

O tačnijem određivanju efikasnosti orebrene površine pri postojanju kontaktnih termičkih otpora u korenu rebara

Prof. dr Mile Markoski, dipl. inž.,
Mašinski fakultet,
27. marta 80, 11000 Beograd

1. Uvod

Uobičajeno je u praksi (npr: [1]) da se koeficijent prolaza toplote k_s , za cevi orebrene lamelastim ili namotanim rebrima, sveden na jedinicu spoljašnje površine, određuje po formuli

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{\alpha_{se}\eta} + \beta \left(\frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda_z} \ln \frac{d_s}{d_u} \right) + R_k \quad (1)$$

gde su:

- α_{se} – efektivni koeficijent prelaza toplote pri konvekciji na spoljašnjoj površini cevi i rebara
- $\eta = 1 - \frac{A_{r1}}{A_{s1}} (1 - \eta_r)$ – efikasnost spoljašnje površine (cevi i rebara),
- A_{r1} – površina rebara po 1 m orebrene cevi,
- A_{s1} – spoljašnja površina (cevi i rebara) po 1 m orebrene cevi,
- η_r – efikasnost samih rebara,
- $\beta = \frac{A_s}{A_u}$ – koeficijent orebravanja,
- λ_z – koeficijent provođenja toplote zida cevi,
- d_s, d_u – spoljašnji odnosno unutrašnji prečnik cevi,
- R_k – termički otpor kontakta cevi i rebara sveden na jedinicu spoljašnje površine.

Metodologija prema jednačinama (1) i (2) nije ispravna jer:

- ne uzima u obzir uticaj termičkog otpora na kontaktu cevi i rebara R_k na efikasnost η ukupne spoljašnje površine;
- vrednost R_k je svedena na jedinicu spoljašnje površine te ne zavisi samo od veličina koje utiču na sam kontaktni otpor,^{*)} već zavisi i od parametara geometrije orebravanja (odnosa površina: kontakta, neorebrenog dela cevi i ukupne spo-

^{*)} Po svojoj fizikalnosti, kontaktni termički otpor zavisi od vrste materijala cevi i rebara, njihove hrapavosti, tvrdoće, Youngovog modula elastičnosti i specifičnog pritiska kontakta cevi i rebara. Kada su svi navedeni parametri jednaki, može se tvrditi da je kontaktni termički otpor nepromenjen.

U radu je prikazan egzaktn način proračuna koeficijenata prolaza toplote orebrenih cevi, pri čemu se efikasnost orebrene površine prikazuje kao eksplicitna funkcija kontaktnih termičkih otpora, svedenih na stvarnu površinu kontakta cevi i rebara.

Predloženi metod proračuna upoređen je sa postojećim uobičajenim metodom koji ne uzima u obzir uticaj kontaktnih otpora na efikasnost orebrene površine, već ih uzima kao poseban dodatan termički otpor sveden na celokupnu spoljašnju površinu orebrene cevi.

ljašnje površine). Zbog toga se on ne može smatrati konstantnim za datu ma kako strogo definisanu tehnologiju orebravanja.

Osim toga, svođenje kontaktnog otpora na 1 m² spoljašnje površine onemogućava direktno poređenje kvaliteta raznih tehnologija orebravanja na osnovu vrednosti R_k izračunatih iz eksperimentalno dobijenih vrednosti koeficijenata prolaza toplote k_s .

2. Egzaktno određivanje efikasnosti spoljašnje površine

Parametri geometrije orebravanja i temperaturni napori koji određuju toplotne flukseve prikazani su na sl. 1. (na primeru hladnjaka za vazduh). Toplotni fluks po 1 m orebrene cevi može se izraziti na više načina, prema izabranom temperaturnom naporu:

- za prelaz toplote na unutrašnjoj površini cevi:

$$q_1 = \alpha_u d_u \pi (t_{zu} - t_u) \quad (3)$$

- za provođenje toplote kroz zid cevi:

$$q_1 = \frac{t_{zs} - t_{zu}}{\frac{1}{2\pi\lambda_z} \ln \frac{d_z}{d_u}} \quad (4)$$

- za prelaz toplote na spoljašnjoj površini:

$$q_1 = \alpha_{se} d_s \pi \left(1 - \frac{d_r}{s_r} \right) (t_s - t_{zs}) + \alpha_{se} A_{r1} \eta_r (t_s - t_{kr}) \quad (5)$$

gde prvi sabirak desne strane opisuje prelaz toplote sa dela cevi između rebara, a drugi sabirak sa površine rebara. Nepoznata temperatura t_{kr} korena rebara određuje se iz jednakosti fluksa na površini rebara i na kontaktnoj površini:

$$\alpha_{se} A_{r1} \eta_r (t_s - t_{kr}) = d_s \pi \frac{\delta_r t_{kr} - t_{zs}}{R'_k} \quad (6)$$

gde je R'_k kontaktni otpor sveden na 1 m^2 stvarne površine kontakta (za razliku od R_k , koji je sveden na 1 m^2 spoljašnje površine). Iz jednačine (5) dobija se neposredno:

$$t_{kr} = \frac{\alpha_{se} A_{r1} \eta_r t_s + d_s \pi t_{zs} \delta_r / (R'_k s_r)}{\alpha_{se} A_{r1} \eta_r + d_s \pi \delta_r / (R'_k s_r)} \quad (6')$$

Eliminisanjem t_{kr} u jednačini (5) pomoću jednačine (6') dobija se:

$$q_1 = \alpha_{se} (t_1 - t_{zs}) \left[d_s \pi \left(1 - \frac{\delta_r}{s_r} \right) + A_{r1} + d_s \pi \cdot A_{r1} \cdot \frac{\delta_r / (R'_k s_r)}{\alpha_{se} A_{r1} + d_s \pi \delta_r / (R'_k s_r)} - A_{r1} \right]$$

odakle uvrštavanjem:

$$A_{s1} = d_s \pi \left(1 - \frac{\delta_r}{s_r} \right) + A_{r1}$$

(gde je A_{s1} ukupna spoljašnja površina po 1 m orebrane cevi) sledi:

$$q_1 = \alpha_{se} A_{s1} \eta' (t_s - t_{zs}) \quad (5'')$$

gde je:

$$\eta' = 1 - \frac{A_{r1}}{A_{s1}} \left[1 - \eta_r \frac{1}{1 + \alpha_{se} A_{r1} s_r \eta_r R'_k / (\delta_r d_s \pi)} \right] \quad (7)$$

tačno određena efikasnost spoljašnje površine orebrane cevi i rebara, što je i trebalo odrediti. U slučaju kada $R'_k = 0$ (zanemarljivi kontaktni otpor), onda jednačina (7) prelazi u jednačinu (2). Time je pokazano da je jednačina (2) neprimenljiva za slučaj kada je $R'_k \neq 0$, kao i da se R_k ne može nezavisno uzimati u obzir kako je to uobičajeno prema jednačini (1) već prema jednačini (7) prilikom određivanja η' na osnovu R'_k .

Eliminisanjem nepoznatih temperatura može se iz sistema jednačina (3), (4) i (5'') dobiti:

$$q_1 = k_s (t_s - t_u) A_{s1} \quad (8)$$

gde je:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{\alpha_{se} \eta'} + \beta \left(\frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_u}{2\lambda} \ln \frac{d_s}{d_u} \right) \quad (9)$$

Poređenjem jednačina (9) i (1) vidi se da se kontaktni otpor pri određivanju k_s može pravilno uzeti u obzir jedino implicitno, pri izračunavanju η' na osnovu R'_k .

3. Preračunavanje R_k u R'_k

Izjednačavajući izraze za $1/k_s$ prema jednačinama (1) i (9), može se nakon sređivanja dobiti izraz za preračunavanje R_k u R'_k .

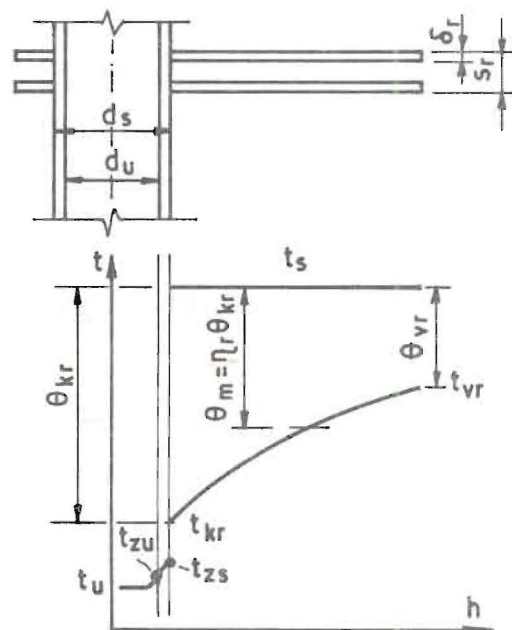
Primer. Za bakarnu cev $\varnothing 10/9$ mm, orebrenu kvadratnim A1 rebrima $220 \text{ W/m}^2\text{K}$, debljine $0,2$ mm, za $\alpha_{se} \cong 30 \text{ W/m}^2\text{K}$, dobija se da preporučenim vrednostima R_k $0,005 \text{ m}^2\text{K/W}$ (za mokru površinu kontakta) odgovara vrednost $R'_k \cong 3,18 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{K/W}$, svedeno na pravu površinu kontakta cevi i rebara.

4. Zaključak

Prikazana metodologija omogućava tačnije određivanje efikasnosti spoljašnje površine na osnovu unapred poznatih vrednos-

ti pravog kontaktnog termičkog otpora R'_k (svedenog na pravu površinu kontakta).

Osim toga, pomoću izračunatih vrednosti R'_k na osnovu eksperimentima određenih vrednosti koeficijenta prolaza toplote k_s , moguće je znatno pouzdanije pratiti kvalitet ostvarenog termičkog kontakta cevi i rebara, što je od posebnog značaja za praćenje i održavanje kvaliteta u proizvodnji orebranih razmenjivača toplote.



Slika 1.

Oznake

A – površina	q – toplotni fluks
d – prečnik cevi	R – termički otpor
k – koeficijent prolaza toplote	s – korak rebara
	t – temperatura

Indeksi

l – jedinični	es – ekvivalentni spoljašnji
e – ekvivalentni	kr – korena rebara
k – kontaktni	vr – vrha rebara
r – rebara	zs – zida spolja
s – spoljašnji	su – zida unutra
u – unutrašnji	

Grčki alfabet

α – koeficijent prelaza toplote	λ – koeficijent provođenja toplote
β – koeficijent orebravanja	η – efikasnost
δ – debljina rebara	

Literatura

- [1] Koškin, N. N. i dr.: *Holodilnye mašiny*, Piščevaja prommyšljennost, Moskva, 1973.
- [2] * * *: *Tempofizičeskie osnovy polučeniya iskustvennogo holoda*, spravočnik, Piščevaja prommyšljennost, Moskva, 1980.
- [3] Vujić, S., Markoski, M.: *Optimizacija geometrije i režima rada orebranih razmenjivača toplote*, KGH 1/73, Beograd, 1973.

kgH