

UDK 621.95.01

Vpliv topotne obdelave na obdelovalnost materialov pri vrtanju

ADOLF ŠOSTAR — FRANC ČUŠ

1. UVOD

Uporabnika konstrukcijskih jekel zanimajo le mehanske lastnosti materiala, ki imajo nedvomno pomemben vpliv na njegovo obdelovalnost. Zadali smo si nalogu ugotoviti, kako vpliva pri konstrukcijskih jeklih za poboljšanje topotna obdelava na njihovo obdelovalnost pri vrtanju, saj je vrtanje pogost postopek odrezovanja v orodjarnah in pri izdelavi strojnih delov.

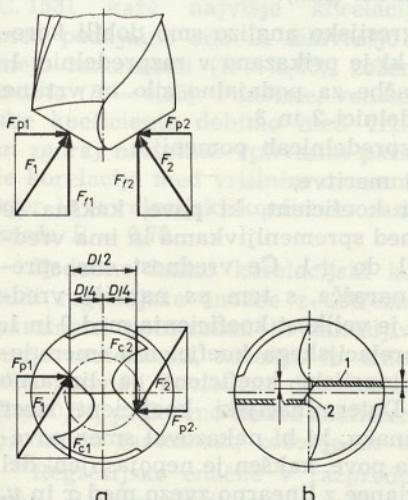
2. PREIZKUSI VRTANJA

2.1. Izbera materiala

Odločili smo se za skupino jekel za poboljšanje. To so nelegirana in legirana jekla, ki imajo od 0,22 do 0,6% C. Da bi jim izboljšali lastnosti, jih normalno kalimo in visoko popuščamo, s čimer dosežemo dobro kombinacijo trdnosti in žilavosti. V raziskavo smo vključili naslednja jekla: Č.1530, Č.4131, Č.4732, Č.5430, itd. (pridobiva jih Železarna Ravne). Njihova kemijska sestava in mehanske lastnosti so predpisane s standardom JUS C.B9.021/74.

2.2. Stroj, orodje, merilne naprave

- Vrtali smo na vrtalnem stroju FW 400-V.
- Orodje je bil vijačni sveder Ø 20 mm, izdelovalec »Fabrika rezogn alata« Čačak, označba po standardu JUS KD.3022, trdota 64 ... 65 HRC.
- Sile in momente smo merili na dvokomponentni merilni plošči TIP 9721 A tovarne Kiestler.
- Vsi preizkusi so bili opravljeni v LAOP — VTŠ Maribor.



Sl. 1. Rezalne sile pri vrtanju a in obraba na prosti ploskvi vijačnega svedra b

Kot označujeta obrabni rob na glavnem rezalnem robu 1 in prečnem rezalnem robu 2

2.3. Rezultati preizkusov

Veličine, ki smo jih merili:

- podajalna sila F_f (N), slika 1
- vrtilni moment pri vrtanju T (Nm)
- obraba na prosti ploskvi VB (mm), slika 1 [1, 2, 3].

Veličine, ki smo jih izbrali in spreminali, so:

- rezalna hitrost v_e (m/min)
- podajanje f (mm/vrt)
- enak material — različna topotna obdelava.

Razpredelnica vrtilnih hitrosti n (vrt/min) in podajanj f (mm/vrt)

n	28	35,5	45	56	71	90	112	140	180
	224	280	355	450	560	710	900	1120	1400

f	0,09	0,12	0,15	0,19	0,24	0,30	0,37	0,47	0,60
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

2.4. Analiza preizkusov

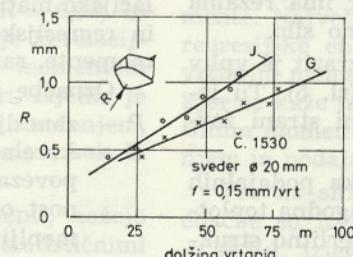
Z regresijsko analizo [4] smo obdelali dobljene rezultate in poiskali naslednje odvisnosti:

- odvisnost podajalne sile in vrtilnega momenta od velikosti podajanja,
- odvisnost podajalne sile in vrtilnega momenta od rezalne hitrosti,
- odvisnost podajalne sile in vrtilnega momenta od obrabe orodja.

Dobljene vrednosti prikazujeta sliki 4 in 5.

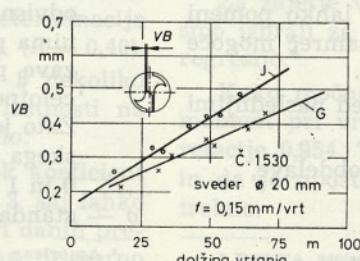
Odvisnost obrabe VB in zaokrožine R roba svedra prikazujejo slike 1 do 3.

S slik 4 in 5 je razvidno, da ima topotna obdelava močan vpliv na soodvisnost med rezalno



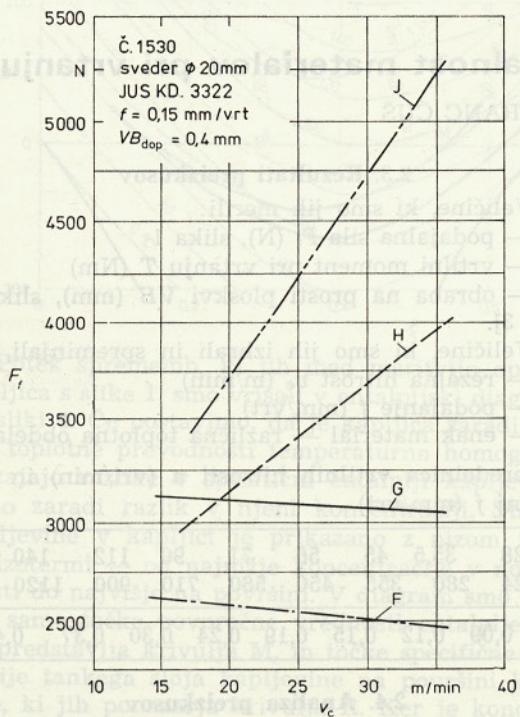
Sl. 2. Obraba stranskega roba svedra R v odvisnosti od dolžine vrtanja

J — poboljšano, G — žarjeno na fehitno perlito strukturo



Sl. 3. Cbrabni rob VB v odvisnosti od dolžine vrtanja

J — poboljšano, G — žarjeno na fehitno perlito strukturo



Sl. 4. Podajalna sila F_f v odvisnosti od rezalne hitrosti v_c pri različnih topotnih obdelavah
F — žarjeno na 100 % kroglasti perlit, G — žarjeno na feritno perlitno strukturo, H — poboljšano, J — poboljšano (po JUS C.B9.021)

hitrostjo in podajalno silo pri konstantnem podajanju in konstantni geometrijski obliki orodja.

Pri vrtanju jekla s 100 % kroglastim perlitom (topotna obdelava \mathcal{F}) in feritno in perlitno strukturo (topotna obdelava \mathcal{G}) so podajalne sile bistveno manjše in praktično neodvisne od rezalne hitrosti.

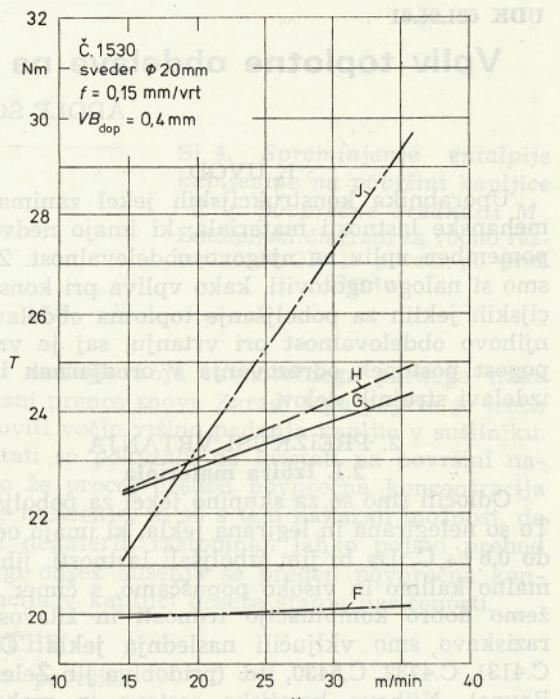
Povsem drugače pa je, če so jekla poboljšana (topotna obdelava \mathcal{H} in \mathcal{J}), kjer ima rezalna hitrost zelo močan vpliv na podajalno silo.

Podoben, vendar nekoliko manj izrazit je vpliv rezalne hitrosti na vrtilni moment (sl. 5). Tu izstopata dve topotni obdelavi: na eni strani žarjenje, na drugi strani poboljšanje.

Za obdelovalnost, gledano z vidika podajalnih sil in vrtilnih momentov, je najbolj ugodna topotna obdelava žarjenje na feritno in perlitno strukturo \mathcal{G} . Sklepamo, da je za obdelovance iz konstrukcijskih jekel, poleg nateznih trdnosti in drugih mehanskih lastnosti zelo pomembna tudi vrsta strukture. S primerno strukturo, ki lahko pomeni tudi cenejšo topotno obdelavo, je namreč mogoče doseči do 50 % boljšo obdelovalnost.

Nadalje nas je zanimala zveza med naslednjimi spremenljivkami:

- x_1 — numerična označba topotne obdelave,
- x_2 — udarna žilavost (J),
- x_3 — natezna trdnost R_m (N/mm^2),
- x_4 — meja razteznosti R_e (N/mm^2),



Sl. 5. Vrtilni moment T v odvisnosti od rezalne hitrosti v_c pri različnih topotnih obdelavah
F — žarjeno na 100 % kroglasti perlit, G — žarjeno na feritno perlitno strukturo, H — poboljšano, J — poboljšano (po JUS C.B9.021)

- x_5 — raztezek A (%),
- x_6 — zoženje Z (%),
- x_7 — velikost avstenitnega zrna po ASTM¹,
- x_8 — trdota po Brinellu,
- x_9 — rezalna hitrost v_c (m/min),
- x_{10} — podajalna sila (N),
- x_{11} — vrtilni moment (Nm).

Z linearno regresijsko analizo smo dobili korelacijsko matriko, ki je prikazana v razpredelnici 1, in regresijske enačbe za podajalno silo in vrtilne momente, razpredelnici 2 in 3.

Označbe v razpredelnicah pomenijo:

- P — zanesljivost meritve,
- R — korelacijski koeficient, ki pove, kakšna je povezava med spremenljivkama in ima vrednost od -1 do $+1$. Če vrednost ene spremenljivke narašča, s tem pa narašča vrednost druge, je velikost koeficiente med 0 in 1.
- R^2 — kvadrat korelacijskega koeficiente imenujemo determinacijski koeficient za linearno odvisnost. Determinacijski koeficient sicer nima predznaka, ki bi nakazoval smer povezave, pač pa pove, kakšen je nepojasnjeni del celotne variance z linearno zvezo med x in y . Zato je analitično pomembnejši od korelacijskega koeficiente. Njegove vrednosti so med 0 in 1 [5].
- σ — standardni odklon.

¹ American Standard of materials

Razpredelnica 1: Korelacijska matrika za jeklo Č. 1530

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,0000										
2	0,8683	1,0000									
3	0,9777	0,7452	1,0000								
4	0,9923	0,8890	0,9607	1,0000							
5	-0,9135	-0,5986	-0,9732	-0,8730	1,0000						
6	0,5046	0,7350	0,3798	0,6025	-0,1592	1,0000					
7	-0,1155	-0,2531	-0,0541	-0,1651	-0,0479	-0,4311	1,0000				
8	0,9416	0,8736	0,9014	0,9661	-0,7912	0,6858	-0,0180	1,0000			
9	0,0000	-0,0000	-0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,3229	-0,0788	1,0000		
10	0,5996	0,7328	0,4991	0,6329	-0,3660	0,6391	-0,2175	0,6482	0,2700	1,0000	
11	0,4627	0,6975	0,3334	0,5262	-0,1555	0,7826	-0,3307	0,5740	0,3992	0,8612	1,0000

Razpredelnica 2: Regresijske enačbe za podajalno silo pri jeklu Č. 1530

Zap. št.	Regresijska enačba	P	R	R ²	σ
1	$x_{10} = 1810,3 + 23,6 \cdot x_2$	99	0,73	0,54	620,6
2	$x_{10} = -188,1 + 5,1 \cdot x_3$	90	0,50	0,25	790,3
3	$x_{10} = -803,3 + 8,1 \cdot x_4$	99	0,63	0,40	706,1
4	$x_{10} = -2611,1 + 98,4 \cdot x_6$	99	0,63	0,40	701,4
5	$x_{10} = -405,4 + 14,7 \cdot x_8$	99	0,65	0,42	694,5
6	$x_{10} = 2416,1 + 35,0 \cdot x_9$	90	0,27	0,07	878,1

2.5. Razlaga k rezultatom matematično statističnih analiz za jeklo Č. 1531

Korelacijska matrika, razpredelnica 1, za jeklo Č. 1531 kaže najvišje korelacijske koeficiente med podajalno silo in žilavostjo jekla ($R = 0,73$) mejo razteznosti ($R = 0,63$), zoženje ($R = 0,64$) in trdoto ($R = 0,65$). Podobne, vendar nižje korelacijske koeficiente dobimo med vrtilnim momentom in zgoraj naštetimi vplivnimi parametri. Izjema je le korelacija med vrtilnim momentom in zoženjem, kjer je korelacijski koeficient razmeroma visok in znaša $R = 0,78$.

Podobno kakor korelacijski koeficienti, kažejo tudi regresijske enačbe z ustreznimi statističnimi parametri pomemben in zanesljiv vpliv žilavosti, meje razteznosti, zoženja in trdote na podajalno silo. Najvišji koeficient determinacije ima žilavost $R = 0,54$, praktično enake koeficiente determinacije pa imajo razteznost, zoženje in trdota ($R = 0,40$).

Regresijske enačbe v razpredelnici 3 nekoliko manj determinirajo vpliv mehanskih lastnosti na vrtilni moment kakor na podajalno silo.

Zanimivi so močni odstopki in visok koeficient determinacije enačbe 4 v razpredelnici 3, saj lahko kar 61 % menjav vrtilnega momenta pri danih preizkusih pripisemo vplivu zoženja. Temu primerno

Razpredelnica 3: Regresijske enačbe za momente pri jeklu Č. 1530

Zap. št.	Regresijska enačba	P	R	R ²	σ
1	$x_{11} = 19 + 0,067 \cdot x_2$	99	0,70	0,49	1,9
2	$x_{11} = 16,3 + 0,01 \cdot x_3$	90	0,33	0,11	2,5
3	$x_{11} = 13,1 + 0,02 \cdot x_3$	90	0,53	0,28	2,3
4	$x_{11} = 1,7 + 0,4 \cdot x_6$	99	0,78	0,61	1,7
5	$x_{11} = 15,6 + 0,04 \cdot x_8$	99	0,57	0,33	2,2
6	$x_{11} = 19,3 + 0,15 \cdot x_9$	90	0,40	0,16	2,5

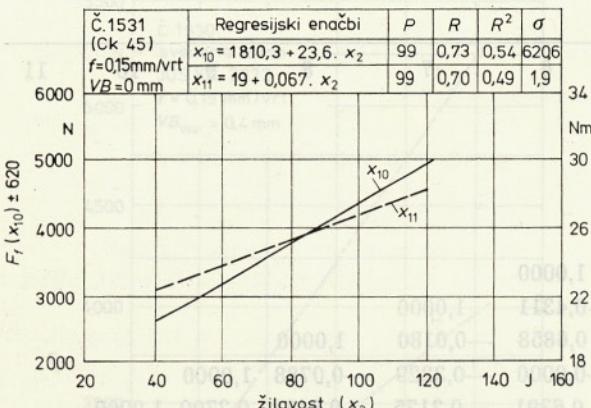
je tudi standardni odklon (σ) vrtilnega momenta za to enačbo najnižji in znaša 1,7, kar pomeni izraženo v odstotkih 7,3 % glede na povprečni vrtilni moment med preizkušanjem.

Diagrami na slikah 4 do 7 prikazujejo ključne vplivne parametre na podajalne sile in vrtilne momente. Največje naklone premic v diagramih dajo regresijske enačbe med trdoto, podajalno silo ter vrtilnim momentom. Zanimiv je rezultat na sliki 6, kjer se kaže močna odvisnost med zoženjem in vrtilnim momentom in razmeroma manjša med zoženjem in podajalno silo.

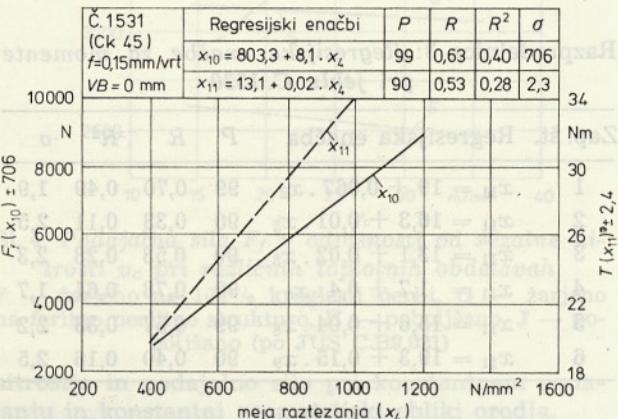
Vse na slikah 6 do 9 obravnavane regresijske enačbe so iz statističnega vidika zanesljive ($P = 99\%$), izjema je le vpliv meje razteznosti na vrtilni moment, kjer je statistična zanesljivost nižja od 90 %.

Za zajetje vseh vplivov, ki smo jih proučevali, smo izbrali za analizo podatkov multiplo linearno regresijo.*

Kako močno vplivajo vsi parametri na vrtilni moment pri vrtanju, pove koeficient multiple korrelacije 0,954. To pomeni, da so v zelo tesni zvezzi in da je upoštevanje vseh parametrov nujno potrebno.



Sl. 6. Vpliv žilavosti (x_2) na podajalno silo F_f in vrtljni moment T



Sl. 7. Vpliv meje raztezanja (x_4) na podajalno silo F_f in vrtljni moment T

3. SKLEPI

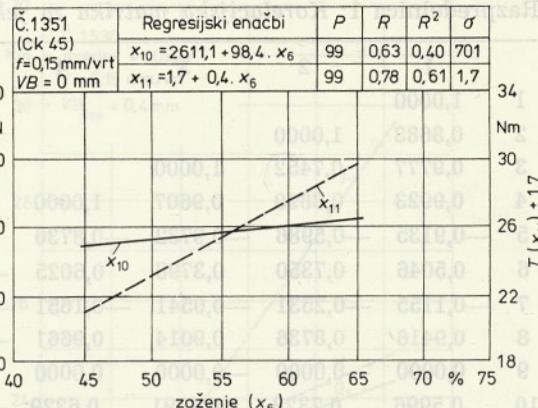
Na obdelovalnost materiala pri vrtanju, merjeno s podajalno silo in vrtljim momentom, ima struktura konstrukcijskega jekla izrazit vpliv.

a) Pri enaki natezni trdnosti in drugih mehanskih lastnostih daje feritno-perlitna struktura do 50 % boljšo obdelovalnost kakor bainitno-martenzitna. Prvo dobimo z žarjenjem, drugo pa s poboljšanjem. Kadar lahko dosežemo z žarjenjem tudi želeno natezno trdnost in druge mehanske lastnosti, pomeni to krajšo in cenejšo toplotno obdelavo ter pomembno povečano obdelovalnost [6].

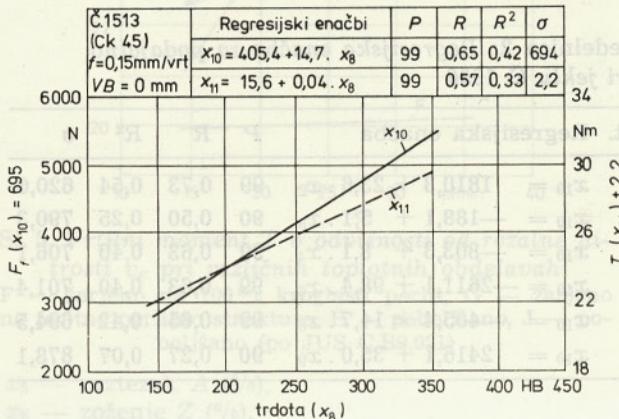
Kot najprimernejša toplotna obdelava glede na obdelovalnost konstrukcijskih jekel se je izkazalo žarjenje za feritno in perlito strukturo.

Pri bainitno-martenzitni strukturi se pri vrtanju kaže močan vpliv rezalne hitrosti na podajalne sile in vrtljne momente, medtem ko je pri feritno-perlitni strukturi ta vpliv komaj zaznaven.

b) Menjave mehanskih lastnosti pri posameznih jeklih so dobljene z različnimi toplotnimi obdelavami in konstantno kemijsko sestavo. Zato lahko pri konstantnem podajanju in konstantni geometrijski obliki orodja vpliv toplotne obdelave na obdelovalnost posredno povežemo z vplivom to-



Sl. 8. Vpliv zoženja (x_6) na podajalno silo F_f in vrtljni moment T



Sl. 9. Vpliv trdote (x_8) na podajalno silo F_f in vrtljni moment T

plotne obdelave na mehanske lastnosti. V povprečju je determinacija med mehanskimi lastnostmi in obdelovalnostjo (podajalne sile in vrtljne momente) okoli 50 %. Torej, če poznamo za posamezno jeklo mehanske lastnosti, lahko z regresijskimi enačbami izračunamo pričakovano obdelovalnost. Pri tem moramo upoštevati standardni odklon odvisne spremenljivke.

LITERATURA

- [1] G. Pahlitsch u. G. Spur: Entstehung und Wirkung von Radialkräften beim Bohren mit Spiralbohren, Werkst. Technik 51 (1961) 5, S. 227/234.
- [2] Degner, Lutze, Smejkal: Spanende Formung, Theorie-Berechnung-Richtwerte, VEB Verlag Technik Berlin, 8. Auflage.
- [3] M. Sadowy: Zur Bestimmung der Schnittkräfte beim Spiralbohren, Technisches Zeitschrift für Metallbearbeitung, 1980, H. 3/8, str. 17 do 25.
- [4] Segel A.: Vpliv toplotne obdelave legiranih jekel na njihovo obdelovalnost, diplomska naloga, VTŠ Maribor, 1981.
- [5] M. Blejec: Statistične metode za ekonomiste, Univerza v Ljubljani, Ekonomski Fakulteta, Ljubljana 1976.
- [6] F. Čuš: Zapiski preizkusov v LAOP na VTŠ Maribor, 1980/81.

Naslov avtorjev: prof. dr. Adolf Šostar, dipl. inž. as. Franc Čuš, dipl. inž., dipl. ek. oba: Visoka tehniška šola, Maribor