

УДК 669.1

Р.Н. Волошин, студент;

Д.В. Неснов, канд. техн. наук, доцент

Донецкий национальный технический университет

г. Донецк, Украина

e-mail: my.romeo@mail.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ПОДОБИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ В МНЛЗ

В условиях кризиса мировой экономики необходимо поддерживать конкурентоспособность продукции и решать задачи, связанные с постоянным повышением качества отечественных металлоизделий. Непрерывнолитые заготовки являются основным сырьем для производства проката, и качество заготовок определяет качество готового металлоизделия. Одной из основных проблем, встречающихся при разливке металла на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), считается наличие трещин и ликвационных зон во внутренней структуре металла, а также на поверхности заготовок. Одной из причин появления дефектов в непрерывнолитых заготовках являются термические напряжения. Уменьшение термических напряжений обеспечивается при помощи повышения качества управления за счет введения оптимального управления охлаждением заготовок [1]. При этом немаловажное значение играет быстрдействие средств измерения и точность показаний, получаемых системами автоматического управления. В связи с этим возникает необходимость исследования процессов при измерении расхода.

Критерий подобия – безразмерная комбинация, которая составлена из физических величин, описывающих процесс. В общем случае он может быть представлен произведением фундаментальных переменных.

Делаем предположение, что расход воды Q через цилиндрический насадок является функцией диаметра насадка d_H , плотности ρ и динамической вязкости μ жидкости, давления P перед насадком (рис.1). Таким образом, имеем пять фундаментальных переменных: параметр Q и факторы d_H, ρ, μ, P .

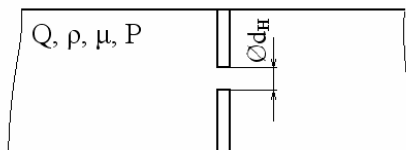


Рисунок 1 – Схема исследования процесса измерения расхода воды

Для выбора основных единиц запишем формулы размерностей фундаментальных переменных. Наименования фундаментальных переменных, обозначения и размерности приведены в табл.1.

Таблица 1 – Наименования переменных, обозначения и размерности

Фундаментальные переменные	Обозначение	Размерность
Расход	Q	$L^3 T^{-1} (м^3/с)$
Диаметр насадка	d_H	$L (м)$
Плотность жидкости	ρ	$ML^{-3} (кг/м^3)$
Вязкость динамическая	μ	$ML^{-1} T^{-1} (кг/м \cdot с)$
Давление перед насадком	P	$ML^{-1} T^{-2} (кг/м \cdot с^2)$

Из этой таблицы следует, что размерности всех фундаментальных переменных можно выразить тремя основными единицами размерности M , L и T .

Так как число m фундаментальных переменных пять, а число k основных единиц три, то независимых критериев будет $m-k=5-3=2$.

В рассматриваемом случае критерий

$$\pi = Q^x \cdot d_H^y \cdot \mu^z \cdot \rho^u \cdot P^r, \quad (1)$$

где x, y, z, u, r – показатели степеней.

Будем искать произведение критериев π_1 и π_2 в виде [2]:

$$\pi_1 \cdot \pi_2 = Q^a \cdot d_H^b \cdot \mu^c \cdot \rho^d \cdot P^e, \quad (2)$$

где a, b, c, d, e – неизвестные показатели степеней.

Если вышеприведенная зависимость справедлива относительно переменных, то она будет справедлива и относительно размерностей. Подставим вместо переменных их размерности. При этом будем учитывать, что поскольку критерии безразмерны, то левая часть уравнения представлена произведением размерностей в нулевых степенях:

$$M^0 L^0 T^0 = (L^3 T^{-1})^a \cdot (L)^b \cdot (ML^{-1} T^{-1})^c \cdot (ML^{-3})^d \cdot (ML^{-1} T^{-2})^e. \quad (3)$$

Чтобы последнее выражение было справедливым, должны выполняться условия (4), (5), (6) для M, L и T соответственно:

$$\begin{cases} c + d + e = 0 \\ 3 \cdot a + b - c - 3 \cdot d - e = 0 \\ -a - c - 2 \cdot e = 0. \end{cases} \quad (4)$$

В трех уравнениях пять переменных. Решив совместно систему уравнений, исключим три из них. Выразим переменные b, c, d через a и e :

$$\begin{cases} c = -a - 2 \cdot e \\ d = a + e \\ b = -a + 2 \cdot e. \end{cases} \quad (5)$$

Подставим в выражение (2) выражение (5) и получим:

$$\pi_1 \cdot \pi_2 = Q^a \cdot d_H^{-a+2e} \cdot \mu^{-a-2e} \cdot \rho^{a+e} \cdot P^e. \quad (6)$$

Объединим члены последнего уравнения, имеющие одинаковые показатели степеней:

$$\pi_1 \pi_2 = \left(\frac{Q \cdot \rho}{d \cdot \mu} \right)^a \left(\frac{P \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu^2} \right)^e. \quad (7)$$

Таким образом, в качестве критериев могут быть приняты комплексы $\left(\frac{Q \cdot \rho}{d \cdot \mu}\right)^a$ и $\left(\frac{P \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu^2}\right)^e$.

Выполним проверку того, что они безразмерны.

Для π_1 :

$$\left(\frac{Q \cdot \rho}{d \cdot \mu}\right)^a = \frac{L^3 \cdot T^{-1} \cdot M \cdot L^{-3}}{L \cdot M \cdot L^{-1} \cdot T^{-1}} = 1. \quad (8)$$

Для π_2 :

$$\left(\frac{P \cdot d^2 \cdot \rho}{\mu^2}\right)^e = \frac{M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2} \cdot L^2 \cdot M \cdot L^{-3}}{M^2 \cdot L^{-2} \cdot T^{-2}} = 1. \quad (9)$$

Условие безразмерности выполнено.

Итак, получили π_1 – безразмерный расход, π_2 – безразмерное давление.

При установлении зависимости расхода от определяющих факторов без перехода к безразмерным комбинациям необходимо фиксировать диаметр, давление, плотность и вязкость. Минимальное количество опытов будет равно:

$$N_1 = 5^5 = 3125 \quad (10)$$

При исследовании процесса с помощью безразмерных комбинаций количество опытов составит:

$$N_2 = 5^2 = 25 \quad (11)$$

Таким образом, исследование системы по полученным безразмерным критериям подобия позволяет уменьшить количество опытов эксперимента в 125 раз, что позволяет исследователю значительно сократить материальные и временные затраты на их проведение.

Библиографический список использованной литературы

1. http://www.dissforall.com/_catalog/t8/_science/5/9190211.htm
2. Бойко Н.Г., Устименко Т.А. Теория и практика научных исследований: Курс лекций. – Донецк, ДонНТУ, 2009. – 156 с.