УДК 536.244

Оценка эффективности теплоотдачи оребренных труб, изготовленных методом деформирующего резания

В.Ю.ПУТИЛИН
ОАО «Машиностроительный завод», г. Электросталь (Московская обл.)

Result of experimental investigation of heat transfer in the range of Re-number = 500...5000 and aerodynamic resistance in the range of Re-number = (1...8) · 10³ of single tubes with spiral cooper fins made by deforming cutting with step of fins are 0,2...1,25 mm used in air cooling apparatuses in the range of Re-number = (1...8)· 10³ are presented. The experimental data are generalized criterion equations. The checking efficiency is presented in the range of Re-number = (1...5)· 10³.

Теплообменные аппараты систем отопления, охлаждения и кондиционирования воздуха работают при низких температурных напорах и обдуваются воздухом при малых скоростях, что обусловливает невысокую плотность теплового потока, увеличить которую согласно [1] можно путем уменьшения линейного размера поверхности теплообмена и дальнейшего увеличения коэффициента оребрения.

В настоящее время все шире применяются теплообменные аппараты с оребренными трубами, изготовленными методом деформирующего резания. Это сравнительно новый метод механической обработки, сочетающий процесс частичного срезания припуска и целенаправленного пластического деформирования подрезанного поверхностного слоя. Образующаяся при де-

формирующем резании стружка не отделяется полностью от заготовки, сохраняя связь с ней по узкой стороне, поэтому у изготовленных этим способом оребренных труб ребра монолитно соединены с основанием и у них отсутствует термическое контактное сопротивление. С помощью деформирующего резания [3] можно довести коэффициент оребрения до 14, при этом возможный минимальный шаг оребрения равен 0,15 мм, межреберное расстояние – 0,02 мм. Изготовленные методом деформирующего резания трубы технологичны и дешевы, однако в литературе отсутствуют их теплоаэродинамические характеристики. В связи с этим исследовали теплоаэродинамические характеристики оребренных труб с малыми шагами оребрения для скоростей, характерных для описанных выше систем, и проведена оценка эффективности их теплоотдачи.

Испытывали медные трубы с ребрами, изготовленные методом деформирующего резания. Тип ребер – спиральный цилиндрический, профиль – прямоугольный. Геометрические параметры оребрения исследуемых оребренных труб приведены в таблице.

В результате обработки экспериментальных данных получены обобщающие зависимости:

конвективной теплоотдачи

$$\mathrm{Nu}_D = 0,061\mathrm{Re}_D^{0,783}\left(\frac{s_p}{d}\right)^{0,31}; \qquad (1)$$

приведенной теплоотдачи

Показатель	Номера труб					
	1	2	3	4	5	6
Коэффициент развития поверхности Ψ	11,46	11,7	12,22	12,94	13,75	14,67
Коэффициент развития поверхности Ψ_D относительно D	10,58	10,38	10	9,57	9,17	8,8
Шаг оребрения s_p, мм	0,2	0,3	0,5	0,75	1	1,25
Высота ребра h_p, мм	1	1,5	2,5	3,75	5	6,25
Межреберное расстояние δ, мм	0,1	0,15	0,25	0,375	0,5	0,625
Внутренний диаметр оребрения d, мм	24	23,5	22,5	21,25	20	18,75
Наружный диаметр оребрения D, мм	26	26,5	27,5	28,75	30	31,25

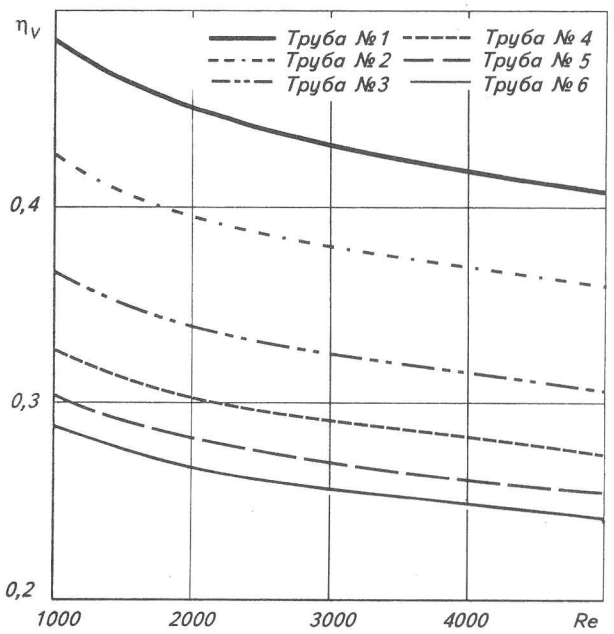

Рис. 1. Оценка эффективности теплоотдачи оребренных труб по занимаемым конструктивным объемам (компактности)

$$\psi_D \mathrm{Nu}_{\text{пр}} = \psi_D 0,081\mathrm{Re}_D^{0,701}\left(\frac{s_p}{d}\right)^{0,31}; \qquad (2)$$

сопротивления

$$\zeta = 1,085\mathrm{Re}_D^{0,086}\left(\frac{\delta}{d}\right)^{0,103}. \qquad (3)$$

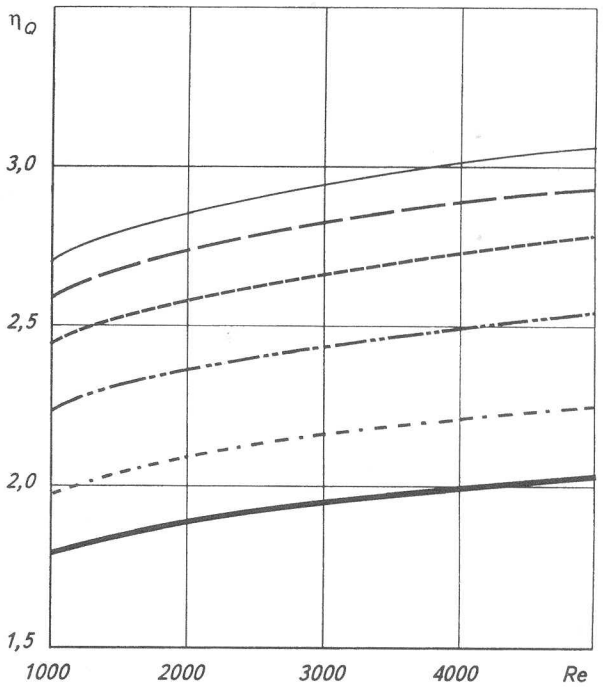

Рис. 2. Оценка эффективности теплоотдачи по тепловым нагрузкам (обозначения те же, что и на рис. 1)

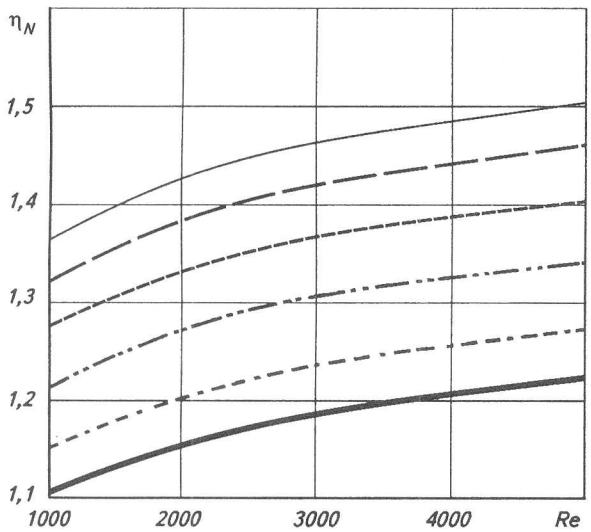

Рис. 3. Оценка эффективности теплоотдачи по потерям давления воздуха (обозначения те же, что и на рис. 1)

Эффективность теплоотдачи оребренных труб оценивали по занимаемым конструктивным объемам (компактности), тепловым нагрузкам и потерям давления воздуха при прочих равных условиях (рис. 1, 2, 3). Для гладкой трубы использовали данные [4].

Эффективность теплоотдачи по занимаемым конструктивным объемам (компактности) оценивали, используя данные Г.А.Дрейцера [2]:

$$\eta_V = \frac{V}{V_{гл}} = \frac{\left(\dfrac{\zeta}{\zeta_{гл}}\right)_{\mathrm{Re}}^{\frac{n_{гл}}{3-n_{гл}+n_{1гл}}}}{\left(\dfrac{\psi_D \mathrm{Nu}_{пр}}{\mathrm{Nu}_{гл}}\right)_{\mathrm{Re}}^{\frac{3+n_{1гл}}{3-n_{гл}+n_{1гл}}}}. \qquad (4)$$

Оценку эффективности теплоотдачи по тепловым нагрузкам проводили согласно данным В.Ф.Юдина [6]:

$$\eta_Q = \frac{\psi_D C}{C_{гл}} \left(\frac{C_{1гл}}{C_1}\right)^{\frac{n}{n_1+3}} \mathrm{Re}^{\frac{n_{1гл}+3}{n_1+3}n-n_{гл}}. \qquad (5)$$

Эффективность теплоотдачи по потерям давления воздуха оценивали по вновь разработанной методике, являющейся развитием методики В.М.Легкого [5]:

$$\eta_N = \frac{C_1 C_{гл} w^{n_{гл}-n+n_1-n_{1гл}}}{C_{1_{гл}} C \psi_D} \times \frac{1+\dfrac{F_0 \psi_D C \lambda/D \,\mathrm{Re}^n}{2wF_{кан}\rho_{вх} c_{рв}}}{1+\dfrac{F_0 C_{гл} \lambda/D \,\mathrm{Re}^{n_{гл}}}{2wF_{кан}\rho_{вх} c_{рв}}}, \qquad (6)$$

где C и C_1 – коэффициенты уравнений теплоотдачи и сопротивления соответственно;

λ – теплопроводность воздуха;

$F_0 = \pi DL$ – площадь огибающей трубу поверхности;

$F_{кан}$ – площадь канала;

w – скорость набегающего потока воздуха;

$\rho_{вх}$ – плотность воздуха на входе.

В результате обработки данных экспериментальных исследований оребренных труб, изготовленных методом деформирующего резания с шагами оребрения 0,2 – 1,25 мм при поперечном обдуве воздухом со скоростью до 5 м/с, получены обобщающие зависимости (1) – (3).

Сравнительная оценка эффективности теплоотдачи исследованных оребренных и гладких труб показала, что при прочих равных условиях оребренные трубы имеют преимущества по компактности (η_V в 1,9 – 4,1 раза больше и возрастает при увеличении Re и $s_р$), а также по тепловым нагрузкам (η_Q в 1,7 – 3,1 раза выше и увеличивается при росте Re и $s_р$); однако имеют большие потери давления (η_N в 1,1 – 1,5 раза выше и уменьшается при росте Re и $s_р$).

Список литературы

1. *Антуфьев В.М.* Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. – М.; Л.: Энергия, 1966.
2. *Дрейцер Г.А.* Проблема создания компактных трубчатых теплообменных аппаратов // Теплоэнергетика. 1995. № 3.
3. *Зубков Н.Н.* Разработка и исследование метода деформирующего резания как способа формообразования развитых микрорельефов: Автореф. докт. дис. – М., 2001.
4. *Кутателадзе С.С., Боришанский В.М.* Справочник по теплопередаче. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959.
5. *Легкий В.М.* Методика расчета оптимальной системы принудительного охлаждения приборов СВЧ // Электронная техника. Сер. 1. Электроника СВЧ. 1969. № 7.
6. *Юдин В.Ф.* Методика сравнительной оценки конвективных поверхностей нагрева // Энергомашиностроение. 1969. № 5.