

Видно также, что наиболее чувствительной к изменению K_2 является величина $K_1 = 1/C$. При изменении K_2 от $1.22 \cdot 10^{-4}$ до $1.18 \cdot 10^{-4}$, т. е. на 3.5%, величина C изменяется от 3.4 до 5.6, т. е. почти в два раза. Показатель степени n изменяется при этом от 0.7 до 0.66, т. е. значительно слабее, чем C .

Таким образом, при $K_2 = 1.22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ час}^\circ \text{ С / ккал}$ получаем зависимость:

$$\alpha = 3.4 q^{0.7} \quad (3.3)$$

Измеренное до опыта значение K_2 равно

$$K_2 = \frac{\delta}{\lambda} = (1.20 \pm 0.25) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ час}^\circ \text{ С / ккал}$$

Всего было проведено десять серий опытов на малой установке и семнадцать серий на большой. Тепловые потоки изменялись от 10 000 до 205 000 ккал / м² час.

В первых сериях были сделаны опыты с различными скоростями изменения теплового потока. Обнаружено, что при скоростях до $8 \cdot 10^4$ ккал / м² час² кривые на нагрев и охлаждение хорошо совпадают между собой. Кроме того, были проделаны опыты при стационарных условиях. При этом точки по $\Delta t_{ст}$ совпали с точками, полученными в нестационарных условиях. Все это подтверждает мысль об очень быстром формировании теплового пограничного слоя.

Различные опыты проводились в разные дни. Различные серии опытов при этом давали несколько отличные кривые, что может быть объяснено некоторым временным изменением условий кипения в районе спая термомпары. При этом различие по $\Delta t_{ст}$ не превышало $\pm 10\%$ (по различным термомпарам).

Поступила 22 II 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. К у т а т е л а д з е С. С. Основы теории теплообмена. Госэнергоиздат, 1958.
2. В е с к J. U. Effect of Thermocouple Cavity on Heat Sink Temperature. J. Heat Transfer, 1960, vol. 82, N 1, p. 27—36.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕНА РТУТИ В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ ПРИ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКЕ

В. И. Петровичев

(Москва)

Представлены результаты экспериментального исследования локального теплообмена ртути в канале кольцевого сечения с отношением диаметров $d_2/d_1 = 1.67$ и относительной длиной $l/d^0 = 110$. Опытные результаты обработаны в виде зависимости локального безразмерного температурного напора и локального числа Нуссельта от числа Пекле.

Изучению теплообмена при переменном тепловыделении на стенке трубы вдоль потока теплоносителя посвящен ряд работ [1-3]. Некоторые результаты экспериментального исследования теплообмена при турбулентном течении ртути в круглой трубе и в кольцевом канале при синусоидальной тепловой нагрузке по длине канала приведены в работе [4]. В этой работе отмечалось, что переменное тепловыделение вдоль потока теплоносителя может оказать существенное влияние на локальную теплоотдачу в том случае, когда теплоносителями являются расплавленные металлы, обладающие высокими значениями коэффициентов теплопроводности. Обработка экспериментальных результатов в работе [4] была выполнена, однако, лишь в виде зависимости максимальной безразмерной температуры стенки от числа Пекле.

На основании экспериментальных результатов работы [4] был впоследствии сделан расчет локальной теплоотдачи ртути в кольцевом канале для четырех различных сечений канала, результат которого представлен в предлагаемой статье.

Эксперименты проводились на ртутном циркуляционном контуре в опытном теплообменнике кольцевого сечения внутренним диаметром 8.0 мм, наружным 13.4 мм и длиной 600 мм при одностороннем наружном обогреве [4].

Приводим значения или пределы изменения основных величин в опытах

Эквивалентный диаметр канала, мм, $d^0 = 5.4$

Наружный диаметр канала, мм, $d_2 = 13.4$

Внутренний диаметр, мм, $d_1 = 8.0$

Отношение диаметров $d_2/d_1 = 1.67$

Средняя температура ртути, °С $40 \div 50$

Подогрев ртути в опытном участке, °С $1.5 \div 4.5$

Максимальный тепловой поток, ккал / м² час $26 \cdot 10^3 \div 9 \cdot 10^3$

Максимальный температурный напор, °С $3.0 \div 1.4$

Число Рейнольдса $R = (10.7 \div 7.7) \cdot 10^3$

Длина участка, мм, $l = 600$

Отношение $l/d^0 = 110$

Скорость ртути, м / сек $0.22 \div 1.55$

Число Пекле $RP = 270 \div 1860$

Распределение температуры наружной стенки по длине кольцевого канала измерялось в экспериментах при помощи термопар. Распределение средней температуры потока ртути по длине канала вычислялось по уравнению теплового баланса для случая синусоидального распределения теплового потока на стенке

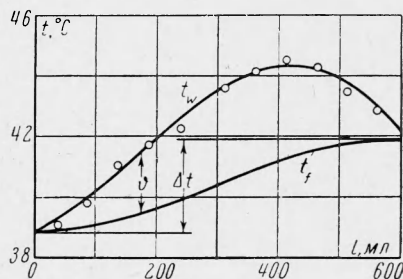
$$t = t_1 + \frac{Q_1}{2GC_p\gamma} \left[1 - \cos \frac{\pi x}{l} \right]$$

Здесь Q — тепловая нагрузка, ккал/час; G — расход ртути, м³/час; C_p — теплоемкость ртути, ккал/кг·град; γ — удельный вес ртути, кг/м³; l — длина трубы, м; t_1 — температура потока на входе в канал, °С; t — температура на расстоянии x от входа в канал, °С.

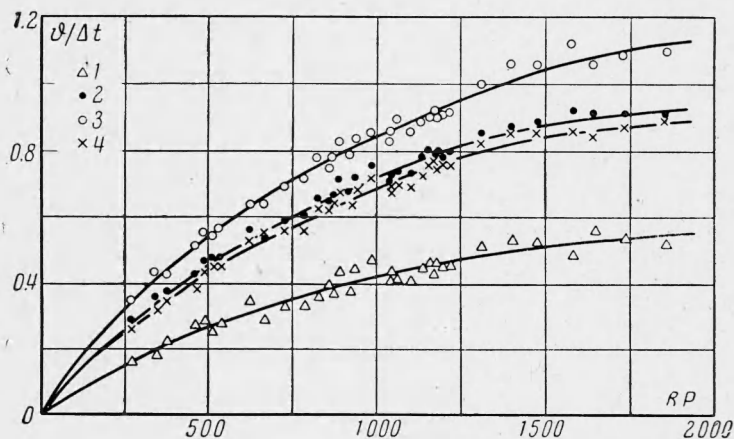
На фиг. 1 показан пример распределения температуры стенки и потока ртути в одном опыте (для числа $RP = 1400$).

Таким образом, при помощи распределения температуры в стенке и в потоке вычислялись значения локальных температурных напоров θ и рассчитывались величины локальных безразмерных коэффициентов теплоотдачи N .

На фиг. 2 представлена зависимость локального безразмерного температурного напора θ (температурного напора θ , отнесенного к полному подогреву теплоносителя в канале) от числа Пекле для сечений по длине канала: $x/l = 0.24, 0.4, 0.6$ и 0.75 .



Фиг. 1. Распределение температуры стенки канала и потока ртути в единичном опыте: t_f — температура потока, t_w — температура стенки, θ — температурный напор, Δt — подогрев ртути



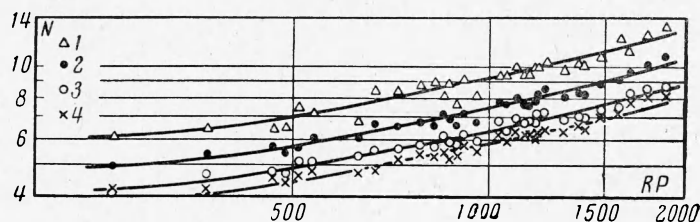
Фиг. 2. Локальный безразмерный температурный напор для различных сечений канала; точки 1, 2, 3, 4 соответствуют значениям 0.24, 0.4, 0.6, 0.75

Из рассмотрения фиг. 2 следует, что безразмерный локальный температурный напор в кольцевом канале при таком законе тепловой нагрузки вдоль потока растет с ростом числа Пекле для всех сечений x/l . Для зафиксированного числа Пекле θ сначала растет с ростом x/l (до $x/l \approx 0.6$), а затем начинает уменьшаться. Такой характер изменения θ можно проследить и по фиг. 1.

На фиг. 3 представлена зависимость локального безразмерного коэффициента теплообмена N от числа Пекле для тех же сечений канала. Из рассмотрения фиг. 3 можно заключить, что теплоотдача ртути в кольцевом канале при синусоидальной тепловой нагрузке падает вдоль канала (N уменьшается с ростом x/l). Зависимость же локального числа Нуссельта от числа Пекле для всех сечений канала имеет примерно одинаковый вид.

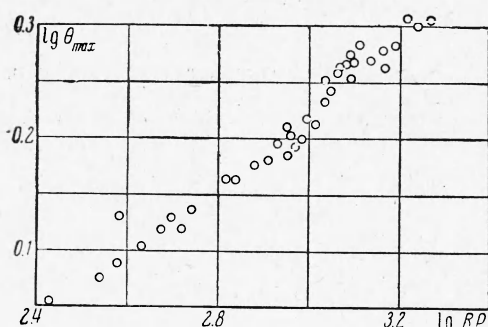
Средняя по длине теплоотдача по всему кольцевому каналу при синусоидальной тепловой нагрузке для развитого турбулентного движения потока ртути (числа $RP > 100$) не отличается от теплоотдачи в том же канале при условии постоянного теплового потока на стенке [5]. Для ряда специальных случаев теплофизического расчета наиболее важной задачей оказывается не расчет теплоотдачи в канале, а оценка температуры стенки в том или ином сечении канала. Для этой цели представление экспериментальных результатов (фиг. 2) в виде зависимости $\theta = f(RP)$ может быть более удобным, чем (фиг. 3) в виде зависимости $N = f(RP)$.

Это особенно важно при неравномерной тепловой нагрузке вдоль оси для каналов некруглого сечения, так как в этом случае, помимо очевидного влияния на теплообмен относительной длины канала l/d^0 будет также влиять выбор самого эквива-



Фиг. 3. Локальная теплоотдача ртути в кольцевом канале при синусоидальной тепловой нагрузке; точки 1, 2, 3, 4 соответствуют значениям 0,24, 0,4, 0,6, 0,75

лентного диаметра, который, как известно, строго говоря, неприменим для расчета теплообмена при турбулентном течении жидкого металла в некруглых каналах [6]. Для оценки максимальной температуры стенки кольцевого канала, охлаждаемого



Фиг. 4. Зависимость безразмерной максимальной температуры стенки канала от числа Пекле

$$\theta_{\max} = \frac{t_{w\max} - t_1}{t_2 - t_1}$$

где $t_{w\max}$ — максимальная температура стенки, t_1 — температура ртути на входе в канал, t_2 — температура ртути на выходе из канала

потоком ртути, для случая синусоидальной тепловой нагрузки вдоль оси на фиг. 4 приведена зависимость безразмерной максимальной температуры стенки θ_{\max} от числа Пекле, по которой можно сразу, без длительных вычислений, по заданным значениям числа Пекле RP и подогреву ртути в канале приблизительно оценить температуру стенки канала в наиболее опасном сечении.

Поступила 15 III 1962

ЛИТЕРАТУРА

1. D z u n g L. S. Heat transfer in a circular tube with sinusoidal heat load distribution. Second Unid. nation conference on the peaceful uses of atomic energy, reports. Geneva, 1958, № 253.
2. Амброк Г. С. О влиянии переменного теплового потока вдоль поверхности трубы на теплообмен при турбулентном течении. Инж.-физ. ж., 1961, т. IV, № 7.
3. Петровичев В. И., Кокорев Л. С. Теплоотдача к турбулентному потоку жидкого металла при синусоидальном распределении тепловой нагрузки по длине трубы. Инж.-физ. ж., 1959, т. II, № 12.
4. Petrovich V. I. Heat transfer to mercury in a circular tube and annular channels with sinusoidal heat load distribution. Int. J. Heat Mass Transfer, 1960, vol. 1, p. 115—120.
5. Кутателадзе С. С., Боршанский В. М., Новиков И. И., Федынский О. С. Жидкометаллические теплоносители. М., Атомиздат, 1958.
6. Хабахпашева Е. М., Ильин Ю. М. Теплоотдача к сплаву натрия с калием в кольцевых зазорах. Атомная энергия, 1960, т. 9, вып. 6.