

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Шморгунов В.Г. Титано-стальные композиты и соединения. – Волгоград: изд. ВолгГТУ, 2013. – 344 с.
2. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Кусков Ю.Н., Киселев О.С., Богданов А.И. Расчет прочности сваренных взрывом композиционных соединений с механически неоднородными мягкими прослойками // Деформация и разрушение материалов. 2010. № 3. С. 11 – 14.
3. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Проничев Д.В. Композиционные переходники. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007. – 328 с.
4. Трыков Ю.П., Гуревич Л.М., Кусков Ю.Н., Самарский Д.С., Киселев О.С., Богданов А.И. Прочность свариваемых взрывом соединений с композитными прослойками // Конструкции из композиционных материалов. 2009. Вып. 4. С. 17 – 25.
5. Трыков Ю.П., Белоусов В.П., Гуревич Л.М., Рогозин В.Д., Писарев С.П. Исследование кинетики деформации и разрушения сваренных взрывом четырехслойных титано-стальных композитов // Деформация и разрушение материалов. 2007. № 8. С. 31 – 37.
6. Sia Nemat-Nasser, Weiguo Guo. Flow stress of commercially pure niobium over a broad range of temperatures and strain rates // Materials Science and Engineering A284 (2000). Pp. 202 – 210.
7. Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metals subjected to large strains, high strain rates and high temperatures // Proceedings of the 7th Int. Symp. on Ballistics. 1983. Pp. 541 – 547.
8. Chandrasekaran R. M'Saoubi H. Chazal, Modelling of material flow stress in chip formation process from orthogonal milling and split Hopkinson bar tests // Machining Science and Technology. (2005). № 9. Pp. 131 – 145.
9. Li L., He N., A FEA study on mechanisms of saw-tooth chip deformation in high speed cutting of Ti-6Al-4V alloy, in: Fifth International Conference on High Speed Machining (HSM), Metz, France, 14–16 March 2006. Pp. 759 – 767.

© 2015 г. Л.М. Гуревич, Ю.П. Трыков,
Е.В. Соколова, Р.Е. Новиков, А.А. Загребина
Поступила 22 июня 2015 г.

УДК 621.745.34:662.87

А.В. Феоктистов, О.Г. Модзелевская, И.Ф. Селянин, А.И. Куценко, А.А. Куценко

Сибирский государственный индустриальный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ПО КАНАЛАМ СЛОЯ ТОПЛИВА

Пылеугольное топливо в доменном процессе используют уже порядка 50 лет. Практика его применения показала экономическую эффективность такого вида топлива в сравнении с другими заменителями кокса – природного газа и мазута.

В ваграночной плавке пылеугольное топливо не применяют, хотя технология процесса намного проще. С экономической точки зрения проблема использования этого топлива в ваграночном процессе заслуживает внимания

исследователей технологического и теоретического направлений специализации.

Установлено [1], что дисперсные частицы должны сгореть в пределах кислородной зоны для получения максимального теплового эффекта. Угольные частицы, попадая в восстановительную зону, где нет свободного кислорода, механически взаимодействуют со шлаком, изменяют его физико-механические свойства и удаляются из печи вместе с ним.

Время выгорания угольной частицы не должно быть больше времени τ ее пролета по кислородной зоне, которое связано со скоростью движения зависимостью

$$\tau = \frac{H_{к.з.}}{v_{\tau}}, \quad (1)$$

где $H_{к.з.}$ – высота кислородной зоны; v_{τ} – скорость движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки.

Скорость дисперсных твердых частиц в канале различного диаметра определяется формулой

$$v_{\tau} = v - v_{о.пр}, \quad (2)$$

где v – скорость несущего газового потока; $v_{о.пр}$ – относительная предельная скорость частиц.

Эффективный диаметр $d_{эф}$ каналов в слое кускового топлива (кокса, антрацита) связан со средним размером d_k куска зависимостью

$$d_{эф} = d_k \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \cdot \frac{1}{f}, \quad (3)$$

где ε – порозность слоя; f – геометрический коэффициент формы фрагмента слоя.

Для слоев кокса как правило $\varepsilon = 0,5$ и $f = 2,86$, для антрацита $\varepsilon = 0,4 - 0,5$ и $f = 3,17 - 3,5$.

Предельная скорость отставания мелкодисперсных частиц ($v_{о.пр}$) от скорости газового потока описывается выражением [2]

$$v_{о.пр} = v_{в} \sqrt{1 + K_{ст}}, \quad (4)$$

где $v_{в}$ – скорость витания частиц; $K_{ст}$ – критерий, учитывающий взаимодействие частиц со стенкой канала и их столкновение с кусками топлива.

Выражение для $v_{в}$ получают из условия равенства веса частицы и ее аэродинамического сопротивления восходящему потоку:

$$\frac{1}{6} \pi d_3^3 (\rho_{\tau} - \rho) g = C_f^* \frac{\pi d_3^2}{4} \frac{\rho v_{в}^2}{2}, \quad (5)$$

где $d_3 = d_{\tau} f_{\tau}^{-0,5}$ – эквивалентный диаметр частицы; d_{τ} – средний геометрический размер частицы; f_{τ} – коэффициент формы твердой частицы (для угольной пыли $f_{\tau} = 1,62 - 2,58$); ρ_{τ} и ρ – плотности твердой частицы и газа; C_f^* – эффективный коэффициент аэродинамического сопротивления,

$$v_{в} = \sqrt{\frac{4 (\rho_{\tau} - \rho) g d_3}{3 \rho C_f^*}}. \quad (6)$$

Выражения (5), (6) выведены для стационарного движения газозвеси, когда $\frac{dv_{\tau}}{d\tau} = 0$, $v_{\tau} = \text{const}$, где τ – время.

В реальных условиях движения пылеугольного топлива по каналам слоевой засыпи эффективный коэффициент C_f^* следует представить в виде произведения

$$C_f^* = C_{ш} C_f E_{\beta}^{-2}, \quad (7)$$

где $C_{ш}$ – коэффициент сопротивления шара; C_f – поправка к коэффициенту сопротивления, учитывающая отклонение геометрии поверхности частицы от сферы; E_{β} – поправка, учитывающая стесненность движения частиц в канале или концентрацию пылеугольного топлива в газозвеси.

Для шара в переходной области обтекания, когда $3 < Re_{\tau} < 400$, аэродинамический коэффициент сопротивления определяется по формуле [3]

$$C_{ш} = \frac{24}{Re_{\tau}} + \frac{4}{Re_{\tau}^{2/3}}, \quad (8)$$

где $Re_{\tau} = \frac{v_{о.пр} d_3}{\nu}$ – критерий Рейнольдса; ν – кинематическая вязкость газа.

Для частиц с большим коэффициентом формы $f > 1,5$ (для пылеугольного топлива $f = 1,62 - 2,58$) автомобильный режим наступает при $Re_{\tau} \geq 50$. В этом режиме имеем [2]

$$C_f = 5,31 - 4,88 f_{\tau}^{-1} \quad (9)$$

Поправка E_{β} для всех режимов обтекания шаров описывается выражением [4]

$$E_{\beta} = \frac{(1-\beta)^{4,75} (18 + 0,61 \sqrt{Ar_{\tau}})}{18 + 0,61 \sqrt{Ar_{\tau}} (1-\beta)^{4,75}}, \quad (10)$$

где β – объемная концентрация частиц; $Ar_{\tau} = \frac{g(\rho_{\tau} - \rho) d_3^3}{\rho v^2}$ – критерий Архимеда; величина β определяется выражением $\beta = \frac{\mu_{\tau}}{\rho_{\tau}} \text{ м}^3 / \text{м}^3$, где μ_{τ} – удельная концентрация частиц, $\text{кг} / \text{м}^3$.

Критерий $K_{ст}$, входящий в формулу (4), выражается через падение давления в слое (ΔP_T), обусловленным взаимодействием твердых частиц в потоке со стенками канала [2]:

$$K_{ст} = \frac{\Delta P_T}{\beta H P_T g}, \quad (11)$$

где H – высота канала или слоя топлива.

Величина ΔP_T входит в общее выражение потерь напора. В первом приближении потери давления суммируются по правилу аддитивности:

$$\Delta P_{общ} = \Delta P + P_T + \Delta P_{п}, \quad (12)$$

где ΔP – потери давления, обусловленные движением только газового потока; $\Delta P_{п}$ – потери давления, определяемые подъемом всей газосмеси на высоту H .

Потери давления ΔP определяются по уравнению Эгона:

$$\Delta P = \psi \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{H}{d_p} \frac{T_g}{273} \frac{P_0}{P} \frac{\rho v_0^2}{2}, \quad (13)$$

где $\psi = 3,61 + 300/Re$ – коэффициент сопротивления; $Re = v d_p / \nu$; T_g – температура газового потока; P_0 и P – давление газа при нормальных условиях и в условиях экспериментальной установки или в шахтной печи; v_0 – скорость газа в пустой трубе (шахте).

Потери давления $\Delta P_{п}$ для восходящих потоков газозвеси составят [5]

$$\Delta P_{п} = 2 F_g \mu_v, \quad (14)$$

где $F_g = \frac{g d_p}{v^2}$ – критерий Фруда; $\mu_v = \mu v / v_T$ –

удельная истинная концентрация, $\frac{\text{кг/с пыли}}{\text{кг/с газа}}$;

μ – удельная расходная концентрация, $\frac{\text{кг/с пыли}}{\text{кг/с газа}}$.

Связь параметров μ_T и μ дается формулой

$$\mu = \frac{\mu_T}{\rho}. \quad (15)$$

В эксперименте определяют ΔP и $\Delta P_{общ}$, продувая слой топлива вначале без пылеугольного топлива, затем в газовый поток добавляют дисперсную твердую составляющую и фиксируют значение $\Delta P_{общ}$ при различной

величине μ_T . Из выражения (11) неизвестная величина ΔP_T определяется разностью

$$\Delta P_T = \Delta P_{общ} - (\Delta P + \Delta P_{п}). \quad (16)$$

Окончательно скорость твердых частиц определяется по выражению (2) с использованием формул (3), (6), (7), (8), (10).

Ниже дан численный расчет скорости твердых дисперсных частиц методом последовательных приближений. Блок-схема расчета приведена на рис. 1. На основе алгоритма создана программа расчета скорости твердых дисперсных частиц в среде C++ Builder.

Исходные данные: $v_0 = 2,0$ м/с; $\varepsilon = 0,5$; $d_T = 10^{-4}$ м; $f_T = 2,0$; $\nu = 15,03 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\mu_T = 14$ кг/м³; $\rho = 1,2045$ кг/м³; $\rho_T = 1,4 \cdot 10^3$ кг/м³; температура дутья $t_d = 20$ °С. В результате расчета получили: $v = 4,0$ м/с, $v_T = 2,4$ м/с. Получены значения скорости движения твердой частицы в зависимости от ее среднего геометрического размера. Результаты вычислений приведены ниже и отражены в виде графика на рис. 2:

$d_T, \text{ м}$	10^{-3}	$5 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}	$5 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$5 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}
$v_T, \text{ м/с}$	0,27	1,25	2,40	2,83	3,58	3,76	3,95

Выводы. В результате расчета выявлена зависимость скорости движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки от среднего геометрического размера частицы. Увеличение размера твердой частицы приводит к уменьшению скорости ее движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Я р о ш е в с к и й С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива. – М.: Металлургия, 1988. – 176 с.
2. Г о р б и с З.Р. Теплообмен и гидромеханика дисперсных сквозных потоков. – М.: Энергия, 1970. – 424 с.
3. Л е в и н Л.М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 225 с.
4. Г у п а л о Ю.П. О некоторых закономерностях псевдооживленного слоя и стесненного падения // ИФЖ. 1962. № 2. С. 105 – 108.
5. Д з я д э н о А.М., К е м м е р А.С. Пневматический транспорт на зерноперерабатывающих предприятиях. – М.: Колос, 1967. – 272 с.

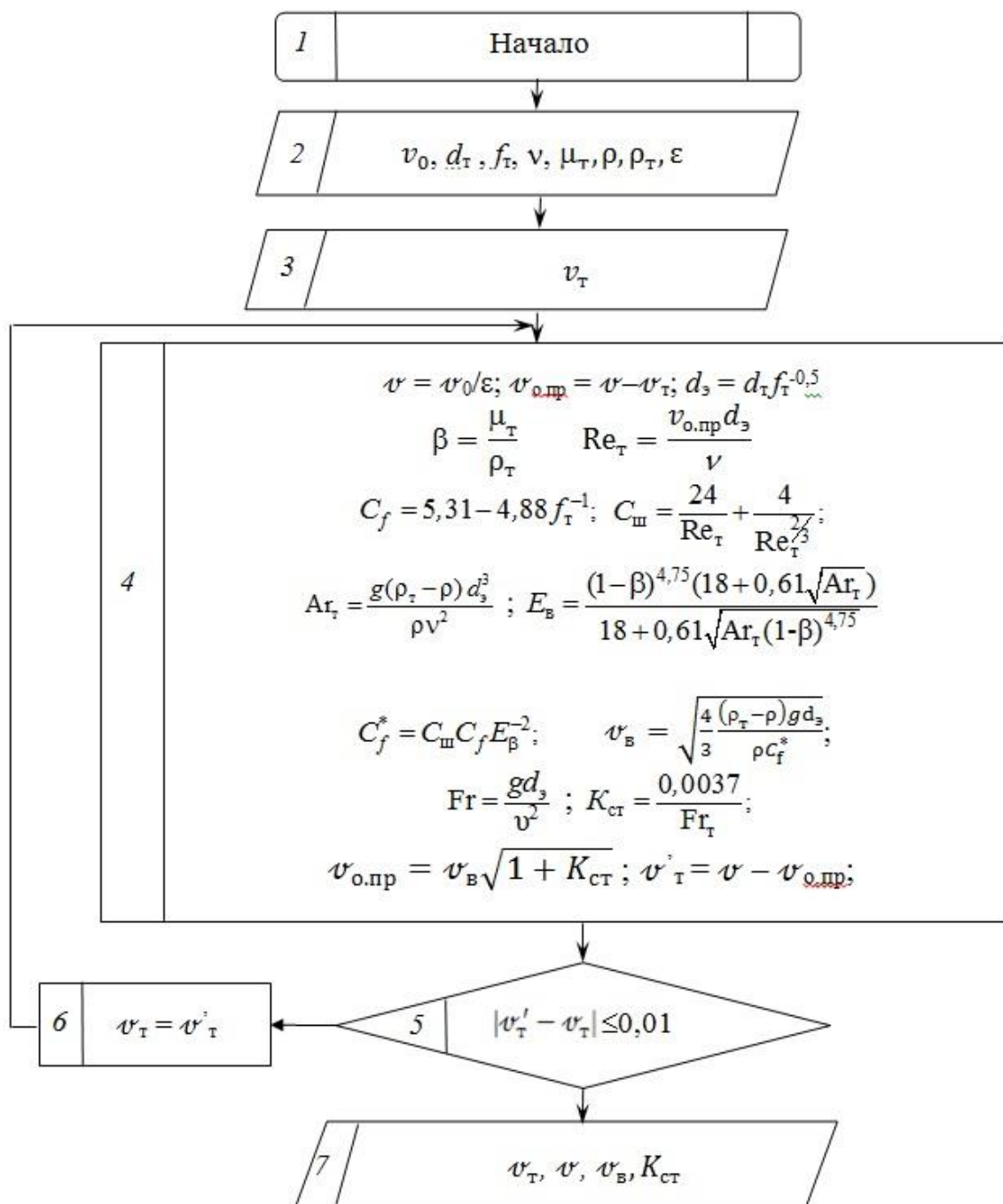


Рис. 1. Блок-схема расчета скорости движения твердой дисперсной частицы по каналам слоя топлива

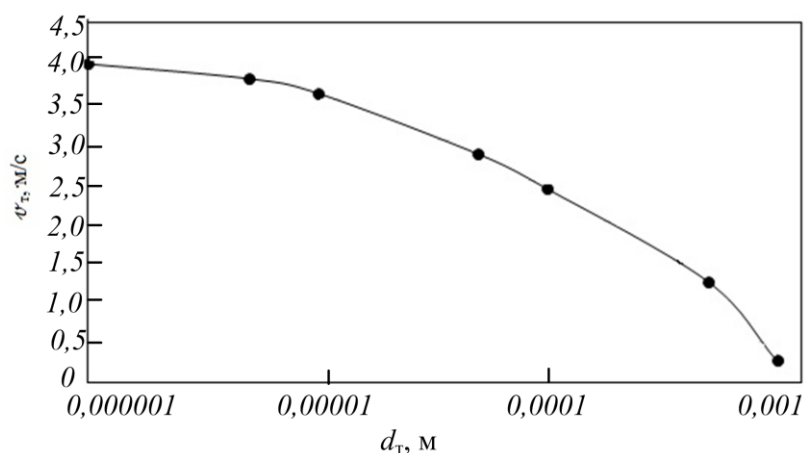


Рис. 2. График зависимости скорости движения твердой частицы по каналам слоя кокса топливной насадки от среднего геометрического размера частицы

© 2015 г. А.В. Феоктистов,
О.Г. Модзелевская, И.Ф. Селянин,
А.И. Куценко, А.А. Куценко
Поступила 21 мая 2015 г.

УДК 621.745

В.М. Павловец, А.В. Герасимук

Сибирский государственный индустриальный университет

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЕ, НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОШИХТОВОЙ СТРУИ

Технология получения сырых окатышей на тарельчатом окомкователе по технологии принудительного зародышеобразования включает две основные стадии: формирование зародышей теплосиловым напылением влажной шихты на гарнисаж холостой зоны тарели и формирование оболочки окатышей доокомкованием зародышей в рабочей зоне окомкователя. Для этого загружаемую шихту расходом G_t (производительность агрегата) делят на два потока: поток шихты с расходом $G_{ш}$, необходимый для принудительного зародышеобразования, и поток шихты с расходом $G_{об}$, направляемый к зародышам для формирования оболочки окатышей. Для получения зародышей в струйный аппарат (СА) диаметром $d_{СА}$ загружают влажную шихту расходом $G_{ш}$, кг/с. В корпусе СА она ускоряется сжатым воздухом, нагретым до температуры t_b , °С, который подается под давлением P_b , кПа, через воздушное сопло, распо-

ложенное на оси СА. На выходе из СА формируется воздушношихтовая струя (ВШС), которая при взаимодействии с шихтовым гарниса-

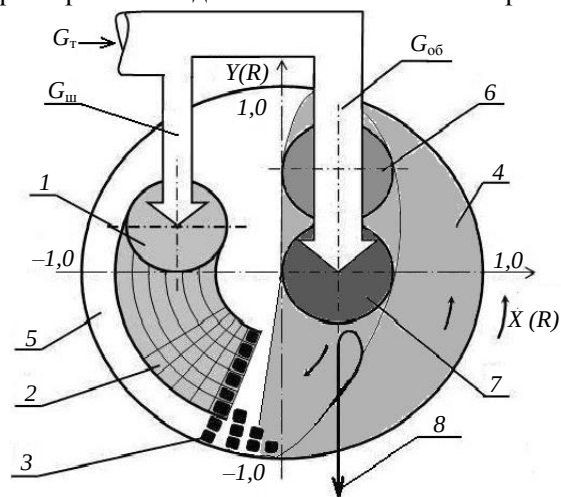


Рис. 1. Схема получения окатышей способом принудительного зародышеобразования: