

Регрессионный анализ кинетического уравнения

Условия опыта	R	A, c^{-1}	$a, ^\circ C/c$	$E, кДж/моль$	Кинетическое уравнение
Восстановление магнетитового концентрата: – бурым углем	0,931	$2,9 \cdot 10^{-7}$	0,17	67,9	$\lg[(1+\alpha)^{1/3} - 1]^2/T^2 =$ $= \lg(3,5 \cdot 10^{-11}/a) - 3553,7/T$
– бурым углем без летучих компонентов	0,971	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,17	103,6	$\lg[(1+\alpha)^{1/3} - 1]^2/T^2 =$ $= \lg(1,5 \cdot 10^{-10}/a) - 5425,5/T$
– бурым углем без летучих компонентов	0,971	$3,6 \cdot 10^{-6}$	0,03	108,8	$\lg[(1+\alpha)^{1/3} - 1]^2/T^2 =$ $= \lg(2,7 \cdot 10^{-10}/a) - 5696,2/T$
Восстановление Fe_2O_3 (Ч.Д.А) спектрально чистым графитом	0,864	$1,7 \cdot 10^{-8}$	0,17	117,1	$\lg[(1+\alpha)^{1/3} - 1]^2/T^2 =$ $= \lg(1,2 \cdot 10^{-12}/a) - 6127,3/T$

Примечание. R – коэффициент корреляции.

Выводы. Экспериментально изучена кинетика восстановления магнетитового железорудного концентрата углем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа. – М.: Академкнига, 2007. – 464 с.

2. Бескоксовая переработка титаномagnetитовых руд / В.А. Ровнушкин, Б.А. Боковиков, С.Г. Братчиков, А.М. Амдур. – М: Металлургия, 1988. – 245 с.
3. Есин О.А., Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов. Ч. 1. – Свердловск: ГНТИ, 1962. – 671 с.

© 2012 г. А.М. Амдур, А.М. Потапов,
А.Л. Разницына, М. Лхамсурен
Поступила 15 декабря 2011 г.

УДК 621.746

В.П. Антонов, Н.И. Таран, В.Я. Климов, Н.И. Швидков

Сибирский государственный индустриальный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПИРАЛЬНОЙ ПРОБЫ НА ЖИДКОТЕКУЧЕСТЬ

Как следует из обзора литературных данных [1–4], для определения жидкотекучести металлов и сплавов лучшей считается спиральная проба (см. рисунок). Для того, чтобы ее использовать как инструмент для определения таких теплофизических величин, как коэффициент теплоотдачи α и количества твердой фазы ε_0 при остановке потока, необходимо для каждой конкретной пробы уточнять коэффициент расхода пробы μ и суммарный коэффициент сопротивления пробы $\sum \xi$.

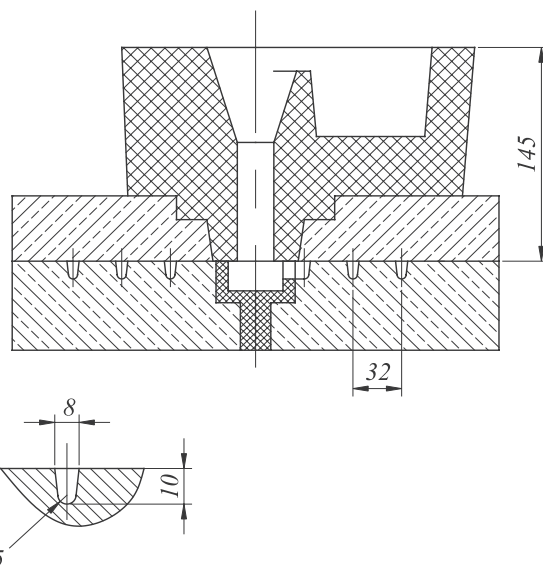
Скорость V_x потока металла по каналу пробы на расстоянии x от места подвода определяется в результате решения уравнения Бернулли [4]:

$$V_x = \sqrt{\frac{2gH}{1 + \lambda x/D + \sum \xi}} = \sqrt{\frac{2gH}{1/\mu^2 + \lambda x/D}}, \quad (1)$$

где $H, \lambda, D, \sum \xi, \mu$ – гидростатический напор, коэффициент потерь напора на трение, гидравлический диаметр канала пробы, сумма сопротивлений в литниковой системе, коэффициент расхода литниковой системы, определяемый уравнением [5]

$$\mu = 1/\sqrt{1 + \sum \xi}. \quad (2)$$

Для определения коэффициента расхода литниковой системы любой сложности в работе [5] для линейного подсчета величины $\sum \xi$ предлагается эмпирическое уравнение



Спиральная проба на жидкотекучесть

$$\sum \xi = 0,5 + 1,1n + 0,15m + 0,04 \sum (L/D), \quad (3)$$

где 0,5 – значение коэффициента местного сопротивления при входе металла из чаши в стояк; n – число поворотов на 90° при значении $\xi_{90} = 1,1$; m – число изменений сечений при $\xi = 0,15$ для одного изменения сечения; $\sum (L/D)$ – сумма отношений длин к диаметрам для всех элементов литниковой системы.

Для спиральной пробы, применяемой в настоящей работе (см. рисунок), литниковая система состоит из чаши высотой $H_{\text{ч}} = L_{\text{ч}} = 6,5$ см и средним диаметром $D_{\text{ч}} = 4$ см, стояка высотой $H_{\text{ст}} = L_{\text{ст}} = 8$ см и диаметром $D_{\text{ст}} = 1,8$ см, зумпфа средним диаметром $D_{\text{зум}} = 3,5$ см и «питателя», которым является начало канала диаметром $D_{\text{п}} = D = 0,75$ см при $L_{\text{п}} = 0$. При $n = 1$, $m = 3$, $\lambda = 0,04$ и подстановке указанных параметров литниковой системы в уравнения (3) и (2) получим $\sum \xi = 2,29$; $\mu = 0,55$.

При решении уравнения Бернулли совместно с уравнением неразрывности жидкости ($VF = \text{idem}$) в работе [6] получено выражение для определения величины $\sum \xi$ литниковой системы любой сложности:

$$\sum \xi = \sum_{i=1}^N \left(\frac{jF_{\text{п}}}{F_i} \right)^2 \xi_i, \quad (4)$$

где N – количество элементов литниковой системы по ходу металла к одному из питателей; $F_{\text{п}}$ – площадь одного питателя; j – количество питателей, обслуживаемых i -м элементом литниковой системы; $\xi_i = \xi_{\text{вх}} + \lambda(L_i/D_i)$ – суммарный коэффициент сопротивления i -го элемента; $\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент сопротивления при входе в элемент.

Для литниковой системы спиральной пробы уравнение (4) запишется в виде

$$\sum \xi = \left(\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{ст}}} \right)^2 \left[\xi_{\text{ст}} + \lambda \left(\frac{L_{\text{ст}}}{D_{\text{ст}}} \right) \right] + \left(\frac{F_{\text{п}}}{F_{\text{зум}}} \right)^2 \xi_{\text{зум}} + \xi_{\text{п}}. \quad (5)$$

Коэффициенты сопротивлений в работе [6] определены следующим образом: $\xi_{\text{ст}} = 0,25$ – внезапное сужение при скругленных кромках; $\xi_{\text{зум}} = (F_{\text{зум}}/F_{\text{ст}} - 1)^2 = 7,7$ – внезапное расширение при входе из стояка в зумпф (формула Карно-Борда); $\xi_{\text{п}} = 1 + 0,47 = 1,47$, где 1 – коэффициент сопротивления при повороте потока на 90° ; 0,47 – коэффициент сопротивления при внезапном сужении, подсчитанный по формуле $\xi = 0,5(1 - F_{\text{п}}/F_{\text{зум}})$.

Подставив указанные значения в формулу (5), получим $\sum \xi = 2,49$; $\mu = 0,63$.

Для спиральной пробы рассчитанные по формулам (3) и (5) значения $\sum \xi$ отличаются на 8 – 9 %. По-видимому, для технологических расчетов такая точность вполне допустима, но если спиральную пробу использовать как инструмент для последующего определения теплофизических параметров, то необходимо уточнить величины $\sum \xi$ и μ .

Из теории гидравлики известно, что расположенные рядом местные сопротивления влияют друг на друга. В зумпфе сосредоточены сразу три местных сопротивления – внезапное расширение, поворот на 90° и внезапное сужение, т.е. зумпф является уникальным местным сопротивлением и величину этого сопротивления для технологической пробы необходимо определить экспериментально.

Экспериментально значения $\sum \xi$ и λ определялись электроконтактным методом (до 16 контактов по длине канала). Например, если по длине канала установить четыре контакта на расстоянии 20, 30, 50 и 60 см от входа в канал, то среднюю скорость V_1 конца потока металла на расстоянии $x_1 = 25$ см и V_2 на расстоянии $x_2 = 55$ см можно определить по формулам

$$V_1 = 10/\Delta\tau_1; \quad V_2 = 10/\Delta\tau_2, \quad (6)$$

где $\Delta\tau_1$ и $\Delta\tau_2$ – измеренное осциллографом Н041 время течения металла между отметками 20 – 30 и 50 – 60 см соответственно с точностью 0,001 с.

Решая уравнение (1) для скоростей V_1 и V_2 относительно величины $\sum \xi$ и приравняв правые части этого решения, получим

$$\lambda = \frac{2gH(V_1^2 - V_2^2)D}{(x_2 - x_1)(V_1V_2)^2}; \quad (7)$$

$$\sum \xi = \frac{2gH}{V_1^2} - \left(1 + \lambda \frac{x_1}{D} \right). \quad (8)$$

В лабораторных условиях СибГИУ, Московского института ЦНИТИМ, а также в литейных цехах Новокузнецкого металлургического завода и Иркутского завода тяжелого машиностроения производили заливку спиральных проб чугуном, сталью и силумином. Среднее время по данным 30 измерений (см. таблицу) составило $\Delta\tau_1 = 0,139 \pm 0,002$ с и $\Delta\tau_2 = 0,158 \pm 0,002$ с.

Как видно из таблицы, вид сплава и температура заливки фактически не влияют на время течения металла на участках x_1 и x_2 .

Средняя скорость потока металла на расстоянии $x_1 = 25$ см и $x_2 = 55$ см составила соответственно $V_1 = 71,9$ см/с и $V_2 = 63,3$ см/с. Это подтверждает положение о том, что металл течет как ньютоновская жидкость и к расчету этого течения применимы законы гидравлики.

Значения $\sum \xi$, рассчитанные по формулам (3) и (5), получены без учета влияния друг на друга сопротивлений в зумпфе пробы: были просто просуммированы коэффициенты всех местных сопротивлений (расширения, поворота, сужения) по законам гидравлики. Определенные в результате экспериментов скорости V_1 и V_2 на участках пробы позволили рассчитать по выражению (8) более точное суммарное сопротивление литниковой

Скорости V_1 и V_2 потока на расстоянии $x_1 = 25$ см и $x_2 = 55$ см соответственно при различной температуре заливки t_3 при заполнении спиральной пробы на жидкотекучесть

Значения параметров				
$t_3, ^\circ\text{C}$	$\Delta\tau_1, \text{с}$	$\Delta\tau_2, \text{с}$	$V_1, \text{см/с}$	$V_2, \text{см/с}$
Для стали				
1650	0,139	0,158	71,9	63,3
1655	0,139	0,158	71,9	63,3
1660	0,140	0,158	71,4	63,3
1665	0,140	0,156	71,4	64,1
1670	0,139	0,157	71,9	63,7
1675	0,141	0,158	70,9	63,3
1680	0,139	0,160	71,9	62,5
1685	0,138	0,158	72,5	63,3
1690	0,139	0,158	71,9	63,3
1695	0,139	0,158	71,9	63,3
Для чугуна				
1210	0,139	0,158	71,9	63,3
1240	0,137	0,158	73,0	63,3
1275	0,139	0,156	71,9	64,1
1285	0,139	0,158	71,9	63,3
1300	0,140	0,158	71,4	63,3
1315	0,139	0,157	71,9	63,7
1340	0,138	0,158	72,5	63,3
1350	0,139	0,158	71,9	63,3
1370	0,139	0,158	71,9	63,3
1400	0,139	0,158	71,9	63,3
Для силумина				
640	0,139	0,158	71,9	63,3
655	0,140	0,157	71,4	63,7
665	0,138	0,158	72,5	63,3
675	0,139	0,156	71,9	64,1
690	0,139	0,158	71,9	63,3
700	0,139	0,158	71,9	63,3
710	0,138	0,157	72,5	63,7
715	0,139	0,158	71,9	63,3
720	0,139	0,158	71,9	63,3
725	0,139	0,158	71,9	63,3

системы пробы. В результате расчета по формулам (7), (8) и (2) получили $\lambda = 0,04$; $\sum \lambda = 3,16$; $\mu = 0,49$.

Приравнивая величину V_x из выражения (1) к производной от пути по времени и проведя интегрирование, в работе [4] получили уравнение для определения времени τ течения металла по каналу в зависимости от длины заполнения канала (жидкотекучести) L , которое после произведенных преобразований запишется в виде

$$\tau = \frac{(1 + AL)^{3/2} - 1}{B}; A = \frac{\mu^2 \lambda}{D}; B = \frac{3}{2} \mu^3 \lambda / D \sqrt{2gH}. \quad (9)$$

Подставляя в соотношение (9) значения $\lambda = 0,04$, $\mu = 0,49$, $D = 0,75$ см, $H = 14,5$ см, получили $A = 0,0128 \text{ см}^{-1}$, $B = 1,587 \text{ с}^{-1}$. Тогда расчетное уравнение для определения параметра τ примет вид

$$\tau = \frac{(1 + 0,0128L)^{3/2} - 1}{1,587} \text{ с}. \quad (10)$$

Выводы. Уточненный коэффициент расхода спиральной пробы на жидкотекучесть позволяет более точно рассчитать по законам гидравлики (по формуле (10)) время течения сплава до остановки в пробе по замеренной жидкотекучести. Приравнивая это время к времени, рассчитанному с учетом теплового взаимодействия металла и материала пробы, можно точно вычислить коэффициент теплоотдачи, который в теории теплообмена рассчитывается по эмпирическим формулам, и количество твердой фазы при остановке потока металла.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нехендзи Ю.А. Стальное литье. – М.: Металлургиздат, 1948. – 766 с.
2. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. – М.: Машиностроение, 1966. – 423 с.
3. Пикун М.В. Плавка металлов. Кристаллизация сплавов. Затвердевание отливок. Учеб. пособие для вузов. – М.: изд. МИСиС, 1997. – 376 с.
4. Гуляев Б.Б. Литейные процессы. – М. – Л.: Машгиз, 1960. – 416 с.
5. Гуляев Б.Б. Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
6. Таран Н.И., Храпов А.Я. // Изв. вуз. Черная металлургия. 1965. № 8. С. 151 – 155.

© 2012 г. В.П. Антонов, Н.И. Таран,
В.Я. Климов, Н.И. Швидков
Поступила 12 марта 2012 г.