

Teoria cieplna procesów odlewniczych

Ćw. laboratoryjne nr 5

Określanie stopnia zwilżania powietrza oraz entalpii właściwej powietrza wilgotnego

I. Wprowadzenie

Wilgotność bezwzględna powietrza ρ_p jest stosunkiem masy pary m_p do objętości V powietrza wilgotnego

$$\rho_p = \frac{m_p}{V} \quad [\text{kg} / \text{m}^3] \quad (2)$$

m_p - masa pary wodnej, kg,

ρ_p - gęstość pary wodnej, kg / m^3

V - objętość powietrza wilgotnego, m^3 .

Wilgotność względna powietrza wilgotnego φ jest stosunkiem wilgotności bezwzględnej ρ_p do maksymalnej wilgotności bezwzględnej ρ_p'' dla tej samej temperatury. Może być również określona jako stosunek ciśnienia składnikowego pary p_p do jej ciśnienia maksymalnego p_p'' w tej samej temperaturze

$$\varphi = \left(\frac{\rho_p}{\rho_p''} \right) = \left(\frac{p_p}{p_p''} \right) \quad (3)$$

φ - wilgotność względna (ułamek jedności),

ρ_p - rzeczywista gęstość pary wodnej w powietrzu,

p_p'' - ciśnienie pary suchej nasyconej.

W termodynamice przyjęto umownie, że wskaźnikiem '' (bis) oznacza się stany (parametry) odnoszące się do pary suchej nasyconej.

Wartości ρ_p'' jako funkcji temperatury, podane są w literaturze w tablicach opisujących własności nasyconego powietrza wilgotnego (np. Zagórski – Zarys techniki cieplnej, s. 415).

Zawartość wilgoci (stopień wilgoci) X jest stosunkiem masy pary wodnej m_p do ilości powietrza suchego m_g

$$X = \frac{m_p}{m_g} = \frac{\rho_p V}{\rho_{gs} V} = \frac{\rho_p}{\rho_{gs}} \quad \left[\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg gs}} \right] \quad (4)$$

ENTALPIA WILGOTNEGO POWIETRZA

Entalpię wilgotnego powietrza odnosi się do sumy 1kg powietrza suchego i x kg wilgoci przypadającej na 1kg powietrza suchego:

$$g p I = i + xi$$

gdzie:

i_g – entalpia 1kg powietrza suchego [kcal/mol],

i_p – entalpia 1kg pary wodnej [kcal/mol],

x – zawartość wilgoci w [kg/kg]

Dla powietrza suchego i_g wynosi:

$$i_{c t g p} = \cdot$$

gdzie:

c_p – ciepło właściwe, w zakresie niskich temperatur $c_p=0,24$ kcal/mol,

t – temperatura powietrza [oC],

Zatem:

$$i_{t g} = 0,24 \cdot$$

Entalpia pary wodnej w niskich temperaturach:

$$i_{t p} = 595 + 0,47$$

Zatem entalpia I wynosi:

$$I = 0,24t + 595x + 0,47t \cdot x \text{ [kcal/kg powietrza suchego]}$$

$$1 \text{ [cal]} = 4,187 \text{ [J]}$$

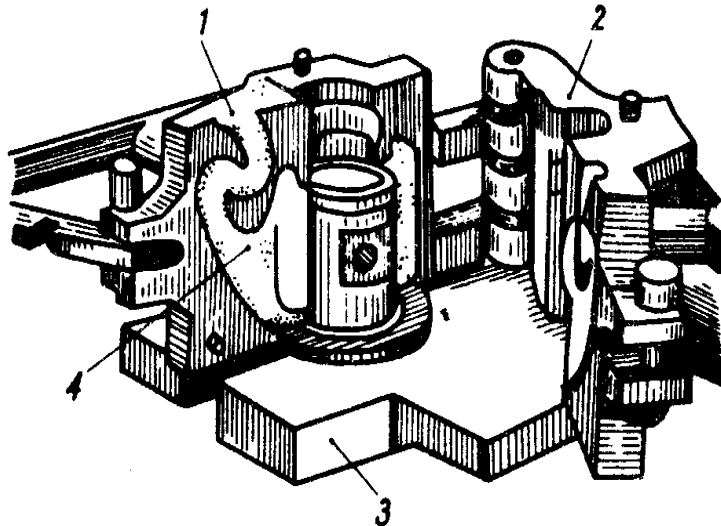
WYKRES I-x (entalpia – zawartość wilgoci)

WYKRES RAMZINA

SYSTEMY CHŁODZENIA KOKI

Kokila (Rys.1) to forma odlewnicza wielokrotnego użycia do odlewania grawitacyjnego bądź odśrodkowego.

Względną temperaturę środka formy (osi walca) przy promieniowym przepływie ciepła w warunkach brzegowych III rodzaju (warunki Newtona), ujmuje równanie kryterialne:



Rys.1. Kokila do odlewania tłoków aluminiowych: 1 – ruchoma część korpusu, 2 nieruchoma część korpusu, 3 – podstawa korpusu, 4 – układ wlewowy

Odlewanie kokilowe stosuje się głównie do metali i stopów nieżelaznych, w szczególności do aluminium, cynku, ołowiu oraz stopów cyny.

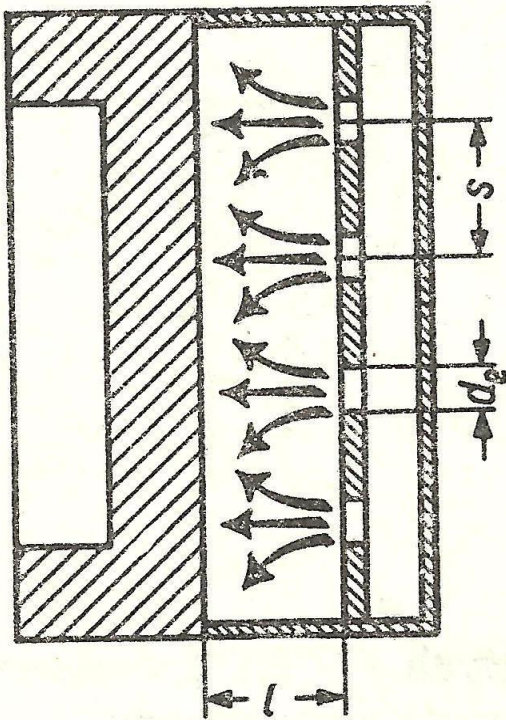
Kokila odtwarza kształt zewnętrzny odlewu. Natomiast kształt wewnętrzny odlewu odtwarzają rdzenie wykonane ze stali lub z mas rdzeniowych.

W procesie kształtowania odlewu metal, z którego wykonana jest forma nagrzewa się tracąc swoje właściwości, a tym samym zmienia kształt wnęki formy odlewniczej. Może to doprowadzić do zafaszowania kształtu jak i wymiarów odlewu.

Rozwiązaniem tego zjawiska jest odprowadzenia ciepła podczas krzepnięcia metalu. Chłodzenie to może być realizowane w różny sposób poprzez:

- chłodzenie wodne płytami kontaktowymi
- chłodzenie nadmuchem powietrza
- chłodzenie kokil w warunkach konwekcji naturalnej i promieniowania.

CHŁODZENIE NADMUCHEM POWIETRZA



Rys. 2. Schemat nadmuchu powietrza na kokilę przez otwory w skrzyni powietrznej

Współczynnik wymiany ciepła (α) w przypadku równomiernego nadmuchu sprężonym powietrzem oblicza się z zależności:

$$\alpha = 0,96 \cdot \lambda_m \sqrt{\frac{w}{v_m \cdot d_e}}$$

gdzie: $d_e = 4(sl / 2s + l)$,

l, s – to długość i szerokość chłodzonej powierzchni

Przy użyciu skrzyni powietrznej (Rys. 2) i za pomocą okrągłych otworów doprowadzających, współczynnik α określa równanie:

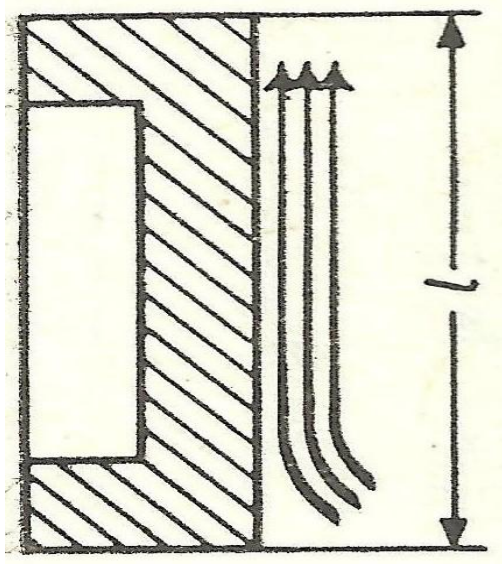
$$\text{dla } \frac{l}{d_e} \geq 8 \quad \alpha = 0,993 \cdot \frac{\lambda_m}{s} \left(\frac{s}{l}\right)^{0,625} R_e^{0,625} P_r^{0,33}$$

$$\text{dla } \frac{l}{d_e} < 8 \quad \alpha = 0,286 \cdot \frac{m}{s} \left(\frac{S}{d}\right)^{0,625} R_e^{0,625} P_r^{0,33}$$

Gdy powietrze doprowadzane jest przez otwory szczelinowe (przekrój prostokątny) wtedy współczynnik α wyraża się za pomocą równania:

$$\alpha = 0,0288 \cdot \frac{\lambda_m}{s} \left(\frac{l}{d}\right)^{-0,346} \left(\frac{S}{d}\right)^{0,89} R_e^{0,89} P_r^{0,33}$$

CHŁODZENIE KOKIL W WARUNKACH KONWEKCYI NATURALNEJ



Rys.3. Schemat do określenia współczynnika wymiany dla konwekcji naturalnej (powierzchnia pionowa kokili).

Podczas swobodnego przepływu medium przy ścianach pionowych (konwekcja naturalna), współczynnik wymiany ciepła wylicza się z równania kryterialnego:

$$N_u = C_1 (Gr \cdot Pr)^{C_2}$$

gdzie:

C_1, C_2 – stałe

Gr – kryterium Grashofa

$$Gr = \beta_m \frac{g d_e^3}{\nu_m^2} \Delta T$$

gdzie:

β_m - współczynnik rozszerzalności objętościowej medium, Tabela 5.1.

ν_m – lepkość kinematyczna m^2/s

ΔT – spiętrzenie temperatury przy ścianie od strony medium,

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$G_r \times P_r$	$10^{-5} - 5 \times 10^2$	$5 \times 10^2 - 2 \times 10^7$	$2 \times 10^7 - 10^{13}$
C_1	1,18	0,54	0,135
C_2	1/8	1/4	1/3

Tabela 1 wartości stałych C_1 i C_2

Na podstawie danych z Tabeli 1 wyznaczyć można następujące zależności dla różnych wartości iloczynu G_r i P_r , mianowicie:

$$\text{dla } G_r \times P_r = 2 \times 10^7 - 10^{13}$$

$$\alpha = 0,135 \frac{\lambda_m}{l} (G_r P_r)^{1/3}$$

$$\text{dla } G_r \times P_r = 5 \times 10^2 - 2 \times 10^7$$

$$\alpha = 0,54 \frac{\lambda_m}{l} (G_r P_r)^{1/4}$$

Dla wartości iloczynu $G_r \times P_r < 10^{-3}$ wzór ogólny upraszcza się do postaci:

$$\alpha = 0,5 \frac{\lambda_m}{d_e}$$

λ_m – współczynnik przewodzenia ciepła W/mK

Wzór ogólny dotyczy powierzchni pionowych.

Wymiarem charakterystycznym dla rur jest ich średnica d_e , dla płyt wysokość l .

W odniesieniu do płyt poziomych wymiarem charakterystycznym jest najmniejszy bok płyty, przy czym obliczoną za pomocą równania ogólnego wartość współczynnika przejmowania ciepła powiększa się o 30 %, jeżeli powierzchnia oddająca ciepło zwrócona jest ku górze (Rys.3.) i zmniejsza się o 30 %, jeżeli powierzchnia wymieniająca ciepło zwrócona jest ku dołowi (Rys.4.).



Rys.4. Schemat do określenia współczynnika wymiany dla konwekcji naturalnej (powierzchnia pionowa kokili).

II. Przebieg ćwiczenia

Wyznaczanie współczynnika zawartości wilgoci (stopnia zwilżania) powietrza oraz entalpii właściwej powietrza wilgotnego

1. Określenie parametrów powietrza wilgotnego:
 - ciśnienia przy pomocy manometru
 - temperatury za pomocą termometru
2. Wyznaczenie wilgotności względnej powietrza wilgotnego przy użyciu psychrometru Assmanna
3. Wyznaczenie stopnia zwilżania X powietrza wilgotnego przy pomocy wykresu Molliera $i - x$
4. Korzystając z zależności zamieszczonych we rozdziale 1 oraz wykresu Molliera $i - x$ należy wyznaczyć współczynnik zawartości wilgoci (stopnia zwilżania) powietrza wilgotnego oraz entalpii właściwej powietrza wilgotnego oraz sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego.