

D. Kakaš*

**ANALIZA MOGUĆNOSTI UŠTEDE ENERGIJE U TERMIČKOJ
OBRADI ČELIKA**

Rezime

U radu je data analiza problematike vezane za uštedu energije u termičkoj obradi metala. Dat je pregled mogućih puteva za smanjenje potrošnje energije u pogonima termičke obrade uz osvrt na stanje u industriji SAP Vojvodine. Na kraju rada ukazano je na dalje pravce razvoja u ovoj oblasti.

Summary

In this paper it was shown the analysis the problematics connected to energy saving in heat treatment of metals. It was given the review of possibilities for decreasing the energy consumption in heat treatment together with turning on situation in industry of SAP Vojvodina. At the end of paper it was shown the next develope in this field.

1. UVOD

Sve veće potrebe u energiji, uz relativno skroman energetski potencijal i nedostatak investicionih sredstava za izgradnju energetskih postrojenja, doprineli su da se danas energetici poklanja sve veća pažnja kod nas. Pojavila se potreba i neophodnost racionalizacije u svim fazama energetskih tokova, te se mora postaviti pitanje gde su mogućnosti ušteda energije u termičkoj obradi metala.

Svi procesi termičke obrade metala troše više ili manje energije i stoga se postavlja pitanje kako je moguće da se sa porastom primene termičke obrade metala može uštedeti energija. To je "energetski paradoks" procesa termičke obrade, jer se energija štedi ako se posmatra nacionalna ekonomija u celini, a ako se posmatra samo jedna radna organizacija tada

*) Kakaš dr Damir, dipl.ing., docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

svako širenje primene termičke obrade dovodi do dodatnih troškova energije u toj organizaciji. Ovo se može lako objasniti ako se posmatra utrošak energije neophodne za proizvodnju nekih tipičnih metalnih poluproizvoda [1]:

<u>NAZIV POLUPROIZVODA</u>	<u>UTROŠAK ENERGIJE (MJ/kg)</u>
Valjani profili	31,7
Hladno valjani profili od kvalitetnih čelika	43,4
Odlivci od čelika	27 - 50
Odkovci od kvalitetnih čelika	78,7
Ferolegure za proizvodnju kvalitetnih čelika	154

I ako se ovi podaci uporede sa energijom koja se utroši pri uobičajenim postupcima termičke obrade (kreće se u granicama 2-15 MJ/kg). To uporedjivanje pokazuje da se pri termičkoj obradi koristi oko 10% energije u odnosu na energiju koja je već prethodno utrošena pri proizvodnji metalnog polufabrikata. Ako se uzme u obzir da se termičkom obradom može uštedeti materijal na nekoliko načina:

- povećanjem njegove trajnosti u eksploataciji, gde se povećanja postižu u granicama od nekoliko desetaka procenata pa do hiljadu posto (kod najnovijih termohemijskih postupaka),
- povećanjem mehaničkih osobina materijala, pre svega čvrstoće i žilavosti, što omogućava smanjenje težine konstrukcije do 30% pa čak i više,
- mogućnošću primene materijala koji su energetski jeftiniji, odnosno primenom termičke obrade na jeftinijim ne legiranim mogu se postići iste eksploatacione karakteristike kao kod srednje ili visokolegiranih čelika za određene slučajeve primene.

Jasno je da će se primenom različitih vidova termičke obrade utrošiti određena količina energije, ali će se smanjiti potrošnja metala i time postići velika ušteda energije posmatrajući nacionalnu ekonomiju u celini.

S obzirom na stepen razvijenosti termičke obrade kod nas, može se proceniti da je utrošak energije u ovu svrhu oko 1% od ukupno proizvedene energije u Jugoslaviji. Kod razvijenih industrijskih zemalja ovaj procenat ide i do 3%. Pošto je u našoj industriji prisutna tendencija sve višeg stepena prerađivanja metala, može se očekivati ubrzani porast utroška energije za termičku obradu. Stoga je neophodno analizirati mogućnosti uštede energije u samim procesima termičke obrade. Koliko je to važan problem za zemlje sa energetske problemima, pokazuje primer Japana gde specijalni inspektori imaju zadatak da mere potrošnju energije u pojedinim uređajima i ako je utvrđeno da se troši suviše energije po jedinici proizvoda, imaju ovlašćenje da isključe taj uređaj [2].

2. MOGUĆNOSTI ŠTEDNJE ENERGIJE U TERMICKOJ OBRADI

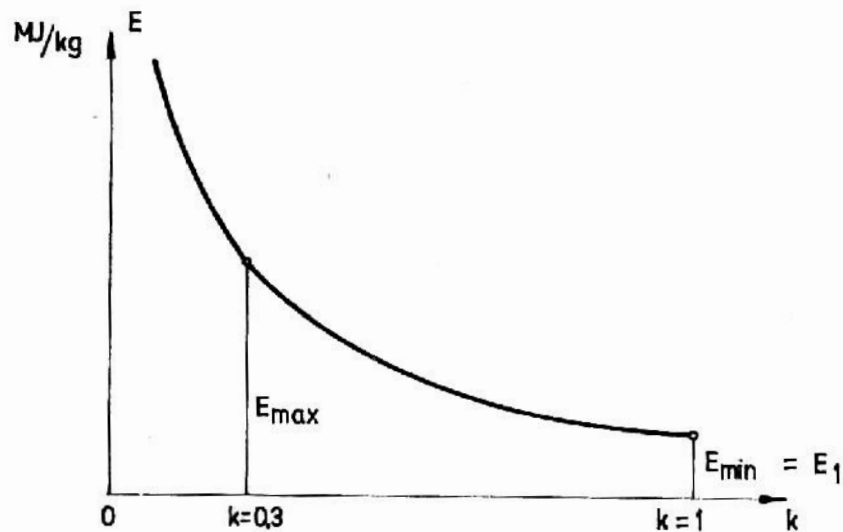
Postoje veoma raznovrsne mogućnosti štednje energije u toku termičke obrade, s obzirom na raznolikost tehnologija, opreme i materijala koji se koriste u termičkoj obradi. Jedan deo problematike vezane za smanjenje utroška energije je direktno vezan za fazu projektovanja pogona, drugi deo problema je vezan za fazu izbora optimalne varijante procesa i uslova eksploatacije, a treći deo problema je vezan za razvoj upravljanja procesima.

2.1. Problematika vezana za fazu projektovanja

U toku faze projektovanja pogona termičke obrade najviše se može uticati na izbor tehnologije, izbor opreme i izbor organizacije rada u pogonu. Kod termičke obrade metala uglavnom ne postoje jednoznačna rešenja, već je češći slučaj da se unapred zadate eksploatacione karakteristike mogu postići pomoću primene više različitih postupaka, kod kojih se javljaju različiti nivoi potrošnje proste tehnološke energije. Kao ilustrativan primer može poslužiti primer kaljenja koje se može vršiti na sledeće načine:

VRSTA POSTUPKA	UTROŠAK TEHNOLOŠKE ENERGIJE MJ/kg	
	E_{min}	E_{max}
Kaljenje laserom	0,2	2,0
Indukciono kaljenje	0,6	3,5
Kaljenje u vakuumskim pećima	4,1	5,9
Peći sa zaštitnim atm.	4,7	6,9
Sona kupatila	10,2	12,5

Sve gore navedene rezultate treba usvojiti samo kao orijentacione vrednosti koje su uzete na bazi podataka iz literature [3,4,5]. Minimalne i maksimalne vrednosti utroška energije su veoma raznolike kod jednog istog uređaja i zavise od stepena iskorišćenja opreme k (slika 1).



Slika 1.

Prema Burakowskom i dr. [6] postoji izraz koji za svaki tip procesa i za svaku vrstu opreme daje zavisnost utrošene tehnološke energije (E) od stepena iskorišćenja opreme (k) u obliku:

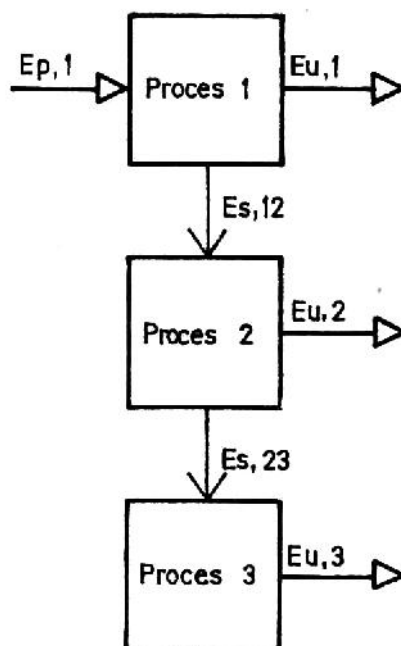
$$E = E_1 + a k^b \ln k \quad (1)$$

gde su: a - konstanta elastičnosti procesa
 b - korektivna konstanta

$E_{(1)}$ - minimalna tehnološka potrošnja energije, važi za vrednosti $k=1$.

Da bi se u fazi projektovanja mogao izabrati optimalan tip tehnologije i opreme, mora se za svaki uređaj znati vrednost funkcija $E=f(k)$. U načelu treba birati procese i opremu kod koje je $E_{(1)}$ što niže i vrednost faktora (a) što manja.

Pri izboru opreme treba imati u vidu ukupne energetske potrebe u pogonu termičke obrade. Ako bi se posmatrala samo potrošnja proste tehnološke energije, tada bi uvek peći zagrevane sa električnom energijom bile povoljnije. Kod peći zagrevanih gasovitim gorivima moguće je primeniti sistem energetskih kaskada [7] gde se otpadna energija iz glavnog procesa zagrevanja može koristiti za zadovoljavanje energetskih potreba procesa koji se odvijaju na nižim temperaturama. Na slici 2 dat je najprostiji tip tro-procesne kaskade:



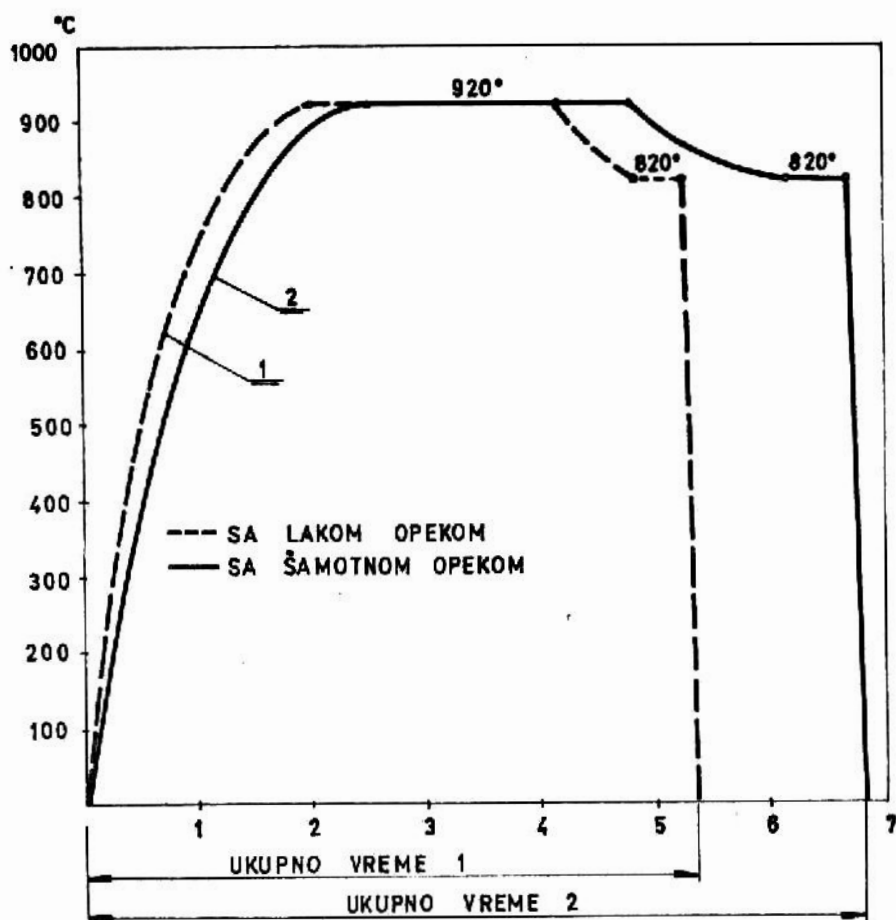
Slika 2.

gde su: E_p - primarna energija
 E_u - utrošena energija u procesu
 E_s - suficit energije.

U ovako uprošćenom primeru kaskade, ušteda energije je jednaka sumi vrednosti E_{s12} i E_{s23} . U stvarnosti su ovi procesi sa kaskadama daleko složeniji i zahtevaju složene sisteme (koji se sastoje od: izmenjivača toplote, toplotnih pumpi i toplotnih akumulatora) da bi se suvišak energije iz raznih procesa mogao koristiti u drugim procesim. Najprostiji tip izvora suviška energije su: izlazni gasovi iz peći, toplota koju zrače zidovi peći i izlazni gasovi iz endogeneratora. Najčešći slučajevi primene E_s su kod: uređaja za predgrevanje, zagrevanje fluida u mašini za pranje, grejanje vode za zagrevanje pogona. Kod velikih pogona termičke obrade, koji rade neprekidno u tri smene, primenom kaskada mogu se postići velike uštede energije, tako da tek detaljna analiza može dati odgovor koji je tip opreme u pogonu termičke obrade energetski najpovoljniji.

U cilju smanjenja utrošaka energije primenjuju se novi materijali za izradu opreme u termičkoj obradi. Kao tipičan primer može poslužiti novi tip lake izolacione obloge koja kod moderno koncipiranih peći zamenjuje klasične vatrootporne opeke. Lake izolaciona obloga se pravi presovanjem keramičkih vlakana. Ukupna težina toplotne izolacije peći se smanjuje, sa 260 kg/m^2 zida, na 30 kg po kvadratnom metru zida. Ovaj materijal omogućuje veliko smanjenje toplotne inercije peći te se mogu skratiti trajanja procesa zagrevanja i hladjenja peći, kao što je dato na slici 3 koja prikazuje proces gasne cementacije i kaljenja u komornoj peći [5]. Kod ovog primera vidi se da se pri istoj snazi i istom procesu u peći, može postići skraćenje trajanja procesa za 28%, odnosno povećati proizvodnost uređaja za 28%.

Danas konstruktori ulažu velike napore da se kod svakog pojedinačnog uređaja postigne minimizacija utrošaka energije te se stalno javljaju nova rešenja. Pre svega, treba istaći nove tipove uređaja za nitriranje, gde se koristi stanje plazme za ubrzavanje procesa. Stoga stalno treba pratiti razvoj konstruktivnih rešenja, pre nego što se opredelimo za nabavku neke opreme.



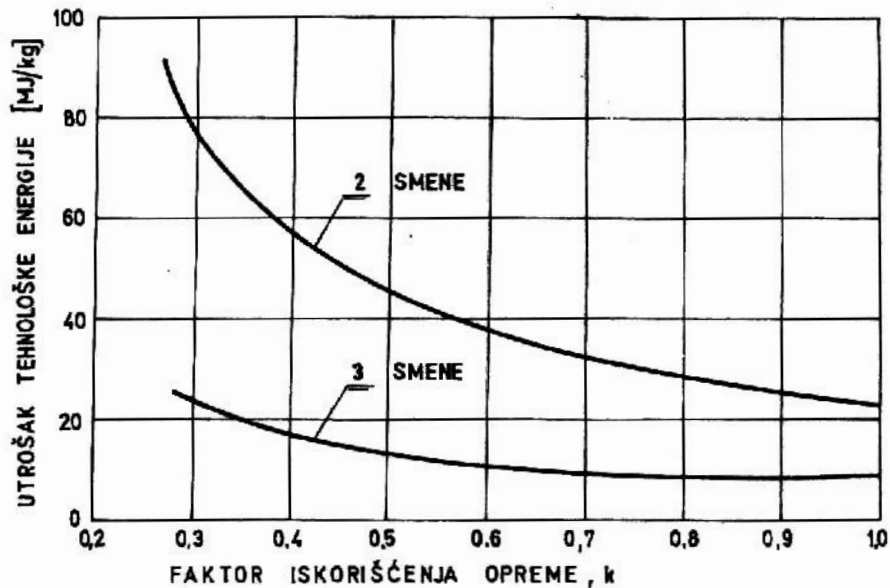
Slika 3.

2.2. Problematika vezana za fazu izbora optimalne varijante procesa i uslova eksploatacije

Ako se usvoji oprema za određeni pogon termičke obrade, ne treba prestati sa istraživanjem mogućnosti usavršavanja tehnološkog procesa. Kao klasični primer može poslužiti primer zamene procesa naknadnog kaljenja nakon naugljeničavanja sa direktnim kaljenjem odmah iza završetka naugljeničavanja. Iako se za uvođenje direktnog kaljenja moraju ispuniti neki prethodni uslovi - vrsta čelika, vrsta opreme za cementaciju - ovom varijantom procesa cementacije možemo uštedeti oko 30% energije. Isto tako uvođenjem dvostepenog procesa cementacije može se uštedeti od 10 do 40% energije [8].

Opremu treba koristiti po mogućnosti u tri smene, jer se tada najmanje gubi sa akumulisanom toplotom. Rad u dve smene

može se tolerisati izuzetno kod opreme sa malom akumulacijom toplote, na primer uređjaji za indukciono kaljenje, uređjaj za jonsko nitriranje itd. Na primer kod uređjaja za gasnu cementaciju sa direktnim kaljenjem, može se radom u tri smene smanjiti utrošak tehnološke energije za 60-70% [1], kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4.

Kod procesa indukcionog kaljenja ove uštede su znatno manje, ali ipak dostižu desetinu procenata. Ako pogon termičke obrade radi neprekidno sedam dana, umesto samo pet radnih dana u nedelji, tada se u zavisnosti od procesa mogu postići uštede i do 20%.

Posebnu pažnju treba posvetiti izboru adekvatne veličine uređjaja. Na primer, treba birati po mogućnosti što veću peć za cementaciju, ali da pri tome bude što veći faktor iskorišćenja k . Ako se dobije vrednost faktora k manja od 0,3, ne treba koristiti takav uređjaj.

2.3. Problematika vezana za razvoj upravljanja procesima

Veliki progres u oblasti elektronike omogućio je njenu široku primenu i u termičkoj obradi. U početku se najviše postiglo kod poboljšanja rada merne opreme a danas se elektronika

koristi za kompletno upravljanje procesom. Na taj način je moguće potpuno isključiti radnika i njegove greške u toku odvijanja procesa, što povišava kvalitet proizvoda i smanjuje proizvodne troškove. Međutim, danas se sve više koriste mikroprocesori snabdeveni sa matematičkim modelima procesa termičke obrade, što uz pouzdani merni i regulacioni sistem omogućuje vodjenje procesa u uređaju za termičku obradu na optimalan način za svaku pojedinu šaržu. Na taj način se takodje postižu znatne uštede u energiji te se mikroprocesori koriste već kod 70% opreme u Japanu, gde su i najstrožiji uslovi za štednju energije [9].

3. PROBLEMI ŠTEDNJE ENERGIJE U SAP VOJVODINI

U industriji SAP Vojvodine sve više se daje značaj termičkoj obradi, što je i razumljivo jer se proizvode sve složeniji proizvodi metalske struke, sa kojima se želi ravnopravno konkurisati na svetskom tržištu. U ceni tih proizvoda termička obrada ima značajan udeo pa je neophodno da se posveti pažnja istraživanju mogućnosti za smanjenje te cene, kroz smanjenje troškova za energiju.

Najveću prepreku racionalizaciji potrošnje energije u termičkoj obradi predstavlja težnja da svaka radna organizacija, pa čak i svaki OOUR (kod većih sistema) ima svoj sopstveni pogon za termičku obradu. Takve male "kalionice" ne mogu biti projektovane na optimalan način sa energetskog aspekta. Poseban problem predstavlja nabavka moderne opreme jer se ne može postići dovoljni stepen njenog iskorišćenja.

Kao mogući put za rešavanje ovih problema može poslužiti osnivanje specijalizovanih organizacija koje bi vršile samo usluge u oblasti termičke obrade. One bi npr. posmatrano sa aspekta problematike termičke obrade u SAP Vojvodini, trebalo da budu locirane u nekoliko najrazvijenijih industrijskih centara.

Prilikom projektovanja trebalo bi da se okupi tim stručnjaka različitih profila, koji bi analizirali potrebe za uslugama u pojedinim regionima i na bazi tih podataka izabrali optimalnu opremu i tehnologije za svaku specijalizovanu organizaciju posebno. Pri tome bi radne organizacije koje imaju serijsku i ekonomski (energetski) opravdanu proizvodnju u ter-

mičkoj obradi, zadržale svoj sopstveni pogon, a samo određeni deo svoje proizvodnje ustupili specijalizovanim organizacijama. U ovim specijalizovanim organizacijama bi se mogle uvoditi nove tehnologije termičke obrade, kao što su jonsko nitriranje ili titan nitriranje, daleko lakše nego do sada, jer bi se lakše postigao potreban stepen iskorišćenja opreme, koncentracija stručnog kadra za eksploataciju i održavanje uređaja. Na taj način bi se postigao veći izbor raspoloživih tehnologija i uređaja, te bi se za svaki proizvod mogla izabrati optimalna varijanta (mesto i uređaj) za termičku obradu, što bi sem uštede u energiji pomoglo unapredjenju kvaliteta proizvoda, smanjenju troškova proizvodnje i povećanju konkurentske sposobnosti metalne industrije na svetskom tržištu.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti da sadašnja energetska situacija nameće potrebu za jedan novi pristup projektovanju i eksploataciji opreme u termičkoj obradi. Smanjenje potrošnje energije može se postići uvodjenjem novih materijala, novih konstruktivnih rešenja i novih tehnologija u termičku obradu, kao i primenom upravljanja pomoću mikroprocesora. Da bi se oprema koristila na optimalan način, neophodno je da proizvođači daju projektantima podatke o minimalnoj tehnološkoj potrošnji energije ($E_{(1)}$) i konstanti elastičnosti procesa (a), kao i podatke o zavisnosti $E=f(k)$ za rad opreme, dve ili tri smene.

Mogućnost optimizacije procesa i iskorišćenja "otpadne" toplote pomoću sistema kaskada je daleko veća kod složenih i velikih sistema za termičku obradu. Stoga treba izvršiti suštinske promene u načinu rada i organizaciji pogona termičke obrade u SAP Vojvodini. Osnivanjem specijalnih "uslužnih kalionica" postigle bi se ne samo uštede energije i snižavanje troškova proizvodnje u termičkoj obradi, već bi se omogućilo lakše uvodjenje modernih tehnologija i opreme u industriju, a samim tim bi se digao i kvalitet termički obradjenih delova. Sve ovo bi imalo za posledicu veću konkurentsku sposobnost metalne industrije SAP Vojvodine na svetskom tržištu.

LITERATURA

- [1]. Sala A., Burakovski T.: Heat Treatment as One of the Stimuli of the Energy Consumption Decrease in industry, IV International Congress on Heat Treatment of Materials, Berlin 1985.
- [2]. Kanetake N.: Energy Saving in Heat Treatment, Report on Energy Savings Committee of IFHT, Berlin 1985.
- [3]. Sala A., Senkovski E.: Analiz energoemkosti processa neugle-roživanja, II International Congress on Heat Treatment of Materials, Florence 1985.
- [4]. Burakowski T., Sala A.: Energy Consumption Analysis in Heat Treatment Technologies, JUSTOM 83, Novi Sad 1983.
- [5]. Montevicchi I.: Economy-Efficiency-Energy Saving in a Modern Heat Treatment Unit, IV Inter. Congress on Heat Treatment of Materials, Berlin 1985.
- [6]. Burakowski T. i dr.: Technoligical Energy Consumption of Heat Treatment of Gears, IV Inter. Congress on HTM, Berlin 1985.
- [7]. Söderström M.F.: Energy Cascades in Heat Treatment, III Cong. on HTM, Šangaj 1983.
- [8]. Kakaš D.: O problemu intenzifikacije procesa gasne cementacije, II jugoslovenski simpozijum o termičkoj obradi metala, Struga 1978.
- [9]. Kanetake N.: Energy Saving in Heat Treatment by Computer Control, Metal and Technology, 1985, br.5.