

PRORAČUN VREMENA ZAGRIJAVANJA ČELIKA C60E U PROTOČNOJ PEĆI NA PLINSKO ZAGRIJAVANJE

HEATING-UP TIME CALCULATION OF STEEL C60E IN CONTINUOUS TYPE FURNACE ON GAS-HEATING

Dr. Nadija Haračić, vanredni profesor
Mašinski fakultet
Zenica

Zukić Anes, dipl.ing.maš.
„Termomatik“ d.o.o.
Zenica

REZIME

Određivanje vremena zagrijavanja komada u peći je zadatak ovog rada. Načini određivanja vremena zagrijavanja komada su bili analitički, numerički i eksperimentalni a zatim je rađena njihova usporedba. Osim teorijom i proračunom mnoge stvari vezane za ovu problematiku je i slikovito prikazano. Akcenat je stavljen na numeričko proračunavanje vremena zagrijavanja komada u cilju što lakšeg određivanja ovog problema i zaobilaženja analitičkog računanja koje je mukotrпно i složeno. Eksperimentalni put je sigurno u najvećem broju slučajeva najtačniji ali zahtijeva veliku pripremu za samu izvedbu.

Ključne riječi: brzina zagrijavanja, termička provodljivost, Biotov kriterij, progrijavanje

SUMMARY

Heating-up time calculation of an piece in furnace was assignment of this thesis. Calculation ways of heating-up time of piece were analitical, numerical and experimental and then their comparation was done. Beside of theory and calculation many things in linkage with this problem were shown scenically. Primary thing was numerical calculation of heating-up time of piece in purpose of easier definition of this problem and bypassing of analitical calculation which is hardly and complicately. Experimental way is surely in most number of cases with highest accuracy but requires big preparation for it.

Key words: heating-up time, thermal conductivity, Biot's criterium, thorough heating

1. UVOD

Određivanje vremena zagrijavanja komada u nekoj peći je složen proces koji zahtijeva dobro poznavanje osobina materijala koji se zagrijava kao i osnove toplotehnike i termičke obrade. Pri određivanju uslova zagrijavanja čelika, konstruktori i tehnolozi termičke obrade još uglavnom primjenjuju empirijske podatke iz raznih priručnika, kataloga proizvođača, standarda, propisa i preporuka, te rezultata iz vlastitih istraživanja i iskustava iz prakse. U ovom radu je prikazano okvirno određivanje vremena brzine zagrijavanja komada analitičkim proračunom koji je poslužio kao polazna točka za optimiziranje i tačno određivanje preko numeričke metode proračunavanja vremena zagrijavanja komada u softveru "ALGOR".

- Dimenzije svijetlog otvora peći: 1700x1330x3000 mm
- Zona predgrijavanja: 1150 mm

- Snaga peći: 1080 kW
- Produktivnost 1,2 t/h
- Broj regulacionih zona. 3
- Max. temperatura peći: 1270 °C

2. EKSPERIMENTALNI DIO

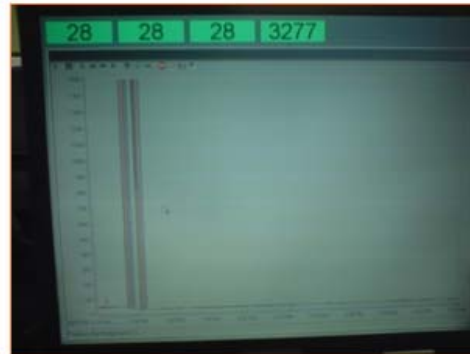
Na osnovu zahtjeva naručioca provjere progrijanosti komada u ovom radu je izvršeno ispitivanje progrijanosti čelične gredice $\square 140 \times 350$ mm u protočnoj peći. Prema podacima naručioca kvalitet dostavljenog materijala odgovara čeliku oznake C60E prema BAS EN 10083-(1,2)99. Izvršen je toplotehnički proračun tog komada analitički, numerički i sve to je upoređeno sa eksperimentom. Za izvođenje eksperimenta korištena je sljedeća oprema i aparati:

1. laptop (sa softverom WINCC koji signale dobivene sa termopara prikazuje kao temperaturu)
2. tri komada termopara Ni-NiCr (dužine po 5 m)
3. tri komada kompenzacionog kabla (dužine po 15 m)
4. PLC programabilni logički kontrolor sa analognom karticom
5. luster kleme
6. keramičko vlakno

Na tri mjesta gredice su probušene tri rupe na dubinama od po 1/3, 1/2 i 2/3 presjeka komada. U rupe se stavljaju termopari koji mogu da rade do temperature od 1250°C. Kao dodatna zaštita obavljen je dio termopara od pričvršćivača do unutrašnjosti sa keramičkim vlaknom koje je otporno na temperaturu do 1400 °C. Sa strane se buše rupe u koje se postavljaju vijci koji pričvrste termoparove za komad. Sada je komad pripremljen i spreman za ulazak u peć. Nakon što smo uvezali termopare sa softverom pojavile su se vrijednosti početne temperature komada. Takođe na donjoj slici možemo vidjeti temperaturu po zonama u peći.



Slika 1.1 Bušenje rupa sa strane za pričvršćivanje termopara



Slika 1.2 Početna temperatura komada

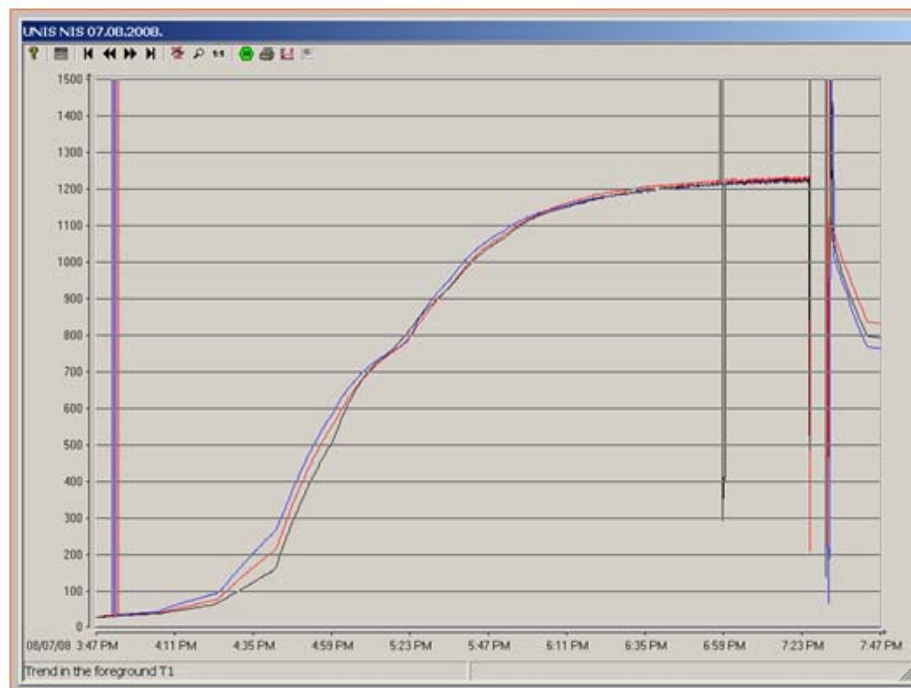


Slika 1.3 Temperatura peći gledano po zonama



Slika 1.4 Izgled komada pri izlasku iz peći

Na kraju mjerenja smo dobili dijagram mjerenja komada prilikom zagrijavanja u peći i hlađenja na čistom zraku.



Slika 1.5 Dijagram zagrijavanja i hlađenja komada

3. ANALITIČKI PRORAČUN

Najpouzdanija metoda je računanje vremena na osnovu jednačina prenosa toplote odnosno Biotovog i Fourierovog kriterijuma. U teoriji i praksi zagrijavanja razlikuju se tanka i masivna tijela. Kod tankih tijela je temperaturna razlika po debljini tako mala da se može zanemariti. To su obično tijela visoke toplinske vodljivosti i male debljine tako da im je toplinski otpor jednak nuli. Kod masivnih tijela je u procesu zagrijavanja temperaturna razlika po presjeku tijela relativno velika, to su tijela sa ograničenom provodljivošću i velikim toplinskim otporom. Činjenica je da temperaturna razlika po presjeku ne zavisi samo od debljine tijela i koeficijenta toplinske vodljivosti nego i od brzine zagrijavanja. Tijelo relativno velikih dimenzija kod polaganog zagrijavanja mogu se pojaviti temperaturne razlike koje ga svrstavaju u masivna tijela. Iz tih razloga se pripadnost masivnom ili tankom tijelu određuje pomoću kriterija Biot

$$B_i = \frac{\alpha}{\lambda} X_o$$

gdje je :

- α – koeficijent prelaza topline na tijelo (W/m²K),
- X_o – računski debljina tijela (m),
- λ – koeficijent provođenja toplote (W/mK) .

Ako je $B_i \leq 0,25$ tijelo se svrstava u tanka, a ako je $B_i \geq 0,5$ tijelo je masivno. Područje između ove dvije vrijednosti naziva se prelazno područje. Nakon svrstavanja tijela odredimo mu trajanje zagrijavanja prema tome kakav mu je oblik tijela. Pošto rješenja postoje samo za tijela prostijeg oblika (ploča, cilindar, kugla) potrebno je stvarni oblik tijela zamijeniti najbližim

prostim oblikom tijela jednakog po masi. U našem slučaju gredicu možemo smatrati pločom sa odgovarajućom ekvivalentnom debljinom gdje je $X_o=0,07m$. Za komad koji ulazi u peć uzet ćemo da ima srednju temperaturu $200^{\circ}C$ jer provodi određeno vrijeme ispred peći prije ulaska i tu mu se diže temperatura sa početne na onu koja djeluje kroz ulazna vrata potisne peći. Na kraju ćemo sabrati vrijeme koje provede prije ulaska u peć i ono koje provede u peći.

$$B_i = \frac{\alpha}{\lambda} X_o = \frac{130}{45} \cdot 0,07 = 0,202 \leq 0,25$$

$$\tau_1 = \frac{X_o \cdot \rho \cdot c}{K_1 \cdot \alpha} \ln \frac{T_{peć} - T_{poč}}{T_{peć} - T_{kon}} = \frac{0,07 \cdot 7870 \cdot 473}{1 \cdot 130} \ln \frac{1236 - 200}{1236 - 1230} = 10300s = 170 \text{ min}$$

gdje je : $\rho = 7850kg / m^3$ - specifična gustoća čelika

$X_o = 0,07m$ - debljina dvostrano zagrijavane ploče (gredice)

$K_1=1$ - koeficijent mase za dvostrano zagrijavanu ploču (gredicu u našem slučaju)

$c = 0,460kJ / kgK$ - specifična toplota čelika

$\alpha = 130W / m^2 K$ - cjelokupni koeficijent prelaza toplote dobiven računanjem

$T_{peć} = 1236^{\circ}C$ - temperatura peći

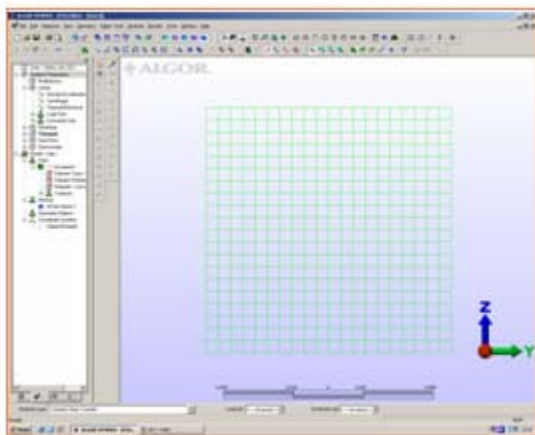
$T_{poč} = 200^{\circ}C$ - temperatura gredice prilikom ulaska u peć

$T_{kon} = 1230^{\circ}C$ - temperatura komada koja se treba dostignuti

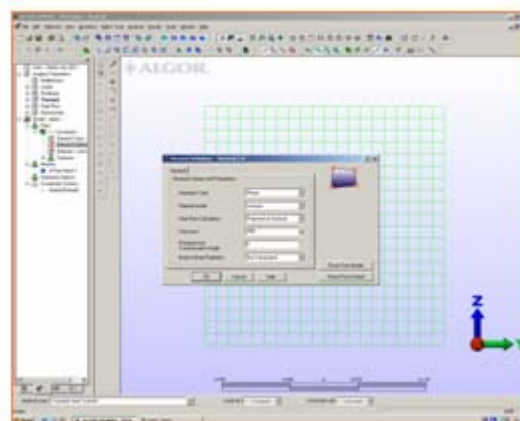
Opisani režim zagrijavanja se u praksi ostvaruje na taj način da se u toplu peć sa konstantnom temperaturom uloži tijelo i zatim zagrijava. Najveća razlika između temperature peći i površine tijela je u početnom momentu. Ta razlika stvara veliku toplinsku struju na površinu tijela, veliku brzinu zagrijavanja i brz porast temperature. U toku procesa temperaturna razlika peći i uloška se smanjuje i porast temperature tijela usporava. Tijelo se zagrijava sve manjom toplinskom strujom uz stalno usporavanje brzine zagrijavanja, temperatura tijela se asimptotski približava temperaturi peći, slijevajući se s njom pri $\tau=\infty$.

3. NUMERIČKI PRORAČUN

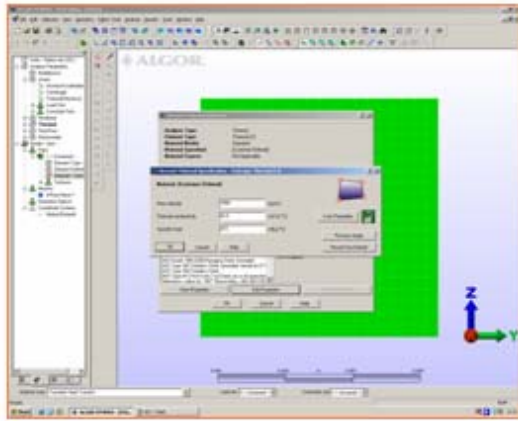
Računanje vremena zagrijavanja izvedeno analitičkim putem može biti provjereno i optimizirano numeričkim putem. Za tu svrhu je u softveru ALGOR izvedena termička analiza ovog komada Slijedećim slikama će biti prikazan dio postupka numeričke analize kojim dobivamo rezultate progrijanosti po presjeku komada u zavisnosti od promjene temperature peći u jedinici vremena.



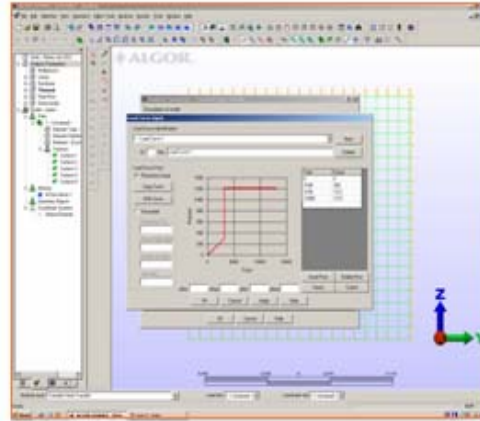
Slika 3.1 Nacrtan presjek komada



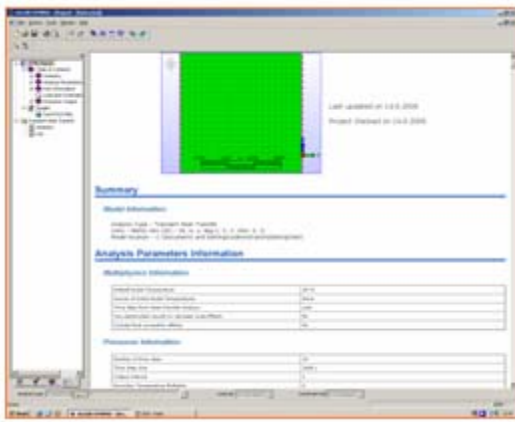
Slika 3.2 Definisiranje parametara



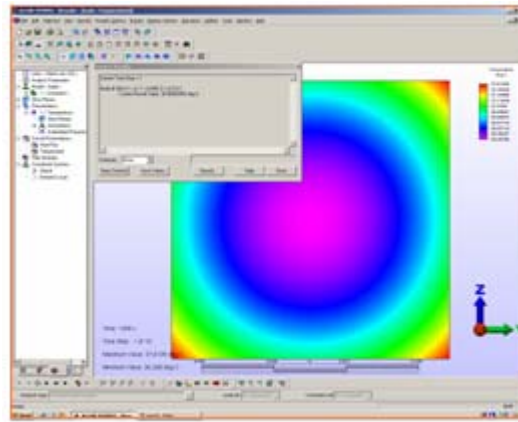
Slika 3.3 Odabir materijala



Slika 3.4 Promjena temperature u vremenu



Slika 3.5 Izvještaj o urađenoj analizi u računaru



Slika 3.6 Vrijednost u nekoj tački presjeka

5. DISKUSIJA REZULTATA MJERENJA TEMPERATURE

Sada ćemo uporediti rezultate dobivene analizom u softveru ALGOR i one dobivene eksperimentalnim mjerenjem.

Tabela 1. Vrijednosti temperatura tokom vremena dobivene u ALGORU i eksperimentom

| Vrijeme (s) | ALGOR (°C) | Eksperiment (°C) | GREŠKA $\frac{ALGOR - Eksperiment}{Eksperiment} \cdot 100$ (%) |
|-------------|------------|------------------|--|
| 1308 | 35 | 56 | -37,5 |
| 2616 | 105 | 159 | -33,96 |
| 3924 | 370 | 477 | -37,1 |
| 5232 | 705 | 779 | -9,5 |
| 6540 | 1005 | 1044 | -3,73 |
| 7848 | 1078 | 1119 | -3,66 |
| 9156 | 1127 | 1182 | -4,65 |
| 10464 | 1175 | 1211 | -2,97 |
| 11772 | 1223 | 1225 | -0,163 |
| 13080 | 1228 | 1230 | -0,162 |

Kao što vidimo iz tabele 1. isprva su razlike između rezultata veće što se može objasniti time da nismo mogli baš tačno pretpostaviti kolika je temperatura ispred ulaza u peć kad smo zadavali vrijednost u ALGORU. Komad se primiće s početka ulaza do pred sam ulaz pa mu se mijenja i uticaj temperature preko zračenja. Ali već kasnije možemo da vidimo da odstupanja nisu toliko velika. Takođe ako pogledamo vrijeme hlađenja u ALGORU i na dijagramu možemo da vidimo da nema većih odstupanja.

4. ZAKLJUČCI

1. Određivanje vremena zagrijavanja i dokazivanje progrijanosti komada kao što smo vidjeli može se vršiti na mnogo načina. Za okvirno određivanje vremena i brzine zagrijavanja komada koristimo analitički proračun koji nam je polazna tačka za optimiziranje i tačno izračunavanje preko numeričke metode. Kao potvrda svih proračuna i simulacija dolazi eksperimentalni dio.

2. Tačnost određivanja zavisi i od dobrog poznavanja toplotehnike i materijala koji se zagrijavaju kao i način njihovog zagrijavanja. Ovo je posebno važno jer komadi prilikom zagrijavanja i hlađenja usljed nepovoljnog termičkog režima mogu usljed napona puknuti i zavisno od njihove veličine i materijala i šteta može biti veća. Ako se komad progrijava više vremena nego što je predviđeno može nastati grubozrnasta struktura koja slabi žilavost materijala. Zbog toga se akcenat stavlja na dobrom poznavanju teorije toplotehničkih procesa a potrebno je imati i mnogo iskustva u praksi.

3. Pored svih gore navedenih razloga mi možemo numeričkom metodom optimizirati vrijeme zagrijavanja u cilju smanjenja potrošnje energije i vremena potrebnog za termički tretman a samim tim povećanjem produktivnosti i ekonomičnosti. To je pogotovo danas neophodno zbog velike cijene energenata i njenog stalnog rasta.

5. LITERATURA:

- [1] Hadžipašić A.: Termička obrada metalnih konstrukcija, Zenica 2006.
- [2] Hadžipašić A.: Materijali u mašinstvu, Zenica 2000.
- [3] Begovac F. : Osobine čelika, Zenica 2000.
- [4] Haračić N. : Cementacija čelika za zupčanike mjenjača, Zenica 2003.
- [5] Pašić Z. :
- [6] Hadžihasić E. : BH čelik, vrste i karakteristike čelika za kovane i valjane proizvode
- [7] prema svjetskim standardima, Zenica 1999.
- [8] Jurida S. : Toplotehnika u metalurgiji (I i II), Zenica 1984
- [9] Pantelić I.: Tehnologija termičke obrade čelika (I i II)
- [10] Vidojević N.: Termička obrada metala
- [11] Brunklaus J.H. : Industrieofenbau
- [12] Werner H. : Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen
- [13] Skupina autora: Heat transfer from flames
- [14] D.B. Spalding i N.H. Afgan : Heat and mass transfer in metallurgical systems
- [15] Stjepović B.: Nauka o toploti
- [16] Routschka G.: Feuerfeste Werkstoffe (Taschenbuch, 2. Auflage)