

Анализ структуры отливок из стали ЮЛ показывает, что в их центральной части находится феррито-перлитная структура с некоторым увеличением перлита в отливке, полученной по пеномодели. Это свидетельствует о том, что степень науглероживания от продуктов деструкции пенополистирола выше при заливке форм расплавом с меньшим исходным содержанием углерода.

В микроструктуре отливок из стали УЮЛ, полученных по моделям из пенополистирола, заметных отклонений от контрольных как в центральной части, так и в поверхностных слоях не было обнаружено. Это объясняется высокой концентрацией углерода в заливаемом металле, замедляющей его растворимость в жидком расплаве.

Исследование макроструктуры на темплетях из отливок после травления показало, что науглероживание поверхности происходит неравномерно; науглероженные участки чередуются с ненауглероженными, причем глубина науглероживания отдельных участков различная и составляет 1-4 мм.

Как правило, нижние по заливке поверхности не имеют зон науглероживания; на боковых поверхностях эти зоны носят очаговый характер, а верхние имеют почти сплошной науглероженный слой. Из этого следует, что основным источником углерода являются продукты разложения жидкой фазы, образующейся при деструкции пенополистирола. Обеспечение течения металла в полости формы со скоростью, соответствующей оптимальной скорости разложения пенополистирола, может значительно уменьшить науглероживание поверхности стальных отливок.

Микроструктура отливок из чугуна СЧ 21-40, залитых в формы с пеномоделью и в полую, отличаются незначительным изменением формы графита.

Таким образом, при получении стальных отливок методом литья по газифицируемому моделям необходимо учитывать (особенно при изготовлении малоуглеродистых отливок) изменения в структуре для получения требуемых свойств металла.

В.И. Тутов, А.А. Офенгенден,
М.С. Подольский.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЗАТВЕРДЕВАНИЯ СЛИТКОВ НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ

Данная работа посвящена разработке методики расчета затвердевания плоских и круглых слитков при непрерывном литье,

учитывающей влияние газового зазора между слитком и кристаллизатором на теплоотвод от слитка на основе упрощенной физической модели реального процесса затвердевания.

Контакт слитка с кристаллизатором делится на зону плотного (или частичного) контакта, где коэффициент теплопередачи α_1 имеет постоянное значение α_0 и зону газового зазора, когда величина α_1 изменяется. Причиной образования зазора считается термическая усадка твердой корки, термическим расширением кристаллизатора пренебрегается.

Безразмерная толщина корки δ'_3 , при которой возникает сплошной газовый зазор между слитком и кристаллизатором, определяется по формуле работы [1/

$$\sigma'_v(t_{cp}) = \frac{\gamma' H'}{\delta} \quad (1)$$

где $\sigma'_v(t_{cp})$ - временный предел прочности корки при средней температуре t_{cp} ; $\gamma' H'$ - металлостатический напор.

Решение уравнения (1) при условии линейной зависимости σ'_v от t_{cp} имеет вид:

$$\delta'_3 = \frac{\gamma_0}{2} + \sqrt{\frac{n\gamma_0}{Bi_0} + \frac{\gamma_0^2}{4}} \quad (2)$$

$$\gamma_0 = (n+1) \frac{\gamma' H'}{\sigma'_v(t_0)} \cdot \frac{t_{кр} - t_0}{t_{кр} - t_c}$$

где Bi_0 - критерий Био интенсивности охлаждения слитка в зоне формирования корки; n - коэффициент параболичности температурной кривой в сечении корки; t_0 - температура, соответствующая точке перегиба на графиках $\sigma'_v - t_{cp}$; $t_{кр}$ и t_c - температура кристаллизации и охладителя.

Подставляя δ'_3 в формулу для вычисления времени затвердевания [1/], определяем безразмерное время возникновения зоны газового зазора Fo_3 .

В зоне зазора кинетика нарастания корки определяется по уравнению

$$Fo - Fo_3 = \left(1 + \frac{1}{n+1}\right) \int_{\delta'_3}^{\delta} \frac{d\delta}{Bi_1} + \frac{1}{2n} \left(1 + \frac{1}{n+1}\right) (\delta^2 - \delta_3^2) - \frac{n}{n+1} \int_{\delta'_3}^{\delta} \frac{1}{\delta + \frac{n}{Bi_1}} \frac{d\delta}{Bi_1^2} \quad (3)$$

Как видно из уравнения, при $Bi_1 = \text{const}$ получается решение в форме А.Г. Вейника. Изменение критерия интенсивности охлаждения корки в зоне зазора Bi_1 учтем следующим образом. Величина зазора X в произвольном сечении определяется по формуле работы /1/

$$\frac{X}{X_1} = \alpha_m [t_{cp}(\delta_3) - t_{cp}(\delta)], \quad (4)$$

где α_m - коэффициент линейного расширения корки, X_1 - половина толщины плоского или радиус круглого слитка.

Изменение критерия Био по длине лунки можно записать в виде

$$\frac{1}{Bi_1} = \frac{1}{Bi_0} + \frac{\lambda_1}{\lambda_3} \cdot \frac{X}{X_1}, \quad (5)$$

где λ_1 и λ_3 - коэффициенты теплопроводности твердой корки и вещества зазора соответственно.

С учетом формулы для $t_{cp}(\delta)$ /1/, получаем решение для величины зазора в виде

$$\frac{X}{X_1} = \sqrt{\frac{a_1^2}{4} + a_2} - \frac{a_1}{2}$$

$$a_1 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \left(\frac{\delta}{n} + \frac{1}{Bi_0} \right) + \alpha_m [t_{кр} - t_{cp}(\delta_3)] \quad (6)$$

$$a_2 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \left(\frac{\delta}{n} + \frac{1}{Bi_0} \right) \alpha_m [t_{cp}(\delta_3) - t_{cp}^0(\delta)],$$

где $t_{cp}^0(\delta)$ определяется из работы /1/ при $Bi_1 = Bi_0$.

Подставляя это решение в уравнение (5) получаем изменение критерия Био по длине лунки, а из уравнения (3) - длительность затвердевания слитка. Таким образом, можно теоретическим путем рассчитывать профиль лунки непрерывного слитка.

Для сопоставления различных методов расчета с экспериментом были выбраны данные работы /2, с.83/ по литью плоских алюминиевых слитков сечением 202x951 мм со скоростью 6,3 м/ч в дюралюминиевый кристаллизатор, поскольку автором указаны все необходимые для расчета теплофизические параметры. Кроме приведенных автором параметров, нами ис-

пользованы следующие величины: $t_0 = 645^\circ\text{C}$, $\sigma_B(t_0) = 20000 \text{ кг/м}^2$, $n = 1$, $\lambda_3 = 0,0469 \text{ ккал/м.час}^\circ\text{C}$, $\alpha_m = 31,3 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Термическое сопротивление Z_K при плотном контакте в зоне формирования корки равно нулю и $Bi_0 = 0,50$; при частичном контакте $Z_K = 311,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \text{ ч}^\circ\text{C/ккал}$ и $Bi_0 = 0,32$.

На рис. 1 показано изменение коэффициента теплопередачи от слитка к охладителю по зоне лунки, рассчитанное по разным методикам. Кривая 5 убывает слишком быстро, что объясняется выбором для коэффициента K величины теоретической усадки сплава. Можно показать, что при выборе величины K по экспериментальным данным, кривая 5 пройдет между кривыми 1 и 2.

На рис. 2 показан профиль лунки плоского слитка, полученный по различным методикам. Кривая 1 построена по экспериментальным данным /2/. Кривая 2 получена по методике А.И. Вейника /2/, $Bi_1 = 0,179$. Кривая 3 получена по методу А.А. Рыжикова и Г.И. Тимофеева /4/, $Bi_1 = 0,382$, $K = 0,02$. Кривая 4 построена по закону "квадратного корня", значение $\beta = 27,1 \text{ мм/мин}^{0,5}$ подобрано по методу наименьших квадратов. Кривые 5, 6 получены по уравнению (3) при $Bi_1 = 0,32$ и $0,5$ соответственно. Для упрощения вычисления интегралов по методу Симпсона расчеты проводились на ЭВМ "Наири-2". Кривые 7, 8 и 9 построены по методикам I. Savage /5/ для плотного контакта и частичного контакта ($q_{01} = 752490 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч}$; $q_{02} = 490906 \text{ ккал/м}^2 \text{ ч}$), причем в первом случае величина q_{01} выбиралась при $Bi_0 = 0,32$, а во втором - по методу наименьших квадратов. Кривая 10 получена по методу А.Н. Тихонова и Е.Г. Швидковского /3/, $Bi_1 = 0,2$, $\eta = 1$.

Как видно из рис. 2, наилучшее совпадение с экспериментом дает кривая 4, построенная по закону "квадратного корня". Недостаток его в том, что значение коэффициента затвердевания нужно выбирать из эксперимента. Кривая 5 проходит ниже кривой 1 в области $0 < \delta < 0,19$, что объясняется неучтенным осевым теплопереносом в слитке, а в области $0,19 < \delta < 0,29$ выше кривой 1, что объясняется неучтенным термическим расширением кристаллизатора. Тем не менее, полученная теоретическим путем (кривая 5) толщина корки на выходе из кристаллизатора ($\delta_B = 0,29$) достаточно хорошо согласуется с экспериментальным значением $\delta_B = 0,26$.

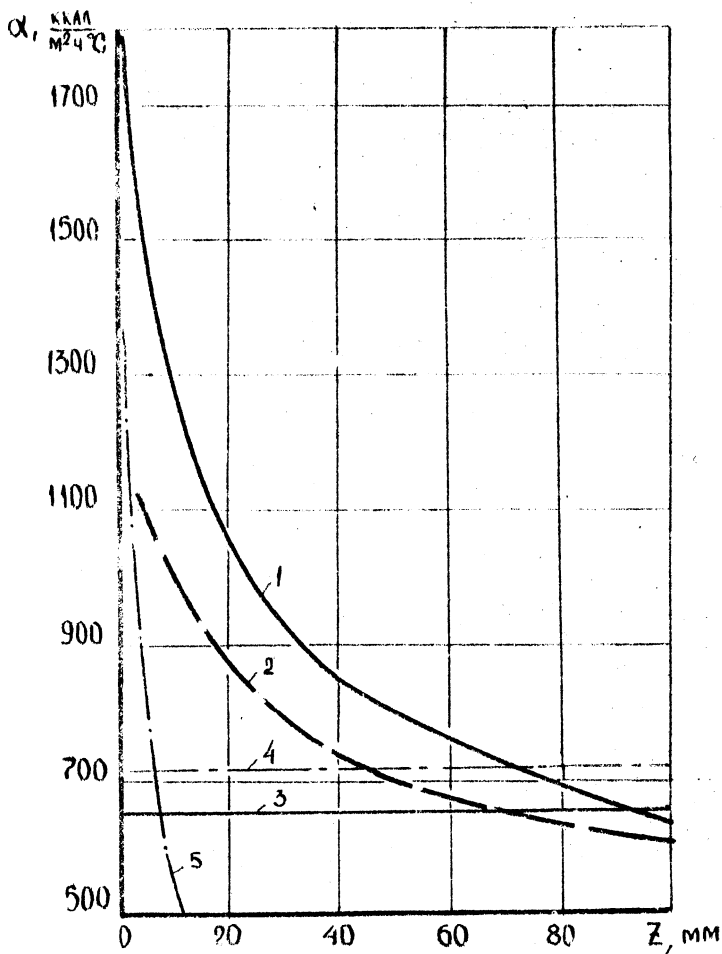


Рис. 1. Изменение коэффициента теплопередачи по длине лунки жидкого металла.
 1,2 - предлагаемые методы расчета при $Bi_0 = 0,50$ и $0,32$; 3 - метод А.Р. Вейника /2/ при $Bi_1 = 0,179$; 4 - метод А.Н. Тихонова и Е.Г. Швидковского /3/ при $Bi_1 = 0,2$, $\eta = 1$; 5 - метод А.А. Рыжикова и Г.И. Тимофеева /4/ при $Bi_0 = 0,382$, $k = 0,02$.

При повышении скорости литья или при литье малотеплопроводных материалов погрешность предложенного метода должна уменьшаться. Кривая 6 проходит вблизи кривой 1 в области $0 < \delta < 0,15$, а затем уходит круто вверх, что вызвано пренебрежением влияния зазора на теплообмен.

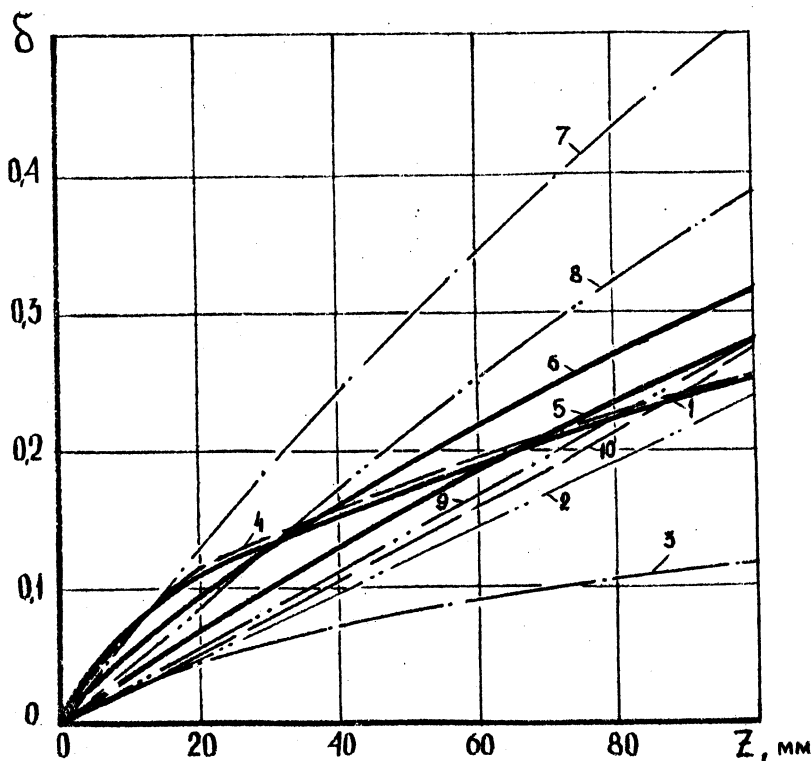


Рис. 2. Профиль лунки плоского слитка

6 — безразмерная толщина корки.

1 — эксперимент; 2 — метод расчета А.И. Вейника; 3 — метод А.А. Рыжикова и Г.И. Тимофеева; 4 — закон "квадратного корня"; 5, 6 — предлагаемые методы; 7, 8, 9 — методы I. Savage/5/; 10 — метод А.Н. Тихонова и Е.Г. Швидковского.

Л и т е р а т у р а

1. Вейник А.И. Теория затвердевания отливки. М., Машгиз, 1960. 2. Вейник А.И. Теория особых видов литья. М., Машгиз, 1958. 3. Тихонов А.Н., Швидковский Е.Г. ЖТФ, г. ХУП, вып. 2, 1947. 4. Рыжиков А.А., Тимофеев Г.И. Сб.: "Взаимодействие литейной формы и отливки", М., АН СССР, 1962, с.22-24. 5. Savage I. I. Iron and Steel Institute, 1962, v. 200. N 1, p. 41-47.

В.Ф. Бевза, Е.И. Марукович,
Н.А. Сенькин

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ОТЛИВКИ С ПОМОЩЬЮ ЭКРАНОВ

Из теории теплопередачи известно, что установка плоского экрана параллельно какой-либо поверхности уменьшает в стационарном режиме тепловой поток в два раза. При этом имеется в виду, что экран не имеет термического сопротивления, а его теплофизические характеристики такие же, как у излучающей поверхности. Если же теплопроводность материала экрана и коэффициент лучеиспускания меньше, чем у поверхности непрерывной чугуновой отливки, то скорость охлаждения можно изменить в несколько раз.

Рассмотрим теплообмен между двумя цилиндрическими поверхностями - полый чугуновой отливкой и тонким алюминиевым экраном. Термическим сопротивлением стенки экрана и его теплоаккумулирующей способностью можно пренебречь.

Тепловой поток между поверхностью трубы и экраном определяется по формуле:

$$q_2 = c \cdot \left[\left(\frac{T_{II}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{Э}}{100} \right)^4 \right] + \alpha c_2 \cdot \left(\frac{T_{II} - T_{Э}}{2} \right), \quad (1)$$

где T_{II} и $T_{Э}$ - соответственно температура поверхности отливки и экрана; αc_2 - коэффициент теплоотдачи соприкосновения; c - приведенный коэффициент лучеиспускания системы отливка-экран.

Тепловой поток на наружной поверхности экрана равен

$$q_3 = \left\{ c_3 \cdot \left[\left(\frac{T_{Э}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_c}{100} \right)^4 \right] + \alpha c_3 \cdot (T_{Э} - T_c) \right\} \cdot \frac{F_3}{F_1}, \quad (2)$$