

А.С. Калиниченко, А.Н. Абраменко, Ю.К. Кривошеев, Е.А. Воронин

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЧАСТИЦ В ПРОЦЕССЕ УДАРНОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ

Белорусская государственная политехническая академия

В настоящее время широко применяются порошковые материалы, полученные различными методами диспергирования. Одним из них является способ ударного диспергирования. В этом процессе струя расплавленного металла, истекающего из сопла, разбивается зубьями, сформированными на внешней поверхности вращающегося вала. Особенности этого способа является необходимость поддержания заданной температуры зуба. Это вызвано тем, что после удара зуба с расплавом диспергированная частица должна успеть приобрести сферическую форму с последующим затвердеванием в полете до момента попадания в контейнер [1].

Таким образом, устройство для ударного диспергирования должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Обеспечивать отвод от зубьев постоянного теплового потока.
2. Поддерживать постоянную температуру зуба.

Таким требованиям отвечает устройство, в котором теплообмен осуществляется замкнутым испарительно-конденсационным циклом с той особенностью, что испарителем служит зубчатый валок. Охлаждение конденсатора осуществляется при стационарных условиях, а транспортная зона обеспечивает строго фиксированный расход рабочей жидкости. Было спроектировано и заявлено устройство для получения дисперсных частиц, теплообмен у которого осуществляется по принципу замкнутого испарительно-конденсационного цикла [2]. Установка состоит из вращающегося зубчатого вала, совмещенного с канавочным испарителем, вращающейся транспортной зоны и неподвижного конденсатора с жидкостным теплообменником. В транспортной зоне располагается регулируемый винтовой насос, который определяет расход рабочей жидкости, поступающей в испаритель. В качестве рабочей жидкости используется дистиллированная вода, имеющая высокое значение скрытой теплоты парообразования.

Схема установки представлена на рис.1. Установка включает в себя вращающийся испаритель 1, неподвижную емкость 2 и вращающийся транспортный узел 3. Валок-испаритель имеет зубья на внешней поверхности расплава, а на внутренней—треугольные канавки 4 для увеличения поверхности кипения, расположенные коаксиально поверхности оси вращения устройства. Конденсатор снабжен змеевиком 5 для протекания охлаждающей жидкости и двумя коаксиальными цилиндрическими полостями — большой 6 и малой 7. Полости сообщаются между собой благодаря отверстиям 8. Между емкостью 2 и транспортным узлом 3 установлена неподвижная запорная шайба 9 с горизонтальным вырезом.

Принцип работы заключается в следующем: расплав из специальной литниковой коробки падает на валок. При соударении с зубьями жидкий металл разбивается и его частицы силами поверхностного натяжения стягиваются в сферы. Зубья за счет контактного теплообмена разогреваются, нагревая испаритель 1. При достижении температуры кипения рабочая жидкость находящаяся в канавках 4, испаряется. Пар

устремляется в зону пониженного давления, в данном случае к охлаждаемой змеевиком 5 емкости 2. Там пар конденсируется и под действием сил гравитации стекает в

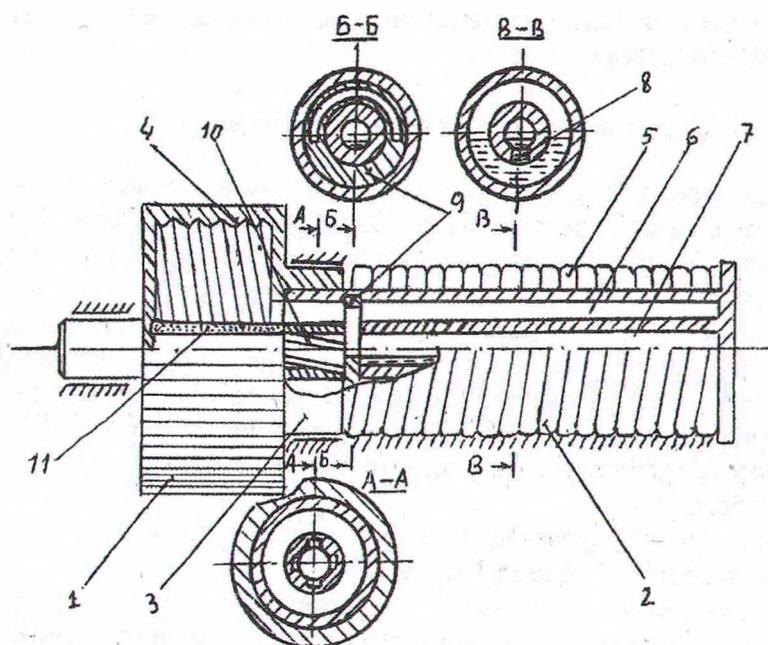


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

нижнюю часть конденсатора. Стенка запорной шайбы 9 не дает возможности жидкости стекать в накопитель. Уровень рабочей жидкости в большой полости повышается и она по отверстиям 8 начинает перетекать в малую полость, где также растет уровень в соответствии с законом сообщающихся сосудов. Когда уровень жидкости в малой полости совпадает с уровнем в большой, наступит стационарный режим. Установленная соосно с малой неподвижной полостью вращающаяся втулка захватывает оттуда жидкость винтовыми канавками, играющими роль винтового насоса. Винтовые канавки, вращаясь, гонят рабочую жидкость к внутренней части пористого цилиндра 11. Под действием центробежных сил жидкость продавливается через поры и попадает в канавки испарителя, где переходит в пар, поглощая теплоту, выделяющуюся при диспергировании расплава. Пар, в свою очередь, устремляется к емкости 2, и замкнутый испарительно-конденсационный цикл повторяется. Количество жидкости, подаваемое винтовым насосом, определяется высотой выреза. Это значит, что в данной системе канавки насоса захватывают жидкость не по всей периферии малой полости, а только у части ее, ограниченной уровнем жидкости в ней, то есть насос работает периодически. Величину уровня жидкости определяет высота выреза запорной шайбы. Таким образом, изменяя величину уровня, возможно менять производительность насоса, а значит и теплоту, передаваемую устройством.

Высота выреза h находится по формуле

$$h = R_{MK} \left(1 - \cos \frac{90L}{\pi R_{MK}} \right).$$

Для оценки теплового режима установки необходимо знать общий температурный перепад по устройству, который находится как

$$\sum \Delta T = T_p - T_b.$$

T_p - температура расплава; T_b - температура охладителя (воды), протекающего в жидкостном теплообменнике конденсатора. Составляющие температурного перепада: ΔT_1 - температурный перепад между расплавом и зубом; ΔT_2 - по зубчатому барабану; ΔT_3 - между внутренней стенкой барабана и кипящей жидкостью; ΔT_4 - при конденсации; ΔT_5 - по стенке конденсатора; ΔT_6 - между наружной стенкой конденсатора и охладителем, протекающим по жидкостному теплообменнику.

Температурным перепадом по пару пренебрегаем ввиду малости.

Для определения ΔT_6 задаемся режимом течения охладителя в жидкостном теплообменнике конденсатора. Интенсивный, равномерный по длине канала теплосъем обеспечивает турбулентный режим течения, то есть когда $Re \geq 10$. Интенсивность теплообмена характеризуется числом Нуссельта. Для турбулентного режима [3]

$$Nu = 0,027 Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_c} \right)^{0,25} \varepsilon.$$

Поправочный коэффициент находится как

$$\varepsilon = 1 + 1,8 \frac{d_T}{R_{3M}}.$$

Тогда перепады ΔT_6 и ΔT_5 определяются из выражений

$$\Delta T_6 = \frac{Q}{\alpha_6 A_2}; \quad \Delta T_5 = \frac{Q \ln \frac{d_b}{d_{3M}}}{2\pi R l}.$$

Температурный перепад при конденсации находится из следующих соображений [4]. Коэффициент теплоотдачи рассчитывается по одному из приведенных уравнений:

$$\alpha_{KH} = 0,728 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda_{ж} \cdot \rho_{ж}^2 \cdot g \cdot r^*}{\mu_{ж} \cdot \Delta T_4 \cdot d_{ж}}} \quad \text{или} \quad \alpha_{KH} = \frac{Q}{A_{KH} \cdot \Delta T_4}$$

Совместным решением этих уравнений находится ΔT_4 .

Температура насыщения рабочей жидкости T_H в полости устройства определяется из

$$T_H = T_B + \Delta T_6 + \Delta T_5 + \Delta T_4$$

Перегрев стенки испарителя выше температуры насыщения найдем из уравнения [5]

$$\Delta T_3 = \frac{0,013 r^*}{C_{рж}} \left[-\frac{q}{\mu_{ж}} \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_{ж} - \rho_{II})}} - \right]^{0,33} Pr_{ж}^{1,7}$$

Температурный перепад по стенке валка определяется аналогично ΔT_3 . Интенсивность контактного теплообмена между слоем расплава и зубом при ударе определяется из выражения

$$Q = \alpha_{II} \Delta T_1 A_3 = C_p m_3 (T_p - T_{ш}) \frac{1}{\tau_y}; \tau_y = 0,001 [6], m_3 = A_3 \cdot d_{ш} \cdot \rho_p$$

Значение коэффициента теплоотдачи α_p определяется теплопроводностью воздуха, заземленного в микронеровностях контактной поверхности зуба:

$$\alpha_p = \frac{\lambda_{B3}}{R_z}$$

Требуемый температурный перепад

$$\Delta T_1 = \sum \Delta T - (\Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4 + \Delta T_5 + \Delta T_6 + \Delta T_b) = \frac{R_z \Delta T_1 A_3}{Q}$$

Массовый расход рабочей жидкости от конденсатора к испарителю устройства

$$m = \frac{Q \cdot n}{c_p (T_p - T_w) + r^*}$$

На основе разработанной конструкторско-технологической документации в техническом центре ATZ-EVUS (Германия) была изготовлена экспериментальная установка по диспергированию сплавов, на которой получали порошки диаметром до 2 мм. Основные размеры устройства: наружный диаметр испарителя с зубьями 0,3 м; общая длина испарителя 1 м; частота вращения барабана 12,7 с⁻¹.

Эксперименты подтвердили эффективность такой системы диспергирования.

Обозначения

A - площадь; d - диаметр; c - теплоемкость; g - гравитация, h - высота; L - длина дуги, охватывающей слой жидкости; l - длина; m - массовый расход расплава; m - массовый расход рабочей жидкости; n - число зубьев; Q - тепловой поток; q - плотность теплового потока; R - радиус; r* - скрытая теплота парообразования; R_z - высота микронеровностей; T - температура; ΔT - температурный перепад; α - коэффициент теплоотдачи; λ - теплопроводность; μ - вязкость; ρ - плотность; σ - поверхностное натяжение; τ - время; Nu, Pr, Re-критерии Нуссельта, Прандтля и Рейнольдса соответственно.

Индексы

v - вода; vz - воздух, ж - жидкость; з - зуб; зм - змеевик; кн - конденсатор; мк - малый конденсатор; п - пар; с - стенка; т - труба; ш - шарик; у - удар.

Литература

1. Новое в технологии получения материалов/Под ред. Ю.А. Осипьяна, А.Хауфа. М.: Машиностроение, 1990. 448 с.
2. Устройство для получения дисперсных частиц /А.Н.Абраменко, А.С. Калиниченко, Ю.К. Кривошеев. Пол. реш. по заявке РБ №960340 от 03.07.96.
3. Михеев М.А. Основы теплопередачи М.: Госэнергоиздат, 1956. 391 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача М.: Энергия, 1975. 486 с.
5. Tong L.S. Boiling Heat Transfer and Two-Phase Flow, John Wiley and Sons, Inc. New York-London-Sydney, 1965. 290 p.
6. Назаров О.И., Поваров О.А., Ятчени И.А. Удар капли о плоскую движущуюся пластину// Теплоэнергетика. 1975. №4. С. 47-49.