

<https://doi.org/10.24867/JPE-1992-09-001>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

V. Bajić, R. Kovač, S. Jojin\*

## ODREĐIVANJE TERMODINAMIČKIH PARAMETERA U ZONI KONTAKTA ODLIVAK – KALUP

## DETERMINATION OF THERMODYNAMICAL PARAMETERS IN ZONE BETWEEN CASTING AND THE DIE

*Abstrakt: This paper is giving contribution to the investigations of the processes which occurs during heat transfer between casting and the die with thick wall. The thermodynamical parameters were determined. Primarily, the temperature profil in the crossection of the wall of casting and the die was determined and measurements of the gap size between casting and the die were also caried out. The process was recorded during cooling and solidification of the casting. The relation which determine value of heat transfer coeficient was established and it is based on use of measured temperatures in boundary layers of casting and the die, and measured values of the gap size. The heat transfer coeficient as a function of average temperature and the gap size is also presented.*

---

\* Bajić Vladimir, dipl ing., asistent, Kovač Risto, dipl ing., vanr. prof., Jojin mr. Siniša, dipl. ing., asistent

Fakultet tehničkih nauka Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića – Valtera, br.2

### *Rezime*

*Cilj rada je da se da doprinos proučavanju prenosa toplote u kokili sa aspekta određivanja termodinamičkih parametara u debelozidnoj kokili uzimajući u obzir zazor koji se javlja između kokile i odlivka.*

*Izvršeno je merenje temperaturnog profila u sistemu odlivak-kalup i merenje širine zazora u toku hlađenja odlivka u kokili.*

*Na osnovu rezultata merenja temperaturnog polja i zazora izračunati su termodinamički parametri i analizirana je promena koeficijenta prenosa toplote u zavisnosti od širine zazora i srednje temperature u graničnom sloju između kokile i odlivka.*

### 1. UVOD

Proučavanjem procesa očvršćavanja odlivka i formiranja njegovih eksploatacionih svojstava na današnjem nivou razvoja tehnologije livenja bazira se na postavci i rešenju matematičkog modela očvršćavanja i hlađenja odlivka. Matematički modeli procesa očvršćavanja i hlađenja odlivka zasnovani su na jednačinama proizašlim iz zakona Furijea i Njutna. Zakon Njutna definiše količinu toplote predata s površine tela u sredinu koja ga okružuje. Količina toplote odvedena od odlivka koji se hladi u sredini koja ga okružuje uslovljena je veličinom koeficijenta prelaza toplote sa odlivka na kalup. Veličina ovog koeficijenta menja se u širokim granicama u procesu očvršćavanja i hlađenja

odlivka, a uslovljena je u prvom redu kontaktom (sprezanjem) površine odlivka i kalupa. U radu se razmatra i određuje koeficijent prelaza toplote s odlivka na kokilu, uslovljen obrazovanjem zazora između odlivka i kokile nakon obrazovanja čvrste kore na odlivku.

## 2. POSTAVKA PROBLEMA

Proces toplotnog međudejstva odlivka i kokile počinje ulaskom prvih kapi metala u kokilu a završava se vađenjem odlivka iz nje. S gledišta intenzivnosti prenošenja toplote s odlivka na kokilu ceo ovaj period može se podeliti na onaj u kome se ostvaruje dobar kontakt odlivka i kokile i onaj u kome usled obrazovanja zazora između odlivka i kokile dolazi do pada intenziteta odvođenja toplote. Obrazovanjem zazora raste otpor prelazu toplote s odlivka na kokilu, a mehanizam prenosa toplote se usložnjava, tako da se ostvaruje prenos provođenjem i zračenjem.

Toplotno-fizički procesi u sistemu odlivak-kokila zavise od toplotno-fizičkih svojstava premaza kokile, od debljine zida odlivka i kokile, od debljine premaza, hrapavosti kontaktnih površina, emisivnosti materijala odlivka i kokile, kao i od drugih manje uticajnih parametara na ovaj proces. Određivanje koeficijenta prelaza toplote s odlivka na kalup, baziranog na matematičkom modelu opisa ovih procesa, zavisi od tačnosti parametara koji ulaze u taj model. Određivanje veličine ovih parametara je složen zadatak ali se može uprostiti da sa inženjerskog gledišta ne gubi u značaju. Ovo se može ostvariti eksperimentalnim određivanjem fizičkih veličina u sistemu odlivak-kokila koji imaju prvorazredni uticaj na proces prelaza toplote sa odlivka na kalup, a ugrađene su u opšte zakone prenosa toplote sa tela sa višom na telo sa nižom temperaturom.

Toplotni fluks ostvaren kroz zazor između odlivka i kokile u periodu hlađenja (po obrazovanju čvrste kore) može se opisati jednačinom:

$$q = \alpha (T_1 - T_2) + \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_0} + \frac{1}{\varepsilon_k} - 1} \quad (1)$$

gde je:

$\alpha$  – koeficijent prelaza toplote W/m<sup>2</sup> K

$T_1$  – temperatura na površini odlivka K

$\varepsilon_o$  – emisivnost odlivka %

$\varepsilon_k$  – emisivnost kokile %

Koeficijent prelaza toplote obuhvata:

- prenošenje toplote prevođenjem kroz zazor između odlivka i kokile;
- prenošenje toplote zračenjem sa odlivka na kokilu;
- prenošenje toplote konvekcijom, što se u ovom slučaju kada je zazor mali može zanemariti jer je strujanje gasa u zazoru zanemarljivo.

Jednačina (1) može se napisati u obliku:

$$q = (\alpha_p + \alpha_R) \cdot (T_1 - T_2) \quad (2)$$

gde su:

$\alpha_p$  – koeficijent prelaza toplote prevođenjem:

$$\alpha_p = \frac{\lambda_g}{x_g} + \frac{\lambda_p}{x_p} \quad (3)$$

$\alpha_R$  – koeficijent prenosa toplote zračenjem:

$$\alpha_R = \frac{\sigma (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)}{\frac{1}{\varepsilon_o} + \frac{1}{\varepsilon_k} - 1} \quad (4)$$

gde su:

$\sigma$  – Stefan-Boltzmanova konstanta

$\lambda_g$  – srednja vrednost toplotne provodljivosti gasa W/m K

$\lambda_p$  – srednja vrednost provodljivosti premaza koji u ovom slučaju nije nanet pa se ne uzima u obzir W/m K

$x_g$  – širina gasnog zazora u mm

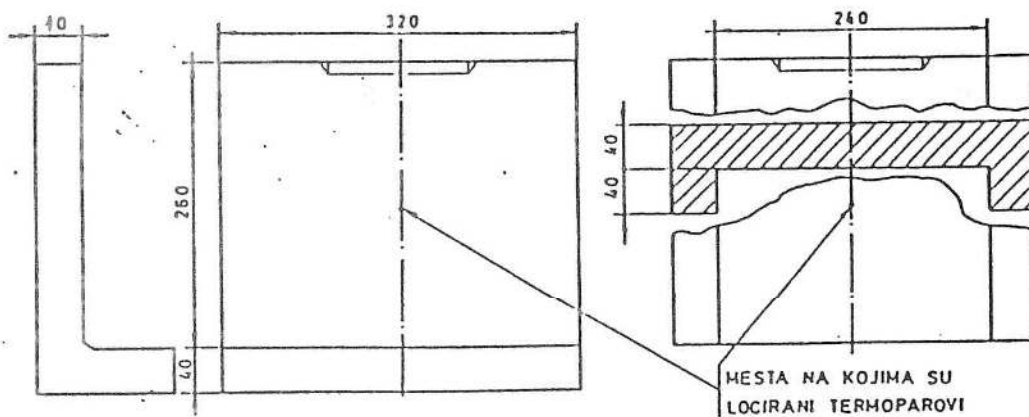
$x_p$  – debljina preaza u mm

$\varepsilon_o$  – emisivnost (stepen crnoće) odlivka %

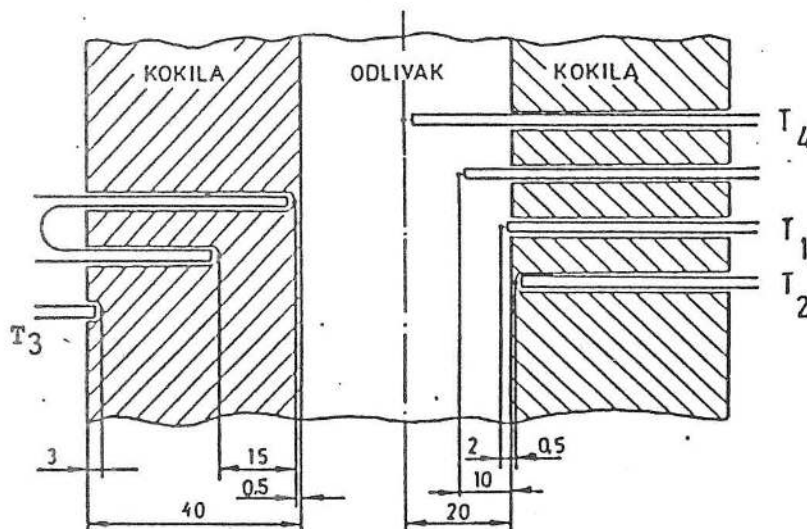
$\varepsilon_k$  – emisivnost (stepen crnoće) kokile %

### 3. PODACI O EKSPERIMENTU

Ekperimentalna istraživanja su vršena u debelozidnoj kokili od sivog liva, čije su dimenzije date na slici 1. Dimenzije odlivka su  $200 \times 240 \times 40$  mm. Izvršeno je livenje legure aluminijum-silicijum i to AlSi12 a temperatura livenja bila je 993 K. Vreme ulivanja tečnog metala u kokilu iznosilo je 5-8 sekundi. Merenje temperature vršeno je pisačem „Goertz 220" pomoću NiCr-Ni termoparova debljine žice 0,2 mm, i digitalnog uređaja „Digimulti termometar" TR 2112. Merenje zazora je vršeno pomoću induktivnog davača „Hotinger HBM" tip WIT, mernog mosta „Hotinger" tip KWS-6-5 i X-Y pisača. Sistem odlivak-kalup na kome su označena merna mesta prikazan je na slici 2.



SLIKA 1



SLIKA 2

Na bazi rezultata merenja izvršeno je izračunavanje termodinamičkih parametara (pomoću računara) u vremenskim intervalima od 15 sekundi, u cilju dobijanja vremenske zakonitosti.

$x_g = f(\tau)$ . Kao ulazni podaci za računanje korišćene su veličine prema sledećim izrazima:

$$\alpha = \alpha_p + \alpha_R$$

$$\alpha = \frac{\lambda_g}{X_g}$$

$$\alpha = \frac{\sigma (T_1^2 + T_2^2) \cdot (T_1 + T_2)}{\frac{1}{\varepsilon_o} + \frac{1}{\varepsilon_k} - 1}$$

- Koeficijent provođenja toplote  $\lambda_g / 2$  za vazduh na temperaturi:

$$873 \text{ K je } 0,0622 \text{ W/m K}$$

$$773 \text{ K je } 0,0575 \text{ W/m K}$$

$$673 \text{ K je } 0,0522 \text{ W/m K}$$

- Stefan-Boltzmanova konstanta:

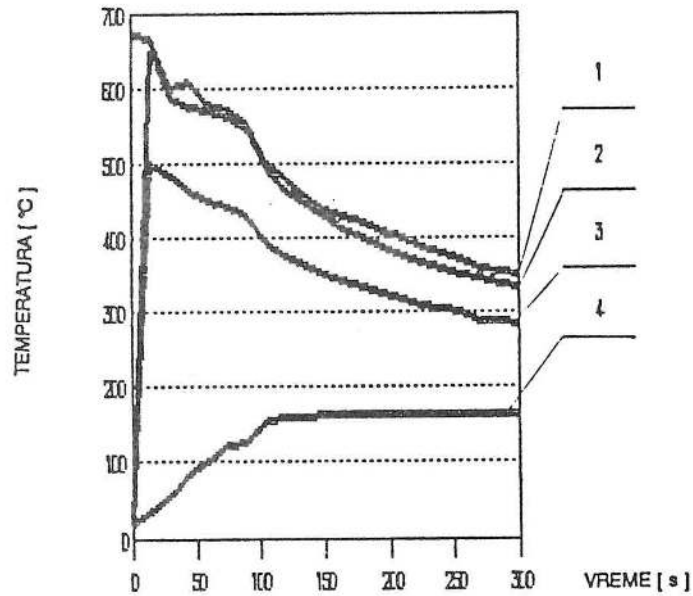
$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m K}$$

- Emisivnost  $\varepsilon_k$  za Al legure, livene površine na 873 K je 0,24, a emisivnost  $\varepsilon_k$  za sivi liv livene površine glatke na 873 K je 0,8 iz literature [2].

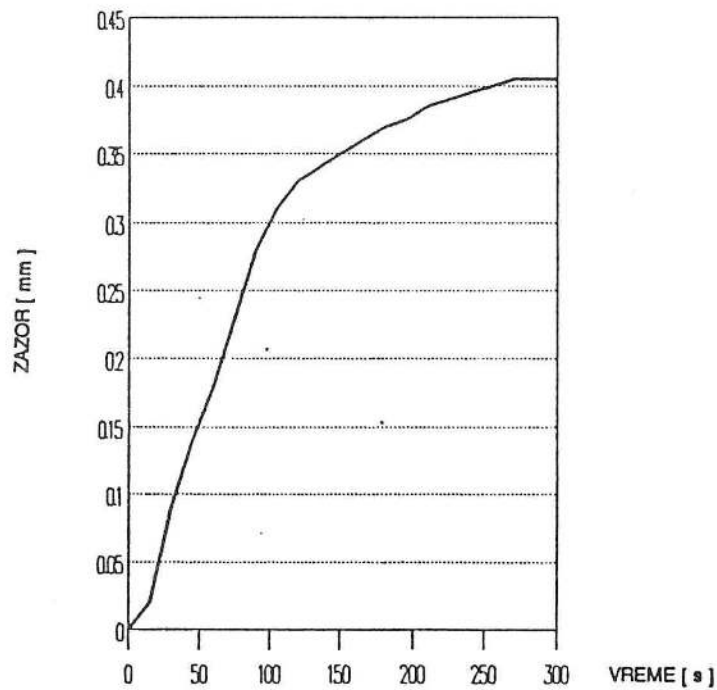
#### 4. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

Promene temperatura u sistemu odlivak-kokila prikazane su na slici 3. Kriva br. 1 dobijena je merenjem temperature u centru odlivka. Kriva br. 2 dobijena je merenjem temperature na graničnoj površini odlivak-kokila, ali sa strane odlivka. Kriva br. 3 je dobijena merenjem temperature na površini kokile sa unutrašnje strane. Kriva br. 4 je dobijena merenjem temperature u kokili praktično na spoljašnjoj površini kokile. Dijagram promene u sistemu odlivak-kalup prikazan je na slici 4.

Analizom promene temperature po vremenu, u sistemu odlivak-kokila, zaključuje se da je promena iste na granici odlivak-kokila u početku veća, a kasnije manja kao i da je razlika temperatura na toj granici u početku veća dok se kasnije ta razlika umanjuje.

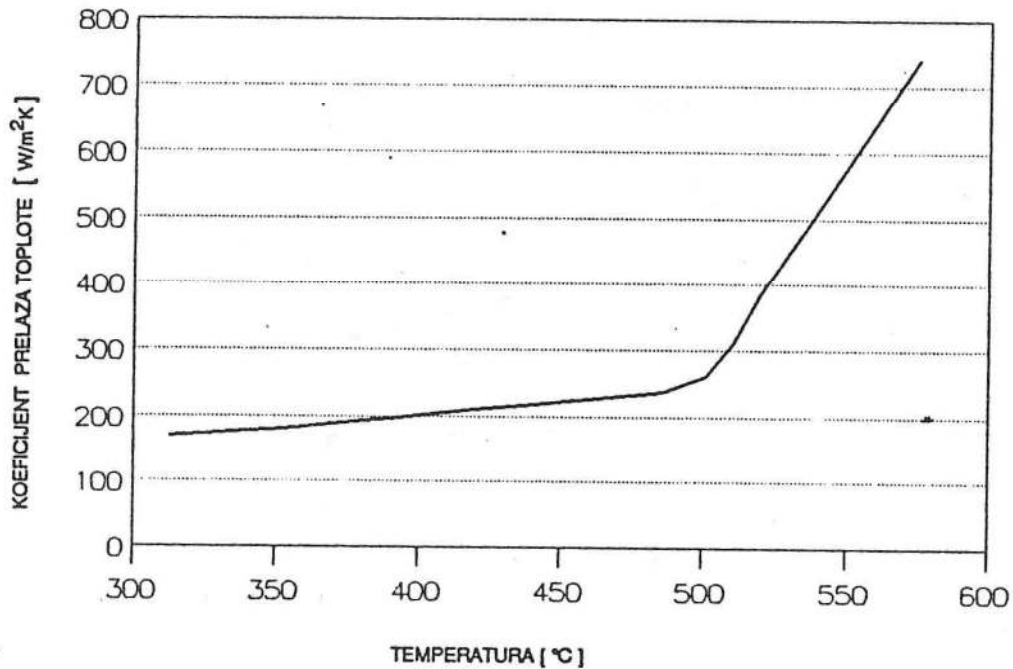


SLIKA 3

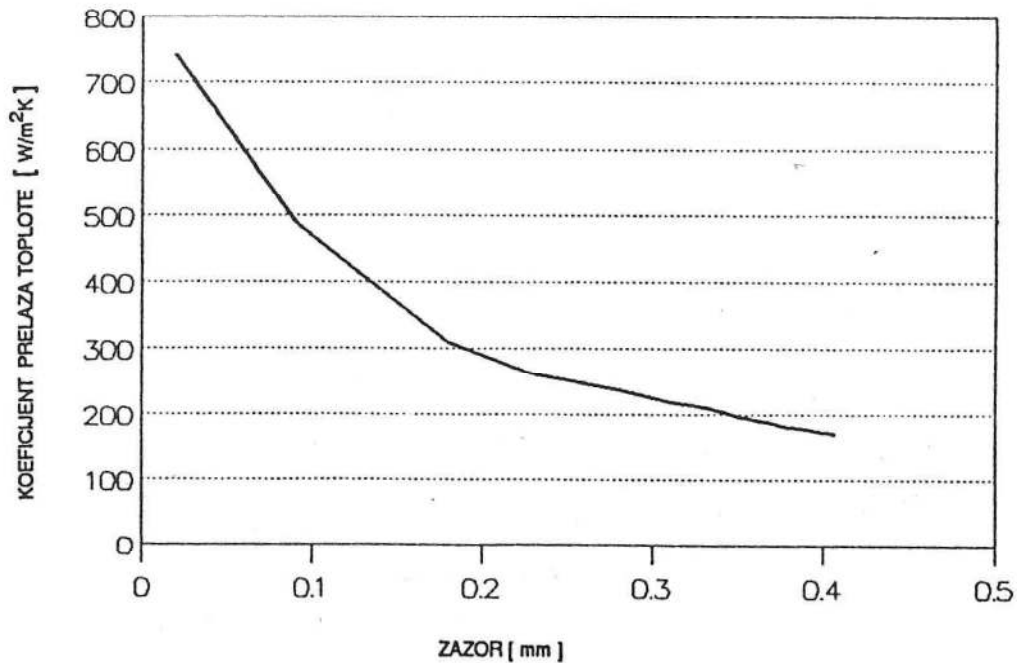


SLIKA 4

Na slici 5 prikazana je promena koeficijenta prelaza toplote u zavisnosti od temperature međusloja, a na slici 6 prikazana je promena koeficijenta prelaza toplote sa odlivka na kokilu, u zavisnosti od srednje temperature zazora između odlivka i kokile.



SLIKA 5



SLIKA 6



## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

1. Putem eksperimentalnih merenja može se utvrditi kinetika nastajanja zazora u sistemu odlivak-kokila;

2. Kinetika nastajanja zazora je takva da veličina zazora po očvršćavanju legure naglo raste, a da u toku daljnjeg hlađenja legure naglo opada;

3. Vrednost koeficijenta prelaza toplote u sistemu odlivak-kokila, naglo opada pri maloj veličini zazora, a znatno sporije pri uvećanju zazora;

4. Na intenzitet odvođenja toplote iz odlivka u kokilu značajno utiču provođenje toplote kroz zazor i zračenje odlivka na kokilu, a konvekcija u zazoru se može zanemariti. Provođenje toplote je funkcija koeficijenta toplotne provodljivosti gasa u zazoru (koji je smatran vazduhom), kao i širine zazora. Toplotna provodljivost gasa u zazoru zavisi od temperature u zazoru;

5. Udeo toplote koji se prenosi provođenjem je višestruko veći od dela toplote koji se prenosi zračenjem.

## 6. LITERATURA

/1/ Jojin S., Kovač R. ODREĐIVANJE VELIČINE KOEFICIJENTA PRELAZA TOPLOTE SA ODLIVKA NA KALUP, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo br. 5-6, Novi Sad 1990.;

/2/ V.H.Mc Adams PROSTIRANJE TOPLOTE, Građevinska knjiga Beograd 1969.;

/3/ G.N. Aleksev OPŠTA TEPLOTEHNIKA, Viša škola Moskva 1990.

/4/ Kovač R. TEHNOLOGIJA IZRADE ODLIVAKA, Novi Sad 1991.