

STROJNIŠKI VESTNIK

LETNIK 32

LJUBLJANA, APRIL—JUNIJ 1986

ŠTEVILKA 4—6

UDK 621.941.1:669.13

Spremenljivo temperaturno polje pri struženju litoželeznih valjev s plazemskim predgrevanjem*

POLDE ŠKERGET, ANDRO ALUJEVIČ, ROBERT KOGLER

1. UVOD

Litoželezni valji iz trde litine IN-D-75 so namenjeni za vroče valjanje pločevine. Trup valja mase 7000 kg ima premer 0,735 m. Pri struženju litarne skorje z nožem iz mešane keramike ogrevamo površino valja pred orodjem s plazemskim oblokom. Trda skorja na površini valja se za kratek čas ogreje in zmeča. To omogoča večjo hitrost odrezovanja in povečuje običajni obstojni čas rezalnega roba. Struženje skorje s keramiko brez predgrevanja ni uspešno.

Za pravilno izbiro parametrov odrezovanja moramo poznati temperaturno-časovno odvisnost po globini valja. Na podlagi tega lahko določimo ustrezno hitrost odrezovanja, debelino odrezka in oddaljenost gorilnika pred nožem.

Določiti moramo temperaturno polje prehodnega pojava med časom $\tau = 0$ s do $\tau = 20$ s s časovnim korakom $\Delta\tau = 0,1$ s. Plazemsko gretje aproksimiramo s štirimi temperaturnimi impulzi z jarkostjo $T = 1200$ °C v trajanju 0,1 sek. Trajanje impulza lahko utemeljimo s hitrostjo valja $v = 0,42$ m/s in dolžino dela valja, na kateri se površina nataši. Plazemski oblok s premerom 4 mm ogreje površino valja v času $\Delta\tau = 0,01$ s na temperaturo taljenja $T = 1200$ °C. Imenska moč plazemske naprave je 10 kW. Odrezovanje poteka v globini 0,2 mm. Podatki za trdo litino IN-D-75 so naslednji:

Sestava:

C	Si	Mn	P	maks S	maks Cr	Ni	Mo
3,3	0,8	0,9	0,08	0,06	1,5	4,2	0,4 (v %)

preostalo je železo.

Snovne lastnosti:

specifična toplota

$$c = 636 \text{ J/kgK} \quad T = 0—100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 775 \text{ J/kgK} \quad T = 800—1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

od 100 °C do 800 °C linearne odvisnosti.

Toplotna prevodnost λ v W/mK

T °C	0	100	200	300	400	600	800	1000
λ	0,544	0,565	0,628	0,649	0,712	0,775	0,792	0,863

Gostota litine je 7300 kg/m³ pri 20 °C.

Natančnejši izračun prehodnega pojava bi terjal prostorsko analizo, ki pa v začetni fazi raziskave ne bi bila gospodarno primerna. Problem smo tako obdelali na prerezu vzporedno z osjo valja okrog točke gretja — ravninski primer.

Analiza daje delen odgovor tudi na problem zaostalega temperaturnega polja na površini obdelanega valja po struženju s plazemskim predgrevanjem. Najvišja temperatura, ki se pojavi na površini valja v ozkem pasu lahko povzroči mikro razpoke. Energija je vnesena v valj na zelo majhni površini in zato obstaja nevarnost postopnega lokalnega pregretja celotne površine trupa valja.

2. VODILNA ENAČBA

Nestacionarni prevod toplote v homogenem izotropnem telesu konstantne prevodnosti λ_0 podamo s Fourierjevo difuzivno enačbo

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T \quad \text{v } \Omega \quad (1)$$

kjer je difuzivnost $a = \lambda_0/c \rho$ in je c specifična toplota, ρ pa gostota. Enačbi (1) priključimo linearne robne pogoje, ki so prve vrste, druge vrste in mešani:

$$\begin{aligned} T &= \bar{T} && \text{na } \Gamma_1 \\ \lambda_0 \frac{\partial T}{\partial n} &= -\bar{q} && \text{na } \Gamma_2 \\ \lambda_0 \frac{\partial T}{\partial n} &= -\alpha_0(T - T_0) && \text{na } \Gamma_3 \end{aligned} \quad (2)$$

α_0 je koeficient prestopa toplote in T_0 je temperatura okolice.

Začetni pogoji so znane temperature v območju

$$T = T_i \quad \text{v } \Omega \text{ pri } t = t_i \quad (3)$$

* Raziskavo je omogočila Železarna Štore, ki se ji avtorji članka iskreno zahvaljujejo za vzpodbudo in pomoč.

Vodilna enačba (1) je za temperaturno odvisno prevodnost $\lambda = \lambda(T)$ nelinearna:

$$c \varrho \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \lambda \nabla T \quad (4)$$

S Kirchhoffovo transformacijo enačbo (4) transformiramo v enačbo za novo spremenljivko $\psi(T)$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = a \nabla^2 \psi \quad \text{v } \Omega \quad (5)$$

ki je v primeru konstantne difuzivnosti, kar je dobra aproksimacija mnogih praktičnih problemov, linearna in enake oblike kakor (1). Transformirati moramo tudi robne in začetne pogoje.

3. ROBNA INTEGRALSKA ENAČBA

Parabolično diferencialno enačbo (1) lahko transformiramo v robno integralsko enačbo z Greenovo drugo identitetom. Rezultat je enačba

$$\begin{aligned} c(\xi) T(\xi, t_F) + \int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} a T q^* d\Gamma dt &= \\ &= \int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} a q u^* d\Gamma dt + \int_{\Omega} T_{F-1} u^*_{F-1} d\Omega \end{aligned} \quad (6)$$

ki povezuje robne vrednosti temperatur in topotnih tokov. Območni integral podaja vpliv začetnih pogojev. u^* je osnovna rešitev parabolične diferencialne enačbe:

$$u^*(\xi, t_F; S, t) = \frac{1}{4\pi a \tau} \exp\left(-\frac{r^2(\xi, S)}{4a \tau}\right) \quad (7)$$

$$q^*(\xi, t_F; S, t) = \frac{d(\xi, S)}{8\pi a^2 \tau^2} \exp\left(-\frac{r^2(\xi, S)}{4a \tau}\right) \quad (8)$$

kjer je $r(\xi, S)$ razdalja med točko izvora ξ in referenčno točko S , $d(\xi, S) = (x_i(\xi) - x_i(S)) n_i(S)$, $i = 1, 2$ in n je normala definirana v točki S . Osnovna rešitev predstavlja učinek enotnega izvora, deluječega v točki ξ in času t_F na referenčno točko v času t neskončnega medija ($\tau = t_F - t$).

Koefficient $c(\xi)$ ima naslednje vrednosti

$$\begin{aligned} c(\xi) &= 1 & \xi \text{ v območju } \Omega \\ c(\xi) &= 1/2 & \xi \text{ na gladkem robu } \Gamma \\ c(\xi) &= \beta/2 & \xi \text{ na negladkem robu } \Gamma \end{aligned}$$

kjer je β notranji kot roba Γ v točki ξ .

3.1. Diskretna oblika integralske enačbe

Reševanje integralske formulacije (6) je analitično omejeno le na enostavne primere. V splošnem jo rešujemo numerično, tako da rob Γ razdelimo na E-robnih elementov z N_E -robnimi vozlišči in območje Ω na C-celic z N_C -notranjimi točkami.

Vrednosti potenciala T in normalnega odvoda q v poljubni točki elementa Γ_e in časovnega intervala $\tau = t_F - t_{F-1}$ podamo s krajevnimi interpolacijskimi polinomi Φ in časovnimi interpolacijskimi polinomi ψ :

$$\begin{aligned} T(\eta, t) &= \Phi^T \psi T_m^n \\ q(\eta, t) &= \Phi^T \psi Q_m^n \end{aligned} \quad (9)$$

Podobno podamo začetne pogoje po posamezni notranji celici Ω_e

$$T_{F-1}(\eta_1, \eta_2) = \varphi^T T_{F-1}^n \quad (10)$$

Indeks n pomeni število vozlišč posameznega elementa, indeks m pa se nanaša na stopnjo variacije funkcije ψ , npr. $m = 1$ za ψ je konstantna variacija po času. V primeru konstante interpolacije po času, $\psi = 1$, enačbo (6) zapisemo v naslednji diskretni obliki

$$\begin{aligned} c(\xi) T(\xi, t_F) + a \sum \left(\int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} \Phi^T \int_{t_{F-1}}^t q^* dt d\Gamma \right) T_F^n &= \\ &= a \sum \left(\int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} u^* dt d\Gamma \right) Q_F^n + \\ &+ \sum \left(\int_{\Omega} \varphi^T u^*_{F-1} d\Omega \right) U_{F-1}^n \end{aligned} \quad (11)$$

Enačbo zapisemo z integrali

$$h_e^n = a \int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} \Phi^n \int_{t_{F-1}}^t q^* dt d\Gamma$$

$$g_e^n = a \int_{t_{F-1}}^{t_F} \int_{\Gamma} u^* dt d\Gamma \quad (12)$$

$$b_e = \int_{\Omega} \varphi^n u^*_{F-1} d\Omega$$

v obliki

$$\begin{aligned} c(\xi) T(\xi, t_F) + \sum h^T T_F^n &= \\ &= \sum g^T Q_F^n + \sum b^T T_{F-1}^n \end{aligned} \quad (13)$$

Za vsa robna vozlišča velja naslednja matrična enačba

$$c(\xi) T(\xi, t_F) + \hat{H} T_F = G Q_F + B T_{F-1} \quad (14)$$

ozziroma

$$H T_F = G Q_F + B T_{F-1} \quad (15)$$

kjer je $H_{ii} = \hat{H}_{ii} + c_i$.

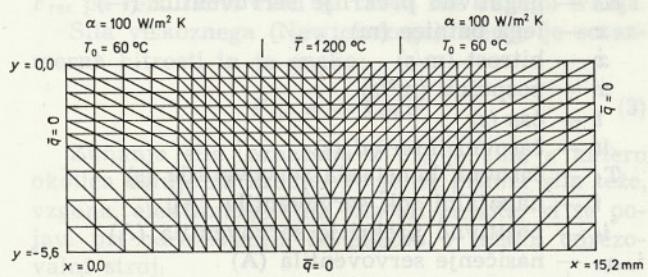
Z znanimi robnimi pogoji \bar{T}_F na Γ_1 , \bar{q}_F na Γ_2 in znanimi začetnimi pogoji T_{F-1} enačbo (15) preoblikujemo v linearni sistem enačb

$$A X = F_0 \quad (16)$$

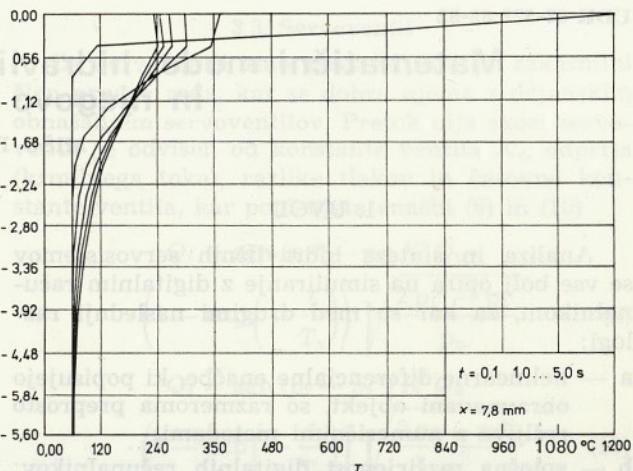
Temperature v N_I notranjih točkah izračunamo eksplicitno iz (13) za $c(\xi) = 1$.

4. DISKRETNI MODEL

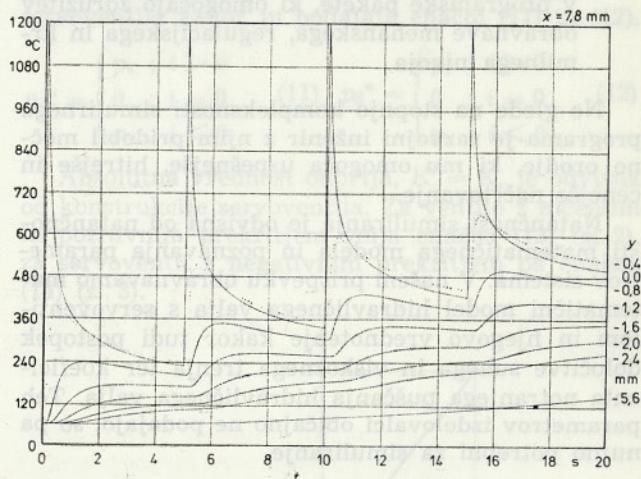
Rob smo aproksimirali s 160 robnimi linearimi elementi s 160 vozlišči, medtem ko smo območje razdelili na 600 celic z 261 notranjimi točkami. Diskretni model je prikazan na sliki 1, kjer so podani tudi robni pogoji problema. Na površini valja smo preneseno toplosto s sevanjem in konvekcijo aproksimirali s koeficientom prestopa topote $\alpha = 100 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ in temperaturo okolice $T_0 = 60^\circ\text{C}$, razen na mestu impulza, kjer predpišemo temperaturo $T = 1200^\circ\text{C}$ v trajanju impulza $\Delta \tau = 0,1 \text{ s}$. Drugi robovi so adiabatni, kar je dobra domneva za večji del analize prehodnega pojava. Začetni pogoji so $T_i = 60^\circ\text{C}$ povsod v območju.



Sl. 1. Mreža elementov in celic

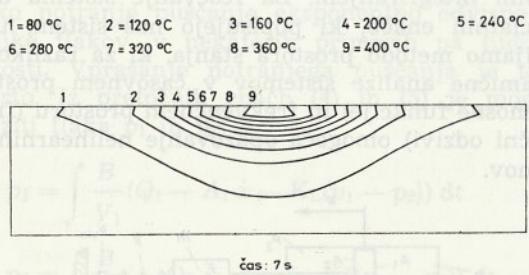


Sl. 3. Izoterme v prerezu



Sl. 4. Časovno spreminjanje

5. REZULTATI
Numerični rezultati so predstavljeni na slikah 2, 3 in 4, ki jasno prikazujejo zahtevnost izvrednotenega prehodnega pojava in v celoti opisujejo temperaturno-časovno odvisnost danega prereza. Očitni so izjemno strmi temperaturni gradienti po vsakem impulzu. Rezultati dajejo dobro oceno temperaturno-časovne odvisnosti po globini odrezovanja.



Sl. 2. Temperaturni profili

Izračuno je bilo, da je vrednost obdelave na predpostavki, da je vrednost obdelave na temelju toga, izrazito pospešek batnega (premera) zdrobljenih hidrofiličnih vajjem:

LITERATURA

- [1] Brebbia C. A., Walker S.: Boundary Element Techniques in Engineering. Butterworths; 1980.
 - [2] Brebbia C. A., Telles J., Wrobel L.: Boundary Element Methods — Theory and Applications. Springer-Verlag, New York, 1983.
 - [3] Škerget P., Alujević A., Potrč I.: Konformni in nekonformni robeni elementi v nelinearnih problemih prenosa topote. 4. skup Numeričke metode u tehniki, Stubičke Toplice, 1982.
 - [4] Škerget P., Alujević A.: Reševanje nestacionarnog temperaturnog polja graničnim elementima. 28. konf. ETAN, Split, 1984.
 - [5] Škerget P.: Robni elementi za nelinearne potencialne probleme in tok viskoznega fluida. Doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, 1984.
 - [6] Kogler R.: Diplomska naloga, Univerza v Mariboru, 1985
- Naslov avtorjev: Doc. dr. Polde Škerget, dipl. inž., Prof. dr. Andro Alujević, dipl. inž., Robert Kogler, dipl. inž., Tehniška fakulteta, VTO strojništvo Maribor, Smetanova 17