

Hlađenje pri indukcionoj proizvodnji cevnih lukova

Milan R. Rikalović, dipl. inž.,
DP »Grejanje«, 15300 Loznica,
1. maja bb

Indukcionalno savijanje lukova velikih prečnika je jedan od savremenih postupaka, naročito razvijen u holandskoj firmi »Cojafex BV«. Grupa inženjera iz Loznice uspela je da uz elektroopremu iz Holandije ovu složenu mašinu konstruiše i napravi u preduzeću »Luk«, u Loznići. U ovom radu govori se o rešenju problema odvođenja toplote pri indukcionom savijanju lukova.

1. Uvod i izbor sistema hlađenja

Indukcionalna mašina za savijanje lukova COJAFEX PB-600 može da savija lukove prečnika cevi do Ø609,6, debljine zida do 100 mm, od raznih vrsta čelika, prema standardima JUS M.B6.821, DIN 2605, DIN 2606, i po ANSI i ISO standardima, radijusa savijanja većim od 2d (3d).

Osnovni zahtevi maštine u pogledu hlađenja su:

— Rashladni fluid mora biti neagresivan, da ne ošteće niti ugrožava osetljivu elektroopremu i radni materijal, da nije otrovan i da ne ugrožava čovekovu okolinu.

— Sa mesta indukcionog grejanja potrebno je odvesti toplotu od cca 350 kW, od čega se direktnim isparavanjem odvodi 100 kW.

— Od elektro-opreme potrebno je odvesti toplotu u iznosu od 150 kW.

— Maksimalna ulazna temperatura fluida za hlađenje elektro-opreme iznosi 30°C (a izlazna 36°C), a za hlađenje lukova 32°C.

Može se odmah usvojiti voda kao rashladni fluid, zbog cene, visokog rashladnog učinka ($c_p = 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$), neagresivnosti, bezopasnosti itd. S obzirom na date uslove, moraju se predviđeti dva sistema hlađenja: jedan koji ne gubi vodu u sistemu (uslovno rečeno: zatvoren) i drugi koji gubi vodu (isparavanjem), koja se stalno mora nadoknađivati (uslovno rečeno: otvoren sistem). Zatvoren sistem služi za hlađenje elektro-opreme, ima svoj ulaz i izlaz, a hlađenje se odvija preko specijalnog lamelnog hladnjaka u okviru isporuke elektro-opreme. Otvoren sistem služi za hlađenje lukova pri savijanju, pri čemu se voda dozira preko prstenova, a zatim slobodno razliva i skuplja na podu i odvodi u sistem za reciklažu odnosno priprema se za novi ciklus hlađenja. U oba sistema važan faktor je filtriranje, za dopunjavanje sistema i omešavanje.

Vodom oduzeta toplota od maštine mora se negde predati, da bi instalacija mogla raditi kontinualno. Kao toplotni ponor mogu se koristiti voda, zemlja ili vazduh. Kao alternativa, sasvim opravданo se može koristiti toplotna pumpa za korišćenje otpadne toplote za zagrevanje sanitarnе vode, na primer. Međutim, i pored takvog povratnog korišćenja toplote koji nije kontinualan, mora se predvideti dovoljan ponor toplote, pa se u ovom razmatranju neće uzimati u obzir sekundarno i diskontinualno korišćenje otpadne toplote.

Voda kao radni fluid ima visoku specifičnu toplotu i ukoliko nema problema sa količinom, onda je hlađenje jednostavno. Otvoreni sistem ide direktno iz akumulacionog bazena na mašinu, a zatim se baca, a zatvoreni sistem ima hladnjak direktno smešten u bazen. U ovom slučaju voda mora biti čista. Ako je nema ili je nema u dovoljnim količinama na dohvatu, moraju se razmotriti i ostale alternative.

Zemlja, ako je suva, ima specifičnu toplotu $\sim 0,84 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, a vlažna do $2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$. Postavljanje bilo kakvog izmenjivača toplote u zemlju skopčano je sa brojnim tehnološkim teškoćama kao i neizvesnošću razmene toplote pogotovo u letnjim suvim mesecima. Zbog toga na razmenu toplote sa zemljom može se računati kao na dopunski (sekundarni) ponor, sa konvektivnim prelazom toplote u akumulacionim bazenima.

Vazduh na 0°C ima specifičnu toplotu od $1 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, dakle najmanje je akumulativan, ali je lako pristupačan i obezbeđuje jednostavno tehničko rešenje preko kula za hlađenje, kombinacijom konvektivne razmene toplote i isparavanja. Kao nedostatak može se navesti dodatni utrošak energije za pogon ventilatora.

Kao najpovoljniji u datim uslovima, usvojen je sledeći model:

a) Za akumulaciju i hlađenje pri indukcionalnom savijanju predviđen je primarni cirkulacioni krug vodenog hlađenja, a za hlađenje elektro-opreme sekundarni cirkulacioni krug. Povezujući sa prethodnim razmatranjem, primarni krug je otvoren, a sekundarni krug je zatvoren (sa stanovišta pritiska oba kruga su otvorena).

b) Rashlađivanje sekundarnog fluida izvodi se preko izmenjivača toplote primarnim fluidom.

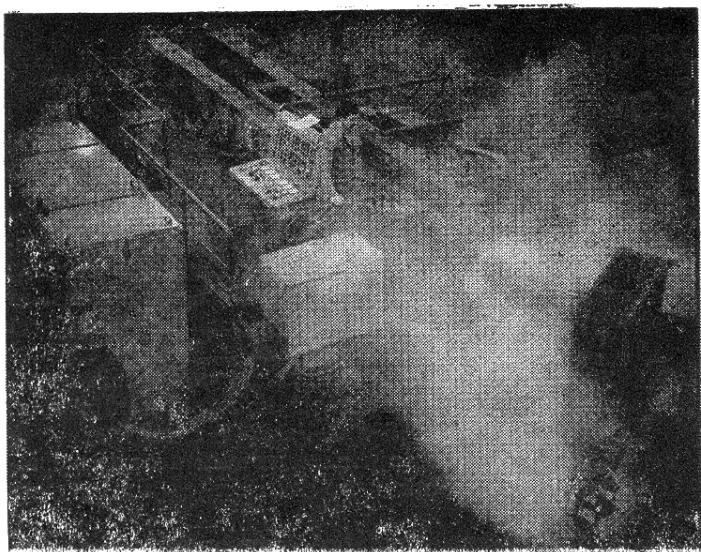
c) Rashlađivanje primarnog fluida predviđeno je na tri načina:

— odvođenjem toplote iz bazena u zemlju,

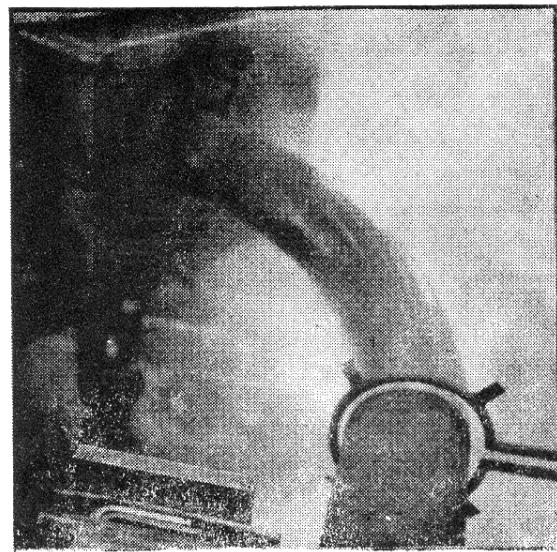
— odvođenjem toplote preko rashladne kuće u vazduh,

— dovođenjem sveže hladne vode u bazene kao dopunu isparene vode, ili kao dopuna prethodna dva postupka.

Kako se ovde radi o znatnoj potrošnji vode, nije moguće racionalno razmatrati protočni rashladni sistem, zbog ograničenja gradske vodovodne mreže.



Sl. 1. Mašina za indukciono savijanje lukova u radu



Sl. 2. Detalj indukpcionog grejanja i hlađenja vodom

2. Bilansi energije i protoci vode

Prema usvojenom modelu hlađenja, odvođenje toplote se odvija:

- predajom toplote zemlji u akumulativnim bazenima Q_z ,
- predajom toplote konvekcijom vazduhu Q_v ,
- isparavanjem Q_i .

Ukupna količina toplote koju treba odvesti iznosi:

$$Q_o = Q_{ig} + Q_e = 350 + 150 = 500 \text{ kW}$$

gde su Q_{ig} (kW) toplota sa mesta indukpcionog grejanja, a Q_e (kW) toplota od elektro-opreme.

Ova toplota se odvodi kao što je navedeno u zemlju Q_z , vazduh Q_v i direktno isparavanjem vode na mašini Q_{im} .

$$Q_o = Q_z + Q_v + Q_{im}$$

Zapreminu akumulacionih bazena određujemo na bazi inertnosti sistema u vremenu od $\tau_i = 1 \text{ h}$, što znači da od starta sistema u tom vremenu mašina može raditi bez ikakvog hlađenja, samo na račun porasta temperature vode.

$$V_A = \frac{(Q_o - Q_{im}) \tau_i}{\rho c \Delta t_{sr}} = \frac{(500 - 100) \cdot 3600}{995 \cdot 4,2 \cdot (32 - 15)} = 20,2 \text{ m}^3$$

U izrazu je od ukupne količine toplote oduzeta toplota koja direktno ispari na mašini, a ρ i c su gustina i specifična toplota vode na 32°C . Srednja temperaturska razlika t_{sr} je razlika temperature vode na dovodu za hlađenje lukova i vode za dopunjavanje sistema iz gradske mreže. Dobijena zapremina se nešto smanjuje na račun

zapremine vode u instalaciji, pa se usvaja radna zapremina akumulacionog bazena $V_A = 18 \text{ m}^3$ podijeljen prelivnom pregradom na dva jednakata dela, svaki po $V_{Ai} = 9 \text{ m}^3$ gabarita $3 \times 3 \times 1 \text{ m}$, izrađeni od betona i potpuno ukopani u zemlji. Bazen tople vode (BTV) ima ulogu da sakupi svu vodu posle procesa. Iz BTV se voda putem preliva ili pumpe rashladne kule prebacuje u bazen hlađene vode (BHV), a zatim vodi do mesta hlađenja.

Odavanje toplote zemlji odvija se putem prirodne konvekcije za koju se prema Touloukianu [2] može odrediti koeficijent prelaza toplote:

$$Nu = 0,726 Ra^{0,25}$$

gde je $Ra = Gr \cdot Pr$ — Rayleighov broj.

Grashofov broj:

$$Gr = \frac{g \beta L^2 \Delta t}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,000197 \cdot 13 \cdot (32 - 15)}{(0,72 \cdot 10^{-6})^2} = 6,34 \cdot 10^{10}$$

Prandtllov broj:

$$Pr = \frac{\nu \rho c}{\lambda} = \frac{0,72 \cdot 10^{-6} \cdot 995 \cdot 4200}{0,623} = 4,81$$

Ovde su: $[\text{m}^2/\text{s}]$ ubrzanje Zemljine teže, $\beta [1/\text{C}]$ — zapreminske koeficijente širenja, $L [\text{m}]$ — karakteristična dimenzija (visina bazena), $\nu [\text{m}^2/\text{s}]$ — kinematska viskoznost, $\rho [\text{kg}/\text{m}^3]$ — gustina, $c [\text{J}/\text{kg}\text{C}]$ — specifična toplota, $\lambda [\text{W}/\text{m}\text{C}]$ — toplotna vodljivost na temperaturi 30°C — sve za

i prelivne sisteme za odvođenje vode u poniruće bunare za slučaj da nivo vode u bazenima raste iznad dozvoljenih (poplava pumpi), odnosno za slučaj da se rashlađivanje obezbeđuje dodavanjem većih količina sveže vode od isparenih.

Protok primarne vode (otvoreni sistem):

$$V_p = \frac{Q_o - Q_{iM}}{\rho c \Delta t_p} = \frac{(550 - 100) 3600}{995 \cdot 4,2 (38 - 26)} = \\ = 28,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ovde je polazna temperatura vode iz BHV 26°C, koja se, prolazeći kroz izmenjivač toplote, zagreje do 32°C, a zatim se na mašini za indukciono savijanje lukova podigne do 38°C, što je i temperatura u BTV.

Protok sekundarne vode (zatvoreni sistem):

$$V_s = \frac{Q_E}{\rho c \Delta t_s} = \frac{150 \cdot 3600}{995 \cdot 4,2 (36 - 30)} = \\ = 21,5 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Ovde je ulazna temperatura vode na ulazu u hladnjak elektro-opreme 30°C, a izlazna temperatura vode iz hladnjaka 36°C.

Protok vode kroz rashladnu kulu je:

$$V_k = \frac{Q_V}{\rho c \Delta t_k} = \frac{260 \cdot 3600}{995 \cdot 4,2 (38 - 26)} = \\ = 18,67 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Ovde je 38° temperatura BTV, a 26°C temperatura BHV. Međutim, treba imati u vidu da mora biti $V_k \geq V_p$, inače će stalno dolaziti do prelivanja iz BTV u BHV, što znači da će temperatura BHV biti veća od zahtevane 26°C. Zato se usvaja protok vode kroz rashladnu kulu

$$V_k = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

pri čemu će kapacitet rashladne kule stvarno biti nešto veći, što će opet obezbediti povremen rad rashladne kule.

Rashladna kula se bira za sledeće uslove:

$$V_k = 30 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$t_{ku}/k_i = 38/26^\circ\text{C}, \quad t_{VL} = 21^\circ\text{C}.$$

Izmenjivač toplote se bira za sledeće uslove:

$$Q = 150 \text{ kW}$$

$$t'_p/t''_p = 26/32^\circ\text{C}, \quad t'_s/t''_s = 36/30^\circ\text{C}$$

(sekundar se hlađi i ide kroz cevi izmenjivača).

Pumpe za rad primarnog i sekundarnog sistema kao i rashladnu kulu biraju se za navedene protoke i odgovarajući pad pritiska. Na sl. 3. pri-

kazana je šema rada postrojenja za hlađenje mašine za indukciono savijanje lukova.

3. Režim rada postrojenja

Sistem hlađenja radi u dva režima, uslovno nazvanih: letnji i zimski. U »letnjem režimu«, kada radi rashladna kula, moguć je rad sa ventilatorom rashladne kule i bez njega, što se sukcesivno obezbeđuje uključivanjem po redosledu, najpre pumpe rashladne kule, a zatim ventilatora preko termostata smeštenih u BTV, odnosno BHV. Pumpa rashladne kule uključuje se kada temperatura u BTV dostigne 20°C i voda se prirodno hlađi u kuli sve dok temperatura u BHV ne dostigne vrednost od 26°C, kada se uključuje ventilator rashladne kule.

U »zimskom režimu«, kada ne radi rashladna kula, može se raditi sa malim opterećenjima i pri niskim spoljnijim temperaturama. U tom slučaju voda se dovoljno ohladi predajući toplotu okolini bazena. Osiguranje sistema od ispadanja iz režima rada obezbeđeno je pored vizuelnog očitavanja preko mernih instrumenata i preko alarma. Ako nastane slučaj da se ni u letnjem režimu ne mogu obezbediti zahtevani uslovi rada, ukoliko je sistem ispravan mora se pristupiti dolivanju sveže vode u bazene.

Literatura

- [1] RECKNAGEL/SPRENGER: *Priručnik za grejanje i klimatizaciju*, Građevinska knjiga, Beograd, 1982.
- [2] SLIPČEVIĆ, B.: *Razmenjivači topline — sa primjerima iz rashladne tehnike*, SMEITS, Beograd, 1989.
- [3] ***: Prospekti materijal firme COJAFEX BV.

(Nastavak sa 70. str.)

cije toplinske energije iz toplih otpadnih voda opravdava pri temperaturi otpadnih voda od 35°C i količini od 0,83 m³/h.

Literatura

- [1] POZZI, ALBERTO: *Sistemi di Energia*, 1982. g.
- [2] POZZI, ALBERTO: *Il recupero di calore nell' industria tessile*
- [3] OTTONELLO, G.: *Il recupero del calore dagli scarichi in quanti di machine a cici discontiunti: modalita — dimensionamento di massima*, Tirkotaria 1/1986, Milano, Italia.
- [4] SKOKO, M.: *Prilog istraživanjima optimiranja sistema za povratno dobivanje topline iz otpadnih tekućina u tekstilnoj i odjevnoj industriji*, »Tekstil«, 36—1/87, Zagreb.

