

# Teoria cieplna procesów odlewniczych

## Ćw. laboratoryjne nr 4

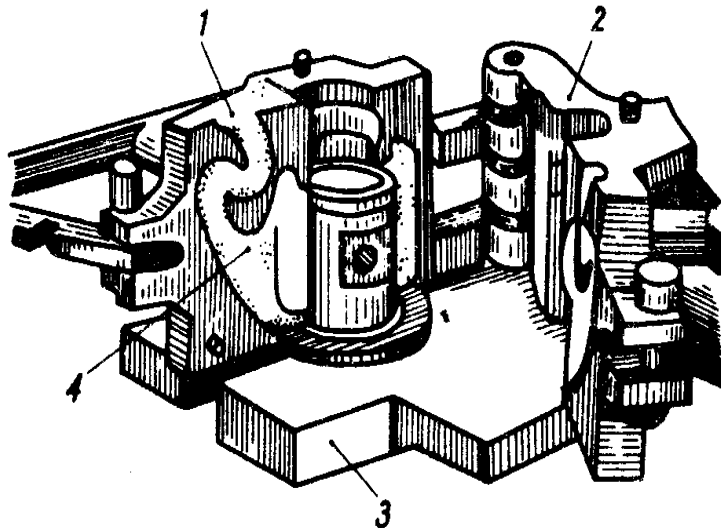
### Wyznaczanie współczynnika wymiany ciepła podczas chłodzenie form metalowych (kokil) w warunkach konwekcji naturalnej

#### I. Wprowadzenie

#### SYSTEMY CHŁODZENIA KOKIL

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

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

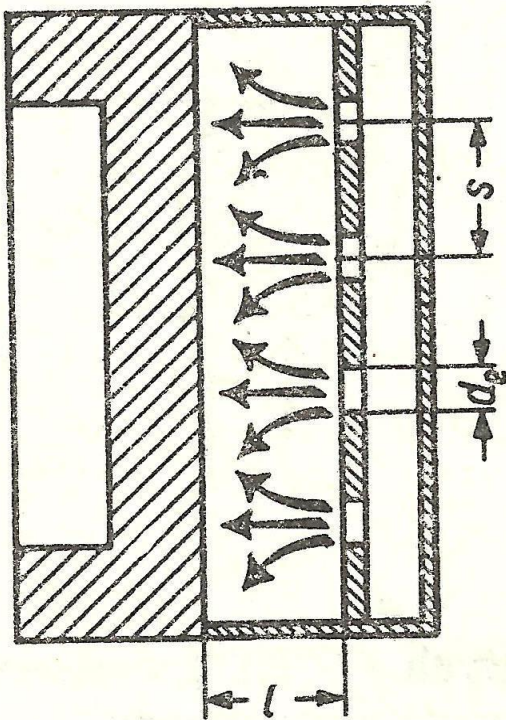
Kokila odtwarza kształt zewnętrzny odlewu. Natomiast kształt wewnętrzny odlewu odtwarzają rdzenie wykonane ze stali lub z mas rdzeniowych.

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 zafałszowanie 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 ( $\alpha$ ) 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  $\alpha$  określa równanie:

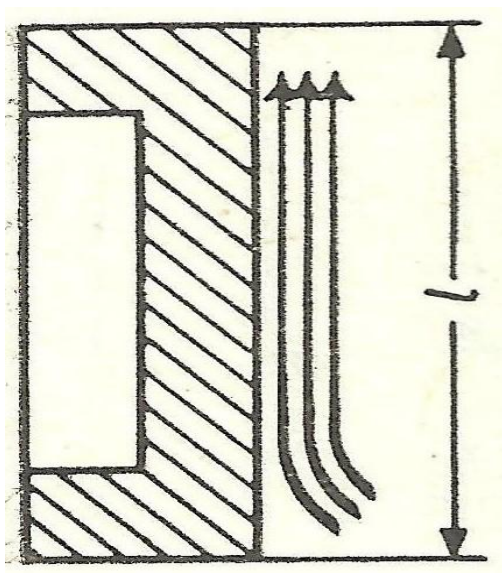
$$\text{dla } \frac{l}{d_e} \geq 8 \quad \alpha = 0,993 \cdot \frac{\lambda_m}{s} \left(\frac{s}{l}\right)^{0,625} R_e^{0,625} P_r^{0,33}$$

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

Gdy powietrze doprowadzane jest przez otwory szczelinowe (przekrój prostokątny) wtedy współczynnik  $\alpha$  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 KONWEKcji 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:

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

gdzie:

$C_1, C_2$  – stałe

$Gr$  – kryterium Grasshofa

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

gdzie:

$\beta_m$  - współczynnik rozszerzalności objętościowej medium, Tabela 5.1.

$\nu_m$  – lepkość kinematyczna m<sup>2</sup>/s

$\Delta T$  – 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:

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

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

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:

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

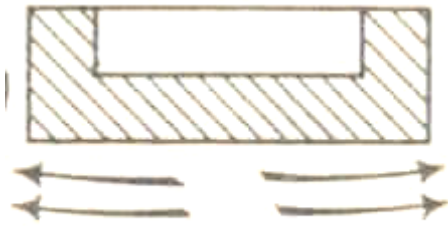
$\lambda_m$  – współczynnik przewodzenia ciepła W/mK

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

**Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika wymiany ciepła podczas chłodzenia form metalowych (kokili) w warunkach konwekcji naturalnej**

1. W piecu laboratoryjnym wytapiamy stop odlewniczy AlZn
2. Metal przegrzewamy do temperatury ok. 750 °C
3. Formę metalową (kokilę doświadczalną) w kształcie płyty ustawiamy pionowo, w ten sposób aby zachodziła konwekcja naturalna
4. Przy ściance formy, po zewnętrznej stronie, umieszczamy termopary w celu rejestracji temperatur podczas procesu zalewania, krzepnięcia i stygnięcia odlewu, w celu wyznaczenia spiętrzenia temperatury
5. Po osiągnięciu przez metal temperatury ok. 750 C, z powierzchni metalu ściągamy zgar i zalewamy formę ciekłym metalem
6. Włączamy urządzenie rejestrujące zmiany temperatury w czasie procesu zalewania, krzepnięcia i stygnięcia odlewu
7. Na urządzeniu rejestrującym (mierniku Agilent) obserwujemy zmiany temperatury od momentu zalewania do temperatury poniżej temperatury krzepnięcia odlewu.
8. Drugą formę metalową (kokilę doświadczalną) w kształcie płyty ustawiamy poziomo, w ten sposób aby zachodziła konwekcja naturalna
9. Powtarzamy czynności wymienione w pkt. od 4 do pkt. 7
10. Korzystając z zależności zamieszczonych we rozdziale 1 oraz tablic należy wyznaczyć współczynnik wymiany ciepła dla podczas chłodzenia form metalowych dla formy ułożonej pionowo i poziomo oraz sporządzić sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia laboratoryjnego.