

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МАШИН, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ СУШКУ В «КИПЯЩЕМ СЛОЕ»

Павлыш В.Н., Тарабаева И.В. (ДонНТУ, Донецк, Украина)

The methods of calculation of parameters of process of drying of damp crushed mass by apparatus, realized the principle of boiling layer, is proposed. The methods based on the mathematical model, using the equations of mathematical physics.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами.

Процессы сушки являются важной составляющей технологии производства в различных отраслях промышленности (угольной, химической и др.) /1,2/, в связи с чем совершенствованию техники и технологии сушки уделяется постоянное внимание, как со стороны научных организаций, так и со стороны промышленных предприятий.

Общей проблемой является интенсификация процесса сушки, а также создание и внедрение новой сушильной техники.

В этой связи стоит задача расширения исследований технологических схем и параметров сушки, что в свою очередь поднимает роль такого важного современного метода исследования, как метод математического моделирования с применением компьютеров.

Таким образом, в комплексе средств решения общей проблемы выделяется задача математического моделирования процесса сушки.

Анализ исследований и публикаций, в которых закладывается направления решения проблемы.

Проблема сушки решается в нашей стране по следующим основным направлениям: математические методы исследования и расчета параметров процесса сушки; исследование и уточнение механизма внешнего и внутреннего переноса энергии и массы при различных способах сушки; развитие технологии и техники сушки /1,2/.

Математические исследования направлены на получение более полного математического описания сложных взаимосвязанных явлений тепло - и массообмена, уточнение краевых условий в различных процессах сушки и решение системы уравнений тепломассопереноса и количества движения. Для доведения решений математических задач до инженерного расчета большую помощь оказывает использование совершенной счетнорешающей техники (электронные вычислительные машины). Дальнейшее развитие математических методов исследования дает ценные практические результаты.

Технология сушки в «кипящем слое» является современной эффективной схемой. Для расчета параметров процесса необходимо иметь адекватную математическую модель. Такая модель основывается на уравнениях математической физики.

Целью данной статьи является разработка метода расчета параметров аппарата, осуществляющего процесс сушки влажного сыпучего материала в «кипящем слое», основанного на компьютерной реализации математической модели.

Физическая постановка задачи формулируется следующим образом.

Сушка происходит в аппарате, схема которого показана на рис.1. В камеру сушилки, снабженной газопроницаемым поддерживающим устройством в виде сетки, пористой перегородки и т.п., которое будем называть газораспределительной решеткой, помещается сыпучий материал.



Рис. 1. Схема сушильного аппарата

Для создания режима локального фонтанирования применяют газораспределительную решетку, позволяющую вводить в псевдооживленный слой оживающий агент с высокой скоростью. Благодаря этому в слое образуются зоны, в которых частица и среда движутся с более высокими, чем в слое, скоростями, а обмен между этими зонами делает более интенсивными процессы тепло - и массообмена /3/.

Гидродинамическая структура потоков, возникающих при локальном вводе оживающего агента в псевдооживленный слой, указывает на наличие четырех зон перемешивания (рис.2) /4/.

Зона I – фонтан из частиц, движущихся вверх.

Зона II – прирешеточная активная зона.

Равнодействующая сил на частицы в этой зоне направлена в сторону фонтана вследствие интенсивного перемешивания и втягивающей силы фонтана.

Зона III – зона слоя, прилегающего к фонтану и активно питающая фонтан.

Зона IV – наименее активная зона с преимущественным движением вниз за счет обмена с активной прирешеточной зоной и зоной III.

Основные уравнения, используемые для построения моделей, представляют собой частный случай системы Навье - Стокса:

$$\rho \left(U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} \right) = - \frac{dP}{dx} + \mu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

где ρ – плотность текущего вещества, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

μ – коэффициент вязкости, $\text{кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

$U = U(x, y)$, $V = V(x, y)$ – компоненты вектора скорости $\vec{W} = iU + jV$

Рассмотрим математическую модель, описывающую распределение температуры в осевом сечении аппарата при заданном количестве узлов (отверстий) на газораспределительной решетке.

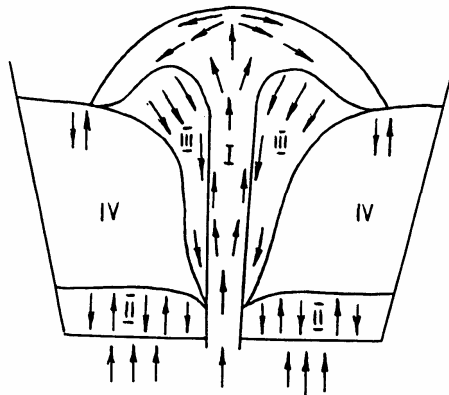


Рис. 2. Схема структуры потоков

Такие задачи относятся к классу краевых задач со смешанными краевыми условиями, а само уравнение есть уравнение эллиптического типа.

Дифференциальное уравнение распределения температуры и краевые условия имеют следующий вид [5]:

$$\omega \cdot c \cdot \rho \cdot \frac{\partial U}{\partial x} = k \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) + \alpha(U - T_S) \quad (3)$$

Краевые условия:

$$\begin{aligned} \text{при } 0 < x < l \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} \right|_{y=h} &= 0 \\ \text{при } 0 \leq y \leq h \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \right|_{x=0} &= 0; \quad \left. \frac{\partial U(x, y)}{\partial x} \right|_{x=l} = 0 \\ \text{при } (x, y) \in \Gamma_K \quad \frac{\partial U(x, y)}{\partial y} &= 0 \\ \text{при } (x, y) \in D_K \quad U(x, y) &= U \end{aligned}$$

где U – температура поступающего газа;

c – удельная теплоемкость сыпучей среды;

ρ – плотность среды;

ω – скорость поступающего газа;

k – коэффициент теплопроводности среды;

α – коэффициент теплообмена;

T_S – температура верхнего слоя сыпучей среды.

Γ_K, D_K – координаты соответственно решетки и отверстий.

Для решения полученной краевой задачи она сводится к безмерному виду, когда $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1$.

Обозначим безразмерные переменные ξ, η , функцию – $\varphi(\xi, \eta)$.

К решению задачи (3) применим метод сеток, взяв в качестве сеточной области следующее множество узлов (ξ_i, η_j) :

$$\xi_i = (i-1) \cdot \delta, \quad i = \overline{1, n}; \quad \eta_j = (j-1) \cdot \delta, \quad j = \overline{1, n}; \quad \delta - \text{выбираемый параметр.}$$

К области G^* отнесем узлы (ξ_i, η_j) при $2 \leq i, j \leq n1 = n-1$. Остальные узлы (ξ_i, η_j) отнесем к области \tilde{G} . На множестве G^* дифференциальное уравнение (3) заменим сеточным уравнением:

$$a_{11} \cdot \frac{\varphi_{i+1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i-1,j}}{\delta^2} + a_{22} \cdot \frac{\varphi_{i,+1j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{1,j-1}}{\delta^2} + a_{10} \cdot \frac{\varphi_{i,+1j} - \varphi_{i,j}}{2\delta} + a_1 \cdot \varphi_{i,j} = F_{i,j} \quad (4)$$

$i = 2, 3, \dots, n1; \quad j = 2, 3, \dots, n1$

где $\varphi_{i,j} = \varphi(\xi_i, \eta_j); \quad F_{i,j} = F(\xi_i, \eta_j)$

Отметим, что погрешность замены $R_{i,j}(\varphi)$ будет величиной порядка $o(\delta^2)$, если функция $F(\xi, \eta)$ имеет в области \tilde{G} частные производные по ξ и η до второго порядка и эти производные непрерывны. Заменим также граничные условия разностными уравнениями:

$$\begin{aligned} \frac{\varphi_{i,n} - \varphi_{i,n1}}{\delta} &= 0 \\ \frac{\varphi_{n,j} - \varphi_{n1,j}}{\delta} &= 0 \\ \frac{\varphi_{2,j} - \varphi_{n1,j}}{\delta} &= 0 \\ \frac{\varphi_{i,2} - \varphi_{i,1}}{\delta} &= 0, \quad (\xi \bar{\sigma} \eta) \in \overline{\Gamma_k} \\ U_{i,1} &= U, \quad (\xi \bar{\sigma} \eta) \in \overline{D_k} \\ i &= \overline{1, n}; \quad j = \overline{2, n1} \end{aligned} \quad (5)$$

Формулы (5) имеют погрешность замены порядка $o(\delta^2)$. Всего сеточных значений функции $\varphi_{i,j}$ в области \tilde{G} будет $n \times n$. Для их определения мы получили систему линейных алгебраических уравнений, в которой число уравнений равно $(n-2) \cdot (n-2) + 2n + 2(n-2) = n^2$, т.е. уравнений столько же, сколько и неизвестных. Полученная в результате сеточной аппроксимации система линейных алгебраических уравнений решается методом матричной прогонки, предложенной М.В. Келдышем /6/.

В результате реализации алгоритма численного решения данной задачи на ЭВМ разработана программа, позволяющая рассчитывать распределение температуры в сечении камеры сушиллки.

На рис. 3 приведен результат решения задачи в безразмерном виде.

На рис. 4 приведены результаты решения задачи для следующих значений параметров:

$$\begin{aligned} c &= 0,2 \text{ дж/(кш град);} & \rho &= 500 \text{ кг/м}^3; \\ k &= 0,05 \text{ Вт/(м град);} & \alpha &= 0,5 \text{ Вт/(м град);} \\ T_s &= 20^0\text{C;} & l &= 1\text{м;} & h &= 0,5 \text{ м;} & \omega &= 0,5 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

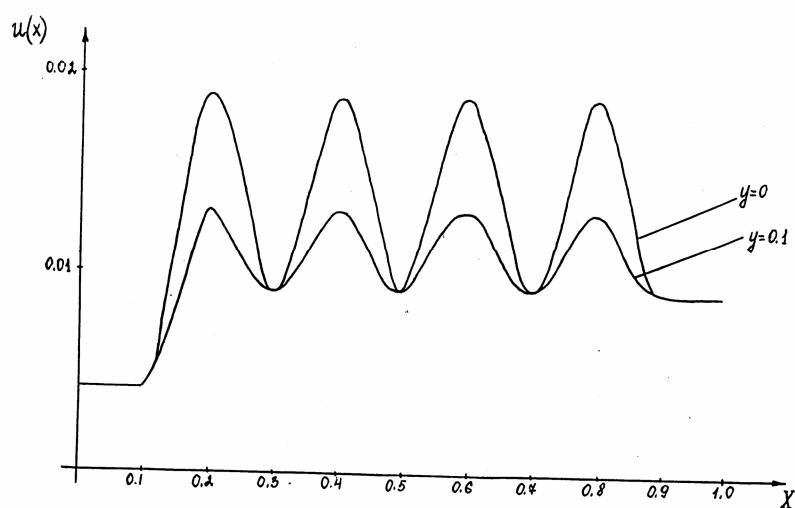


Рис. 3. График зависимости температуры $U(x)$ для $y=0$, $y=0,1$ в безмерных величинах

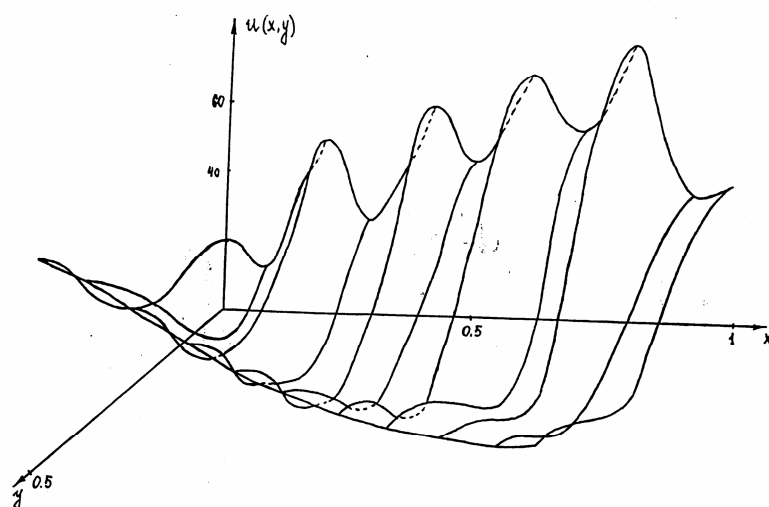


Рис. 4. Распределение температуры в камере сушки

Таким образом, основываясь на математической модели детерминированного типа, использующей уравнения в частных производных, которые описывают физические процессы при работе исследуемых аппаратов, можно разрабатывать методы расчета основных параметров (температура, скорость, концентрация и др.), что в свою очередь позволит искать пути совершенствования технологии и техники сушки.

Список литературы: 1. Филиппов В.А. Технология сушки и термоаэроклассификации углей. - М., «Недра», 1987, 287с. 2. Лыков А.В. Сушка в химической промышленности. М., «Химия», 1970, 432с. 3. Джалурия И. Естественная конвекция. - М., Мир, 1983, 399с. 4. Кузнецова Н.С., Грошев Г.Н., Лабутин А.Н. Сушка сыпучих материалов в псевдооживленном слое с переменным полем температур и скоростей. - Хим.пром., 1979, в.6, с.42. 5. Календерьян В.А, Корнараки В.В. Температурное поле в сушилке с движущимся плотным слоем при комбинированном подводе тепла. - Хим.пром., 1979,

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ НАРУШЕННОГО СЛОЯ ПРИ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Сидорко В.И., Филатов Ю.Д.

(ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев, Украина)

The link between depth of defect layer of processed surface and the most probable size of the wear particles is determined on the basis of physical and chemical model of wear. It is shown that in case of grinding, depth of defect layer of the surface linearly depends on average size of diamond grits in tool and their roughness.

Глубина нарушенного слоя поверхности детали из неметаллического материала, обработанной при алмазном шлифовании или полировании, зависит от свойств инструмента и обрабатываемой детали [1, 2]. Уменьшение зернистости шлифовальных и полировальных порошков в инструменте приводит к уменьшению глубины нарушенного слоя [2]. Однако, характер этой зависимости и вид функции ее описывающей (линейная, квадратичная и т.п.) не исследованы в полной мере, поскольку не существует моделей, описывающих механизм образования нарушенного слоя поверхностей в процессе их финишной обработки.

В связи с указанным целью работы являлось исследование закономерностей образования нарушенного слоя поверхностей деталей из неметаллических материалов при шлифовании и полировании.

Исходя из физико-статистической и кластерной моделей износа [3, 4], образование нарушенного слоя поверхности можно рассматривать как движение кластеров вглубь обрабатываемого материала. Распределение концентрации кластеров вдоль координаты z (нормальной к обрабатываемой поверхности) выражается уравнением [4]:

$$c(z, t) = n_0 \cdot \left[1 - \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{\eta \cdot t}}\right)}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{\eta}}\right)} \right], \quad (1)$$

где: n_0 - концентрация кластеров на поверхности обрабатываемой детали,

η - коэффициент объемного износа,

t - время обработки,

α - коэффициент, определяющий закон движения границы раздела $\zeta = \alpha\sqrt{t}$,

$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \int_0^x e^{-t^2} \cdot dt$ - интеграл ошибок [5].

При $z < 0$ формула (1) описывает концентрацию образующихся кластеров в глубине обрабатываемого материала, то есть образование нарушенного слоя.