критической высоты мениска расплава $h_{кр}$ в месте слома корки и образования заплыва

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{2(\sigma + \sigma_e \xi)(1 - \cos \varphi)}{\rho g}}, \quad (2)$$

где σ – поверхностное натяжение; σ_e – предел прочности корки; ξ – толщина корки; φ - угол между направлением действия сил и осью вытяжки отливки; r – радиус кривизны мениска.

Если сломы начальной корки носят периодический, пульсирующий характер, то можно определить высоту заплыва на поверхности отливки

$$h_{зпл} = r - h_{кр},$$

Известно решение Фролова В.В. [4], который утверждает, что при заполнении

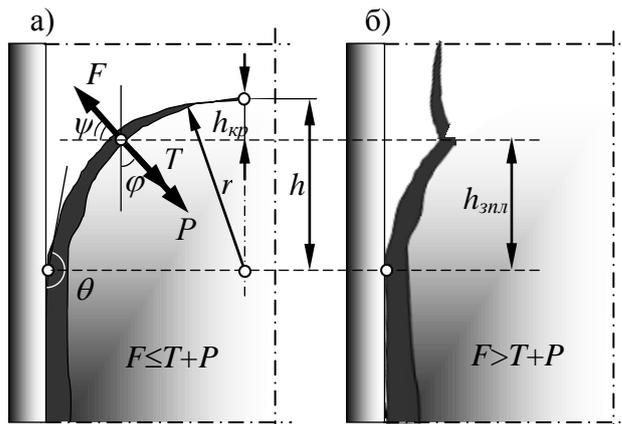


Рисунок 1 – Схема расчёта

формы струя может слиться с расплавом только при условии, если её живая сила в состоянии преодолеть сопротивление поверхностной плёнки, т.е. в нашем случае сил поверхностного натяжения T и прочности P корки. При этом металлостатическое давление F внутри расплава определяется скоростным напором струи

$$F = \frac{\gamma_1' w^2}{2g}, \quad (3)$$

где w – скорость движения струи.

С другой стороны, давление F в зоне мениска, при соблюдении условия $F \leq T + P$, равно

$$F = h_{кр} \gamma_1'. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения, получаем зависимость скорости движения струи w от критической высоты мениска расплава $h_{кр}$

$$w = \sqrt{2gh_{кр}}. \quad (5)$$

Из условий равенства объёмных расходов расплава, проходящих через литниковую систему

$$Q = ws$$

и кристаллизатор

$$Q = WS,$$

после подстановки выражения для w получаем уравнение для расчёта предельной скорости вытяжки отливки W , соответствующей максимальному напору расплава на мениске $h_{кр}$ (т.е. критической высоте), выше значения которого происходит образование заплывов

$$W = 4,43 \sqrt{h_{кр}} \left(\frac{d}{D}\right)^2. \quad (6)$$

Здесь соответственно s и S – площади поперечного сечения струи и кристаллизатора, d и D – диаметры струи и отливки.

В качестве примера рассчитаем предельную скорость вытяжки W для случая литья сплошной цилиндрической отливки из чугуна СЧ20. Имеем параметры: $D=104$ мм; $w_{ср}=0,56$ м/мин, $h_{кр}=3,1$ мм [2].

В конечной формуле есть частное $\frac{d}{D}$, которое легко найти, если воспользоваться данными работы Яковлева Ю.Н. [5]. Он установил, что для случая наполнения круглых кристаллизаторов свободно падающей струёй, силы поверхностного натяжения не оказывают заметного влияния на характер

проникновения струи и циркуляцию потоков расплава.

Это происходит, если выполняется условие

$$\frac{\sqrt{S}}{d} = (4...12) \text{ или } \frac{d}{D} = (0,22...0,07).$$

Что весьма важно характер проникновения струи идентичен характеру при наполнении под уровень. Если для отливок диаметром $D=(80...100)$ мм справедливо соотношение $\frac{d}{D} = (0,19...0,20)$, тогда критическая скорость вытяжки отливки для рассматриваемого случая литья будет равна

$$W = 4,43\sqrt{h_{кр}}\left(\frac{d}{D}\right)^2 = 4,43\sqrt{0,0031}(0,19...0,20)^2 = (0,0086...0,0094) \text{ м/с}$$

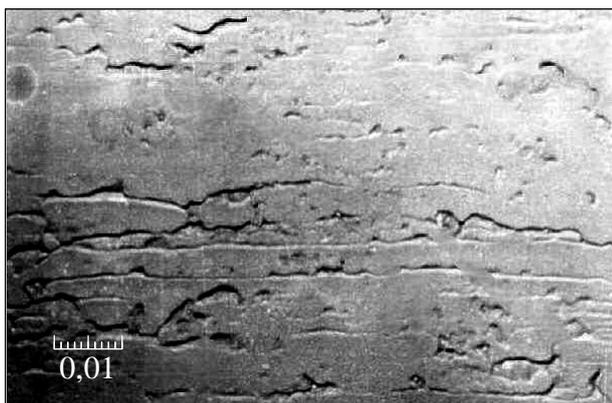


Рисунок 2 – Запльвы на поверхности
чугунной отливки
($d=104$ мм, $w_{cp}=0,56$ м/мин)

или

$$W = (0,52...0,56) \text{ м/мин.}$$

Сравнение значений критической скорости литья W и средней скорости вытяжки отливки w_{cp} показало, что w_{cp} выше критической скорости W . Поэтому на поверхности отливки имели место запльвы расплава (рисунок 2), причиной образования которых являлось сильное металлостатическое давление, превышающее в сумме прочность корки и поверхностное натяжение.

Список литературы

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. Демченко, Е.Б. Формирование начальной корки непрерывнолитой заготовки на мениске расплава / Е.Б. Демченко, Е.И. Марукович // *Металлургия машиностроения*. – 2006. –№2. –С.15–18.
4. Вейник, А.И. Теория затвердевания отливки. – М.: Машгиз, 1960. –436 с.
5. Яковлев, Ю.Н. Разработка математической модели наполнения вертикальных кристаллизаторов на основе данных гидравлического моделирования // *Металлургия и коксохимия*, 1975. –Вып.47. –С.61–64.