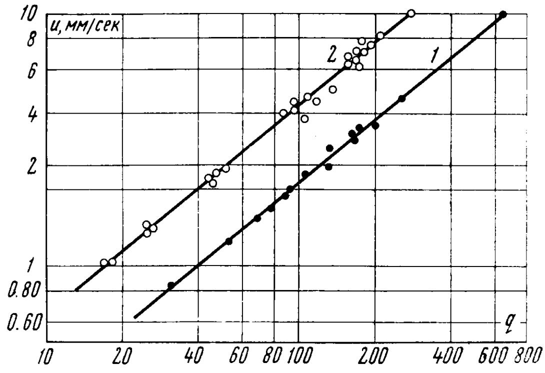
О ТЕПЛООТДАЧЕ В ТРУБЕ С РАЗРУШАЮЩИМИСЯ СТЕНКАМИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ГАЗА

Ю. А. ГОСТИНЦЕВ, В. М. ЗАЙЦЕВ, А. Д. МАРГОЛИН, П. Ф. ПОХИЛ

(Москва)

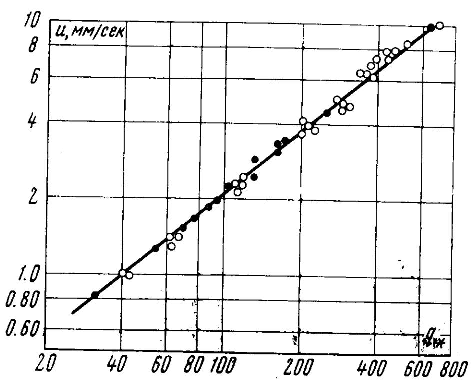
Линейная скорость стационарного разрушения твердого тела определяется интенсивностью теплового потока Q из внешней среды и суммарной теплотой фазового превращения H, при этом линейная скорость разрушения $u = Q / \rho_1 H$ (здесь ρ_1 — плотность разрушаемого тела).

При конвективном переносе тепла из движущегося газа, если массоподвод $\rho_1 u$ с разрушающихся стенок мал по сравнению с массовой плотностью $\rho_2 U_z$ основного потока (здесь U_z — осевая скорость газа), то критериальная зависимость числа Нуссельта N от числа Рейнольдса R для теплоотдачи в трубе может быть найдена по измерениям линейной скорости разрушения. В самом деле, так как $Q = \alpha(T_0 - T_s)$, где α — коэффициент теплоотдачи, то при неизменном температурном напоре для данной пары стенка — газ $N \sim ud$ (d — диаметр канала трубы).



Фиг. 1

Для получения зависимости $N(R)$ при течении в цилиндрической трубе вращающегося газа с большими числами Рейнольдса $R = \rho_2 U_z d / \mu = 10^5$—$10^6$ были поставлены эксперименты по газификации полиметилметакрилата (плексигласа) в высокотемпературном нейтральном потоке газа ($T_0 = 1500°$ C и средний молекулярный вес около тридцати).



Фиг. 2

На фиг. 1 в логарифмическом масштабе представлена зависимость линейной скорости газификации u *мм/сек* полиметилметакрилата от плотности массового потока газа $q = \rho_2 U_z$ *г/см²сек* в трубе с внутренним диаметром $d = 15$ и длиной 40 *мм*. Индексом 1 обозначены данные, полученные при осевом движении газа, а индексом 2 — при вращении потока в канале с постоянной величиной отношения $U_\varphi / U_z = 2.20$ скоростей у стенок канала. Видно, что скорость газификации при закручивании потока увеличивается, но, как и при осевом движении, ее величина пропорциональна плотности массового потока q в степени 0.80.

Обработка результатов с учетом величины скорости вращения газа V_φ у стенок показала, что теплоотдачу в том и другом случаях можно определить универсальной зависимостью от эффективного значения числа Рейнольдса в трубе

$$R_* = \frac{q_* d}{\mu} = \frac{\rho_2 U_z d}{\mu} \sqrt{1 + U_\varphi^2 / V_z^2}$$

Величина $V_\Phi / V_z = \operatorname{tg} \alpha$ в экспериментах находилась по следу линии тока на стенках канала. Следует отметить, что при больших скоростях обдува на разлагающейся поверхности наблюдается образование волн и ячеек; при малых скоростях — поверхность остается устойчивой и гладкой.

На фиг. 2 данные фиг. 1 перестроены в координатах $u - q_*$. Эксперименты, проведенные на трубах с диаметром канала 10 и 25 *мм* и различными значениями V_φ / V_z, дают аналогичную зависимость u от q_*.

Таким образом, скорость газификации стенок канала при течении в нем закрученного потока и выполнении оговоренных выше ограничений определяется формулой $u = \mathrm{const}\, \Phi(L / d)\, d^{-0{,}20} q_*^{0{,}80}$, а критериальная зависимость для теплоотдачи в круглой трубе имеет вид:

$$N = \mathrm{const}\, R_*^{0{,}80}\ \Phi(L/d)$$

где $\Phi(L / d)$ учитывает поправку на длину трубы. При осевом движении газа $V_\varphi / V_z = 0$ и выражение $N(R)$ принимает общеизвестный вид.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА ТЕПЛА ФИЛЬТРАЦИЕЙ

А. Б. КАЗАНСКИЙ *(Москва)*

Для описания фильтрации через пористый материал жидкости, переносящей тепло, будем использовать подход, предложенный Е. М. Минским в [1]. Предположим, что фильтрующий материал и пористая порода, через которую фильтруется переносящая тепло жидкость, имеет зернистый характер, а сама фильтрация осуществляется переносом жидкости в струйках между отдельными частицами. Предположим, что длина струек — небольшая, по сравнению со слагающими пористый материал частицами, тогда можно считать, что вдоль струек их форма мало меняется, оставаясь приблизительно прямолинейной. Поперечное сечение каждой индивидуальной струйки S_i естественно может в каждом случае иметь самую разную фигуру. Поэтому, следуя [1, 2], введем эффективный радиус струйки r_i соотношением $S_i = \pi r_i^2$. Таким образом, будем представлять себе индивидуальные проточные поры или пустоты в материале, через который фильтруется жидкость, в виде цилиндров с заданной функцией распределения $f(r)$, причем длина индивидуального цилиндра всегда соизмерима с его радиусом.

Направим ось x прямоугольной системы координат вдоль среднего переноса жидкости, фильтрующейся по пористому материалу. Будем для простоты рассматривать двумерную картину фильтрации, т. е. положим, что вдоль направления оси y отсутствуют какие-либо средние переносы массы жидкости и тепла. Здесь же примем условие, учитывая небольшую длину рассматриваемых струек, что в любой точке фильтрующей среды при помещении в нее начала координат O нашей системы скорость жидкости в струйке, проходящей через эту точку, не имеет составляющей в сторону отрицательных значений x.

Пусть луч n, выходящий из начала координат в полупространство $x > 0$, совпадает с осью индивидуального цилиндра. Обозначим через φ угол между лучом n и его проекцией на плоскость xy. Согласно сформулированному выше условию, $-{}^1/_2\pi < \varphi < {}^1/_2\pi$. Обозначим через ψ угол в плоскости xy между проекцией на нее луча n и осью x. Согласно определению, этот угол находится в пределах $-{}^1/_2\pi < \psi < {}^1/_2\pi$. Углы φ и ψ, рассматриваемые как случайные и независимые величины, определяют случайное положение в полупространстве $x > 0$ луча n. Обозначим через $f_1(\varphi)$ и $f_2(\psi)$ функции распределения направлений луча n по углам φ и ψ, где

$$\int\limits_{-1/2\pi}^{1/2\pi} f_1(\varphi)\, d\varphi = 1, \qquad \int\limits_{-1/2\pi}^{1/2\pi} f_2(\psi)\, d\psi = 1$$

Вероятность того, что фиксированная точка находится внутри индивидуальной струйки, равна пористости среды $m = N / N_0$, где N — объем проточных пор, приходящийся на общий объем N_0 фильтрующей среды.

Будем считать рассматриваемый пористый материал однородным и изотропным, т. е. примем, что перечисленные выше его статистические характеристики $f(r)$, $f_1(\varphi)$, $f_2(\psi)$, m, описывающие его фильтрационные свойства, одинаковы для всего объема, заполненного фильтрующим пористым материалом. Для самого потока фильтрующейся жидкости примем условие о его стационарности, т. е. примем, что величина скорости в каждой индивидуальной струйке неизменна во времени. Обозначим через $-\partial p / \partial x$ составляющую градиента давления в направлении среднего переноса жидкости. Тогда, используя высказанное в [1, 2] предложение описывать течение жидкости в индивидуальной струйке формулой Пуазейля, напишем выражение для потока через поперечное сечение индивидуального цилиндра в виде

$$\pi r_i^2 \rho u_i = -\pi \frac{r_i^4 \rho}{\alpha\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \cos\varphi \cos\psi \tag{1}$$