

Summary

R. N. Korol

Design and introduction of universal schedule of deformation for rolling precision tubes of different steel grades in the tube cold rolling (TCR) mills

A new method for analysis of universal schedule of deformation for rolling precision tubes of different steel grades in the TCR mills. Profile of the ridge of the groove and generatrix of mandrel, designed in the shape of two independent exponent allows to take into account the hardening of the tube material while rolling. An increased ratio of extents of zones of reducing, reduction and grooving of mandrel and groove allows in its turn to promote the mill setting at the expense of a possible axial displacement of the mandrel in two sides from the nominal position

Анотація

Р. М. Король

Розробка та впровадження універсального режиму деформації для прокатки прецизійних труб із різноманітних марок сталей на станах ХПТ

Описано новий метод розрахунку універсального режиму деформації для прокатки прецизійних труб із різноманітних марок сталей на станах ХПТ. Профіль гребеня рівчака калібру та твірної оправки, виконаний у вигляді двох незалежних експонент, дає можливість врахувати зміцнення матеріалу труби під час прокатки. Збільшене співвідношення протяжностей зон редукування, обтискування та калібрування оправки та рівчака калібру дозволяє полегшити настроювання стану за рахунок можливого осьового переміщення оправки в обидві сторони від номінального положення

Ключевые слова

Режим деформации, прокатка прецизионных труб, станы ХПТ, ручей калибра, независимые экспоненты, зоны редуцирования, оправка

УДК 621.74.043.2-984.669.11

О. А. Яковышин (ФТИМС НАНУ)

Теплофизические особенности установки литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением

Задача повышения конкурентоспособности производства с одновременным улучшением качества поверхности, геометрической точности, физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик литых изделий решается путем широкого использования новых прогрессивных, ресурсосберегающих технологий, к которым можно отнести все разновидности технологии литья по газифицируемым моделям, объединить которые можно в две основные группы: гравитационная заливка с нижним, верхним или комбинированным подводом расплава в форму; заливка и кристаллизация расплава под избыточным регулируемым давлением. Технология гравитационной заливки, которая в последнее время находит все более широкое распространение, не всегда обеспечивает

Представлен расчет тепловых потерь расплава в установке литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением. На базе установленных зависимостей предложена формула для определения начальной температуры заливаемого в камеру выжимания расплава

достижение требуемых показателей гидроплотности отливок ответственного назначения, что может быть связано с влиянием образующихся продуктов термодеструкции газифицируемой модели (ГМ) и формирующейся в процессе кристаллизации рассредоточенной или концентрированной пористости. Технология выжимания расплава позволяет уже на этапе заполнения управлять гидродинамическими процессами, происходящими в форме, и обеспечивать наиболее оптимальную скорость поступления расплава в форму. Кроме того, кристаллизация расплава под избыточным давлением улучшает условия питания отливки и

формирует более высокие плотность и физико-механические свойства материала отливки [1-14]. К этому следует добавить, что применение способа литья выжиманием с кристаллизацией расплава под избыточным давлением (ЛВКД) позволяет получать точные литые заготовки с КИМ до 0,95, снизить массу существующих отливок до 30 % за счет уменьшения толщины их стенок при сохранении конструктивной прочности и сократить расход энергии на механическую обработку [15]. Теоретические и технико-экономические аспекты различных модификаций способа ЛВКД представлены в широком спектре работ [16-19]. Сущность процесса ЛВКД, исследуемого в Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины, состоит в следующем. Металлический вакуумируемый контейнер с заформованной в сыпучем кварцевом наполнителе пенополистироловой моделью фиксируется на подвижной траверсе установки, на станине которой устанавливается предварительно прогретая футерованная огнеупором стальная камера выжимания. Далее из плавильной печи посредством разливочного ковша расплав заливается в камеру выжимания и в соответствии с алгоритмом управления (по команде с пульта управления) осуществляется перемещение подвижной траверсы с заданной скоростью по направляющим установки. Футерованный пуансон, представляющий собой сменную деталь донной части контейнера, сминая

часть футеровки камеры выжимания, оказывает на расплав избыточное давление, в результате чего происходит заполнение формы, которое сопровождается термодеструкцией ГМ и замещением ее расплавом. Подключенная к контейнеру система вакуумирования способствует интенсивному удалению парогазовых продуктов термодеструкции ГМ, обеспечивает стабильность формы во время ее заливки и увеличивает скорость заполнения формы. После заполнения формы гидросистема установки повышает давление на расплав и кристаллизация его происходит под избыточным давлением с обеспечением питания отливки за счет жидкого пресс-остатка в камере выжимания. На заключительной стадии процесса происходит подъем подвижной траверсы и отделение литниково-питающей системы отливки от пресс-остатка. Контейнер снимается краном с установки и поступает на участок выбивки готовой отливки. Внешний вид установки ЛВКД, разработанной и изготовленной во ФТИМС НАНУ, представлен на рис. 1.

Важность проведения теплофизического расчета установки ЛВКД заключается в том, что, зная необходимое значение температуры расплава в полости формы на этапе ее заполнения и учитывая величину возможных тепловых потерь, можно определить значение температуры расплава, заливаемого в камеру выжимания. Это позволит избежать избыточного перегрева расплава в печи, оптимизировать алгоритм работы установки и повысить ее производительность.

Минимизацию тепловых потерь необходимо начинать уже на этапе выбора размеров камеры выжимания. В соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [20], для обеспечения минимума тепловых потерь для заданного объема расплава, радиус дна камеры выжимания необходимо выбирать в соответствии со следующей зависимостью:

$$R = \left(\frac{V}{\pi \cdot (m+1)} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где R – радиус дна камеры выжимания, м; V – объем залитого в камеру выжимания расплава, м³.

$$m = q_{\text{изл}} / q_{\text{ст}},$$

где $q_{\text{изл}}$ – удельные тепловые потери излучением с единицы поверхности расплава, Вт/м²; $q_{\text{ст}}$ – удельные тепловые потери расплава с единицы боковой поверхности и дна, Вт/м².

Отношение высоты камеры выжимания к радиусу должно удовлетворять условию [20]

$$\frac{H}{R} = m + 1, \quad (2)$$

где H – высота камеры выжимания, м.

Объем залитого в камеру выжимания расплава



Рис. 1. Установка литья выжиманием с кристаллизацией под избыточным регулируемым давлением

определим из следующего соотношения:

$$V = V_{\text{отл}} + V_{\text{лпс}} + V_{\text{п-о}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{отл}}$ – объем расплава, идущий на отливку, м³; $V_{\text{лпс}}$ – объем расплава, расходуемый на литниково-питающую систему, м³; $V_{\text{п-о}}$ – объем расплава, идущий на пресс-остаток, м³.

В начале заливки температура жидкого металла, поступающего в камеру выжимания, имеет определенное значение (рис. 2). При данной температуре металла количество вносимого в камеру выжимания тепла

$$Q_p = V \cdot \rho_p \cdot c_p \cdot t_p, \quad (4)$$

где Q_p – количество тепла, вносимого металлом в камеру выжимания, Вт; ρ_p – плотность расплава, залитого в камеру выжимания, кг/м³; c_p – теплоемкость расплава, Дж/(кг·°C); t_p – температура расплава, °C.

При этом часть тепловой энергии ($Q_{\text{потерь}}$) расплава теряется на протяжении всей цепи технологических операций получения отливки. Следовательно

$$Q_{\text{потерь}} = Q_{\text{м.х.}} + Q_{\text{зап}}, \quad (5)$$

где $Q_{\text{м.х.}}$ – потери расплава с момента поступления

расплава в камеру выжимания и на этапе маршевого сближения контейнера и камеры выжимания, Вт; $Q_{\text{зап}}$ – тепловые потери расплава на этапе заполнения формы, Вт.

С момента заливки расплава в камеру выжимания установки вследствие разности температур между расплавом и начальной температурой камеры выжимания происходит теплообмен. Тепловые потери залитого в камеру выжимания расплава можно определить следующим образом:

$$Q_{\text{м.х.}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{з}}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – тепловые потери расплава на прогрев футерованной камеры выжимания; $Q_{\text{к}}$ – тепловые потери расплава от наружной поверхности камеры выжимания к воздушной среде, Вт; $Q_{\text{з}}$ – потери тепла поверхности зеркала расплава, Вт.

Поскольку камера выжимания представляет собой двухслойную конструкцию, состоящую из слоя огнеупорного материала и металлической чаши, расчет тепловых потерь расплава на ее прогрев произведем по известной формуле:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}} \cdot S_{\text{ф}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{вн}}$ – температура металла в пристеночной области камеры выжимания, °C; $t_{\text{нар}}$ – температура наружной поверхности камеры выжимания, °C; δ_1 – толщина слоя огнеупорной футеровки, м; δ_2 – толщина камеры выжимания, м; λ_1 – коэффициент теплопроводности материала футеровки, Вт/м·°C; λ_2 – коэффициент теплопроводности материала камеры выжимания, Вт/м·°C; $S_{\text{ф}}$ – площадь контакта металла и футеровки, м².

Потери тепла расплавом вследствие конвективного теплообмена воздуха и наружной боковой поверхности камеры выжимания находим из уравнения

$$Q_{\text{к}} = \alpha S \cdot (t_{\text{кв}} - t_{\text{в}}), \quad (8)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°C); S – площадь поверхности контакта, м²; $t_{\text{кв}}$ – температура наружной стенки камеры выжимания, °C; $t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °C.

Критериальное уравнение для процессов теплообмена при свободной конвекции определяется по формуле [21]

$$Nu = f(Gr, Pr), \quad (9)$$

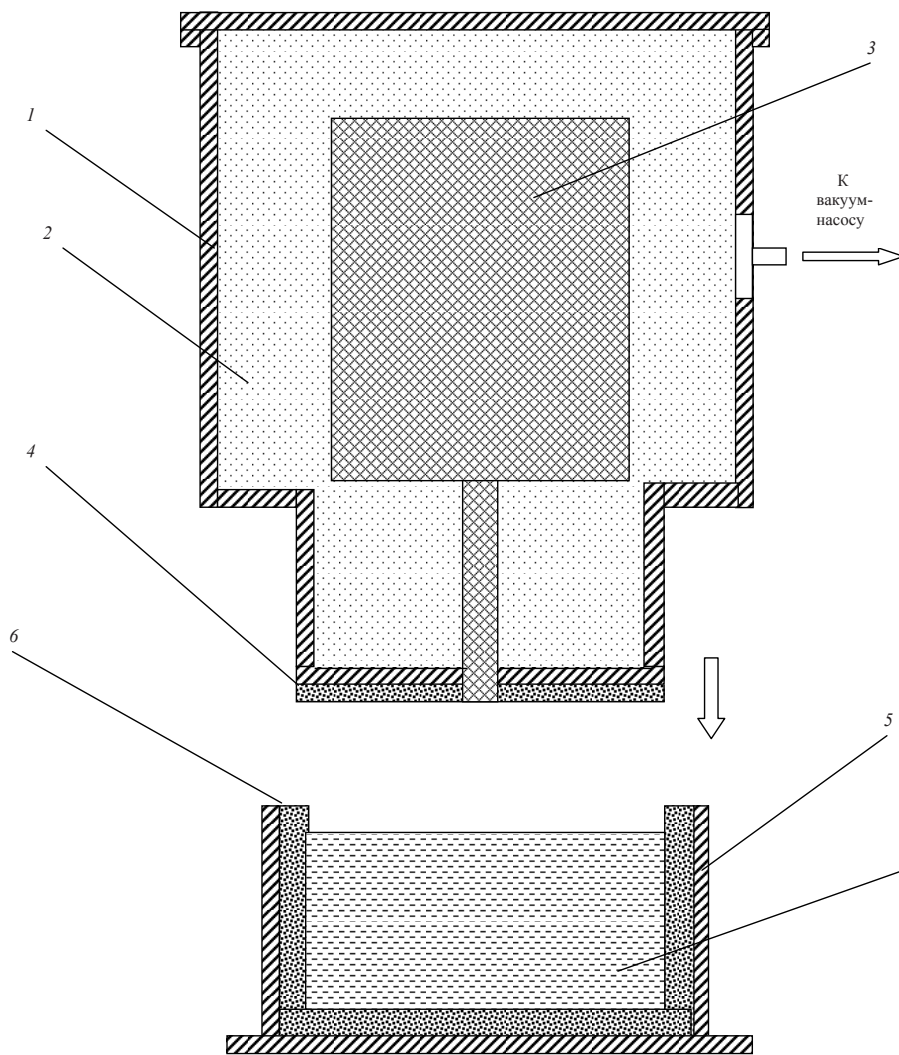


Рис. 2. Схематическое изображение этапов технологии ЛВКД (исходное положение): 1 – контейнер; 2 – сыпучий наполнитель формы; 3 – газифицируемая модель с литниковой системой; 4 – футерованный пуансон; 5 – камера выжимания; 6 – футеровка камеры выжимания; 7 – расплав

где Nu – критерий подобия Нуссельта; Gr – критерий подобия Грасгофа; Pr – критерий подобия Прандтля.

Поскольку определение значения средней теплоотдачи для вертикальных поверхностей в значительной степени характеризуется режимом движения окружающей их среды (ламинарный или турбулентный), необходимо выяснить порядок величины следующего выражения [22]:

$$Gr_{hb} \cdot Pr_B, \quad (10)$$

где Gr_{hb} – критерий подобия Грасгофа для воздуха, движущегося вдоль вертикальной поверхности; Pr_B – критерий подобия Прандтля для воздуха.

Уравнение (9) можно представить в более расширенном виде на базе физических параметров, из которых составлены указанные критерии:

$$\left[g\beta(t_{кв} - t_B) \frac{l^3}{\nu^2} \right] \cdot \left[\frac{\nu}{\alpha} \right], \quad (11)$$

где g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; β – температурный коэффициент объемного расширения, $1/^\circ C$; l – высота камеры выжимания, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, m^2/c^2 ; α – коэффициент теплопроводности, m^2/c^2 .

Анализ представленного выражения позволяет утверждать, что в результате подстановки в формулу (11) численных значений результат будет $> 10^9$, поскольку определяющим параметром здесь является ν , величина которого при температуре окружающей среды заливочного участка ($16-25^\circ C$) колеблется для воздуха (в соответствии с расчетами по данным из [23-25]) от $1,47 \times 10^{-5}$ до $1,56 \times 10^{-5} m^2/c^2$. Следовательно, закономерность средней теплоотдачи для вертикальных поверхностей можно представить на основании соотношения из [26] в виде уравнения

$$Nu_{hb} = 0,15 (Gr_{hb} Pr_B)^{0,33}. \quad (12)$$

Таким образом, коэффициент теплоотдачи α из уравнения (7) можно найти из следующего соотношения, учитывая, что для воздуха $Pr_B = 0,7$:

$$\alpha = \frac{0,15 \cdot (Gr_{hb} \cdot 0,7)^{0,33} \cdot \lambda}{h}. \quad (13)$$

Тепловые потери зеркала расплава представим следующим образом:

$$Q_3 = Q_{изл} + Q_{конв}, \quad (14)$$

где $Q_{изл}$ – потери зеркала расплава излучением, Вт; $Q_{конв}$ – потери в результате конвективного теплообмена между зеркалом расплава и воздухом, Вт.

$Q_{изл}$ определим на основании закона Стефана-Больцмана:

$$Q_{изл} = \varepsilon_{\Pi} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_P}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\Pi}}{100} \right)^4 \right] \cdot S_3 \cdot \phi_{12}, \quad (15)$$

где ε_{Π} – приведенная степень черноты; $c_0 = 5,7$

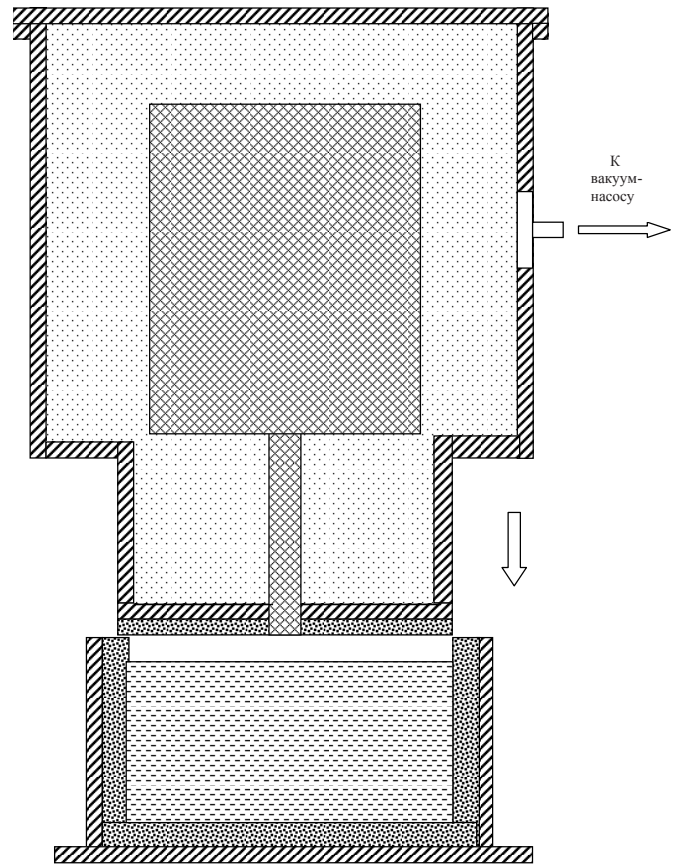


Рис. 3. Маршевое сближение контейнера и камеры выжимания

– коэффициент излучения абсолютно черного тела: $Вт/(m^2 \cdot K^4)$; T_P – температура расплава, К; T_{Π} – температура пуансона, К; S_3 – площадь зеркала расплава в камере выжимания, m^2 ; ϕ_{12} – средний угловой коэффициент.

Принимая $D_3 \approx D_{\Pi} = D$, где D_3 – диаметр зеркала расплава в камере выжимания, м; D_{Π} – диаметр пуансона (м) из [27, 28] определим значение коэффициента облученности

$$\phi_{12} = \left[\sqrt{1 + \left(\frac{h}{D} \right)^2} - \frac{h}{D} \right]^2. \quad (16)$$

Исходя из того, что на этапе маршевого сближения контейнера и камеры выжимания (рис. 3) $D \rightarrow 0$, в выражении (15) $\phi_{12} \rightarrow 1$.

Потери тепла с поверхности зеркала расплава в результате теплоотдачи при свободной конвекции определяются из следующего соотношения:

$$Q_{конв} = \alpha_T \cdot S \cdot (t_3 - t_B), \quad (17)$$

где α_T – коэффициент теплоотдачи, $Вт/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

Для определения α_T воспользуемся формулой из [27]:

$$\alpha_T = A_3 (t_3 - t_B), \quad (18)$$

где A_3 – коэффициент, численное значение которого зависит от температуры и для воздуха при $t = 20^\circ C$ равен 1,35.

Тепловые потери расплава имеют место также

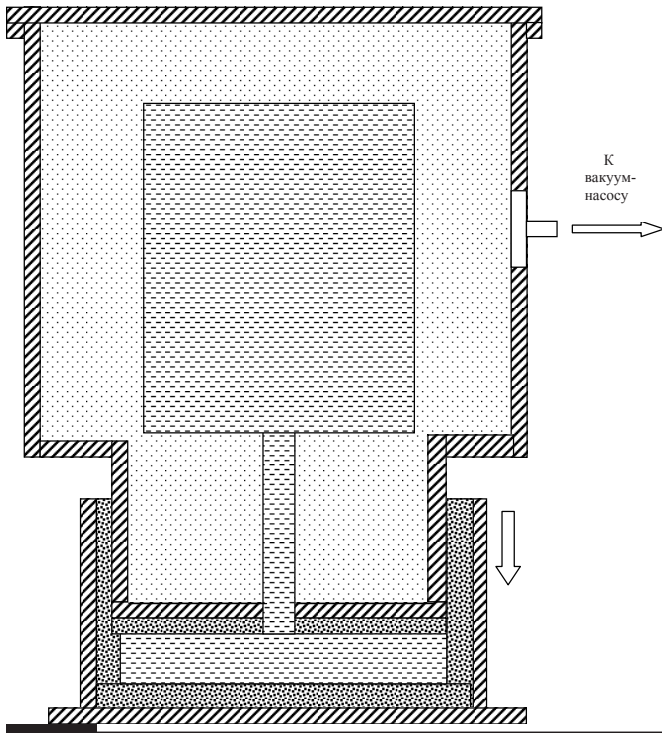


Рис. 4. Выжимание расплава в форму

и на этапе заполнения формы (рис. 4) $Q_{ЗАП}$, что связано с тепловым взаимодействием расплава с наполнителем формы $Q_{Л.Х.}$, теплопередачей от камеры выжимания к контейнеру $Q_{КОНТ}$, нагревом футерованного пуансона при контакте с расплавом $Q_{П}$ и, кроме того, эндотермическим характером процесса разложения ГМ при нагреве $Q_{ГМ}$:

$$Q_{ЗАП} = Q_{Л.Х.} + Q_{КОНТ} + Q_{П} + Q_{ГМ}. \quad (19)$$

Расход тепловой энергии расплава на прогрев литникового хода, который в технологии ЛВКД выбирают преимущественно в виде цилиндрического канала определим на основании зависимостей из [29] для сухой песчано-глинистой формы. Вначале следует рассчитать значение определителя D [29]

$$D = \frac{(n+2)^2 \cdot R^2}{24 \cdot n \cdot (n+1) \cdot a_2}, \quad (20)$$

где n – показатель степени параболы в условиях параболического распределения температур в форме; R – половина толщины канала, м; a_2 – коэффициент температуропроводности материала формы, m^2/s .

При течении расплава в цилиндрическом канале в зависимости от значения D расчет теплового потока к форме может быть рассчитан по одной из двух зависимостей. При $t_1 > D$, где t_1 – продолжительность течения расплава в литниковом ходе, с, из [29] следует

$$Q_{Л.Х.} = S_{Л.} \cdot \left[\frac{n+2}{2 \cdot (n+1)} \cdot \frac{\rho_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_{ТЕЧ}}{\rho_1} \cdot \left(2 \cdot ch \frac{\phi}{3} - 1 \right) \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{1}{4} \cdot \left(2 \cdot ch \frac{\phi}{3} - 1 \right) \right] \right] \quad (21)$$

где $S_{Л.}$ – площадь поверхности литникового хода, m^2 ; ρ_2 – плотность наполнителя формы, kg/m^3 ; c_2 – удельная теплоемкость наполнителя формы, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; $\vartheta_{ТЕЧ}$ – избыточная температура, отсчитываемая от начальной температуры формы до температуры текущего расплава, $^\circ C$; ρ_1 – плотность расплава, kg/m^3 .

$$\phi = arch \left(\frac{2 \cdot t_1}{D} - 1 \right).$$

При $t_1 < D$ [29]

$$Q_{Л.Х.} = S_{Л.} \cdot \left[\frac{n+2}{2 \cdot (n+1)} \cdot \frac{\rho_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_{ТЕЧ}}{\rho_1} \cdot \left(2 \cdot \cos \frac{\phi}{3} - 1 \right) \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{1}{4} \cdot \left(2 \cdot \cos \phi - 1 \right) \right] \right] \quad (22)$$

где $\phi = arccos \left(\frac{2 \cdot t_1}{D} - 1 \right)$.

Процесс переноса тепла от нагретой камеры выжимания к футерованному пуансону можно описать следующим уравнением:

$$Q_{КОНТ} = \pi \cdot R^2 \cdot h \cdot \rho_{КОНТ} \cdot c_{КОНТ} \cdot (t_{К.В.} - t_{КОНТ}), \quad (23)$$

где R – радиус заглубляемой части контейнера (обычно равен радиусу пуансона), м; h – глубина погружения контейнера в камеру выжимания, м; $\rho_{КОНТ}$ – плотность материала, из которого изготовлен контейнер, kg/m^3 ; $c_{КОНТ}$ – теплоемкость материала контейнера, $J/(kg \cdot ^\circ C)$; $t_{К.В.}$ – температура камеры выжимания, $^\circ C$; $t_{КОНТ}$ – температура контейнера, $^\circ C$.

Ввиду того, что в процессе выжимания металла в форму технологически, во избежание выбросов расплава, необходимо обеспечить безззорное перемещение пуансона в полости камеры выжимания, на поверхности жидкого металла будет находиться слой сминаемой огнеупорной футеровки толщиной δ_{ϕ} . Для предотвращения ее захвата в полость формы гидродинамическими потоками расплава на пуансоне имеется специальное ограничительное кольцо. Потери тепла жидкого металла определяются по величине теплопередачи через этот слой. Уравнение теплопередачи от металла через слой смятой футеровки к пуансону можно записать в следующем виде:

$$Q_{П} = \left(\frac{t_P - t_{П}}{\frac{\delta_{\phi}}{\lambda_{\phi}} + \frac{\delta_{\phi П}}{\lambda_{\phi П}} + \frac{\delta_{П}}{\lambda_{П}}} \cdot S_{П} \right) + \\ + \left(\epsilon_{П} \cdot c_0 \cdot \left[\left(\frac{T_P}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{П}}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{П} \cdot \phi_{12} \right) \quad (24)$$

где $t_{П}$ – температура пуансона, $^\circ C$; $\delta_{\phi П}$ – толщина футеровки пуансона, м; $\delta_{П}$ – толщина пуансона, м;

λ_{ϕ} – коэффициент теплопроводности материала сминаемой футеровки, Вт/м·°С; $\lambda_{\phi\Pi}$ – коэффициент теплопроводности материала футеровки пуансона, Вт/м·°С; λ_{Π} – коэффициент теплопроводности материала пуансона, Вт/м·°С; S_{Π} – площадь пуансона, м².

Расчет величины теплового потока, расходо-мого на термодеструкцию ГМ можно определить на основании зависимости, записанной на основе уравнения из [30]:

$$Q_{GM} = \left[\alpha_{\Pi} \left(1 - \frac{\vartheta_{GM} \cdot \rho_{GM} \cdot \tau_3}{(1 + m_T \cdot \tau) \cdot \gamma' \cdot \Psi} \right) + \frac{\lambda_{\Pi\Pi}}{\delta} \right] \cdot S_P \cdot (t_P - t_{GM}), \quad (25)$$

где α_{Π} – коэффициент теплоотдачи от зеркала расплава, Вт/(м²·°С); ϑ_{GM} – скорость плавления ГМ, м/с; ρ_{GM} – плотность материала ГМ, кг/м³; τ_3 – время заполнения формы расплавом, с; m_T – удельная скорость испарения жидкой фазы продуктов термодеструкции ГМ, 1/с; γ' – плотность жидкой фазы продуктов термодеструкции ГМ, кг/м³; Ψ – толщина сфероидов ЖФ на поверхности расплава, мм; $\lambda_{\Pi\Pi}$ – коэффициент теплопроводности парогазовой смеси в зазоре «расплав-ГМ», Вт/м·град; δ – величина зазора между расплавом и ГМ, мм; S_P – площадь поверхности расплава в полости формы, м²; t_{GM} – температура плавления модели, °С.

Численные значения одной группы величин в формуле (25) такие как ϑ_{GM} , ρ_{GM} , τ_3 , γ' , S_P , t_{GM} , определяются технологическими особенностями изготовления ГМ и заливкой расплава в форму. Значения остальных величин из формулы (25) могут быть легко определены согласно системы уравнений из работы [30].

Таким образом, исходя из вышеприведенной методики расчета на базе учитываемых значений тепловых потерь, можно определить величину необходимой температуры расплава, заливаемого в камеру выжимания. При этом следует учитывать, что для обеспечения объемного затвердевания расплав в

форму необходимо подавать с практически снятым перегревом при наличии в нем значительного количества выделившейся твердой фазы. В этом случае расплав представляет собой смесь жидкой и твердой фаз, превращающуюся в суспензионный материал, что способствует формированию мелкого первичного зерна, устранению микропористости и химической неоднородности металла. Количество тепла расплава, вносимого в камеру выжимания, определенного по формуле (4) представлено в несколько ином виде:

$$Q_P = Q_{Ж-Т} + Q_{Потерь}, \quad (26)$$

где $Q_{Ж-Т}$ – количество тепла, отдаваемого расплавом, который находится в жидко-твердом состоянии, Вт.

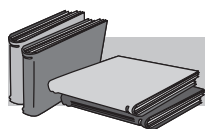
Исходя из (4) и (26), температуру расплава, заливаемого в камеру выжимания, рассчитываем по формуле

$$t_P = \frac{Q_{Ж-Т} + Q_{Потерь}}{V \cdot \rho_P \cdot c_P}. \quad (27)$$

При этом при определении $Q_{Ж-Т}$ необходимо исходить из нижнего значения интервала кристаллизации, при расчете $Q_{Потерь}$ принимать во внимание верхнее значение интервала кристаллизации заливаемого расплава.

Вывод

В заключение необходимо подчеркнуть, что в представленной методике расчет тепловых потерь расплава касался стационарного режима, когда температурное поле во времени остается неизменным. В действительности, в условиях технологической схемы ЛВКД наблюдается нестационарность тепловых процессов, расчет которых необходимо вести на базе аналитически сложных зависимостей. В то же время, для инженерных расчетов предложенная методика может дать оценочное значение величины тепловых потерь расплава в установке ЛВКД с достаточной для практики точностью.



ЛИТЕРАТУРА

1. Караник Ю. А. Литье выжиманием с кристаллизацией под давлением // Литейн. пр-во. – 1990. – № 6. – С. 15-16.
2. Шинский О. И. Технология и оборудование для литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям под высоким регулируемым давлением // Металл и литье Украины. – 1997. – № 1. – С. 25-28.
3. Шинский О. И. Особенности формирования поверхностей отливок при литье по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением. В кн. Плавка и рафинирование литейных сплавов. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1990. – С. 125-128.
4. Караник Ю. А., Кузнецов В. А., Чернов Н. М., Черепанов А. Н. О технологии литья с кристаллизацией под давлением (ЛКД). Обзор докладов на IV съезде литейщиков России // Литейн. пр-во. – 2003. – № 11. – С. 42.
5. Караник Ю. А. Совершенствование способа литья выжиманием с кристаллизацией под давлением. Обзор докладов на VI съезде литейщиков России // Там же. – 2003. – № 12. – С. 26.
6. Караник Ю. А. Новые ресурсосберегающие технологии литья точных заготовок изделий машиностроения // Там же. – 2004. – № 2 – С. 23.

7. Шинский О. И., Шульга В. Т., Вишнякова Л. П. и др. Технология получения гидроплотных отливок из нержавеющей сталей по газифицируемым моделям с кристаллизацией под давлением. В кн. Плавка и рафинирование литейных сплавов. – Киев: ИПЛ АН УССР, 1990. – С.128-131.
8. Шинский О.И., Злубко В. А. Газовый режим и особенности заполнения формы с газифицируемой моделью под низким и высоким давлениями. В кн. Литье с применением давления. – Киев: ИПЛ АН Украины, 1991. – С.145-156.
9. Караник Ю. А. Особенности изготовления отливок способом литья выжиманием с кристаллизацией под давлением в постоянных и разовых формах // Литейщик России. – 2007. – № 3. – С. 37-40.
10. А. с. СССР 1178537, МАК Б 22 D 18/02. Устройство для литья под давлением / Ю. А. Караник // Открытие изобрет. – 1985. – № 34. – 40 с.
11. Караник Ю. А. Новые ресурсосберегающие технологии литья точных заготовок // Литейщик России. – 2003. – № 12. – С. 29-32.
12. Пат. 630030 СССР, МПК В22D 27/12. Устройство для получения отливок / Караник Ю. А. – Оpubл. 30.10.78, Бюл. № 40.
13. Пат. 2025206, Россия, МПК В22D 18/00. Линия для получения отливок методом литья выжиманием с кристаллизацией под давлением / Караник Ю. А. – Оpubл. 30.12.94, Бюл. № 24.
14. Караник Ю. А. Способ получения отливок со свойствами на уровне поковок и проката // Литейн. пр-во. – 2006. – № 10. – С. 25-28.
15. Караник Ю. А. Снижение металло- и энергопотребления при производстве деталей машин и механизмов // Литье Украины. – 2007. – № 5. – С. 23-29.
16. Шинский О. И., Бех Н. И., Шинский И. О. Технологический процесс получения литых заготовок коленвалов автомобилей КАМАЗ по газифицируемым моделям с кристаллизацией металла под давлением // Металл и литье Украины. – 1994. – № 11-12. – С. 16-19.
17. Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям. Дис. ... докт. техн. наук. – Киев, 1997. – 481 с.
18. Таранов Е. Д., Бречко Е. Л., Буклан Б. А., Щеглов В. М., Примак И. Н. Теплофизические особенности формирования отливок в условиях ЛВКД // Процессы литья. – 1995. – № 2. – С. 11-17.
19. Таранов Е. Д., Бречко Е. Л., Ефимов В. А., Примак И. Н., Щеглов В. М. Особенности затвердевания стальных отливок в условиях ЛВКД // Там же. – 1995. – № 3. – С. 49-57.
20. Найдек В. Л., Русаков П. В., Шинский О. И. Индукционно-тигельные среднечастотные печи. Энергетическая стратегия конструктивно-технологической оптимизации // Там же. – 2007. – № 6. – С. 24-28.
21. Тепломасообмен: Справочник / Под ред. А. В. Лыкова. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
22. Михеев М. А. Основы теплопередачи. – М. - Л.: Гос. энергет. изд-во, 1949. – 396 с.
23. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры. – 1963. – 708 с.
24. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. И. К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
25. Сталеплавильное производство: Справочник / Под ред. А. М. Самарина. – М.: Металлургия, 1964. – 1040 с.
26. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.
27. Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. – Л. - М.: Госэнергоиздат, 1959. – 415 с.
28. Костяков В. Н. Особенности теплового расчета установок для литья под низким регулируемым давлением. В кн. Новое в литье под низким давлением. – Киев: Наук. думка, 1971. – С.51-56.
29. Формовочные материалы и технология литейной формы / Под ред. С. С. Жуковского. – М.: Машиностроение, 1993. – 432 с.
30. Литье по газифицируемым моделям / Под ред. Ю. А. Степанова. – М.: Машиностроение, 1976. – 224 с.

Summary

O. A. Iakovyshyn

The thermophysical features of plant of casting by squeezing out with crystallization under the surplus regulated pressure

Computation of thermal losses of fusion in plant of casting is presented by pressing out with crystallization under the surplus regulated pressure. The on a base set dependences a formula for determination of initial temperature of cast in a chamber pressing of fusion out is offered

Анотація

О. А. Яковишин

Теплофізичні особливості установки лиття видавлюванням із кристалізацією під надлишковим регульованим тиском

Представлено розрахунок теплових втрат розплаву в установці лиття витисканням із кристалізацією під надлишковим регульованим тиском. На базі встановлених залежностей запропоновано формулу для визначення початкової температури розплаву, що заливається в камеру витискання

Ключевые слова

Установка литья, кристаллизация под избыточным регулируемым давлением, камера выжимания расплава