

УДК 536.24

А. Р. ПЕРЕСЕЛКОВ, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ»

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ РАЗНОМ ОРИЕНТИРОВАНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ОХЛАЖДАЕМОЙ ДИСПЕРГИРОВАННОЙ ВОДОЙ

Представлены методика и результаты исследования теплообмена при охлаждении высокотемпературной поверхности диспергируемой водой, подаваемой форсункой снизу-вверх на локальный тепломер. Плотность орошения поверхности тепломера измерялась с применением счётно-импульсного метода. В опытах исключалось попадание на выступающей тепломер «вторичных» капель и плёнки воды, поступающих с соседних участков поверхности. Установлено, что при отсутствии «балластной воды» разное ориентирование орошаемой поверхности не влияет на результаты, а теплосъём зависит только от плотности орошения.

Ключевые слова: теплообмен, капли, плотность орошения, ориентирование поверхности.

Введение

Охлаждение высокотемпературной поверхности диспергированной водой применяется на прокатных станах при охлаждении листа и полосы, а также при заходожиивании слитков на установках непрерывной разливки стали.

В результате металлографических анализов установлено, что при одинаковых расходах диспергированной воды интенсивность охлаждения поверхности при орошении её сверху-вниз выше, чем при подаче капельного потока снизу-вверх [1].

Анализ основных достижений и литературы

В работе [2] приведены результаты исследований разными авторами интенсивности охлаждения каплями высокотемпературной поверхности q , Вт/м², расположенной горизонтально или вертикально, при разных значениях плотности орошения g , м³/(м²·с). Однако аналогичные исследования теплообмена при подаче диспергированной воды на поверхность снизу-вверх, т.е. при «потолочном» расположении охлаждаемой поверхности не проводились.

Цель исследования, постановка задачи

Представляется целесообразным выполнить исследования теплосъёма в виде зависимости $q = f(g)$.

В лабораторных условиях не удаётся воспроизвести реальные гидравлические и тепловые условия теплообмена, которые возможны при охлаждении проката, полосы, слитков. Поэтому в настоящей работе изучался теплообмен при орошении высокотемпературной поверхности натекающим потоком капель без участия «балластной» воды, т.е. отражённых капель, а также без плёнки воды, поступающей в исследуемую зону с соседних участков и находящейся на паровой подушке при плёночном кипении.

Материалы исследования

Методика измерения удельного теплосъёма q с помощью локального тепломера, используемого в настоящих опытах, описана в работе [2]. Метод измерения плотности орошения g с помощью отборной трубки, при обеспечении изокинетичности отбора капельной пробы, успешно используется, если направление движения капель формируется от вертикального до горизонтального. Однако, при движении капельного потока снизу-вверх, из-за воздействия гравитационной силы, использовать метод отбора капель не представляется возможным.

© А. Р. Переселков, 2015

В настоящей работе для определения удельного расхода капельной жидкости, подаваемой снизу-вверх, использовался счетно-импульсный метод (СИМ) [3, 4].

Согласно СИМ, на основании экспериментальной зависимости частоты замыканий h каплями электродов от расстояния S между их остриями определяются значения ненормированной функции распределения числа капель по диаметру $\varphi_0(D)$. Величина $\varphi_0(D)dD$ представляет собой не что иное, как количество зарегистрированных капель размером $D \dots D + dD$, прошедших за единицу времени через единицу площади в зоне измерения. Тогда объёмный удельный расход зарегистрированных капель g' равен

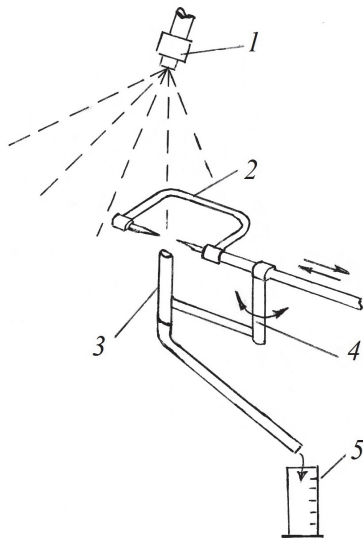


Рис. 1 – Схема измерения при тарировке СИМ перед измерением удельного расхода капельной жидкости: 1 – форсунка; 2 – датчик СИМ; 3 – отборная трубка; 4 – поворотное устройство; 5 – мерная ёмкость

$$g' = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} D^3 \varphi_0(D) dD. \quad (1)$$

Фактический объёмный удельный расход всех капель в зоне измерения

$$g = \beta g', \quad (2)$$

где β – коэффициент, показывающий соотношение между действительным и зарегистрированным объёмным удельным расходом капель.

Экспериментальная зависимость $h(S)$ хорошо аппроксимируется экспонентой $h(S) = B \exp(-\alpha S)$, где параметр $B = h(0)$, т.е. при пересечении с осью ординат. Параметр, характеризующий дисперсный состав

$$\alpha = \frac{\ln h(S_1) - \ln h(S_2)}{S_2 - S_1}. \quad (3)$$

На основании точного аналитического решения исходного интегрального уравнения относительно $\varphi_0(D)$ [3, 4], выражение плотности орошения имеет вид

$$g = \beta \frac{\pi B}{2 \alpha}. \quad (4)$$

Как было экспериментально установлено [3, 5], значение коэффициента β обусловлено параметрами регистрирующей аппаратуры, электропроводностью жидкости и скоростью натекания капель на электроды датчика.

Для определения значения коэффициента β в настоящих опытах, как показано на рис. 1, в нескольких точках капельного потока, создаваемого водо-воздушной плоскофакельной форсункой, измерялись значения плотности орошения g' с помощью СИМ и с помощью отборной трубки, т.е. g . При отборе капельной пробы трубкой электроды датчика СИМ отводились из точки замера. Значения плотности орошения в опытах изменялись в диапазоне $g = (9-15) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Натекание капель на датчик СИМ и отборную трубку выдерживалось перпендикулярным и режим работы форсунки не изменялся. Значения коэффициента $\beta = 1,41-1,75$, т.е. отклонение от среднего значения $\beta_{\text{ср}}$ составляло 17 %.

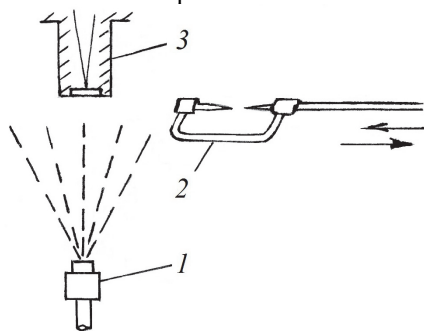


Рис. 2 – Схема измерения при исследовании теплосъёма в зависимости от плотности орошения тепломера капельной жидкостью: 1 – форсунка; 2 – датчик СИМ; 3 – тепломер

При дослідженні теплосъёма при натекании капельного потока на тепломер снизу-вверх плотность орошения g измерялась с помощью СИМ. При этом датчик можно было устанавливать непосредственно перед измерительным участком тепломера, как показано на рис. 2. В настоящих опытах использовалась плоскофакельная водо-воздушная форсунка. При этом исключалось стекание на рабочую зону тепломера жидкости, которая сдувалась водовоздушным потоком.

Надо отметить, что в настоящих опытах не ставилась задача проводить исследования в широком диапазоне измерения плотности орошения поверхности. Достаточно было проверить, и это было установлено, что при использовании локального выступающего тепломера, ориентирование охлаждаемой поверхности, и в том числе «потолочным», практически не оказывает влияние на интенсивность охлаждения. При этом теплосъём осуществлялся только за счёт натекающего капельного потока и полностью исключалось влияние «вторичной» жидкости, которая в виде плёнки и отражённых капель могла поступать в зону измерения с соседних участков.

Результаты исследования

Полученные в настоящих опытах при «потолочном» расположении орошаемой поверхности тепломера с точностью до 18% совпадают с полученной ранее [2] зависимостью $q = 6,5 \cdot 10^5 g^{0,5}$, что вполне соответствует точности аппроксимации.

Выводы. Результаты настоящей работы, подтверждают, что увеличение теплосъёма, при охлаждении листа или слитков при орошении высокотемпературной поверхности сверху-вниз по сравнению с «потолочным» орошением, т.е. снизу-вверх, объясняется наличием на поверхности «балластной» воды. Причём даже в условиях плёночного (закризисного) кипения при поступлении капель на плёнку воды, находящейся на раскалённой поверхности, теплосъём существенно активизируется.

Список литературы: 1. Сладкоштитев, В. Г. Непрерывная разливка стали на радиальных установках [Текст] / В. Г. Сладкоштитев, Р. В. Потанин, О. Н. Суладзе и др. – М., 1974. 2. Пересёлков, А. Р. Теплообмен при охлаждении высокотемпературной поверхности диспергированной водой [Текст] / А. Р. Пересёлков // Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование. Вестник НТУ «ХПИ»: сб. научн. трудов. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2009. – № 3. – С. 168–170. – ISSN 2078-774X. 3. Пересёлков, А. Р. Исследование структуры дисперсного потока в теплообменном аппарате контактного типа с помощью счётно-импульсного метода [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.04 – промышленная теплоэнергетика / Пересёлков Александр Романович ; ХПИ. – Харьков, 1975. – 24 с. 4. Братута, Э. Г. Расчёт функции распределения капель по размерам при использовании счётно-импульсного метода [Текст] / Э. Г. Братута, А. Р. Пересёлков / Инженерно-физический журнал. – 1974. – Т. XXVII, № 5. – С. 923–924. 5. Братута, Э. Г. Определение локальных расходов дисперсной среды в газожидкостном потоке с помощью счётно-импульсного метода [Текст] / Э. Г. Братута, А. Р. Пересёлков // Теплоэнергетика. – 1975. – № 5. – С. 32–34.

Bibliography (transliterated): 1. Sladkoshteev, V. G., et al. Nepreryvnaja razlivka stali na radial'nyh ustanovkakh. Moscow, 1974. 2. Peresjolkov, A. R. "Teploobmen pri ohlazhdenii vysokotemperaturnoj poverhnosti dispergirivannoj vodoj." *Jenergeticheskie i teplotehnicheskie processy i oborudovanie. Vestnik NTU "KhPI": Sb. nauchn. trudov.* No 3. Kharkov : NTU "KhPI", 2009 S. 168–170. ISSN 2078-774X. Print. 3. Peresjolkov, A. R. *Issledovanie struktury dispersnogo potoka v teploobmennom apparate kontaktного типа s pomoshh'ju schjotno-impul'snogo metoda : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk.* Kharkov, 1975. Print. 4. Bratuta, Je. G., and A. R. Peresjolkov. "Raschjot funkcii raspredelenija kapel' po razmeram pri ispol'zovanii schjotno-impul'snogo metoda." *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal.* Vol. XXVII. No 5. 1974. 923–924. Print. 5. Bratuta, Je. G., and A. R. Peresjolkov. "Opredelenie lokal'nyh rashodov dispersnoj sredy v gazozhidkostnom potoke s pomoshh'ju schjotno-impul'snogo metoda." *Teplojenergetika* 5 (1975): 32–34. Print.

Поступила (received) 03.02.2014