

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-013>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

S. Jojin, R. Kovač*

ODREDJIVANJE VELIČINE KOEFICIJENTA PRELAZA TOPLOTE SA ODLIVKA NA KALUP

Rezime

U radu je predstavljena fizička veličina koeficijenta prelaza toplote sa odlivka na kalup, tokom formiranja odlivka, kao i postupak odredjivanja neophodnih parametara eksperimentalnim putem. Prikazani su rezultati teorijsko-eksperimentalne analize koji su dobijeni pri livenju odlivaka na bazi aluminiјuma u debelosidu kokilu od sivog li-va, u obliku $\alpha=f(\tau)$.

DETERMINATION OF HEAT TRANSFER COEFFICIENT BETWEEN CASTING AND THE MODUL

Summary

In this paper the interfacial heat transfer coefficient between the casting and the modul is described and determined. The determination of the interfacial heat transfer coefficient is based on temperature measurements within media on both sides of the interface. The results determined from experimental measurements, presented the values of the interfacial heat transfer coefficient as a functions of time, during solidification of aluminium base alloys.

*Jojin mr Siniša, dipl.ing., asistent, Kovač dr Risto, dipl.ing. vanr.prof., Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića-Valtera 2.

1. UVOD

Da bi se odlivak formirao potrebno je, da se toplota akumulisana tečnim livom odvede u materijal od koga je napravljen kalup i okolnu sredinu. Jedan od najvažnijih faktora tokom pomenutog procesa je intenzitet odvodjenja toplote od odlivka u kalup. Ovaj intenzitet karakteriše toplotno fizička veličina koja se naziva koeficijent prelaza toplote. To je veličina kojom je obuhvaćena sva složenost procesa prelaza toplote sa jednog tela na drugo.

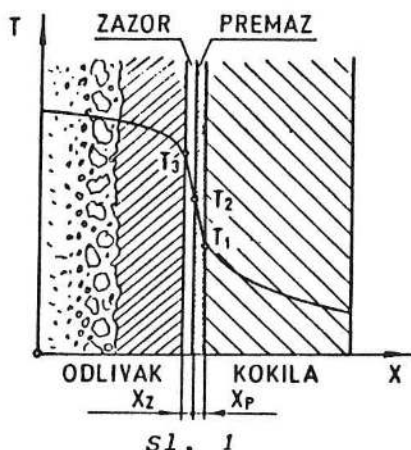
Pre livenja, površina metalnog kalupa, koja dolazi u neposredan kontakt sa livom, se prekriva slojem premaza. Premazi su rastvorljivi materijali čija je glavna karakteristika mala toplotna provodljivost. Njihova uloga je povećanje dužine trajanja kalupa, sprečavanje lepljenja metala za kalup, olakšano vadjenje odlivaka i regulisanje intenziteta odvodjenja toplote (debljinom sloja).

Prilikom očvršćavanja liva u trenutku obrazovanja čvrste kore, između odlivka i kalupa nastaje zazor. Ovaj zazor posledica je skupljanja materijala odlivka kao i širenja materijala kalupa. Prostor zazora ispunjava smesa vazduha i isparenja iz materijala premaza i gasova izdvojenih iz liva, te u toj oblasti znatno raste otpor prelaza toplote. Nastanak gasnog zazora i njegov rast u funkciji vremena, znatno usložnjava proces prelaza toplote sa odlivka na kalup.

Proces formiranja odlivka praćen je sa sva tri tipa prenosa toplote unutar zazora između odlivka i premaza, a to su prevodjenje, strujanje i zračenje.

2. PRENOS TOPLOTE SA ODLIVKA NA KALUP

Saznanje da je veličina gasnog zazora mala veličina, kao i saznanje o prenosu toplote kroz uske procepe, omogućava uvodjenje uprošćenja, tako da toplotni fluks kroz granični prostor zazora može biti proračunat kao direktan zbir provodjenja i zračenja (slika 1) / 5/, što opisuje sledeća jednačina.



$$q = \alpha_P (T_3 - T_2) + \frac{\sigma(T_3^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} \dots \dots \dots (1)$$

gde su:

- σ - Stefan-Boltzman-ova konstanta;
- ϵ_2, ϵ_3 - emisivnost materijala premaza i odlivka

Jednačina (1) može se napisati u obliku:

$$q = (\alpha_P + \alpha_R)(T_3 - T_2) \dots \dots \dots (2)$$

Indeksi u gornjim jednačinama odnose se na provodjenje - P i zračenje (radijacija) - R.

Odakle sledi da je koeficijent prelaza toplote zračenjem:

$$\alpha_R = \frac{\sigma(T_3^2 - T_2^2)(T_2 + T_1)}{\frac{1}{\epsilon_2} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} \dots \dots \dots (3)$$

Iz (2) se vidi da je faktor α_R ne zavisi direktno od veličine gasnog zazoru, ali je zavisian od temperature. Otpor provodjenja toplote kroz gasni proces α_P može se izračunati prema /3.5/:

$$\alpha_P = \frac{\lambda_g}{x_g} \dots \dots \dots (4)$$

ge je λ_g srednja vrednost toplotne provodljivosti gasa u zazoru, koja može biti predstavljena u funkciji temperature, a x_g - debljina gasnog zazoru.

U periodu hladjenja rastopa gasni zazor ne postoji, te se toplota provodi kroz sloj premaza prema zakonu:

$$q = \frac{\lambda_p}{x_p} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (5)$$

gde su λ_p i x_p - toplotna provodljivost i debljina premaza.

Odnos λ_p/x_p predstavlja termički otpor premaza i ima veliki uticaj na intenzitet odvodjenja toplote od odlivka u kalup. Isti zakon važi i kada se formira gasni zazor.

Toplotni fluks koji se odvija izmedju površine odlivka i površine kokile treba predstaviti na što je moguće jednostavniji način:

$$q(t) = \alpha_1(t) |T_3(t) - T_1(t)| \dots\dots\dots (6)$$

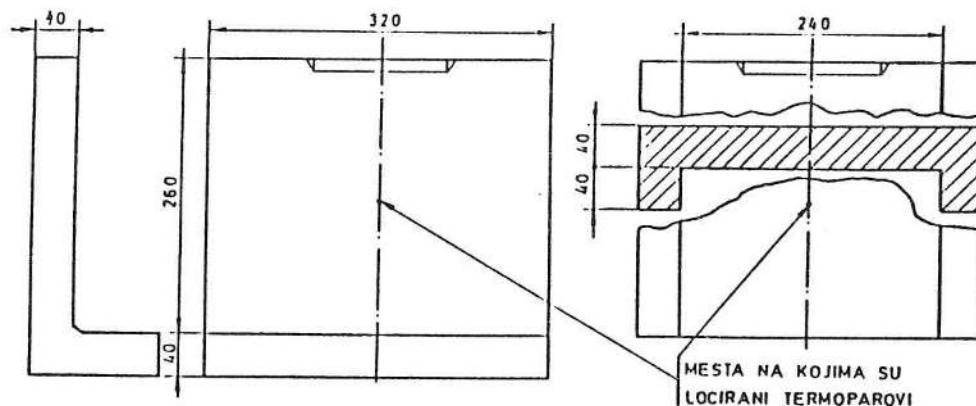
Parametrom α_1 obuhvaćen je proces prelaza toplote koji se odvija izmedju površine sa temperaturom T_3 i T_1 (sl.1). U nastavku rada prikazaće se metodologija odredjivanja veličine koeficijenta prelaza toplote na osnovu snimanja krivih hladjenja odlivka i kokile.

3. OPIS EKSPERIMENTALNOG POSTUPKA

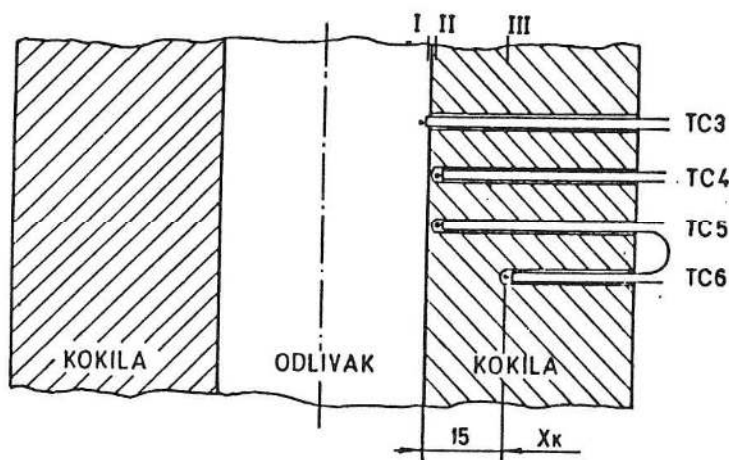
Za potrebe eksperimentalnog merenja, napravljena je kokila od sivog liva, čiji je izgled prikazan na slici 2. Sa slike se takodje vidi položaj mernih mesta. Pre livanja izvršeno je premazivanje kokile sa premazom sastavljenim od 5% cirkoksida, 2% vodenog stakla, a ostatak je voda. Debljina sloja premaza iznosila je oko 0,2 mm. Dimenzije odlivka su 260 x 240 x 40.

Tokom livenja merene su temperature na površini odlivka (TC3), na površini kokile sa unutrašnje strane (TC4) i temperaturna razlika izmedju površine kokile i tačke udaljene od površine za 15 mm (TC5 i TC6). Položaj ovih termoparova prikazuje slika 3.

S obzirom da je u ovom slučaju posmatran toplotni protok samo u centralnom predelu odlivka, može se smatrati da je toplotni tok koji se razmenjuje izmedju površina I i II jednak toplotnom toku izmedju površina II i III. Jednačine za toplotni protok izmedju ovih površina imaju sledeći oblik:



Sl. 2



Sl. 3

$$q_{I-II} = \alpha_1 (TC3 - TC4) \dots \dots \dots (7)$$

$$q_{II-III} = \frac{\lambda k}{x_k} (TC5 - TC6) \dots \dots \dots (8)$$

Na osnovu toplotnog bilansa je:

$$q_{I-II} = q_{II-III} \dots \dots \dots (9)$$

odakle sledi:

$$\alpha_1 (TC3 - TC4) = \frac{\lambda k}{x_k} (TC5 - TC6) \dots \dots \dots (10)$$

odnosno:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_k}{\times k} \cdot \frac{TC5 - TC6}{TC9 - TC4} \dots\dots (11)$$

Ako se uzme veličina toplotne provodljivosti materijala kalupa $\times k = 41 \text{ W/mK/6/}$ i rastojanje između termoparova $\times k = 15 \text{ mm}$ jednačina (14) predstavlja izraz kojim je određivana veličina α_1 . Veličine TC3 i TC4 i TC6 su merene vrednosti temperatura, a TC5 - TC6 je merena temperatura razlika. Stavljanjem izmerenih vrednosti za temperature i vrednosti λ_k i $\times k$ u (11), određuje se veličina α_1 u posmatranom vremenskom trenutku. Da bi se vrednost α_1 dobila tokom posmatranog vremenskog perioda 3,5 minuta, potrebno je proračun vršiti niz puta nakon određenog vremenskog koraka. Time se dobija veličina koeficijenta prelaza toplote sa odlivka na kalup u funkciji vremena.

Livenja su izvršena sa dve vrste materijala, sa četiri ponavljanja i to:

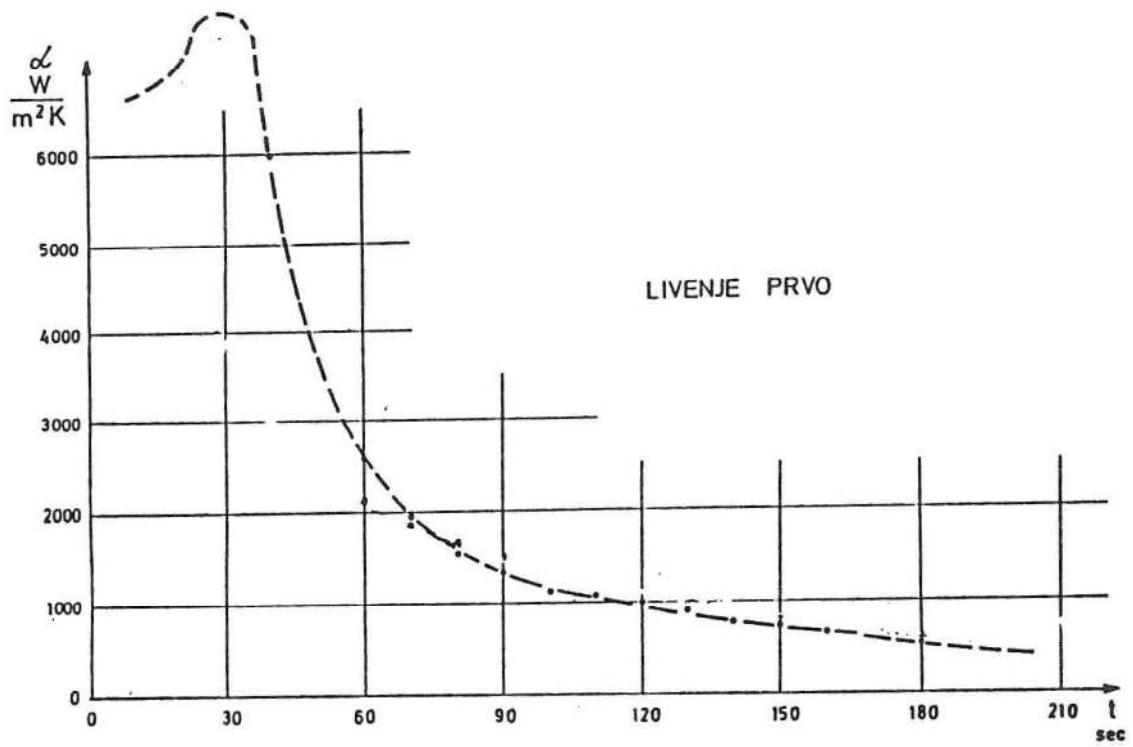
materijal:	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe	Hg	Ti	Zn
I	0,21	0,002	0,006	0,057	0,038	0,40	0,012	0,011	0,066
II	0,85	0,081	0,03	0,05	0,012	0,51	0,17	0,017	0,073

u oba materijala ostalo je aluminijum.

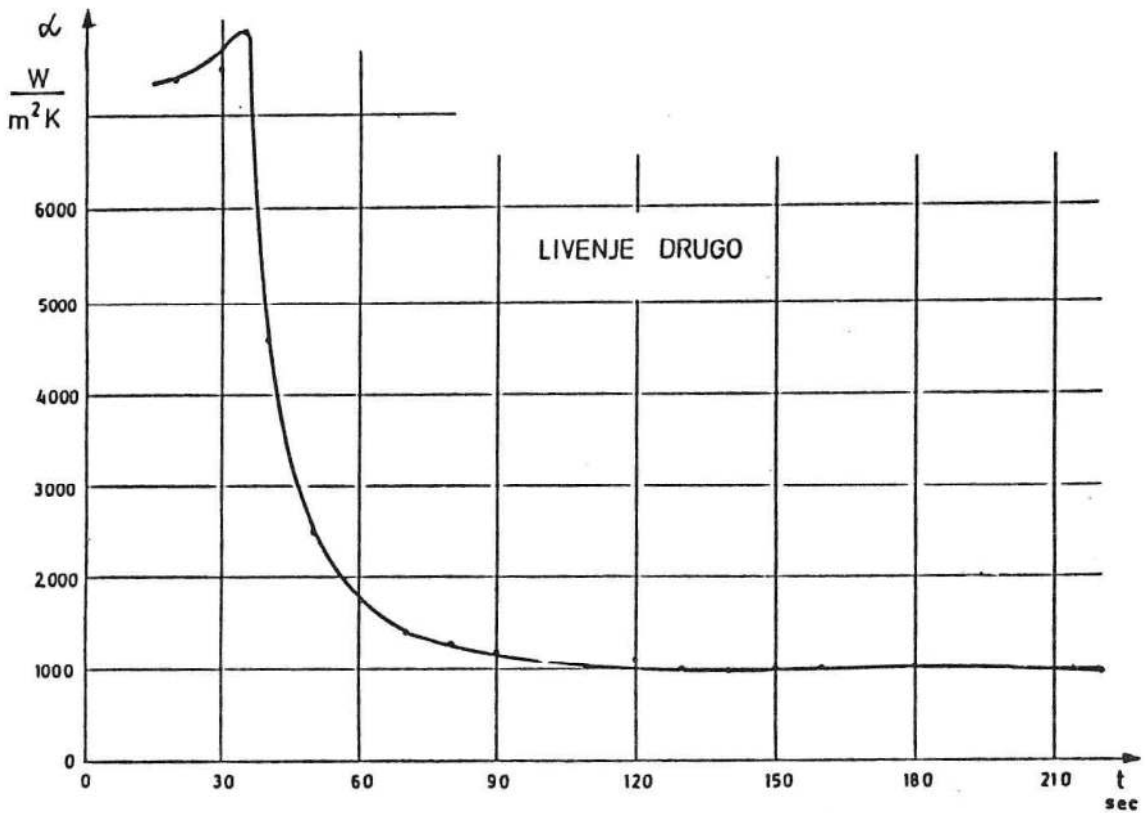
Temperatura livenja iznosila je oko 750°C , a temperatura kokile 30°C . Topljenje je obavljeno u laboratorijskoj elektrootpornoj peći. Merenje temperatura izvršeno je pomoću šestokanalnog pisača GOERTZ 660 i svetlosnog oscilografa HOTINGER AF8 W-G.

Nakon snimanja krivih hladjenja i temperaturne razlike i nakon izračunavanja koeficijenta prelaza toplote prema izrazu (11), dobijeni su rezultati koje prikazuju slika 4. i slika 5.

Sa slika broj 4 i 5, koje prikazuju promenu koeficijenta prelaza toplote α , mogu se zapaziti tri karakteristična dela krive: prvi koji počinje od momenta ulivanja do formiranja čvrste kore na površini odlivka, odnosno do obrazovanja zazora između odlivka i kalupa. Taj period traje od nulte do 37. sekunde, a karakteriše ga visoka vrednost α od oko $7 \text{ KW/m}^2\text{K}$. Nakon toga, dolazi do pojave i rasta zazora između odlivka i kalupa, usled čega dolazi do naglog pada vrednosti koeficijenta prelaza toplote. Kada veličina



Sl. 4



Sl. 5

zazora dostigne vrednost blisku maksimalnoj, dolazi do stabilizacije koeficijenta α na oko $1 \text{ kW/m}^2\text{K}$. To je period od 90. sekunde pa nadalje.

Karakter promene koeficijenta prelaza toplote pri livenju legure I i legure II je identičan. Razlike koje su ipak prisutne mogle bi se objasniti različitim karakterom očvršćavanja (I-slojevito II-zapreminski), različitim sklonostima ovih legura pri skupljanju, odnosno različitom kinetikom rasta zazora između kalupa, odlivka.

4. Z A K L J U Č A K

Pri livenju prikazanih materijala na osnovu aluminijskog u debelozidu kokilu od sivog liva, koja nije predgrejana, u početnom periodu dolazi do procesa prelaza toplote sa liva na kalup, koji karakteriše vrlo visoka vrednost α . Po obrazovanju zazora između kalupa i kore odlivka, dolazi do naglog pada vrednosti koeficijenta prelaza toplote sa odlivka na kalup. Pri stabilizaciji vrednosti veličine zazora, stabilizuje se i vrednost koeficijenta prelaza toplote. Tokom hladjenja formiranog odlivka veličina α ima vrednost oko $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Razlika između veličine koeficijenta prelaza toplote pri livenju uzoraka koji očvršćavaju slojevito i zapreminski, je neznatna i može se uzeti da je posledica kinetike rasta zazora.

L I T E R A T U R A

- /1/ Kirt, M.J., Phelke, R.D.: "Determination of Material Thermal Properties Using Computer Techniques", Transactions of American Foundrymen Society, vol. 81 (1973), 524-528;
- /2/ Robert, J. Moffat: "Describing the Uncertainties in experimental Results", Experimental Thermal and Fluid Science, 1, 1988, (3-17);
- /3/ Kovač, R.: "Uticaj mehaničkih oscilacija na formiranje strukture legure aluminijskog", Doktorska disertacija, Novi Sad, 1980.

- /4/ Ohtsuka, Y., Mizuha, K., Yamada, J., Toyota Motor Co.Ltd, Achir-Ken,Japan, "Application of Computer Simulation to Aluminium Permanent Mould Costiugs", AFS Transaction 82-89, (635-640);
- /5/ Ho, K., Pehlke, R.D., University of Michigen, Ann Arbor MI "Transistent Methods for Determination of Metal-Mould Interfecijal Heat Transfer", AFS Transoctians 83-80,(689-697);
- /6/ Thermophysical properties of matter, volume 1, Thermal conductivity - Metolic Elements and Allycs. Tovloykin, IF/PLENUM New York - Washington,,1970.