

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА ШИХТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТОВ

Н.Д.Тураходжаев, Х.А.Камилова, Т.Х. Турсунов, Ш.Б.Ташбулатов

Ташкентский государственный технический университет, г. Ташкент
Узбекско-Японский молодёжный центр инноваций, г. Ташкент

Математическая модель расчёта шихты для получения литых металлокомпозигов описывается условием их полного расплавления [1]:

$$x(\tau_2) = l \quad (1)$$

В системе оплавления шихты в жидкой ванне процесс двухфазный: твёрдая шихта - жидкий расплав. Уравнение Фурье, начальные и граничные условия записываются в виде

$$\frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \frac{a_1}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(x^2 \frac{\partial T_1}{\partial x} \right) \quad (2)$$

$$T_1(\tau_1, x) = F_2(x); \quad \frac{\partial T_1}{\partial x}(\tau, 0) = 0 \quad (3)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x}(\tau, l) = \alpha [T_m'' - T_1(\tau, l)] \quad (4)$$

Конец этапа расплавления шихты наступает, когда шихта полностью расплавляется при

$$x(\tau_3) = 0$$

Эти системы уравнений, описывающие процесс расплавления шихты в различные этапы не имеют аналитического решения и решаются численными методами. В данном случае основной является интегральная характеристика процесса, то есть время расплавления шихты. Поэтому для решения применим интегральный метод, основанный на выборе для распределения температур в куске шихты, металлической корке и жидком металле в сферической форме. Значения постоянных находим из условий, удовлетворяющих граничные и балансовые условия. В нашем случае, то есть при квазистационарном приближении для условно принятого сферического куска шихты согласно данным работы [2] распределение температур имеет вид:

$$T(x, \tau) = T_y + \frac{T_n - T_y}{R} \left(1 - \frac{R}{x}\right) R, \quad (5)$$

где T_y - температура средней части шихты, $^{\circ}\text{C}$;

T_n - температура поверхности шихты, $^{\circ}\text{C}$;

R - принятый расчётный радиус шихты, м.

С учётом граничных условий, когда кусок шихты в камере плавления неподвижен, а шихта представляет собой термически тонкое тело, значение коэффициента конвективной теплопередачи определяется по критериальным формулам [3]

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{\beta}; \quad Nu = A \left(\frac{Gr \cdot Pr^2}{1 + Pr} \right)^m \quad (6)$$

$$Gr = \frac{g \cdot \nu (T_m'' - T_m) \cdot \beta}{\nu^2}; \quad Pr = \frac{\nu}{a}, \quad (7)$$

где A и m - константы, определяемые характером шихты;

По проведённым исследованиям принято значение коэффициента A , которое равняется 0,6, при $m = 0,25$. С учётом принятых значений, получаем систему линейных дифференциальных уравнений, рассчитываемых относительно времени расплавления шихты.

$$H_{кр} \geq \frac{G \cdot \tau}{\rho \cdot F_{ш}} \approx 0,15 \text{ м} \quad (8)$$

Теплообменный процесс описывается уравнением теплового баланса нагрева шихты [4]

$$Q'_{\text{прих}} = Q'_{\text{расх}} \quad (9)$$

Суммарное количество прихода теплоты в камеру перегрева составит

$$Q'_{\text{прих}} = Q_x + Q_e + Q_r + Q_\phi + \tilde{O} \quad (10)$$

где Q_x - химическая теплота горения газа;

Q_e - физическое теплота, вносимая воздухом;

Q_r - физическая теплота, вносимая газом;

Q_ϕ - физическая теплота, вносимая металлом из камеры плавления;

\tilde{O} - физическое тепло вносимое электрической дугой.

Химическая теплота горения газа равна

$$Q_x = Q_H^p \cdot \beta_0 \quad (11)$$

где Q_H^p - низшая теплота сгорания газа, Дж/м³; β_0 - расход газа, м³/с;

Физическая теплота, вносимая воздухом, равна

$$Q_e = \beta_0 \alpha_l i_\beta \quad (12)$$

Таким образом формула примет вид

$$Q_e = \beta_0 \cdot \alpha_l \cdot T_e \cdot 1,3 \quad (13)$$

Итак, физическая теплота, вносимая газом, определяется по формуле

$$Q_r = \beta_0 \cdot C_o^t \cdot T_r \quad (14)$$

где C_o^t - средняя теплоёмкость газа, Дж/м³ · К;

T_r - температура газа, К.

По данным выводим среднюю теплоёмкость газа в зависимости от температуры

$$C_o^t = 1,540 + 1,1T_r \quad (15)$$

Физическая теплота, вносимая металлом из камеры плавления, определяется по формуле [5]

$$Q_\phi = G \cdot i_M'' \quad (16)$$

где G - производительность печи, кг/с;

i_M'' - энтальпия жидкого алюминия, Дж/кг, которая определяется по формуле

$$i_M'' = 280,700 + 1,028 T_M'' \quad (17)$$

Таким образом, приход теплоты в камеру перегрева равен

$$Q'_{\text{прих}} = Q_H^p \beta_0 + \beta_0 \alpha_l T_e \cdot 1,3 + \beta_0 T_r (1,540 + 1,1T_r) + G (280,700 + 1,028 \cdot T_M'') \quad (18)$$

Расход теплоты, приходящей в камеру перегрева, имеет следующие 6 составляющих:

Потеря теплоты с уходящими продуктами сгорания, которая определяется по формуле

$$Q_1 = \beta_0 V_y' C_y' T_y' \quad (19)$$

где V_y' - объём уходящих продуктов сгорания на единицу газа, м³/м³, который с учётом коэффициента температурного расширения определяется формулой

$$V_y' = 10,5 + 0,0038 T_y' \quad (20)$$

C_y' - теплоёмкость продуктов сгорания, Дж/(м³·К).

Из источников [6] теплоёмкость продуктов сгорания имеет следующую зависимость от температуры:

$$C_y' = 1,369 + 0,24 T_y' \quad (21)$$

где T_y' - температура уходящих продуктов сгорания, К.

Принимаем распределение температуры проектов сгорания по длине печи как линейным:

$$T_y = T_r - 1445 \cdot \beta \quad (22)$$

где T_r - температура горения газа, К;

Потеря теплоты за счёт теплопроводности стенок камеры перегрева, свободных от жидкого расплава,

$$Q_2 = \frac{T_{CP}' - T_0}{\frac{1}{\alpha_1 F_1} + \frac{S_1}{\lambda_1 F_1} + \frac{S_2}{\lambda_2 F_2} + \frac{S_3}{\lambda_3 F_3} + \frac{1}{\alpha_2 F_4}}, \quad (23)$$

где T_{CP}' - средняя температура продуктов сгорания в камере перегрева, К, равная

$$T_{CP}' = \frac{T_r - T_y'}{2}; \quad (24)$$

T_{CP}' - температура окружающей среды, К;

Коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к кладке и от металла к кладке, Вт/м²·К), который определяется формулой

$$\alpha_1 = \frac{4,96 E_M \left[\left(\frac{T_M'}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{T_M' - T_k} + \frac{4,96 E_r \left[\left(\frac{T_{CP}'}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right]}{T_{CP}' - T_k}, \quad (25)$$

в которой E_M - степень черноты жидкого материала;

E_r - степень черноты продуктов сгорания;

T_k - температура кладки печи, К;

F - площадь поверхностной части кладки, свободной от жидкого расплава, м², определяется формулой

$$F_1 = (A + 2\beta_1)(H_0 - H) + A \cdot \beta_1 \quad (26)$$

в которой H_0 - высота отражательной части печи, м;

H - уровень расплава, м.

Высота отражательной части печи равна сумме высоты уровня расплава H и высоты свободного пространства над расплавом H_c :

$$H_0 = H + H_c \quad (27)$$

Высота свободного пространства H определяется исходя из значения угловых коэффициентов, влияющих на теплообмен излучением.

Как показывают исследования в области теплообменных процессов, при расчёте теплообмена излучением между двумя поверхностями, каждая из которых имеет определенные конечные размеры, определение численного значения угловых коэффициентов во многих случаях представляет весьма трудную задачу. Для плавильной печи с обогревом в общем виде угловой коэффициент излучения с поверхности кладки F_1 к поверхности зеркала металла в камерах плавления и перегрева $F_2 = F_{кпр} + F_{кпл}$ может быть найден путём двойного интегрирования

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{F_2} \int_{F_1} \int_{F_2} \frac{\cos \lambda_1 \cdot \cos \lambda_2}{\pi z^2} dF_1 dF_2 \quad (28)$$

Однако, вычисление числового значения двойного интеграла по этой формуле является сложным даже при простых геометрических формах обеих поверхностей.

Расчётные формулы для угловых коэффициентов, полученные путём двойного интегрирования по этой формуле не являются пригодными к применению на практике. Значение углового коэффициента определяется углами расположения обеих поверхностей в пространстве.

В плавильной печи, с прямоугольной формой ванны, тепловоспринимающей поверхностью является зеркало металла в камерах перегрева и плавления:

$$F_M = F_{кпр} + F_{кпл} = A(\beta_1 + \beta_2) \quad (29)$$

Излучающей поверхностью является общая кладка $F_{об}$ свода печи и боковых стен, имеющих высоту свободного пространства над расплавом H_c :

$$F_{об} = A \cdot \beta_1 + 2H_c \cdot \beta_1 + H_c \cdot A \quad (30)$$

Отсюда угловой коэффициент для параллелепипеда составит

$$\lambda = \frac{F_M}{F_{об}} = \frac{A \cdot \beta_1}{A \beta_1 + 2H_c \beta_1 + H_c A} \quad (31)$$

Следовательно, высота свободного пространства

$$H_c = \frac{A \beta_1 (1 - \lambda)}{\lambda (2 \beta_1 + A)} \quad (32)$$

Для определения оптимального значения, задаёмся им в пределах от 0 до 10 с шагом 0,1 и вычисляем для каждого значения общую площадь свободного пространства отражательной части плавильной печи,

$$F_{об} = \frac{F_M}{\lambda} \quad (34)$$

Коэффициент теплопроводности футеровки, Вт/(м•К) для огнеупора определяется формулой

$$\lambda_1 = 0,84 + 0,00058 T_K; \quad (35)$$

Коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, Вт/(м•К), для асбестового картона определяется формулой

$$\lambda_1 = 0,157 + 0,000014 T_H; \quad (36)$$

где T_H - температура изоляционного слоя, К.

Площадь поверхности' изоляционного слоя, м²,

$$F_2 = (H_0 - H + S_1)(A + 4S_1 + 2\beta_1) \quad (37)$$

Коэффициент теплоотдачи кожуха, Вт/(м² • К) определяется формулой

$$\alpha_2 = \frac{4,96 Ec \left[\left(\frac{T_c}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right]}{T_c - T_0}, \quad (38)$$

Литература

1. Grachev V.A., Turakhodjaev N.D., Influence of High-Temperature Treatment of Melt on the Composition and Structure of Aluminum Alloy//Archives of foundry Engineering DOI: 10.1515/afe-2017-0131,pp.61-66.
2. Vladimir Grachev., Nodir Turakhodjaev., Influence Of Liquid Aluminum Alloy Treatment At Temperatures Up To 2000°C In Terms Of The Alloy Structure And Gas Aluminum Oxides Content//International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) Volume 9, Issue 7, July 2018, pp. 489–495.
3. Turakhodjaeva F.N., Turakhodjaev N.D., Chorshanbiev Sh.M., Tashbulatov Sh.B., Nazarova N.T. The process of developing a technology for extracting copper and other non-ferrous metals from industrial slags //Corporate Governance: Theory and Practice. Collection of scientific papers on 23.01.2019, P. 363-364
4. Turakhodjaeva F.N., Turakhodjaev N.D. Application of bio-cement as an environmentally friendly building material // Modern ecological state of the environment and scientific and practical aspects of environmental management. IV International Scientific and Practical Internet Conference, Russia, Astrakhan Region 02/28/2019 P.68-71.
5. Nodir D.Turakhodjaev, Shirinkhon N.Turakhodjaeva, Jamaliddin S.Kamalov. The process of melting aluminum alloys to improve the quality of castings// Processing and Fabrication of Advanced Materials XXVII International Conference, Jonkoping, Sweden 27-29/05/2019 P. 351-354.
6. К.У.Ташходжаева, З.М.Шаропова “Қурилишда бошқарувни такомиллаштиришда олдиндан режалаштиришнинг ахамияти” Республика илмий-техника анжумани “Архитектура мухитлари дизайннинг долзарб муаммолари ва истиқболлари”. Тошкент 2019 йил, 76-79 б.
7. Tursunbaev Sarvar, Kuchkorova Munira, Khasanov Otabek, Baydullayev Azamat “Features of electrochemical machining of magnetic - hard materials” EPRA International Journal of Multidisciplinary Research (IJMR)|ISSN (Online): 2455-3662|SJIF Impact Factor: 5.614|ICI I.F Value : 1.188 Volume 6, Issue 2. 02/2020 India.