

$$D_0 = \frac{\lambda_{3\phi}}{\rho_T (c_T + ac_T) (1 - \varepsilon)}$$

Температура стенки трубки пучка усреднялась согласно выражению

$$\alpha = \frac{Q}{1/4R_0 \int_{-2R_0}^{2R_0} T(U, V)|_{V=0} dU - \frac{1}{V_0} \int_0^{V_0} T(U, V)|_{u=0} dV}$$

где в знаменателе выражения стоит средний температурный напор (разность средней температуры стенки нагревателя и средней температуры потока).

Как подтвердили численное моделирование и эксперимент, уравнения (6), (7) и (10) с условиями однозначности определяют двумерный профиль основных локальных характеристик термосеводоожженного слоя. Константа K в выражении для коэффициента перемешивания при моделировании задается отличной от нуля. Это необходимо для того, чтобы в области $\varepsilon < 0,5$ не произошло трансформации уравнений второго порядка в уравнения первого порядка, что технически затруднило бы их решение и нарушило возможность охвата всей области моделирования одним алгоритмом. По физическому смыслу константа K — это коэффициент диффузии газа, фильтрующегося в плотном слое. Однако если и имеет место такая фильтрация, то она пренебрежимо мала. А поскольку конкретное значение константы не играет роли (она практически не влияет на решение), она может задаваться числом, близким к нулю.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

T — температура; a — степень адсорбции; ε — порозность; G — расход твердой фазы; I — скорость десорбции; c — теплоемкость; H — дифференциальная теплота десорбции; ω_T — скорость газовой фазы; Q — тепловой поток.

Индексы: $г$ — газовая фаза; $т$ — твердая фаза; 0 — предельное значение; a — для переноса сорбированной фазы; ε — то же, но десорбированной; t — для переноса энтальпии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Несенчук А. П., Габриэль М. А., Шкляр А. А. Теплотехнологическое оборудование промышленных предприятий. — Минск: Высшая школа, 1979. — 160 с.
2. Интенсификация процессов тепло- и массообмена при регенерации мелкодисперсного цеолита в гравитационном потоке / А. П. Несенчук, В. Н. Романюк, В. А. Седнин и др. // Тепломассообмен-VI: Матер. VI Всесоюз. конф. по тепломассообмену (Минск, май, 1980). — Минск: ИТМО АН БССР. — 1980. — Т. 6. — Ч. 1. — С. 39—43.
3. Несенчук А. П., Седнин В. А., Романюк В. Н. К вопросу о состоянии дисперсной системы в термическом промышленном десорбере // Науч. и прикл. пробл. энергетики: Республ. межвед. сб. — Минск, 1986. — С. 51—53.
4. Шатон Л. В., Несенчук А. П., Антонишина Е. Н. Исследование диффузии углекислоты в зернах синтетических цеолитов СаА и МоА // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений). — 1982. — № 1. — С. 121—123.
5. Применение циркуляционной модели для описания перемешивания твердых частиц в псевдоожиженном слое / Ю. С. Теплицкий, В. А. Бородули, В. К. Вакар и др. // ИФЖ. — 1984. — Т. 46. — № 5. — С. 820—824.

Представлена кафедрой ПТЭ и Т

Поступила 2.12.1987

УДК 621.769.669

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА КРИСТАЛЛИЗАТОРА С ПОРИСТЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Кандидаты техн. наук АБРАМЕНКО А. Н., КАЛИНИЧЕНКО А. С.

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт

Широкое распространение в производстве находят процессы сверхбыстрого охлаждения металлов. Они позволяют получить материалы с физико-механическими свойствами, значительно превосходящими традиционные сплавы. Материалы в виде лент чаще всего получают на одном или двух вращающихся валах-кристаллизаторах. Важным вопросом при создании устройства для сверхбыстрого охлаждения является обеспечение эффективного теплоотвода. На практике получили распространение кристаллизаторы, у которых внутренняя часть рабочего обода омывается проточной водой [1]. Однако из-за затрудненного пароотвода в охлаждаемой полости зачастую возникают

локальные скопления пара, происходит местное осушение стенок кристаллизатора, омываемые из двухфазным потоком и, как следствие, скачки в интенсивности теплоотвода, что приводит к ухудшению качества готовой продукции.

Более совершенно охлаждение кристаллизатора за счет испарения жидкости в капиллярно-пористом теле. В этом случае, во-первых, обеспечивается равномерный теплоотъем, во-вторых, процесс испарения в порах интенсифицируется за счет протекания по равновесным поверхностям. Подбором характеристик капиллярно-пористого тела можно обеспечить необходимое соотношение между величиной подводимого теплового потока и объемом капиллярно-замкнутой жидкости на рабочем участке.

Нами было разработано устройство для получения металлических лент непосредственно из расплава, в котором был реализован принцип пористого охлаждения.

Устройство (рис. 1) включает вращающийся валок-кристаллизатор 1 с капиллярно-пористым слоем 2, систему подачи охлаждающей жидкости, имеющую патрубок 3 и упругим пористым элементом 4, а также систему подачи расплава 5 [2].

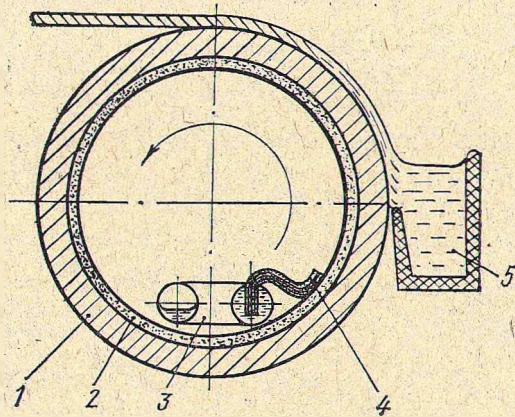


Рис. 1. Схема устройства для получения металлической ленты

Быстрому охлаждению подвергались ленты из сплава алюминия, содержащего добавки хрома и железа.

Разработанное устройство обеспечивало нормальный теплоотвод при следующих условиях.

1. Расход охлаждающей жидкости по патрубку должен превышать ее количество, необходимое для поглощения рабочего теплового потока.

2. Разность капиллярного давления по длине пористого элемента, а также его размеры и проницаемость должны обеспечить транспорт по нему необходимого количества рабочей жидкости.

3. Поровое пространство капиллярно-пористого слоя должно обеспечивать размещение необходимого количества жидкости.

4. Время контакта пористого элемента с капиллярно-пористым слоем должно обеспечивать заполнение порового пространства последним необходимым объемом жидкости.

5. Величина плотности подводимого теплового потока не должна превышать критического значения.

Количество жидкости, необходимое для охлаждения кристаллизатора,

$$m = \frac{Q}{r} K.$$

Массовый расход жидкости по упругому пористому элементу определится согласно уравнению Дарси

$$m = \frac{\Pi_p A \rho_{ж} \Delta p_k}{\mu L};$$

$$A = hb;$$

$$\Delta p_k = \frac{2\sigma}{R_3} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1).$$

Переход жидкости из упругого элемента в капиллярно-пористый слой валка произойдет в случае, если ее капиллярный потенциал в слое будет выше, чем в элементе:

$$\frac{2\sigma}{R_c} \cos \theta_3 > \frac{2\sigma}{R_3} \cos \theta_2.$$

Массовый расход в радиальном сечении капиллярно-пористого слоя валка-кристаллизатора также определяется уравнением Дарси, в котором (рис. 2)

$$A = bl;$$

$$L = \delta;$$

$$\Delta p_k = 2\sigma \left(\frac{\cos \theta_3}{R_c} - \frac{\cos \theta_2}{R_3} \right).$$

Время контакта части элемента длиной l с капиллярно-пористым слоем

$$\tau = l/V_{кр}.$$

Для нормального заполнения капиллярно-пористого слоя кристаллизатора массовый расход жидкости по пористому элементу должен удовлетворять следующему соотношению:

$$m \geq \Pi b \rho_{ж} V_{кр} \delta.$$

Снятие рабочей тепловой нагрузки при затвердевании и кристаллизации жидкометаллической ленты обеспечивается в случаях, когда

$$Q < \Pi b \rho_{ж} V_{кр} r \delta;$$

$$Q < \frac{2\sigma \Pi_p b l \rho_{ж} r}{\mu \delta} \left(\frac{\cos \theta_3}{R_c} - \frac{\cos \theta_2}{R_3} \right);$$

$$Q < \frac{2\sigma \Pi_p h b \rho_{ж} r}{\mu L R_3} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1).$$

Процесс теплосъема будет происходить нормально, если величина плотности теплового потока при охлаждении и затвердевании ленты меньше критической:

$$\frac{Q\tau}{2\pi R_{кр} b n \rho} < q_{крит} \left(\frac{a_{ц}}{g} \right)^n.$$

Критическая плотность теплового потока [3]

$$q_{крит} = \frac{\pi}{24} r \rho_{п} \left[\frac{\sigma (\rho_{ж} - \rho_{п})}{\rho_{п}} \right]^{0.25} \left[\frac{\rho_{п}}{\rho_{ж} + \rho_{п}} \right]^{0.5}.$$

Влияние центробежного ускорения при кипении учитывается следующими соотношениями [4]:

$$\text{при } 1 < \frac{a_{ц}}{g} < 10 \quad q'_{крит} = q_{крит} \left(\frac{a_{ц}}{g} \right)^{0.15};$$

$$\text{при } 10 < \frac{a_{ц}}{g} < 100 \quad q'_{крит} = q_{крит} \left(\frac{a_{ц}}{g} \right)^{0.25}.$$

В заключение необходимо отметить, что разработанное устройство для охлаждения металлических лент работает эффективно только в случае, если величина линейной скорости вращения кристаллизатора удовлетворяет соотношениям:

$$V_{кр} \leq \frac{Q}{\Pi b \rho_{ж} r \delta};$$

$$V_{кр} \leq \frac{2\sigma \Pi_p l}{\mu \delta^2 \Pi} \left(\frac{\cos \theta_3}{R_c} - \frac{\cos \theta_2}{R_3} \right);$$

$$V_{кр} \leq \frac{2\sigma \Pi_p h}{\mu L R_3 \Pi \delta} (\cos \theta_2 - \cos \theta_1).$$

ОБОЗНАЧЕНИЯ

A — площадь поперечного сечения;
 $a_{ц}$ — центростремительное ускорение;
 b — ширина;
 g — гравитационное ускорение;
 h — толщина упругого пористого элемента;
 K — коэффициент, учитывающий выброс массы из капиллярно-пористого слоя;
 L — длина пористого элемента;
 l — длина контакта упругого элемента с капиллярно-пористым слоем;
 n — частота вращения кристаллизатора;
 m — массовый расход охлаждающей жидкости;
 Δp_k — разность капиллярного давления;
 Q — тепловой поток;
 $q_{крит}$ — критическая плотность теплового потока;

$R_{кр}$ — радиус кристаллизатора;
 R_c, R_a — капиллярный радиус слоя и элемента соответственно;
 r — скрытая теплота парообразования охлаждающей жидкости;
 $V_{кр}$ — линейная скорость вращения кристаллизатора;
 δ — толщина капиллярно-пористого слоя;
 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ — угол смачивания в начале и конце элемента и в конце слоя соответственно;
 μ — вязкость охлаждающей жидкости;
 $\rho_{ж}, \rho_{п}$ — плотность жидкости и пара соответственно;
 τ — время;
 Π — пористость слоя;
 Π'_p, Π''_p — пропускательность элемента и слоя соответственно;
 φ — часть окружности кристаллизатора, контактирующая с жидкометаллической лентой;
 σ — поверхностное натяжение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейник А. И. Кокиль.— Мн.: Наука и техника, 1972.— 352 с.
2. Устройство для получения металлической ленты. Полож. решение № 4144029/31-02/154832 от 06.11.86. / А. Н. Абраменко и др.
3. Тонг Л. Теплоотдача при кипении и двухфазное течение.— М.: Мир, 1969.— 344 с.
4. Adams J. M. A Study of the Critical Heat Flux in an Accelerating Pool Boiling System, NSF G—19697. Univ. Washington, 1962.— 64 p.

Представлена кафедрой теплоэнергетики и теплотехники и научно-исследовательской лабораторией теплофизики и теплоэнергетики

Поступила 31.12.1987

