

DK 621.564.004.12:536.73:621.512:621.57

Vpliv lastnosti različnih delovnih sredstev na izgube eksergije zaradi nepovračljivosti v kompresorju pri procesih toplotne črpalke

MIRAN OPREŠNIK

Za posebne zakonitosti pri ocenjevanju termodinamičnih procesov so značilne lastnosti uporabljenih delovnih snovi. Pri procesih toplotne črpalke je potrebno delo enako vsoti eksergije in izgub eksergije. Čim manjše so izgube, tem boljši je proces. Celotne izgube so enake vsoti izgub v posameznih delih naprave. V članku so prikazane izgube eksergije v kompresorju pri uporabi različnih delovnih sredstev. Iz diagramov je razviden vpliv lastnosti posameznih sredstev na izgube eksergije.

Pri procesih toplotne črpalke je v splošnem potrebno delo za pogon W enako vsoti eksergije toplote E_Q in izgub eksergije zaradi nepovračljivosti E_{izg}

$$|W| = |E_Q| + E_{izg}. \quad (1)$$

Eksergija toplote je natanko določena s toploto Q , temperaturo T , pri kateri je ta toplota na uporabo, in temperaturo okolice T_o

$$E_Q = Q \frac{T - T_o}{T}. \quad (2)$$

Pri hladilnih procesih je eksergija hladilne toplote E_{QR} odvisna od hladilne toplote Q_R , temperature hlajenja T_R in od temperature okolice T_o

$$|E_{QR}| = Q_R \frac{T_o - T_R}{T_R}. \quad (3)$$

Pri grelnih procesih pa je eksergija grelne toplote E_{QH} odvisna od grelne toplote Q_H , grelne temperature T_H in temperature okolice T_o

$$E_{QH} = Q_H \frac{T_H - T_o}{T_H}. \quad (4)$$

Izgube eksergije zaradi nepovračljivosti E_{izg} so seveda enake vsoti posameznih izgub pri procesu

$$E_{izg} = \sum_i E_{izg i}. \quad (5)$$

Tako so te posamezne izgube pri normalnem hladilnem postrojenju, ki je sestavljeno iz kompresorja, kondenzatorja, regenerativnega menjalnika toplote, dušilnega ventila in uparjalnika enake vsoti izgub v posameznih elementih naprave. Te posamezne izgube pa so navadno odvisne od lastnosti delovnih snovi, ki jih uporabljamo za izvedbo procesa.

V nadaljevanju se bomo omejili na vpliv lastnosti raznih delovnih snovi na izgube eksergije v kompresorju. Te izgube določamo po enačbi [1]

$$e_{izg K} = T_o (s_2 - s_1). \quad (6)$$

Vse vrednosti so računane za notranji (izentropni) izkoristek kompresorja $\eta_K = 0,8$ in za temperaturo

okolice 20°C . Glede na uporabnost za različna območja lahko razdelimo delovne snovi v tri skupine [2]. V prvo skupino štejemo sredstva, ki imajo pri normalnem tlaku temperaturo nasičenosti $t_s > 0^\circ\text{C}$. Iz te skupine so vrednosti raziskane za naslednja sredstva: triklorfluormetan CCl_3F (R 11), diklorfluormetan CHCl_2F (R 21), triklortrifluoretan $\text{CClF}_2 - \text{CCl}_2\text{F}$ (R 113) in diklortetrafluoretan $\text{CClF}_2 - \text{CClF}_2$ (R 114). Vrednosti so računane za temperaturo kondenzacije $t_c = 60^\circ\text{C}$ in 90°C in za uparjalne temperature od $t_r = -20^\circ\text{C}$ do temperature kondenzacije.

V drugo skupino štejemo sredstva, ki imajo pri normalnem tlaku temperaturo nasičenosti $0 \geq t_s > -60^\circ\text{C}$. Iz te skupine sem vrednosti raziskal za naslednja sredstva: diklordifluormetan CCl_2F_2 (R 12), bromtrifluormetan CBrF_3 (R 13 B 1), klordifluormetan CHClF_2 (R 22), klormetan (metil-klorid) CH_3Cl (R 40), oktafluorciklobutan C_4F_8 (R C 318), propan $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ (R 290), n-butan $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ (R 600), amoniak NH_3 (R 717) in žveplov dioksid SO_2 (R 764). Vrednosti so izračunane za temperaturo kondenzacije $t_c = 20^\circ\text{C}$ in 40°C in za uparjalne temperature od $t_r = -40^\circ\text{C}$ do temperature kondenzacije. Izjemoma so pri žveplovem dioksidu izračunane tudi vrednosti za temperaturo kondenzacije 60°C in 90°C ter za R C 318 samo pri teh dveh kondenzacijskih temperaturah. Potrebne veličine stanja dobimo v tabelah oziroma diagramih iz naslednjih virov [2]...[10].

Ker je branje vrednosti iz diagramov večinoma premalo natančno, so povsod, kjer je bilo potrebno, določene izravnalne krivulje po metodi najmanjših kvadratov. V diagramih so povsod na-

nesene vrednosti reduciranih izgub $\frac{e_{izg K}}{Q/m} = \frac{E_{izg K}}{Q}$

v odvisnosti od uparjalne temperature t_r . Razlogi za takšen način prikazovanja so dvojni. Prvič so reducirane izgube navedene brezdimenzijsko in so torej neodvisne od izbire sistema enot. Pomembnejši razlog pa je v tem, da reducirane izgube dajo pra-

vilnejši vpogled. Čim manjše so te vrednosti, tem večje je hladilno število

$$\epsilon_R = \frac{Q_R}{|W_R|} = \frac{1}{\frac{|E_{QR}|}{Q_R} + \frac{E_{izg R}}{Q_R}} \quad (7)$$

oziroma grelni število

$$\epsilon_H = \frac{Q_H}{|W_H|} = \frac{1}{\frac{E_{QH}}{Q_H} + \frac{E_{izg H}}{Q_H}} \quad (8)$$

V enačbah (7) in (8) smo delo nadomestili z enačbo (1). Večje hladilno število pa pomeni večji eksergijski izkoristek pri danih temperaturah okolice T_o in hlajenja T_R

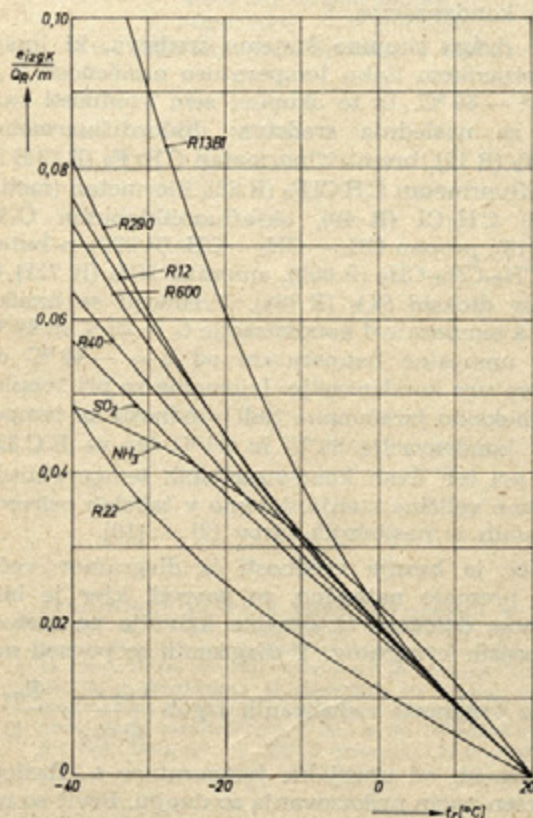
$$\zeta_R = \frac{|E_{QR}|}{W_R} = \frac{T_o - T_R}{T_R} \epsilon_R \quad (9)$$

Analogno velja tudi za eksergijski izkoristek pri grelnem procesu

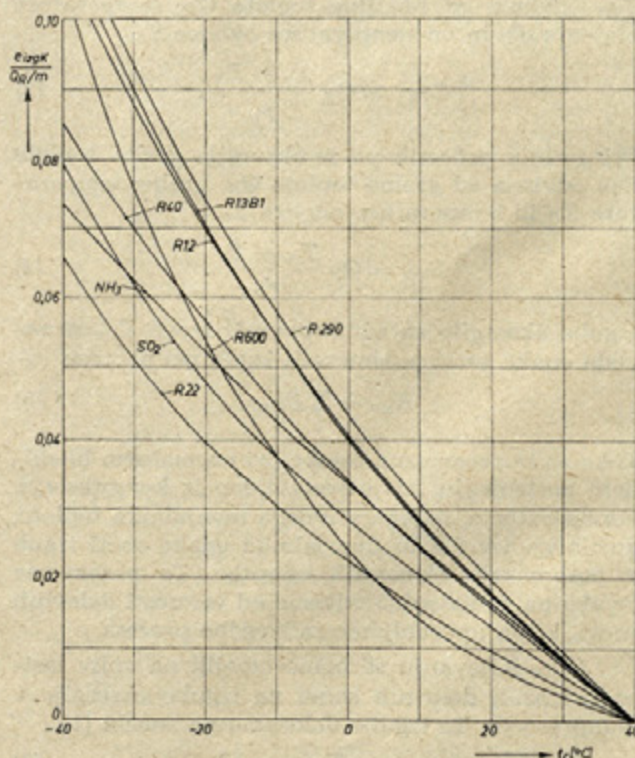
$$\zeta_H = \frac{E_{QH}}{|W_H|} = \frac{T_H - T_o}{T_H} \epsilon_H \quad (10)$$

ki je tudi večji pri dani grelni temperaturi T_H in dani temperaturi okolice T_o , čim večje je grelni število. Čim večji pa je eksergijski izkoristek, ki je edino splošno veljavno merilo za termodinamično ocenjevanje procesov, saj upošteva zakonitosti tako prvega kakor tudi drugega glavnega zakona termodinamike, tem boljši je proces.

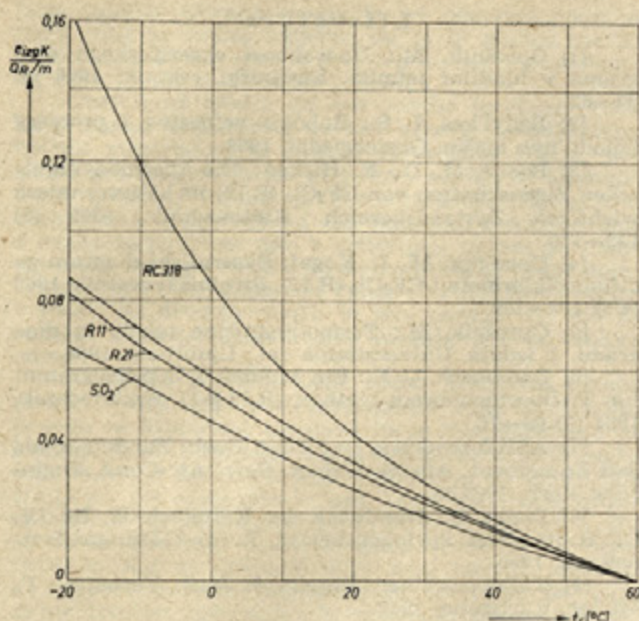
Rezultati teh računov so zbrani v naslednjih diagramih. Na sliki 1 so prikazane reducirane izgube eksergiije v kompresorju pri temperaturi kondenzacije $t_c = 20^\circ\text{C}$. Izgube so reducirane na hladilno toploto. Iz diagrama izhaja, da je za to območje pri prej navedenih pogojih najugodnejša uporaba R 22, najbolj neugodna pa uporaba R 13 B1. Na sliki 2 so prikazane reducirane izgube v kompresorju (redukcija na hladilno toploto) pri temperaturi kondenzacije 40°C . V tem območju je pri enakih pogojih najbolj neugoden propan (R 290) in najugodnejši R 22. Na sliki 3 so prikazane na hladilno toploto reducirane izgube eksergiije v kompresorju pri temperaturi kondenzacije 60°C . Najugodnejše sredstvo je v danem območju žveplov dioksid, vtem ko je R C 318 najbolj neugoden. Na sliki 4 so prikazane izgube eksergiije v kompresorju, reducirane na grelni toploto, za temperaturo kondenzacije 90°C . Tudi v tem območju je najbolj neugodno sredstvo R C 318, najboljše rezultate pa kaže žveplov dioksid.



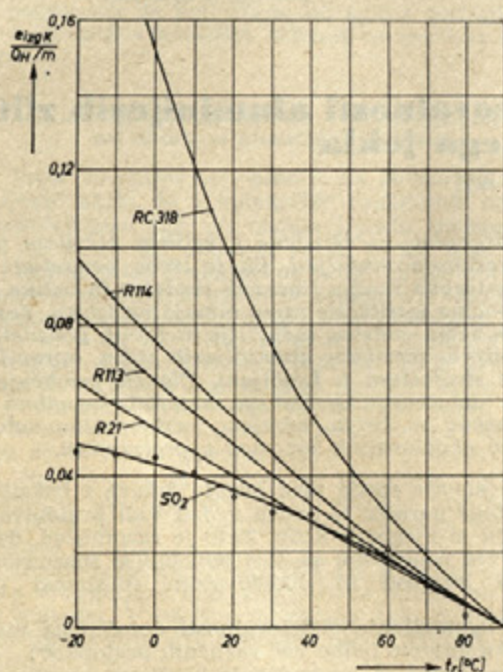
Sl. 1. Reducirane izgube eksergiije v kompresorju ($\eta_K = 0,8$; $t_c = 20^\circ\text{C}$; $t_o = 20^\circ\text{C}$)



Sl. 2. Reducirane izgube eksergiije v kompresorju ($\eta_K = 0,8$; $t_c = 40^\circ\text{C}$; $t_o = 20^\circ\text{C}$)

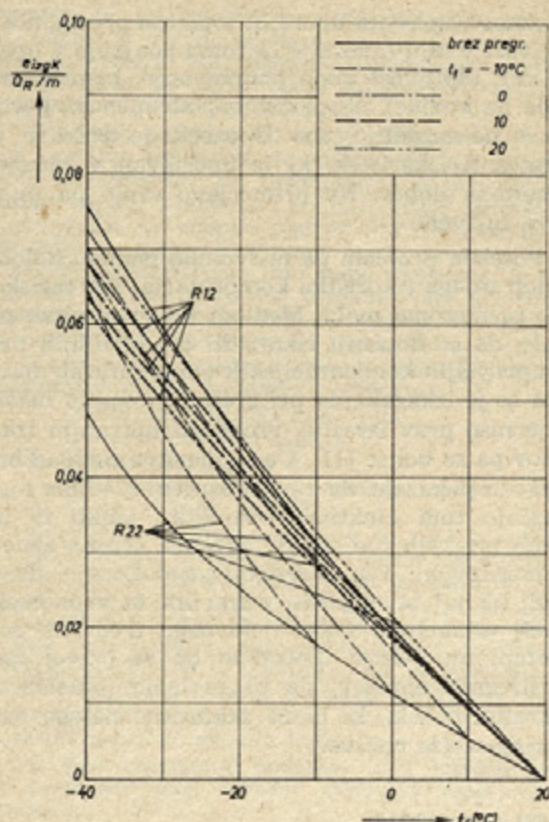


Sl. 3. Reducirane izgube eksergije v kompresorju ($\eta_K = 0,8$; $t_c = 60^\circ\text{C}$; $t_o = 20^\circ\text{C}$)



Sl. 4. Reducirane izgube eksergije v kompresorju ($\eta_K = 0,8$; $t_c = 90^\circ\text{C}$; $t_o = 20^\circ\text{C}$)

Vse dosedanje vrednosti so bile določene za proces s suhim sesanjem in za kondenzacijo brez podhlajenja. Na sliki 5 pa so prikazane izgube eksergije v kompresorju, reducirane na hladilno toploto, za primer procesa s pregrevanjem delovne snovi pred vstopom v kompresor. Temperatura kondenzacije je 20°C . Izvlečeni krivulji veljata za



Sl. 5. Reducirane izgube eksergije v kompresorju pri pregrevanju ($\eta_K = 0,8$; $t_c = 20^\circ\text{C}$; $t_o = 20^\circ\text{C}$)

proces brez pregrevanja, črtkane krivulje pa za pregrevanje, in sicer za vstopne temperature v kompresor $t_1 = -10, 0, 10$ in 20°C (glej legendo na sliki). Temu pregrevanju ustreza takšno podhlajenje v regenerativnem menjalniku toplote, da je pregrevna toplota ravno enaka toploti, ki jo moramo odvzeti pri podhlajenju. Upoštevani sta dve sredstvi: R 12 in R 22. Medtem ko so izgube pri R 22 brez pregrevanja manjše od izgub pri R 12, pa te pri prvem sredstvu s pregrevanjem močno porastejo. Čim večje je pregrevanje, tem večje so tudi izgube. To pomeni, da iz termodinamičnih razlogov v omenjenih pogojih ni umestno pregrevanje klorodifluormetana (R 22). Nasprotno temu pa kaže R 12 ugodne rezultate pri pregrevanju. Čim višja je temperatura pri vstopu v kompresor, tem ugodnejše so vrednosti.

Iz omenjenih diagramov je razvidno, kakšen je vpliv lastnosti posameznih delovnih snovi na izgube eksergije v kompresorju. Pri tem ne smemo pozabiti, da so tu upoštevane samo osnovne termodinamične lastnosti, ki vplivajo na kakovost procesa. Znano pa je, da je potrebno skupno z naštetimi upoštevati še celo vrsto drugih lastnosti, npr. uparjalno toploto, tlake, razmerje tlakov (vpliv na dobavni koeficient kompresorja), gostoto hladilnega sredstva (vpliv na pretočne hitrosti in upore),

viskoznost (vpliv na upore in toplotno prestopnost), topljivost v olju (mazanje oziroma penjenje v uparjalniku), topljivost vode (zmrzovanje, kemična reakcija na kovine), eksplozivnost, strupenost, gorljivost in ne nazadnje ceno. Opozoriti je treba še, da je notranji izkoristek, ki je upoštevan v računih, razmeroma dober. Na primerjavo samo pa to ne vpliva bistveno.

Poseben problem pa nedvomno pomeni določanje notranjega izkoristka kompresorja. Teh raziskav je še razmeroma malo. Medtem ko so meritve pokazale, da so notranji izkoristki pri hladilnih procesih pri višjih kondenzacijskih temperaturah manjši, pa se je izkazalo, da pri grelnih procesih takšne težnje niso prav izrazite, vrednosti notranjih izkoristkov pa so boljše [11]. Če so meritve na hladilnih napravah pokazale, da z naraščanjem hladilne moči naraščajo tudi efektivni izkoristki, lahko to pri grelnih procesih tudi predvidevamo, čeprav zadevnih meritev ni. Vse povedano pa dokazuje, da so vplivi, ki naj bi odločali o pravilni in ekonomsko najbolj utemeljeni izbiri delovnega sredstva, zelo zapleteni in obsežni. Potrebno bo še precej časa in ustreznih meritev, da bi se lahko odločili za konkretna načela, ki bi za zahtevane naloge dala najprimernejše rešitve.

Literatura

- [1] Oprešnik, M.: Uporabnost eksergijskega diagrama v hladilni tehniki. Strojniški vestnik, 1966 (3) 57—62.
- [2] Badyl'kes, I. S.: Rabočie veščestva i processy holodil'nyh mašin. Gostorgizdat, 1966.
- [3] Baehr, H. D., E. Hicken: Die thermodynamischen Eigenschaften von CF_3Cl_2 (R 12) im kältetechnisch wichtigen Zustandsbereich. Kältetechnik, 1965 (5) 143—150.
- [4] Oprešnik, M., L. Kogej: Eksergijski diagram za difluordiklormetan CF_2Cl_2 (R 12). Strojniški vestnik, 1966 (4/5) 105—109.
- [5] Oprešnik, M.: Termodinamične tabele in diagrami. 2. izdaja. Univerzitetna zal., Ljubljana, 1966.
- [6] Rombusch, U. K.: Ein Mollier-i, lg p-Diagramm für Trifluoromonobrom-methan (R 13 B 1). Kältetechnik, 1964 (3) 69—76.
- [7] ASHRAE-Guide and Data Book. Fundamentals and Equipment. Am. Soc. Heat. Refr. Air-Cond. Engin. New York, 1965/66.
- [8] Plank, R.: Handbuch der Kältetechnik. Bd. IV. Die Kältemittel. Springer Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1956.
- [9] Kältemaschinen Regeln. 5. Aufl. Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1958.
- [10] Holodil'naja tehnika. Spravočnik. Tom 1. 1960.
- [11] Häussler, W.: Einsatzmöglichkeiten der Wärmepumpe. Luft- und Kältetechnik, 1966 (5) 159—163.

Avtorjev naslov:

prof. dr. Miran Oprešnik,
Fakulteta za strojništvo,
Univerza v Ljubljani

DK 621.9.022:669.715

Nekaj značilnosti pri preiskavah odrezovalnosti aluminijevih zlitin z orodji iz hitroreznega jekla

POLDE LESKOVAR

Raziskave obdelovalnosti kovinskih materialov so združene z velikim številom preskusov. Če hočemo, da so rezultati takih preskusov zanesljivi, jih je treba ponavljati na več preskušancih oz. enotah. Za vse to so potrebna znatna finančna sredstva in velike količine materiala, ki jih pa po navadi raziskovalne institucije same nimajo na izbiro. Zaradi tega čutim dolžnost, da se zahvalim strokovnemu vodstvu industrije metalnih polizdelkov Impol v Slov. Bistrici, ki je vsestransko podprlo raziskave aluminijevih zlitin, opravljene pri Inštitutu za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. Članek priobčuje le majhen del raziskav, ki pa so za spoznanje določenega kovinskega materiala neogibno potrebne. To je začetek zbiranja osnovnih podatkov za široko odrejeno raziskovalno nalogo, ki se nanaša na optimizacijo in avtomatizacijo obdelovalnih sistemov v proizvodnji.

1. Uvod

Vse večja uporaba aluminija in njegovih zlitin v strojništvu in tehniki sploh narekuje čedalje intenzivnejše raziskave njihovih obdelovalnih lastnosti. Ko so bile podane osnove za izboljšanje mehanskih lastnosti aluminija in njegovih zlitin, so bili podani tudi osnovni pogoji, da jih čedalje več uporabljamo tudi v konstrukcijske namene.

Velika uporabnost, kakršno imajo zdaj aluminij in njegove zlitine, pa ni samo zaradi ugodnejših mehanskih, temveč prav gotovo tudi zaradi nekaterih izrednih fizikalno-kemičnih in tehnoloških lastnosti. Aluminijeve zlitine se dajo tudi zelo ugodno obdelovati z vsemi znanimi postopki za obdelavo, to je oblikovanje s plastično deformacijo, litjem in odrezavanjem.

Razen sposobnosti oblikovanja s plastično obdelavo in litjem je zelo pomembna tudi sposobnost oblikovanja z odrezavanjem. V večini primerov dobi namreč predmet dokončno obliko šele z odrezavanjem. Zaradi tega imajo v končni ceni določenega predmeta pomembno vlogo prav postopki za obdelavo z odrezavanjem.

Jugoslavija spada med bogate države z boksitom. Zaradi tega narašča iz dneva v dan tudi pridobivanje aluminija in njegovih zlitin. Zato je razumljivo, da je čedalje več zanimanja za čim popolnejše spoznavanje njihovih lastnosti in obdelovalnih zmožnosti tudi pri nas.

Za ugotavljanje obdelovalnosti določenega materiala uporabljamo lahko več različnih postopkov:

- postopke za ugotavljanje kvalitete površine,
- postopke za ugotavljanje obstojnosti orodja,
- postopke za ugotavljanje rezalnih sil,
- postopke za ocenjevanje oblike odrezkov ipd.

V preteklosti nas je predvsem zanimalo orodje, redkeje obdelovanec sam. Dandanes, ko stremimo za tem, da odreže orodje čimveč v čim krajšem času, pa imamo razen zahtev do orodja tudi zahteve do obdelovanca — predvsem do njegove površine. Tako se lotevamo preskušanja, s kakršnim iščemo optimalne pogoje pri obdelavi z odrezavanjem. Pri preskušanju je upoštevanih več meril hkrati: obstojnost orodja, kvaliteta površine obdelovanca, oblika odrezkov pri zlitinah, ki jih obdelujemo na avtomatih, in čas obdelave, ki je neposredno vezan na izdelavne stroške določene