

Kvalitetnejša toplotna obdelava izdelkov iz utopnih jekel

UDK: 669.14.018.456.2 : 621.78

ASM/SLA: TS J

Franč Uranc

Medtem ko so temperature posameznih faz toplotne obdelave navadno natančno določene s predpisi, ni tako tudi s časi. Čas ogrevanja je treba sproti predpisovati glede na velikost in obliko izdelkov, ki jih mislimo toplotno obdelati.

Težave lahko nastanejo tudi pri predpisovanju popuščnih temperatur, ki dokončno določajo trdnost in žilavost izdelka. Kadar je dopustno kaljenje v različnih ohlajevalnih sredstvih, imamo še eno neznanko toplotne obdelave več.

Na primeru izdelkov iz utopnih jekel smo prikazali vpliv dejavnikov toplotne obdelave in dimenzij ter oblik izdelkov na končno trdoto. Raziskali smo vse možne vzročne zveze in podali ustrezne korelacijske koeficiente. Podajamo tudi kratek pregled pomena velikosti korelacijskega koeficienta.

UVOD

Računalniška tehnika nam omogoča natančno in objektivno ovrednotiti kupe izkustvenih podatkov, ki jih drugače zaradi nepreglednosti ne bi mogli uporabiti za sistematsko izboljšavo tehnoloških postopkov.

Pri nas smo se lotili med drugim tudi statistične obdelave in računalniškega izračuna obstoječih predpisov toplotne obdelave. Ena od ožjih nalog s tega področja je izpopolnjevanje tehnologije toplotne obdelave vseh izdelkov iz utopnih jekel Utop Mo 1 (Č 4751) in Utop extra 2 (Č 5742). S primerno razvrstitvijo zbranih podatkov smo lahko analizirali pomembnost posameznih stopenj toplotne obdelave, oziroma dimenzij ter oblike izdelkov iz posameznih jekel. Računalnik nam je povedal, kako lahko še pripomoremo h kvalitetnejši, natančnejši toplotni obdelavi, katere pogoje moramo še natančneje predpisati, oziroma katere predpise moramo vestneje upoštevati kot do zdaj.

V kratkem prikazujemo logični postopek, ki privede po preprosti poti do tako koristnih sklepov.

1. Glavni vplivni dejavniki toplotne obdelave

Predpostavili smo, da so peči, v katerih ogrevamo izdelke za kaljenje in popuščanje, zadosti podobne med seboj in jih ni treba posebej upoštevati. Iz množice podatkov o toplotni obdelavi utopov, trnov, puš, recipientov smo najprej izbrali

tiste, ki občutno vplivajo na mehanske lastnosti izdelkov. Gotovo vplivajo na strukturo in lastnosti orodij temperature in časi ogrevanja ter popuščanja. Vpliv toplotne obdelave pa je določen z načinom, kako so izdelki vloženi v peč, kako veliki so in kakšno obliko imajo. Upoštevati moramo razlike, ki nastanejo, če smo predgrevali v eni ali v več stopnjah, popuščali enkrat ali večkrat. Da bi zajeli v računih vse te razlike, smo podatke o toplotni obdelavi, katere rezultati so nam že znani, primerno uredili.

2. Urejanje podatkov

Vse podatke, ki veljajo za toplotno obdelavo v globinskih pečeh, smo klasificirali po naslednjih kriterijih:

a) Vrsta jekla: Utop Mo 1, Utop extra 2, Utop extra 1.

b) Vrsta izdelka (oblika): trni, polni bati, recipienti, puše, utopni bloki.

c) Število izdelkov, ki so hkrati v peči — to je navadno določeno s težo odkovka, toda nujno ni.

d) Teže odkovkov — v glavnem so teže v analizi zajetih izdelkov do 1000 kg, zato težjih, ki so v manjših serijah, nismo obravnavali.

e) Kalilno sredstvo: zrak, komprimiran zrak, olje.

f) Podajanje, navajanje rezultirajočih trdot v istih enotah. Odločili smo se za enote HB.

3. Obdelava podatkov

Na osnovi zbranih podatkov smo izračunali regresije za statistični nivo 90 %. Glede na višino izračunanih vrednosti razmerja varianc F lahko določimo višino nivoja pomembnosti regresijskih enačb. Prostostne stopnje so 1 in $(n-1)$, pri čemer je število podatkov v eni koloni označeno z n .

Regresije smo računali tako, da smo upoštevali vse spremenljivke do druge stopnje in poleg tega določali tudi vplive naslednjih interakcij: teža odkovka in čas na kalilni temperaturi, zunanje mere izdelka in čas ogrevanja na kalilni temperaturi, interakcije teže in dimenzij izdelkov s časom in temperaturo popuščanja, interakcija časa ogrevanja na kalilni temperaturi in popuščne temperature. Število interakcij, ki bi se lahko še upravičeno upoštevale, je še večje, toda ne moremo si privoščiti velikega računa, če nimamo zelo veliko zbranih podatkov o toplotni obdelavi.

Kot smo pri naših računih ugotovili, so bile vse te domnevne interakcije malo pomembne.

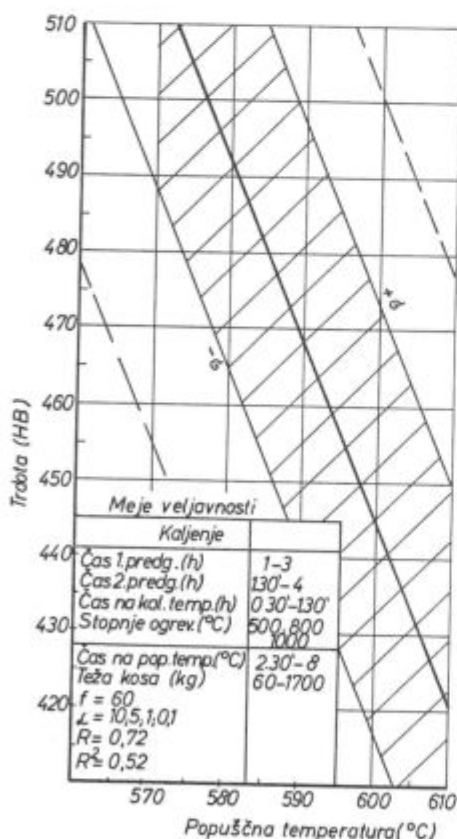
Franč Uranc, dipl. ing. metalurgije, raziskovalec v Železarni Ravne

To je razumljivo, saj imamo veliko možnosti variacij toplotne obdelave že, če spreminjamo popuščne temperature ter kalilna sredstva.

Rezultat računalniške obdelave je ugotovljena regresijska odvisnost trdote od popuščne temperature. Bolj poredko smo ugotovili regresijsko odvisnost trdote od dimenzij izdelka, kar je normalno, saj ta odvisnost tudi ni želena, temveč je samo posledica učinka mase in se pojavlja predvsem pri utopih, ki so kaljeni s komprimiranim zrakom.

V diagrame, ki predpisujejo toplotno obdelavo, smo vrisali pasove, znotraj katerih nastopa 68 % vseh vrednosti trdot. Takšno območje vrednosti imenujemo sigma pas. Ta je ožji za izdelke, ki jih kalimo na mirnem zraku, kot za tiste, ki jih kalimo s komprimiranim zrakom. (sl. 1 in sl. 2). Z izračuni smo dobili koeficiente determinacije, ki so tudi podani v diagramih. Koeficient determinacije r^2 pove, kakšna je trdnost povezave med neodvisno in odvisno spremenljivko. Ta koeficient je dejansko razmerje med raztrosom ali varianco, ki je odstranjena z variacijo in varianco izvirnih podatkov. Ta raztros imenujemo σ^2 .

$$r^2 = \frac{\sum \hat{y}^2}{\sum y^2}$$

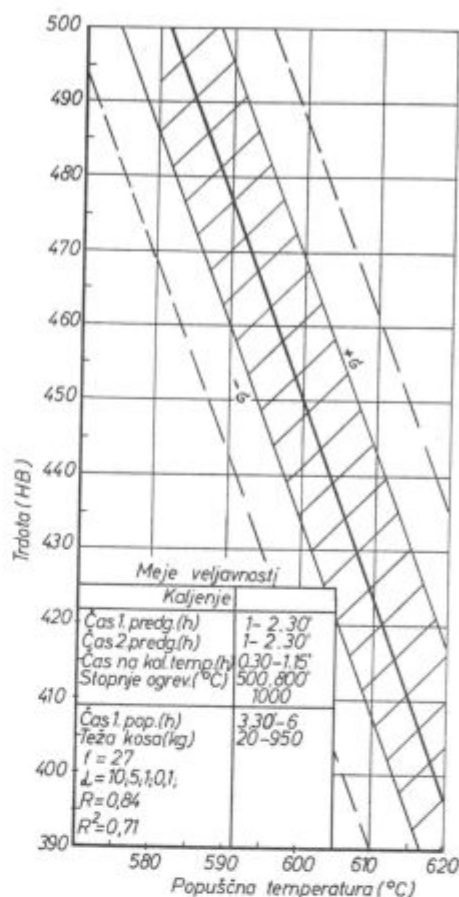


Slika 1

Toplotna obdelava trnov, polnih batov, puš in recipientov. Kaljenje s komprimiranim zrakom.

Fig. 1

Heat treatment of mandrills, massive pistons, bushes, and recipients. Quenched by compressed air.



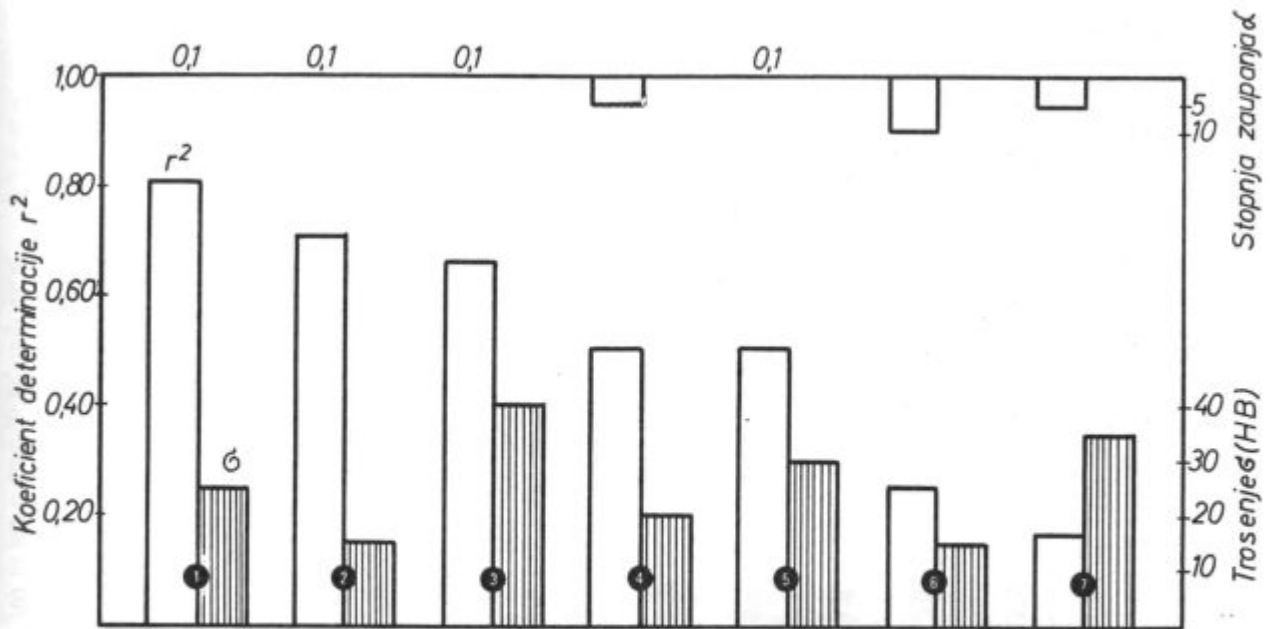
Slika 2

Toplotna obdelava trnov, polnih batov, puš in recipientov. Kaljenje na mirnem zraku.

Fig. 2

Heat treatment of mandrills, massive pistons, bushes and recipients. Quenched in air.

Korelacijski koeficient pove, kolikšen delež variacij je pojasnjen z regresijsko krivuljo. Diagram kaže samo korelacijsko krivuljo in je opremljen s korelacijskim koeficientom ali pa lahko kaže delež pojasnenih vrednosti, torej popolnost prilaganja krivulje resničnim podatkom. Na slikah vidimo poleg označenih prostostnih stopenj f tudi korelacijske koeficiente, ki so označeni z R . Da bi lažje razumeli podatke tabele in diagramov, si predstavljajmo pri korelacijskem koeficientu $R = 0,3$ ali manj, da ne obstaja pomembna odvisnost med spremenljivkami. Če je ta koeficient med $0,5$ in $0,7$ je zveza pomembna, pri $0,7$ do $0,9$ je tesna in nad $0,9$ je zelo tesna, skoraj funkcijska povezava, med obravnavanimi spremenljivkami. Natančnejše formulacije pa povedo, kakšen je ta koeficient, če ni korelacijske zveze. Če ni nikakršne korelacije, je za verjetnostno raven $0,10$ (to je 10%) in prostostno stopnjo 20 korelacijski koeficient lahko do $0,36$, za prostostno stopnjo 50 pa $0,23$. Za verjetnostno raven $0,05$ pa je pri prostostni stopnji 20 koeficient samo $0,42$ in za prostostno stopnjo 50 samo $0,27$. Torej je v tem primeru samo $0,05$ možnosti, da se pojavi korelacijski koeficient,



Slika 3

Fig. 3

Raztros trdot in trdnost korelacijske zveze med trdoto in popuščno temperaturo.

1. — Puše in recipienti kaljeni na mirnem zraku.
2. — Trni, bati, puše in recipienti kaljeni na mirnem zraku.
3. — Puše in recipienti kaljeni s komprimiranim zrakom.
4. — Trni in polni bati kaljeni na mirnem zraku.
5. — Trni, bati, puše in recipienti kaljeni s komprimiranim zrakom.
6. — Trni in bati kaljeni s komprimiranim zrakom.
7. — Utopi in puše kaljeni s komprimiranim zrakom.

Scattering of hardness data and correlation between the hardness and the temperature of tempering.

- 1 — Bushes and recipients quenched in air
- 2 — Mandrills, pistons, bushes and recipients quenched in air
- 3 — Bushes and recipients quenched by compressed air
- 4 — Mandrills and massive pistons, quenched in air
- 5 — Mandrills pistons, bushes, and recipients quenched by compressed air
- 6 — Mandrills and pistons quenched by compressed air
- 7 — Dies and bushes quenched by compressed air

ki bo večji od 0,27. Iz teh podatkov lahko sklepamo o pomembnosti naših vrednosti pri danih označenih prostostnih stopnjah in verjetnostnih ravneh. Verjetnostno raven, ki primerja dejansko porazdelitev podatkov s popolnoma naključno porazdelitvijo, opišemo s količnikom α . Če je ta količnik 10 % (ali 0,10), pomeni to, da je pomembnost korelacijske zveze na ravni 90 %.

Pri naših raziskavah smo ugotovili povsod pri visokem verjetnostnem nivoju in dovolj številnih prostostnih stopnjah tesno korelacijsko zvezo, saj je tudi pri verjetnosti 0,1 korelacijski koeficient nad 0,23. Zato lahko rečemo, da v danem območju raziskav zanesljivo obstajajo korelacijske zveze.

Slika 3 prikazuje statistična merila zanesljivosti toplotne obdelave obravnavanih izdelkov.

SKLEPI

Z analizami smo ugotovili nepravilnosti kot tudi pravilnosti pri toplotni obdelavi naših utopnih jekel. Ker nismo ugotovili odvisnosti trdote od časov ogrevanj na kalilni temperaturi in tudi ne od časov popuščanj, smo lahko samo zadovoljni.

Lahko da so ti časi nekoliko predolgi, toda smo varni, kar je za prvo analizo ugodno. Daleč najpomembnejša neodvisna spremenljivka je popuščna temperatura. Precej rahla korelacijska povezava pa lahko pomeni, da:

1. popuščanje še ni zadosti natančno predpisano,
2. predpisov ne upoštevamo tako vestno, kot bi jih lahko,
3. morda preveč dejavnikov medsebojno vpliva, tako da tega z obstoječim številom podatkov ne moremo iz vrednotiti.

Računi jasno pokažejo, da dobimo enakomernje rezultirajoče trdote po kaljenju na mirnem zraku kot po kaljenju s komprimiranim zrakom. V prvem primeru nastopajo večji koeficient determinacije in manjši standardni odkloni.

Vpliv dimenzij in oblik izdelkov ni pomemben, saj lahko izračunamo skupne krivulje za različne izdelke, ki so iz enakega jekla in kaljeni v istem kalilnem sredstvu. Odvisnost trdote je podobna pri manjših in večjih, pri okroglastih in oglatih izdelkih vsaj od popuščne temperature, če že ne od drugih pogojev toplotne obdelave.

Tabela: Trdnost korelacijske povezave med pogoji toplotne obdelave in končno trdoto

Izdelek	Teža (kg)	Jeklo	Kaljenje				Popušč. temp. (°C)	Čas 1. pop. (h)	Odvisnost	Koef. deter. r^2	Štev. prost. stopenj
			1. predgr.	2. predg.	Čas ogrevanja (h)	na kalil. temper.					
Puše, recipient	7—1700	Utop Mo 1	1 do 3	1 do 3,5	0,5 do 1,5		570—610	2,5—8	Trdota — pop. temp.	0,66	39
Puše, recipient	150—950	Utop Mo 1	1,5 do 2,5	2 do 2,5	1 do 1,25		570—620	3,5—6	Trdota — pop. temp.	0,81	18
Trni, polni bati	60—850	Utop Mo 1	1 do 3	1,5 do 4	0,5 do 1,5		570—600	3—7	Trdota — pop. temp.	0,17	21
Trni, polni bati	20—360	Utop Mo 1	1 do 2,5	1 do 2,5	0,5 do 1,25		590—615	4—6	Trdota — pop. temp.	0,51	9
Trni, bati, puše recipienti	60—1700	Utop Mo 1	1 do 3	1,5 do 4	0,5 do 1,5		570—610	2,5—8	Trdota — pop. temp.	0,52	60
Trni, bati, puše recipienti	20—950	Utop Mo 1	1 do 2,5	1 do 2,5	0,5 do 1,25		580—620	3,5—6	Trdota — pop. temp.	0,71	27
Utopi	50—1850	Utop ex. 2	1 do 3	2,5 do 4,5	1 do 2,5		560—670	3—12	Trdota — mera	0,31	98
Utopi in puše	50—1850	Utop ex. 2	1 do 3		1 do 2,5		550—670	3—12	Trdota — pop. temp.	0,25	107
Utopi	240—1400	Utop ex. 2	2 do 3		1,5 do 2		580—640	7—10	Trd.-čas 2. pop.	0,21	18
Utopi	60—1500	Utop ex. 2	1 do 3	2 do 3	1 do 1,5		560—580	4—8	Trd.-čas 1. pop.	0,51	12
Utopi	500—1300	Utop ex. 1					650	7—10	Trd.-čas 2. pop.	0,35	9

Opomba: Na kalilno temperaturo se ogreva preko stopenj na 500, 800 in 1000° (izdelki iz Utop Mo 1) oz. 500, 700 in 890° C (izdelki iz Utop ex. 2)

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird der Einfluss verschiedener Einflussfaktoren, der Wärmebehandlung, der Grösse und der Form der Erzeugnisse aus Gesenkstahl auf die Härte dieser Erzeugnisse dargestellt. Für die gegebene Betriebspraxis ist mittels der mathematisch statistischen Analyse und durch die Bestimmung der Korrelationskoeffiziente festgestellt

worden, dass die Härte nur von der Anlasstemperatur beeinflusst wird und dass deren Einfluss nicht vollkommen bestimmt ist. Diese Unbestimmtheit kann von den subjektiven wie von den objektiven Einflüssen abhängig sein.

SUMMARY

Influence of various parameters of heat treatment, and of the size and the shape of the steel products on their hardness is presented in the paper. The normal production program was analyzed statistically. The calculated correlation coefficients showed that only the temperature

of tempering influences the hardness but its influence is not clearly defined. Undeterminable relationships may be caused by subjective and objective conditions in the heat treatment.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены разные влияния, которые оказывает термическая обработка и форма изделий из штамповочных сталей на твердость этих изделий. На примере из промышленной практики с точным статистическим анализом и исчислением коэффи-

циентов корреляции определено, что на твердость изделия влияет только темп-ра отпуска и, что это влияние пока еще недостаточно выяснено. Выяснение не выполнено вследствие субъективных и объективных влияний термической обработки.