1) входные: конструктивные ($D_в$, $H_п$, f, $h_г$) и технологические ($d_к$, $d_м$);

2) регулирующие, которые воздействуют на показатели плавки ($K_р$, P, M);

3) выходные: производительность вагранки G или удельная производительность g и температура чугуна $t_ч$.

По средним арифметическим значениям показателей плавки найдены поправочные коэффициенты корректировки производительности и температуры чугуна для вагранок с подогревом дутья и коксогазовых вагранок.

Влияние температуры подогрева дутья $t_в$ на температуру чугуна видно из следующих данных:

$t_в$, °С	20	200	300	400
$t_ч$, °С	1360	1375	1395	1420

Средняя удельная производительность вагранок холодного дутья 7,35 т/(м^2 ч), вагранок с подогревом дутья составляет 8,5 т/(м^2·ч), коксогазовых вагранок – 8,15 т/(м^2 ч).

В.М. Горфинкель

О ПОЛЕЗНОЙ ВЫСОТЕ ВАГРАНОК

Под полезной высотой вагранки $H_п$ понимают расстояние от оси основного ряда фурм до нижней кромки загрузочного окна. Этот параметр влияет на капитальные затраты при строительстве плавильного отделения и технико-экономические показатели плавки чугуна.

Часть шахты вагранки, ограниченную полезной высотой, можно разделить на три области: зону плавления и перегрева $h_{п.п}$, зону подогрева шихты $h_{п.ш}$ и зону над верхним уровнем засыпки до нижней кромки загрузочного окна $h_{св}$.

Положение пояса плавления определяется распределением температур по высоте холостой колоши и зависит от количества и качества кокса, параметров дутья, размеров кусков металлической шихты. Условно верхней границей зоны плавления и перегрева считают верхний уровень холостой колоши в начале плавки. На основе анализа параметров работы и конструкции большого числа (1100 шт.) действующих вагранок диаметром $D_в$

от 700 до 1500 мм методами корреляционного анализа получено эмпирическое уравнение для определения высоты зоны плавления и перегрева:

$$h_{п.п}=1,08+ 0,27\ D_в+ 0,05\ D^2_в.$$

При нормальном протекании ваграночного процесса шихта опускается навстречу потоку газов обычно с постоянной скоростью. В каждом сечении устанавливается температура газов $t_г$ и шихты $t_ш$, не зависящие от времени и определяемые высотой h их положения в слое, т.е. $t_г=f_1(h)$, $t_ш= =f_2(h)$. Эти функции можно найти через время τ от начала нагрева до начала плавления:

$$h=m\ \tau, \qquad (1)$$

где m – объемное напряжение сечения шахты, м^3/(м^2·с).

$$m = \frac{G \cdot V_\Sigma \cdot i}{F_в}, \qquad (2)$$

где G – средняя производительность вагранки, кг/с;

V_Σ – объем материалов, необходимых для выплавки 1 кг жидкого чугуна, м^3/ кг;

i – отношение массы шихты к массе жидкого металла;

$F_в$ – площадь сечения шахты вагранки, м^2.

Высота зоны подогрева шихты $h_{п.ш}$ определяется временем τ. Для расчета этого времени была использована формула Б.И. Китаева, Ю.Г. Ярошенко и В.Д. Сучкова для нагрева реальных кусков в противотоке применительно к условиям ваграночного процесса:

$$\frac{t_м}{t_г'} = 1 - e^{-\frac{\alpha_{\Sigma V}}{C_м \cdot \rho_м (1-\varepsilon)}(1-\frac{W_м}{W_г})\cdot\tau} \qquad (3)$$

где $t_м$ – температура плавления кусков металлической шихты, °С;

$t_г'$ – температура газов на входе в слой шихты, °С;

$\alpha_{\Sigma V}$ – суммарный объемный коэффициент теплопередачи, учитывающий внешнее и внутреннее тепловое сопротивление кусков, Вт/(м^2·К);

$C_м$ – теплоемкость шихты, кг/м^3;
$\rho_м$ – плотность шихты, кг/м^3;
ε – пористость слоя шихты в долях единицы;
$W_ш$ – водяное число шихты, Вт/К;
$W_г$ – водяное число газового потока, Вт/К.

Водяным числом называется произведение расхода объема V или массы G шихты или потока газов на теплоемкость единицы вещества потока C:

$$W=V\cdot C=G\cdot C.$$

Из формулы (3) можно вывести уравнение для определения τ:

$$\tau=\frac{C_м\cdot\rho_м(1-\varepsilon)\lg e(\frac{1}{1-t_м/t'_г})}{\lg e\alpha_{\sum V}(1-W_ш/W_г)}. \qquad (4)$$

Суммарный объемный коэффициент теплопередачи определяется из выражения

$$\frac{1}{\alpha_{\sum V}}=\frac{1}{\alpha_V}+\frac{r^2}{9\lambda},$$

где α_V – коэффициент внешней теплопередачи, Вт/(м^3·К);
r – радиус куска шихты, м;
λ – коэффициент теплопроводности (для чугуна λ=3,96 Вт/(м·К).
Отсюда

$$\alpha_{\sum V}=\frac{9\lambda\cdot\alpha_V}{9\lambda+\alpha_V\cdot r^2}. \qquad (5)$$

Экспериментально получено, что

$$\alpha_V=1,16A_F\frac{\omega_0^{0,9}T^{0,3}}{d^{0,75}}M, \qquad (6)$$

где A_F – коэффициент, характеризующий материал шихты (для чугуна A_F=67);

ω_0 – скорость движения газов при температуре 0 °С, рассчитанная на свободное сечение шахты, м/с;

T – средняя температура газов, К;

d – диаметр куска шихты, м;

M – коэффициент, учитывающий пористость шихты, при ε=0,5 M=0,9.

$$T = \frac{t_г' + t_г''}{2} = \frac{1693 + 643}{2} = 1168 \text{ К},$$

где $t_г''$ - температура газов на выходе из зоны подогрева, К.

Отношение водяных чисел шихты и газового потока можно выразить следующим образом:

$$\frac{W_ш}{W_г} = \frac{G \cdot C_\Sigma \cdot 100}{G \cdot K_р \cdot V_г C_г} = \frac{C_\Sigma \cdot 100}{K_р \cdot V_г \cdot C_г}, \qquad (7)$$

где C_Σ – суммарное теплосодержание шихтовых материалов, необходимых для получения 1 кг жидкого чугуна, Дж/К;

$K_р$ – расход кокса в рабочей колоше, % (кг на 100 кг шихты);

$V_г$ – количество газов, образующихся при сжигании 1 кг кокса, м^3/кг;

$C_г$ – теплоемкость ваграночных газов, $C_г$=1,48·10^3 Дж/(м^3·К).

$$V_г = 5,38 + \frac{3,51 \cdot \eta_V}{100},$$

где η_V – коэффициент полноты сгорания, %.

Из уравнений (1), (2), (4), (5), (7) при допущении, что C_Σ, $V_г$ и i рассчитаны для расхода 13 % кокса и приняты постоянными, получим упрощенную формулу для определения высоты зоны подогрева шихты:

$$h_{п.ш} = \frac{1,63(17d^{0,75} + d^2 \cdot K_р)}{K_р - 8,9}. \qquad (8)$$

В формуле (8) не фигурирует диаметр вагранки $D_в$. Однако, как известно, в ваграниках с увеличением $D_в$ применяется более крупная шихта, так как нет угрозы ее зависания. Таким образом, с увеличением $D_в$ возрастает $h_{п.ш}$, что подтверждается практикой.

Величина незаполненного объема полезной высоты вагранки $h_{св}$ определяется конструкцией устройства для замера уровня шихты в вагранке и принимается равной 0,3 м.

Таким образом, полезная высота вагранки составляет

$$H_{п} = h_{п.п} + h_{п.ш} + 0{,}3 \text{ м}.$$

В.Б. Поль,
Д.А. Черезов

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЧИСТОТЫ ПРОЦЕССА ПЛАВКИ ЧУГУНА В КОКСОВЫХ ВАГРАНКАХ

При производстве чугунных отливок из обычных марок серого чугуна основным плавильным агрегатом остается коксовая вагранка. Наряду с обеспечением необходимых технологических характеристик расплава (химического состава и температуры перегрева чугуна), служащих основой для получения годных отливок, немаловажное значение в настоящее время имеет экологическая чистота процесса плавки.

При плавке чугуна в коксовых вагранках происходит образование пылегазовой смеси, которая выбрасывается в окружающую среду. Она состоит из мелких частичек пыли (в основном кокса, золы, известняка, окалины и оксидов) и газовых компонентов (CO_2, CO, SO_2, N_2). Присутствие в составе ваграночных газов CO и SO_2, а также пыли существенно ухудшает экологическую обстановку в районе расположения вагранок, оказывая вредное воздействие как на природу, так и на человека.

Наиболее эффективным и простым агрегатом по очистке ваграночных газов в настоящее время следует считать мокрый пылеосадитель, конструкция которого разработана в лаборатории НИЛОГАЗ Белорусского политехнического института (рисунок). Пылеосадитель устанавливается на дымовой трубе вагранки *1*. В его состав входят: наружный корпус *3*, внутренний обтекатель *2*, система водяных форсунок *4*, система подвода воды *5* к форсункам, сливные трубы *7*, устье осадителя *6* и наклонная донная часть *8*. Подвод воды к форсункам осуществляется из кольцевых коллекторов с установкой на подводящих патрубках клапанов Ду40, Ду20 и