

Raziskave obstojnosti brzoreznih jekel

V katalogih za orodna jekla sta podana le kemijski sestav in toplotna obdelava za različne vrste brzoreznih jekel, medtem ko vzdržljivost in geometrija rezalnega roba nista znani. V ta namen so bile v železarni Ravne izvedene obširne raziskave vzdržljivosti brzoreznih jekel elomax in BRC-3 v odvisnosti od toplotne obdelave in geometrije rezalnega roba. Posebnost raziskav je tudi statistično vrednotenje rezultatov, ki se je v tej vrsti raziskav prvič uporabilo.

1. UVOD

V katalogih proizvajalcev orodnih jekel navadno ni za kupca najvažnejših podatkov, to je vzdržljivosti in najprimernejše geometrije rezalnega roba orodij iz brzoreznih jekel.

Železarna Ravne kot proizvajalec orodnih jekel že nekaj let intenzivno raziskuje kvaliteto brzoreznih jekel. Širina raziskovalnega dela na tem področju je že prerasla okvire domačih raziskav, zato so raziskave domačih jekel vključene v jugoslovanski projekt raziskav obdelovalnosti.

Na tem področju je raziskovalna dejavnost v državnem merilu na nezavidljivi višini, saj JUS standard ne predpisuje metod in pogojev, po katerih naj raziskave potekajo. V članku bo opisanih nekaj metod preizkušanja rezalne obstojnosti orodja, za katere je že izdelan in preizkušen program raziskav. Železarna Ravne je v svojih raziskavah obstojnosti domačih brzoreznih jekel uvedla novost s statističnim vrednotenjem rezultatov in z uporabo metod statistično planiranih raziskav. Posamezne statistične metode in njihova izvajanja bodo opisana v posameznih člankih, zato se bomo v tem delu omejili le na osnovne informacije o teh metodah in na tolmačenja, ki smo jih dosegli z analizo eksperimentalnih rezultatov.

Rezultati dosedanjih raziskav niso imeli name na samo reševati probleme slabe vzdržljivosti, ampak naj bi dajali trdnejšo programsko osnovo za nadaljevanje raziskovalnega dela po izbrani in preizkušeni metodiki.

* **Opomba:** Pri planiranju raziskave in matematično-statistični obdelavi rezultatov sta sodelovala Jože Rodič, dipl. inž. in Boštjan Rode, dipl. inž. Uporabljene metode in uporabo elektronskega računalnika opisuje njun članek v tem zvezku.

2. OSNOVNE LASTNOSTI BRZOREZNIH JEKEL

Orodna jekla so vsa tista legirana in nelegirana jekla, ki se uporabljajo za izdelavo raznih orodij ter se lahko kalijo in popuščajo.²

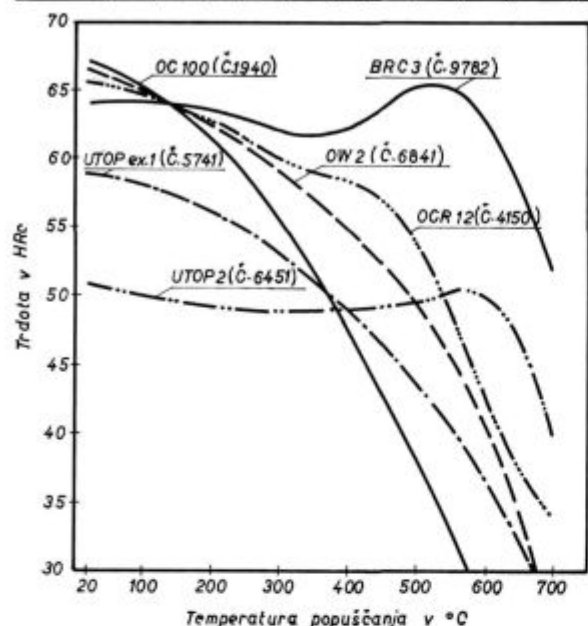
Pojav brzoreznih jekel je pri mehanski obdelavi omogočil povečanje hitrosti rezanja in preseka odrezka. S tem se je močno povečala produktivnost in ekonomičnost mehanske obdelave. Brzorezna jekla so v strojni industriji napravila pravi preobrat, tako v tehniki odrezavanja kakor tudi v konstrukciji obdelovalnih strojev, od katerih so se začele zahtevati povsem drugačne karakteristike.

Orodja iz brzoreznega jekla lahko uporabljamo za obdelavo pri velikih hitrostih rezanja zato, ker obdržijo svojo trdoto in odpornost na obrabo v širokem temperaturnem območju segrevanja orodja med obdelavo. Med obdelavo lahko temperatura naraste celo do slabo rdečega žara in pri tem trdota ne pade pod vrednost, ki je potrebna za rezanje. Na sliki 1 je prikazana popuščna obstojnost brzoreznih jekel v primerjavi z drugimi orodnimi jekli. Značilna lastnost brzoreznih jekel je prav pojav sekundarne trdote. Slika 2 prikazuje spremembe trdote pri delovnih temperaturah. Te lastnosti brzoreznih jekel so v glavnem odvisne od dodatnih legiranih elementov — kroma, volframa, vanadija, molibdena in kobalta, velik vpliv na opisane lastnosti ima tudi količina drobnih karbidov, ki so enakomerno porazdeljeni po osnovni masi. Če sam karbid železa — cementit poveča odpornost proti obrabi, vpliv kompleksnih in posebnih karbidov volframa, molibdena in vanadija pa te lastnosti še povečajo². To je na eni strani zaželena lastnost, po drugi strani pa krhki karbidi v večjih količinah zmanjšujejo žilavost in tako kvarno vplivajo na uporabnost brzoreznih jekel za nekatera posebna orodja.

Od karakterističnih lastnosti jekel prihaja posebno do izraza trdota v rdečem žaru. To lastnost preizkušamo in ocenjujemo s tako imenovano žarobstojnostjo. Žarobstojnost je odločilna pri grobi obdelavi, ker se orodje močno segreje. Več metod preizkušanja obdelovalnosti in obstojnosti orodij je prav v zvezi s to lastnostjo. Taki preizkusi so:

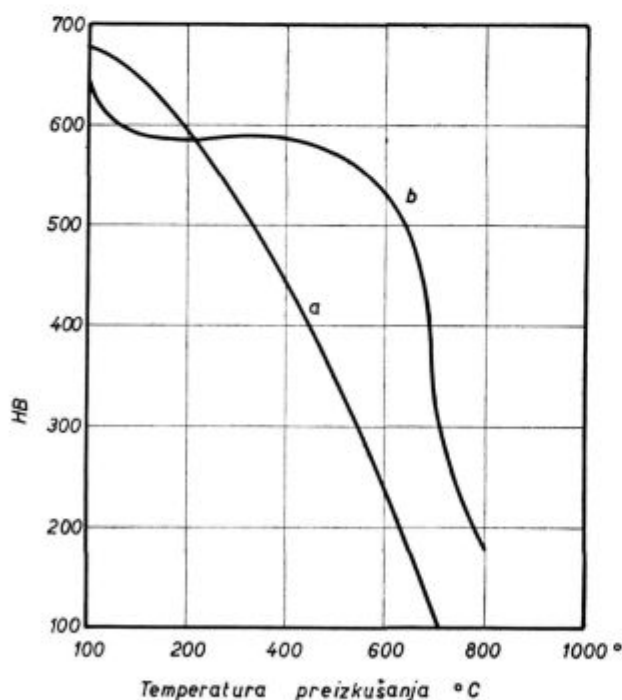
- preizkus temperaturne obstojnosti pri rezanju,
- preizkus obstojnosti poti rezanja,
- preizkus s stopnjevano hitrostjo rezanja.

Kvaliteta	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	W %	Mo %	V %	Co %	Kaljenje	sred.
OC 100	1	0,25								800°C	voda
OW 2	1,2	0,25				1,4		0,2		800°C	voda
OCR 12	2	0,25		12						960°C	olje
UTOP ex.1	0,55	0,25	0,6	1	1,7		0,3	0,2		840°C	olje
UTOP 2	0,3	0,25		2,5		9		0,4		1150°C	olje
BRC 3	0,75	0,25		4		18	1	1,5	10	1300°C	olje



Slika 1

Popuščna obstojnost brzoreznih jekel v primerjavi z ostalimi orodnimi jekli



Slika 2

Trdota orodnih jekel pri visokih temperaturah:
a) ogljikovo orodno jeklo, b) brzorezno jeklo

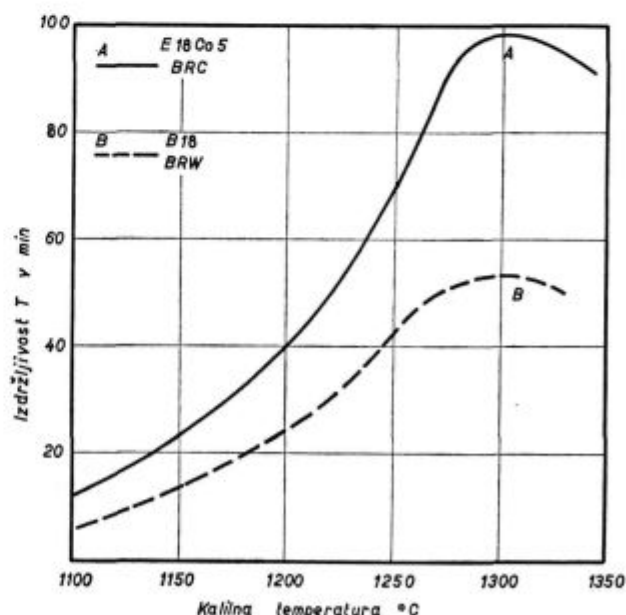
Za fino obdelavo in pri dobrem hlajenju orodja sta odločilni lastnosti prav obraba in visoka trdota. Od brzoreznih jekel se vse pogosteje zahteva dobra dimenzijska obstojnost, ker se določene vrste orodja po toplotni obdelavi sploh ne brusijo več.

2.1 Toplotna obdelava brzoreznih jekel in vpliv kaljenja na obstojnost orodij

Obstojnost trdote pri povišani temperaturi in odpornost proti obrabi zagotavlja pravilno razmerje legirnih elementov v sestavi jekla in pravilna toplotna obdelava orodja. S toplotno obdelavo se zagotovi najboljše obstojnost in delovni učinek izbranega orodja. Le ob pravilni toplotni obdelavi so legirani dodatki učinkovito izkoriščeni.

Pri toplotni obdelavi brzoreznega jekla je treba računati z razmeroma slabo toplotno prevodnostjo, zato je treba orodja zelo počasi ogrevati, da preprečimo nastanek razpok. Pri počasnem in dolgotrajnem ogrevanju na visokih temperaturah izpostavljam orodje nevarnosti razogljčenja. Zato se prav pri toplotni obdelavi brzoreznih orodij poslužujemo večstopenjskega predgrevanja in ogrevanja v solnih kopelih. S tem zagotovimo ugodno izenačevanje temperature po preseku in z intenzivnostjo ogrevanja v solnih kopelih skrajšamo potrebne čase, dosežemo možnost najboljše regulacije temperature in preprečevanje razogljčenja.

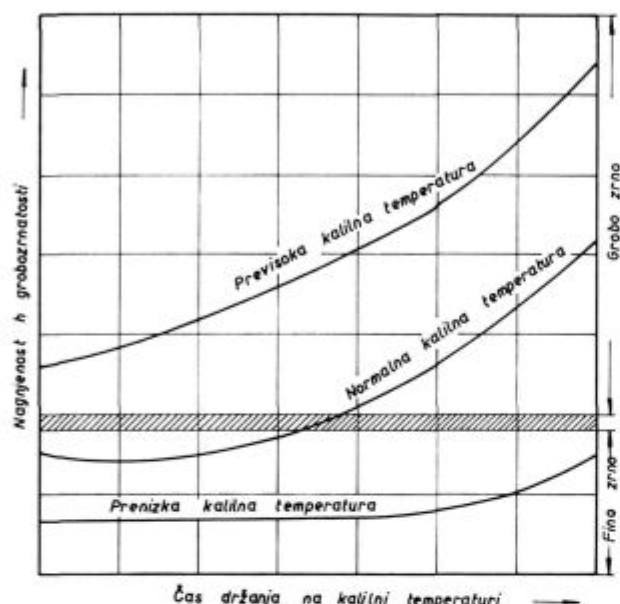
Povečevanje kalilne temperature povečuje obstojnost orodja, obstojnost doseže svoj maksimum, nato pa začne zaradi pregretja in zmanjšanja žilavosti obstojnost hitro padati. Orientacijsko je prikazana odvisnost med obstojnostjo in temperaturo kaljenja na sliki 3.



Slika 3

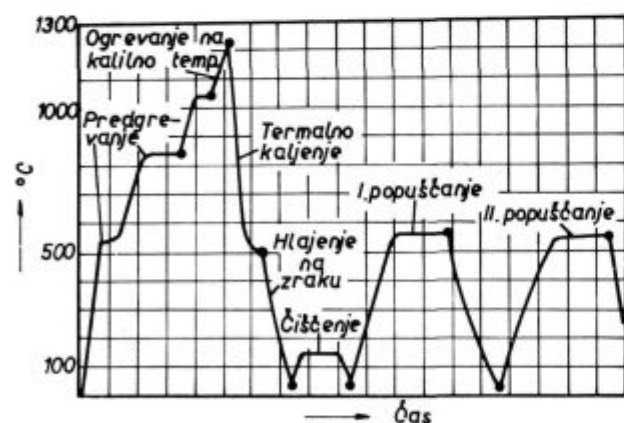
Odvisnost obstojnosti in temperature kaljenja

Temperatura kaljenja in čas ogrevanja orodja na kalilni temperaturi je v neposredni zvezi s porastom zrna. Na sliki 4 je prikazan vpliv temperature in časa na zrnatost kaljene strukture brzoreznega jekla. Za boljši pregled celotne toplotne obdelave brzoreznih jekel je na sliki 5 shematično prikazan cikel normalne toplotne obdelave. Toplotna obdelava je le na kratko opisana, ravno toliko, da poudarimo njeno pomembnost pri obstojnosti orodij. Med raziskavami smo ugotavljali vpliv toplotne obdelave s kaljenjem in popuščanjem.



Slika 4

Vpliv temperature in časa na zrnatost kaljene strukture



Slika 5

Shema ciklusa normalne toplotne obdelave brzoreznih jekel

Temelj našega raziskovalnega programa je predstavljalo dejstvo, da so primerjave obstojnosti orodij iz različnih vrst brzoreznih jekel neosnovane, če orodja niso optimalno toplotno obdelana in ostanejo sposobnosti jekla neizkoriščene. Torej je raziskovanje medsebojnih primer-

jav brzoreznih jekel, ki naj bi olajšalo in zagotovilo pravilno izbiro jekel prezgodnje, vse dokler za posamezne vrste jekel in za določena orodja ne ugotovimo najboljše toplotne obdelave in najboljše geometrije orodja.

Zato smo v našem programu posvetili vso pozornost preizkušanju celotnega območja možnih kombinacij toplotne obdelave.

Prav te rezultate preizkušanja vpliva toplotne obdelave na obstojnost orodja lahko kasneje uporabimo tudi za medsebojne primerjave različnih vrst jekel.

3. METODE PREIZKUŠANJA OBDELOVALNOSTI MATERIALOV IN OBSTOJNOSTI ORODIJ

Metode raziskav oziroma postopki preizkušanja obdelovalnosti in obstojnosti orodij še niso standardizirani. Prav tako še ni predpisan enoten kriterij za vrednotenje obdelovalnosti oziroma obstojnosti. Vzrokov za tako stanje je več. Najvažnejši so cenenost in enostavnost eksperimentalnega postopka, nato pa splošni kriteriji, ki bi dali zanesljivo vrednost obdelovalnosti nekega materiala. Poseben problem je tudi definicija pojma obdelovalnosti, ki še ni splošno določen. Nekatere dežele so že pripravile osnove za enotno vrednotenje obrabe, tako ZDA standard za obstojnost orodij »Life Test of Sigle — Point Tools« in v Nemčiji priporočila za enotne kriterije preizkušanja:

Stahl und Eisen Prüfblätter

- 1160 — 52 Zerspanungsversuche: Allgemeines und Grundbegriffe
- 1161 — 52 Temperaturstandzeit Versuch
- 1162 — 52 Verschleissstandzeit Versuch
- 1164 — 52 Einstechverschleiss Versuch
- 1166 — 52 Versuch mit ansteigender Schnittgeschwindigkeit
- 1168 — 52 Schnittkraftversuch
- 1178 — 52 Spanausbildung

Rezultati preizkusov, ki se izvajajo po kriterijih, ki jih predpisujejo standardi ali priporočila, se lahko med seboj primerjajo. Vendar bi pri vsem tem veljalo pripomniti, da sodobne raziskave težijo k izpopolnitvi metod, zato bodo kmalu sledile spremembe standardov in priporočil.

Preizkusi obdelovalnosti se izvajajo za določanje obdelovalnosti obdelovancev in za določanje rezalnih sposobnosti orodnih materialov ter ugotavljanja načina obrabe orodja. Najbolj znane metode preizkušanja so:

- preizkus temperaturne obstojnosti,
- preizkus obstojnosti poti rezanja,
- preizkus obrabne obstojnosti,

- zarezno obrabni preizkus,
- preizkus rezalnih sil,
- izgled odrezkov,
- preizkus z radioaktivnim merjenjem obrabe orodja,
- preizkus z vzdolžnim nihanjem orodja.

Namen predpisanih metod je zagotoviti enotne pogoje preizkušanja, ker se le v tem primeru lahko pride do primerjalnih rezultatov. Kratkoročne preizkusne metode težijo k enotnemu označevanju obdelovalnosti in rezalne vzdržljivosti, ter k čim manjši porabi orodja, materiala in časa in k sigurnosti rezultatov.

3.1 Pojem obdelovalnosti

S pojmom obdelovalnost označujemo lastnost obdelovanca, ki se da lažje ali težje izoblikovati z rezalnim orodjem v želeno obliko. Obdelovalnost je toliko boljša, kolikor daljša je obstojnost rezalnega roba na orodju, čim krajši je čas odrezavanja določenega volumna materiala, čim boljša je kakovost površine obdelovanca, čim manjša je poraba energije in čim bolj ugodno je oblikovanje odrezkov. Najvažnejše spremljevalke, ki vplivajo na obdelovalnost in obstojnost orodja so: rezalna hitrost, presek odrezka (pomik, globina), geometrija rezalnega roba, material orodja, hladilno sredstvo, togost obdelovalnega stroja in različni drugi vplivi. Znatno vpliv na obdelovalnost imajo tudi lastnosti in stanje obdelovanca.

Npr.: trdota, natezna trdnost, razteznostne lastnosti, žilavost, kemični sestav, mikrostruktura, vrsta hladne obdelave, oblika in razsežnost obdelovanca, togost obdelovanca. Iz naštetih vplivov se vidi, da bi se s primernimi preizkusi dalo dobiti več kriterijev za obdelovalnost in obstojnost orodij. Iz praktičnih razlogov, najvažnejši je enostavnost merjenja, so primerni samo nekateri.

Npr. obstojnost rezalnega roba orodja, velikost sil na orodju, kvaliteta površine.

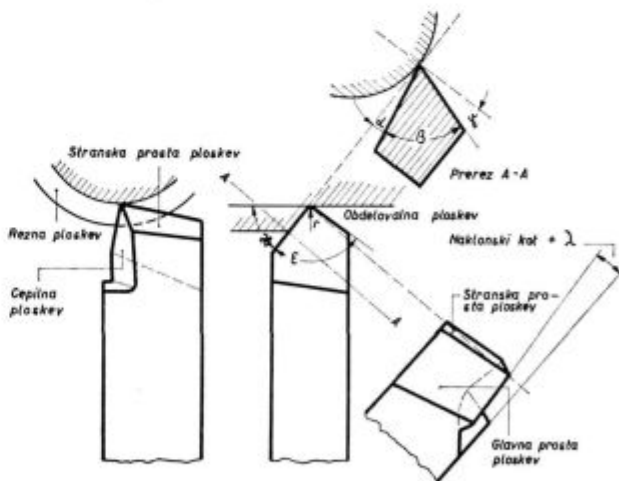
V večini primerov je obstojnost orodja najenostavnejša merjena veličina. Obstojnost rezalnega roba, merjena v časovnih enotah, je čas dejanskega dela orodja od brušenja do otopitve pod dani pogoji dela. Rezalni rob je med rezanjem različno obremenjen. V splošnem razlikujemo: obremenitev orodja zaradi trenja, ki nastane pri cepljenju odrezka od osnovnega materiala, med cepilno ploskvijo orodja in odrezkom ter obdelovancem in prosto ploskvijo noža. Pri tem je lahko kritična temperaturna obstojnost ali obrabna obstojnost. O temperaturni obstojnosti govorimo takrat, kadar rezalne sposobnosti rezalnega roba noža odpovejo zaradi povečanja temperature. Obrabna obstojnost pa je obstojnost, ki jo določuje obraba oziroma otopitev rezalnega roba, medtem ko je vpliv temperature nepomemben, npr. obdelava bakra, aluminija in njihovih zlitin in struženje navojev ter obdelava jekel pri majhnih rezalnih hitrostih.

3.2 Preizkus temperaturne obstojnosti pri rezanju

Preizkus temperaturne obstojnosti je kratkotrajni preizkus obstojnosti orodja. Po naravi je najbližji običajnemu struženju. Zato je v praksi ta preizkus najbolj razširjen. Čeprav je preprost, dovoljuje preizkušanje vrste pogojev, kot so: vpliv temperature kaljenja in popuščanja na obstojnost, vpliv geometrije rezalnega roba, vpliv pomika in globine na obstojnost orodja itd.

Merilo za obstojnost je čas struženja, v katerem orodje popolnoma otopi. Čas struženja je dejanski čas rezanja. Znak za popolno otopitev orodja je pojav svetle pege na obdelovancu. Čas struženja merimo v minutah in ga označujemo s T.

Preizkus toplotne obstojnosti se največ uporablja za ugotavljanje obdelovalnosti vseh vrst jekel in litin ter za določanje obstojnosti vseh vrst orodnih in brzoreznih jekel. Pri preizkusu temperaturne obstojnosti določujemo obstojnost orodja, tako da stružimo obdelovanec v vzdolžni smeri. Za preizkus obdelovalnosti moramo imeti enak orodni material, za preizkus vzdržljivosti ali obstojnosti pa enak obdelovalni material z zelo enakomernimi lastnostmi. Za orodni material se lahko uporabljajo vse vrste brzoreznih jekel, za katera želimo določiti rezalno obstojnost. Preizkušajo se lahko tudi vse vrste orodij iz karbidnih trdin, oksidne keramike in drugih trdih materialov. Za preizkušanje obstojnosti brzoreznih jekel se morajo uporabljati noži iz celega. Nož mora imeti po celem preseku in dolžini enako strukturo. Oblika noža je dana po JUS K.C1.010 slika 6 sledečih dimenzij in oblike:



Slika 6
Oblika noža po JUS K.C1.010

Presek noža za kosmačenje 20×20 mm

Presek noža za fino struženje 12×12 mm

Koti na rezalnem robu:

Prosti kot	$\alpha = 8^\circ$
Cepilni kot	$\gamma = 10^\circ$
Čelni ali vrhnji kot	$\varepsilon = 90^\circ$
Nastavni kot	$\kappa = 60^\circ$
Nagibni kot	$\lambda = \kappa 4^\circ$

Polmer konice noža

za kosmačenje $r = 1,0 \text{ mm}$

za fino struženje $r = 1,0 \text{ mm}$

globina struženja za kosmačenje

$a = 2 \text{ mm}$ in pomik $s = 0,5 \text{ mm/vrt.}$

globina struženja za fino struženje

$a = 1 \text{ mm}$ in pomik $s = 0,1 \text{ mm/vrt.}$

Pri preizkusu toplotne obstojnosti je potrebno določiti čase obstojnosti $T(\text{min.})$ vsaj za 3 do 4 različne hitrosti $v \text{ (m/min)}$. Rezalne hitrosti moramo izbrati tako, da so časi vzdržljivosti v mejah med 10 in 60 minut. Čas obstojnosti je čas dejanskega rezanja nabrušenega noža do otopitve. Otopitev, ki jo spoznamo s pojavom svetle pege, nastane na že obdelani površini obdelovanca ali na rezalni ploskvi, odvisno od tega, ali se prej obrabi konica noža ali rezalni rob (prosta ploskev). Otopelost orodja se vidi tudi iz povečanega premera obdelovanca in spremembe oblike odrezkov. Za vsako rezalno hitrost je treba napraviti več ponovitev. Število ponovitev zavisi od trošenja rezultatov. V nobenem primeru ni dovoljen zaključek preizkušanja samo iz enega preizkusa!

Rezultati preizkusa se vnašajo v dvojno logaritmčno koordinatno mrežo. Merili za obe koordinatni osi sta enaki. Na absciso nanašamo rezalno hitrost $v \text{ (m/min)}$ na ordinato pa obstojnost $T \text{ (minut)}$. Nanesene točke v dvojno logaritmčni mreži običajno ležijo na premici. Če srednje vrednosti nanesenih točk za vsako hitrost v »v.T« diagramu ne tvorijo premice, se morajo preizkusi nadaljevati. Premica je podana z enačbo:

$$v \cdot T^n = C \quad (1)$$

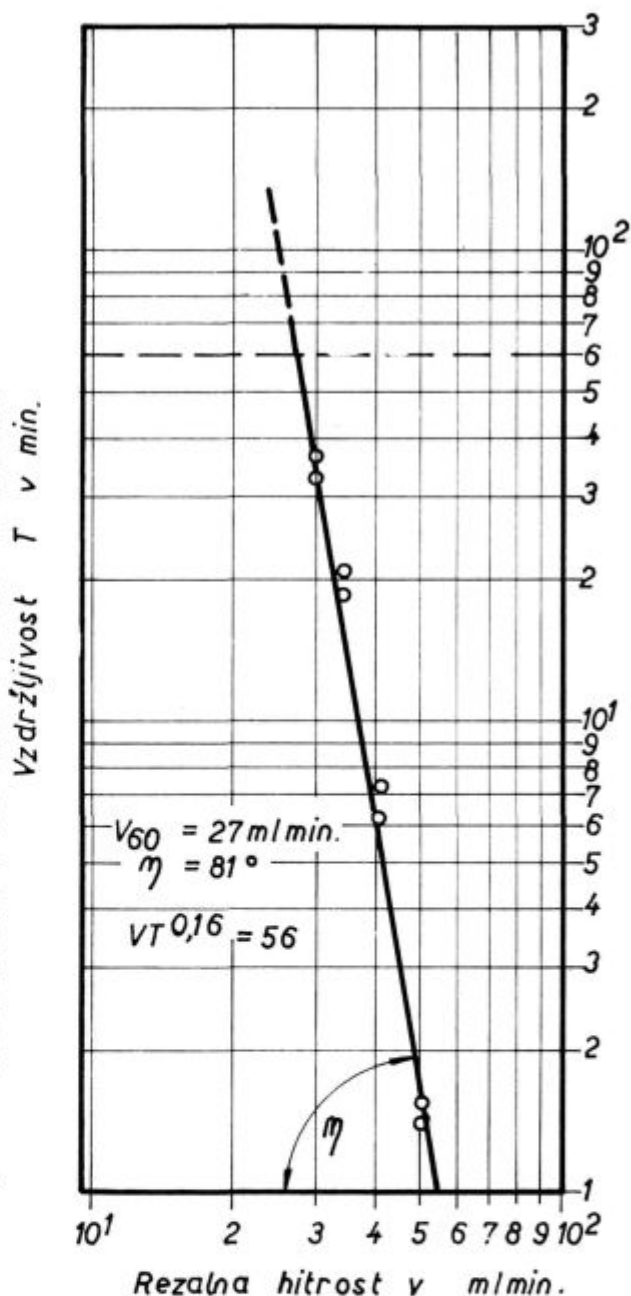
kjer je C = vrednost na abscisni osi pri $T = 1 \text{ min.}$, n = koeficient nagiba premice, ki je podan z enačbo: (glej sliko 7)

$$n = \frac{1}{\text{tg} \eta} \quad (2)$$

Kot rezultat preizkusa lahko jemljemo rezalno hitrost $v_{60} \text{ (m/min)}$, to je hitrost, pri kateri nož vzdrži 60 minut neprekinjenega rezanja pri konstantnih delovnih pogojih. Hitrost v_{60} je neposredno odvisna od kota η , ali po formuli (1) za enačbo premice v v-T diagramu, v katero je treba vstaviti znane vrednosti za n in C . Očitno je, da je v obeh primerih premica točno določena.

T-v premica je osnova za vrednotenje obdelovalnosti obdelovancev in obstojnosti orodja.

Večji nagibni kot premice pomeni, da majhne spremembe v hitrosti močno vplivajo na obstojnost. Iz tega sledi, da temperatura odločilno vpliva na obstojnost. Položna karakteristika pomeni, da je obraba proste ploskve odločilni faktor za obstojnost orodja.



Slika 7
v-T diagram

Iz slike 7 se jasno vidi, da majhne spremembe hitrosti malo vplivajo na obstojnost. Vrednosti za »n« ležijo med 0,05 in 0,4, večinoma pa med 0,1 in 0,15. Z nekoliko prakse si tudi lahko iz nagiba premice razlagamo obdelovalnost različnih materialov. Opozoriti moramo še na važno ugotovitev, ki se neposredno ne vidi iz diagrama v-T. Na nagib premice v v-T diagramu vpliva tudi razmerje globine in pomika. Obstojnost orodja ni enaka pri vseh razmerjih $\frac{a}{s}$, čeprav je produkt za vsa razmerja enak.

To pravilo je pomembno za določanje najboljših pogojev obdelave.

3.3 Preizkus obstojnosti poti rezanja

Preizkus obstojnosti poti rezanja je temperaturno obstojnostni preizkus z močno povečano rezalno hitrostjo. Ker je merjenje vzdržljivosti noža v minutah netočno, merimo pot, ki jo napravi nož od začetka rezanja do otopitve. Vsi ostali pogoji: obdelovalni stroj, orodje in pogoji dela so enaki kot pri preizkusu temperaturne obstojnosti. Rezultat preizkusa je premica v L-v diagramu, iz katerega določimo rezalno hitrost v_{100} (m/min), pri kateri nož vzdrži 100 m dolgo rezalno pot.

Preizkus obstojnosti poti rezanja je kratkotrajen preizkus. Njegova prednost je v majhni porabi časa in materiala, vendar se preizkus zaradi močno povečanih rezalnih hitrosti oddaljuje od dejanskih pogojev obdelave. Rezultati zato nimajo take praktične vrednosti, kot jo imajo pri preizkusu temperaturne obstojnosti. Zbirnik podatkov in rezultatov je podoben kot pri preizkusu temperaturne obstojnosti. Razlika je le v merilu obstojnosti.

3.4 Preizkus obrabne obstojnosti

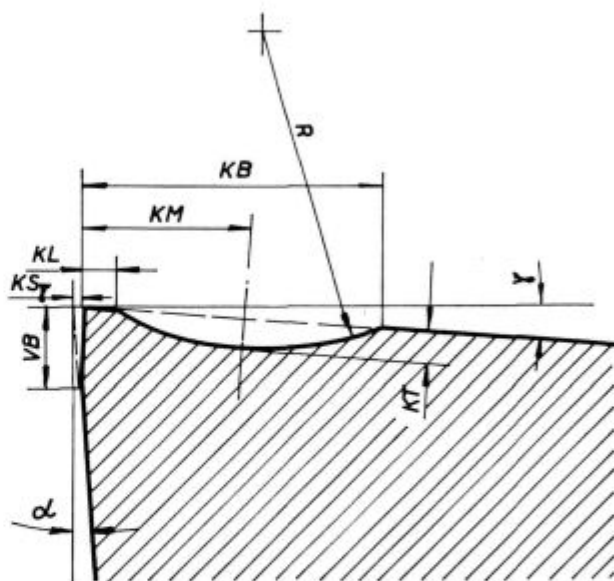
Preizkus obrabne obstojnosti zasleduje vrsto in velikost obrabe proste ploskve »VB« v mm, merjene od rezalnega roba. Vpliva temperature v tem preizkusu ne upoštevamo. Preizkus obrabne obstojnosti je namenjen za vrednotenje obdelovalnosti neželeznih kovin in nekovinskih obdelovancev.

Orodje lahko izbiramo med vsemi vrstami brzoreznih jekel in karbidnih trdin. Preizkus dovoljuje tudi preizkušanje obdelovalnosti vseh vrst litin in konstrukcijskih jekel.

Kriterij za obstojnost je velikost obrabe na prosti ploskvi noža, ki jo merimo v določenih časovnih presledkih pri vzdolžnem struženju. Oblika orodja je enaka kot pri preizkusu temperaturne obstojnosti. Pri izvajanju preizkusa moramo izbrati vsaj 3 ali 4 različne hitrosti v m/min.

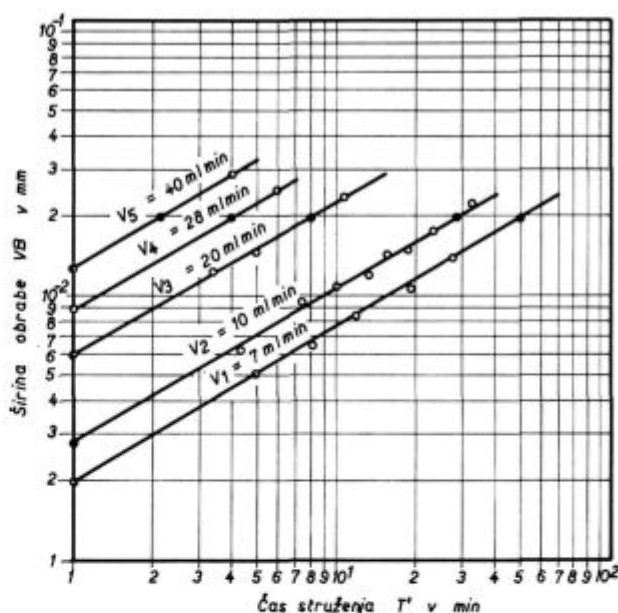
Rezalne hitrosti moramo po možnosti izbrati tako, da je širina obrabe $VB \approx 0,2$ mm po 5 do 30 minutah struženja. Meja za velikost obrabe $VB = 0,2$ mm, ki jo podaja Stahl Eisen Prüfblatt 1162-52 za jeklene obdelovance, je za grobe preizkuse preozka.

Iz rezultatov preizkusov, katere smo izvršili, predlagamo vsaj $VB = 0,4$ mm za kosmačenje in $VB = 0,2$ mm za fino struženje. Za obdelovance iz bakra, aluminija in njihovih zlitin pa $VB = 0,1$ mm. Širina obrabe na prosti ploskvi se meri od prvotnega rezalnega roba (slika 8). Pri vsaki meritvi se določi srednja vrednost obrabe. Prvo meritev obrabe VB opravimo po dveh minutah struženja, nato pa vsake 3 minute. Pri vsakem merjenju moramo nož sneti iz vpenjalne glave. Paziti moramo, da ima nož po vsakem vpenjanju vedno enak položaj.



Slika 8
Meritve obrabe strugarskega noža

Rezultate merjenih širin obrabe na prosti ploskvi v določenih časovnih presledkih vnašamo v dvojno logaritmčno koordinatno mrežo. Na absciso nanašamo čas T' v minutah, na ordinato pa širino obrabe VB v mm. Točke za vsako rezalno hitrost ležijo navadno na premici (slika 9).

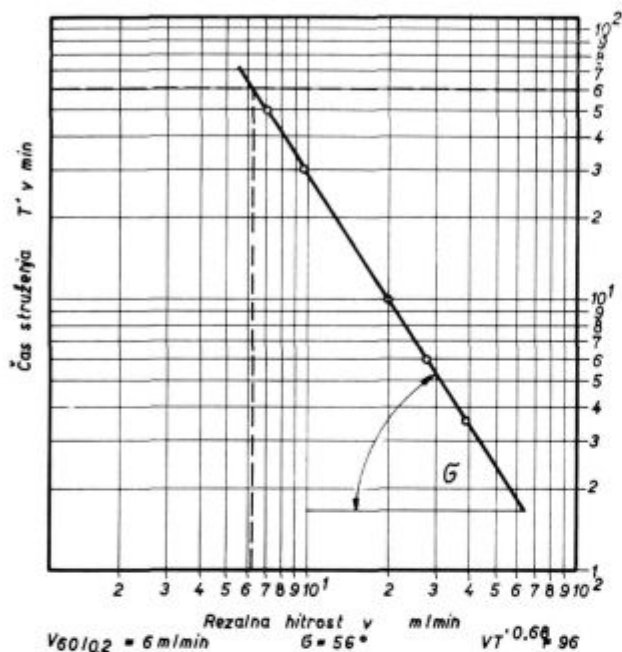


Slika 9
VB-T' diagram

Za vsako od premic oziroma rezalnih hitrosti se za širino obrabe $VB = 0,4$ oziroma $VB = 0,2$ mm določi pripadajoči čas struženja T' (min). Dobljene točke (polni krožec) vnesemo v dvojno logaritmčno koordinatno mrežo, kjer na absciso na-

našamo rezalne hitrosti v m/min, na ordinato pa pripadajoče čase obstojnosti za $VB = 0,4$ ali $VB = 0,2$ mm.

Premica v T' -v diagramu (slika 10) je določena z enačbo $vT^m = K$, kjer je K konstanta, ki jo dobimo, če v enačbo vstavimo za $T' = 1$ min., m pa je koeficient naklona premice, ki je podan z enačbo:



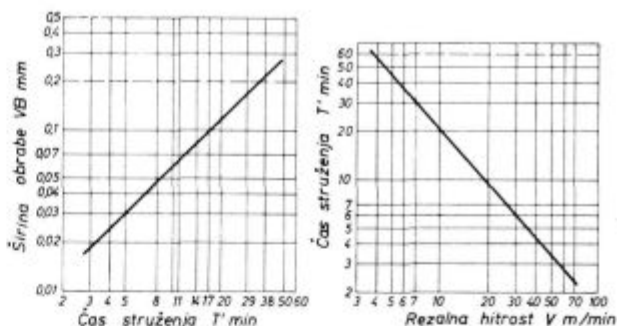
Slika 10
 T' - v diagram

$$m = \frac{1}{\lg \sigma} \quad (3)$$

Rezultat vrednotenja pri obrabno obstojnostnem preizkusu je rezalna hitrost $v_{60,0,4}$ (m/min). Hitrost $v_{60,0,4}$ je rezalna hitrost, pri kateri nastane v času $T' = 60$ min., širina obrabe $VB = 0,4$ mm.

Rezultat je lahko tudi vrednost enačbe $vT^m = K$, v katero moramo vstaviti znane vrednosti za m in K . V obeh primerih je premica nedvoumno določena.

S premicama v logaritmичnem diagramu $VB-T'$ in T' -v (slika 11) je obrabna obstojnost za vsako vrsto brzoreznega jekla popolnoma določena. Iz nagiba premice ocenimo obrabni učinek obdelovanja in karakteristiko obrabljanja orodja. Čim večji je nagib premice v T' -v diagramu, tem večji je obrabni učinek obdelovanja oziroma obrabljenost orodja. Vrednosti za m so med 0,3 in 1,2. Pogoji preizkušanja so podobni dejanskim delovnim pogojem, zato se rezultati lahko neposredno prenesejo na potrebe prakse.



Slika 11
Zbirnik podatkov za preizkus obrabne obstojnosti

4.1 Laboratorijski preizkusi obstojnosti brzoreznih jekel elomax Č.4882 in BRC-3 Č.9782

Praktične preizkuse obstojnosti brzoreznih jekel smo izvedli v laboratoriju raziskovalnega oddelka v železarni Ravne za vrsto jekla elomax in BRC-3.

Namen temperaturno obstojnostnega preizkusa je bil določiti optimalno toplotno obdelavo in najboljše geometrijo rezalnega roba, pri kateri bo dosežena maksimalna obstojnost. Pri obeh jeklih elomax in BRC-3 so bili noži kaljeni pri treh različnih temperaturah in popuščani na dve ali tri različne popuščne temperature. Pri vsaki veji toplotne obdelave smo preizkušali vpliv treh različnih cepilnih kotov γ (pri BRC-3 tudi vpliv dveh nagibnih kotov λ) na obstojnost strgarskih nožev. Za nože, ki so dali pri temperaturno obstojnostnem preizkusu maksimalne rezultate (največje v_{60}), smo izvedli tudi obrabno obstojnostni preizkus. Namen zadnjega je bil določiti za obe jekli karakteristično obliko obrabljanja.

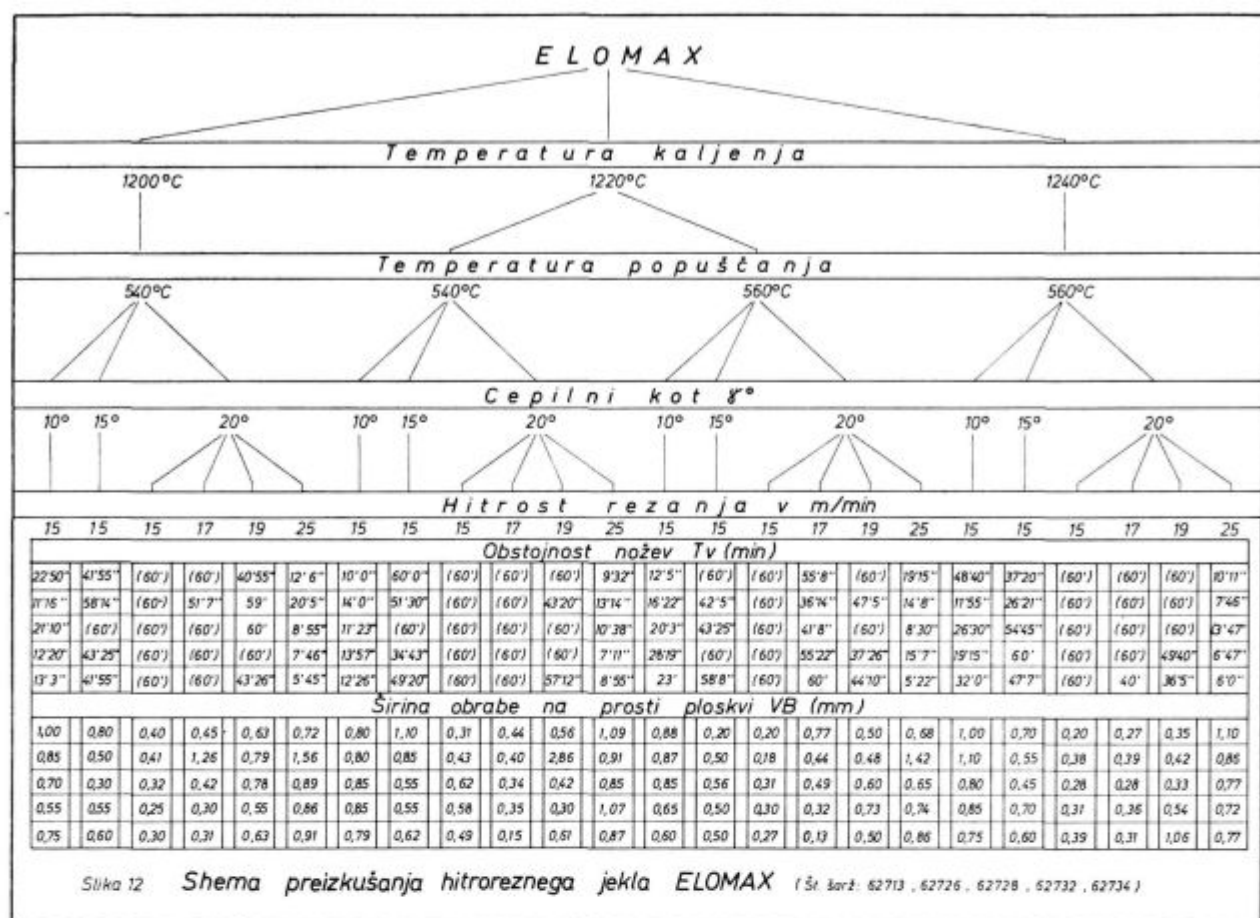
Z uporabo metod statističnega vrednotenja poizkusov smo prišli z najmanjšim obsegom eksperimentiranja do sigurnih zaključkov.

Pri jeklu elomax so bili poizkusi namenjeni tudi upravičevanju modifikacij v kemijski sestavi. Zato glavni namen preiskav z jeklom elomax ni bil v doseganju visokih obstojnosti nožev in absolutnem vrednotenju, ampak predvsem na osnovi rezultatov petih preizkusnih šarž razviti in praktično prikazati metodo medsebojnih primerjav in vrednotenja, pri katerih bi bili subjektivni faktorji pri ocenjevanju čimbolj odpravljeni. Izkazalo se je, da je to s statističnimi metodami in smiselnim planiranjem preizkušanja in zadovoljevanjem zahtev slučajnosti dobro izvedljivo.

4.2 Opis eksperimentalne opreme in poizkusnih pogojev

Za izvajanje opisanih preizkusov smo uporabili prirejeno eksperimentalno stružnico prvomajska TES 3/250/1500 s PIV menjalnikom za brezstopenjsko menjavanje hitrosti.

Obrabo na prosti in cepilni ploskvi smo merili na univerzalnem merilnem mikroskopu »wego« s prirejenim komparatorjem.



Slika 12
Shema preizkušanja brzoreznega jekla elomax

Strgarski noži elomax in BRC-3 so bili najprej grobo brušeni, nato pa še na dokončno geometrijo fino brušeni.

Za grobo brušenje je bila uporabljena segmentna brusilna plošča SWATY DB 46 L 6 V, za fino brušenje pa skledasta brusilna plošča D 60 K 8 V. Pri obeh brušenjih je bil vzdolžni in prečni pomik ročen. Opisana izbira brusilnih plošč ni bila določena s preizkusi, ampak se je v praksi izkazala za dobro. Ugotavljanje optimalnih pogojev brušenja in ostrenja nožev bo predmet prihodnjih raziskav.

Obstojnost strgarskih nožev smo preizkušali na obdelovancih iz poboljšane krom-molibdenovega jekla. Za preizkušanje nožev elomax so bili obdelovanci iz jekla za poboljšanje vrste Č.4737 poboljšani na 94 do 105 kp/mm². Obdelovanci za preizkušanje brzoreznega jekla BRC-3 pa so bili iz jekla Č.4736, poboljšani na 84 do 89 kp/mm².

V prvem primeru so bili obdelovanci iz celega preseka s premerom Ø 180 mm in dolžine 1400 mm v drugem preizkusu pa cevi zunanjega premera Ø 160 mm s premerom luknje Ø 70 mm ter dolžine 1300 mm. Cevasta oblika obdelovanca je ugodnejša, ker je struktura materiala enakomernejša in s tem trosenje rezultatov zaradi enakomernejše trdote manjše.

Vpliv sprememb v strukturi materiala obdelovanca zmanjšamo s slučajno razvrstitvijo preizkušanih nožev po tabeli slučajnostnih števil³. S poznejšo statistično analizo eksperimentalnih rezultatov dobimo zanesljivo statistično povprečje.

5. Preizkusi obstojnosti strgarskih nožev iz jekla elomax

Pri ugotavljanju vpliva toplotne obdelave in geometrije rezalnega roba orodja je bilo na razpolago 28 nožev iz petih šarž brzoreznega jekla elomax.

Iz sheme preizkušanja (slika 12) se vidi, da smo samo pri kalilni temperaturi 1220°C preizkušali dve temperaturi popuščanja 540°C in 560°C, pri ostalih dveh kalilnih temperaturah pa samo po eno. Vzrok za tak razpored je metalurškega značaja.

Popuščna obstojnost, dosežena s kaljenjem pri 1200°C, je zaradi nepopolnega kaljenja majhna in zato je bila trdota s popuščanjem na 560°C že toliko nižja od ostalih nožev, da bi to lahko pomembno vplivalo na obstojnost. Temperatura popuščanja 560°C je bila torej v tem primeru za kalilno temperaturo 1200°C previsoka in ni prišla v poštev zaradi nezadostne trdote nožev.

Kalilna temperatura 1240° C je na zgornji meji kalilnega območja. Večja količina in večja stabilnost zaostalega avstenita zahtevata višjo temperaturo popuščanja, da se izvrši premena zaostalega avstenita v martenzit. Zahtevano trdoto smo dosegli šele pri 560° C ali z večkratnim ponavljanjem popuščanja na 540° C. Kalilna temperatura 1220° C je v sredini kalilnega območja in zato najsigurnejša za dosego zahtevanih trdot. Te so zadovoljive pri temperaturi popuščanja 540° C in 560° C.

Po toplotni obdelavi nožev smo vsem nožem izmerili trdoto in s statistično analizo pomembnosti razlik v trdotah za posamezne pogoje toplotne obdelave po metodi dveh nevezanih serij ugotovili, da so bile te razlike eksperimentalnih serij statistično nepomembne.

5.1 Izvedba preizkusa temperaturne obstojnosti

Prvotni namen raziskav jekla elomax je bil preizkusiti vpliv kotov ostrenja na obstojnost nožev. Poudarek je bil na cepilnem kotu γ .

Iz sheme preizkušanja brzoreznega jekla elomax (slika 12) je razvidno, da se je pri temperaturno obstojnostnem preizkusu raziskoval vpliv treh različnih cepilnih kotov poleg že omenjene toplotne obdelave. Na shemi preizkušanja so zbrani tudi vsi časi izdržljivosti T v minutah in izmerjene širine obrabe na prosti ploskvi VB v mm po končanem preizkusu oziroma času T . Vsi preizkusi so bili omejeni na eno uro, kar pomeni, da so bili po 60 minutah prekinjeni. Taki prekinjeni preizkusi so v tabeli podani v oklepaju (60'). Za optimalni kot $\gamma = 20^\circ$ so bili izvedeni poizkusi za štiri različne hitrosti s po petimi ponovitvami.

Za statistično vrednotenje rezultatov je nujno zbiranje v obliki, kakor jo prikazuje shema slike 12. Taka oblika da tudi prikladno preglednost nad opravljenimi poizkusi. To velja posebno, če preizkušamo več nožev hkrati.

5.2 Statistično vrednotenje rezultatov z analizo variance za elomax

5.2.1 Vpliv toplotne obdelave in cepilnega kota γ pri hitrosti $v_1 = 15 \text{ m/min}$.

Pri tej analizi smo ugotavljali vpliv ciklusa toplotne obdelave, pri čemer smo upoštevali sledeče variante:

- 1' — kaljenje 1200° C + popuščanje 540° C
2-krat po 1 uro
- 2' — kaljenje 1220° C + popuščanje 450° C
2-krat po 1 uro
- 3' — kaljenje 1220° C + popuščanje 560° C
2-krat po 1 uro
- 4' — kaljenje 1240° C + popuščanje 560° C
2-krat po 1 uro

Za vsak cikel toplotne obdelave so bili preizkušeni noži s koti $\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ in $\gamma = 20^\circ$ pri konstantni rezalni hitrosti $v_1 = 15 \text{ m/min}$.

Zaradi prekinitve poizkusov po 60 minutah rezanja, ki je bila pri pogojih preizkušanja nujna, je zmanjšana občutljivost medsebojnih primerjav. Ker dejanske izdržljivosti takih nožev (nad 60 minut) niso poznane in jih računalnik pri analizi upošteva kot enake.

Vse analize variance so bile izvršene za tri nivoje statistične gotovosti

$\alpha = 10\%$ (kar pomeni statistično gotovost 90%)

$\alpha = 5\%$ (kar pomeni statistično gotovost 95%)

$\alpha = 1\%$ (kar pomeni statistično gotovost 99%)

Tabelarične kritične vrednosti F za

$v_1 = 3; v_2 = 48; F_{\alpha=5} = 2,9$

$F_{\alpha=1} = 4,2$

$v_1 = 2; v_2 = 48; F_{\alpha=5} = 3,2$

$F_{\alpha=1} = 5,1$

$v_1 = 6; v_2 = 48; F_{\alpha=5} = 2,3$

$F_{\alpha=1} = 3,2$

Iz rezultatov analize variance je razvidno, da pri opisanih pogojih preizkušanja (prekinitve preizkusov!) in navedenem obsegu preizkušanja vpliv cepilnega kota γ močno prevladuje nad ostalimi preizkušanimi vplivi.

Vpliv toplotne obdelave na čas obstojnosti je statistično nepomemben.

Analiza vpliva cepilnega kota kaže, da je statistično pomembna (z 99% gotovostjo) že vsaka razlika kota za 5° . Največje čase izdržljivosti daje največji od preizkušenih kotov (to je $\gamma = 20^\circ$).

Rezultati analize variance za čas obstojnosti T — elomax

Izvor	Vsote kvadratov	Prostostne stopnje	Srednji kvadrati	Frač.	Pomembnost
Ciklus toplotne obdelave	$0,4351 \times 10^6$	3	$0,1450 \times 10^6$	0,67	Nepomembna
Cepilni kot γ	$0,6520 \times 10^8$	2	$0,3260 \times 10^8$	149,69	Pomembna $\alpha = 1$
Medsebojni vplivi	$0,2462 \times 10^7$	6	$0,4104 \times 10^6$	1,88	Nepomembna
Napaka	$0,1045 \times 10^8$	48	$0,2178 \times 10^6$	1,00	

5.22 Vpliv rezalne hitrosti na čas obstojnosti

Preizkušanje vpliva rezalne hitrosti

$v_1 = 15 \text{ m/min.}$

$v_2 = 17 \text{ m/min.}$

$v_3 = 19 \text{ m/min.}$

$v_4 = 25 \text{ m/min.}$

na čas obstojnosti T pri opisanih pogojih toplotne obdelave in konstantnem cepilnem kotu $\gamma = 20^\circ$ kaže, da med hitrostima v_1 in v_2 ter v_2 in v_3 ni pomembne razlike v času obstojnosti niti na nivoju statistične gotovosti 90 %.

Pač pa je že z gotovostjo 99 % pomembna razlika med v_1 in v_3 , v_2 in v_4 , v_3 in v_4 ter vsaka večja razlika. Iz te analize lahko zaključimo, da sprememba rezalne hitrosti za 2 m/min. še ne vpliva pomembno na čas obstojnosti.

5.23 Vplivi na širino obrabe

Istočasno z merjenjem časa smo za vsak nož izmerili še širino obrabe na prosti ploskvi VB.

Tako smo dobili enako primerjalno tabelo kot za čas T tudi za širino VB. Ker so bili preizkusi po 60' prekinjeni, so razlike večje, kot bi sicer bile, če bi preizkuse nadaljevali. Analiza variance je dala naslednje rezultate:

glede na ciklus toplotne obdelave je pri konstantni rezalni hitrosti $v_1 = 15 \text{ m/min.}$ najmanjša obraba pri kaljenju 1220°C in popuščanju 560°C . Z 99 % statistično gotovostjo lahko trdimo, da je kombinacija: kaljenje 1220°C + popuščanje 560°C boljša od kombinacije: kaljenje 1220°C + popuščanje 540°C . Le z 90 % statistično gotovostjo lahko trdimo, da je kombinacija — kaljenje 1220°C + popuščanje 540°C boljša od kombinacije 1240°C + popuščanje 560°C . Drugih pomembnih razlik med ciklusi toplotne obdelave pri danih pogojih preizkušanja ni.

Za razlike zaradi različnih cepilnih kotov γ , vlejajo isti zaključki kot pri obstojnosti T .

Za preizkušane različne rezalne hitrosti z 99 % gotovostjo trdimo, da je pri $v_1 = 15 \text{ m/min.}$, $v_2 = 17 \text{ m/min.}$ manjša obraba kot pri $v_4 = 25 \text{ m/min.}$. S 95 % gotovostjo lahko še trdimo, da je tudi obraba pri $v_3 = 19 \text{ m/min.}$ večja kot pri $v_2 = 17 \text{ m/min.}$ To nas navaja na misel, da je razlika hitrosti 2 m/min. kljub prejšnjim trditvam le še pomembna pri obstojnosti nožev.

Tudi pri tem moramo namreč upoštevati v zaključkih določeno rezervo zaradi precejšnjega števila prekinjenih poizkusov.

5.3 Izvedba preizkusa obrabne obstojnosti

Preizkus obrabne obstojnosti smo izvedli za nože, ki so bili kaljeni pri 1220°C in popuščani na 560°C , ker so imeli ti najvišjo vrednost $v_{60} = 18,6 \text{ m/min.}$ Potek preizkusa je bil že opisan. Odvisnost obrabe proste ploskve od časa struženja smo določili za tri različne hitrosti. Koti na nožu so enaki kot pri temperaturno obstojnostnem preizkusu. Vsi pogoji preizkušanja, pomik, globina rezanja, premer obdelovanca morajo biti vpisani v ustrezno tabelo, ki si jo lahko preizkuševalec sam predpiše.

Za vsako rezalno hitrost smo uporabili tri enako nabrušene in toplotno obdelane nože. Rezultati preizkusa so grafično prikazani na slikah 13, 14, 15 in 16.

Karakteristične oblike obrabljanja nožev med obrabno obstojnostnim preizkusom bodo opisane za obe vrsti brzoreznih jekel elomax in BRC-3. Značilna je »S« krivulja v linearni koordinatni mreži VB-T (glej sliko 14).

5.4 Zaključki preizkušanja nožev iz jekla elomax

Pri preizkusih z brzoreznim jeklom elomat smo ugotovili, da spremembe kalilnih temperatur v predpisanih mejah ne vplivajo bistveno na obstojnost rezalnega roba.

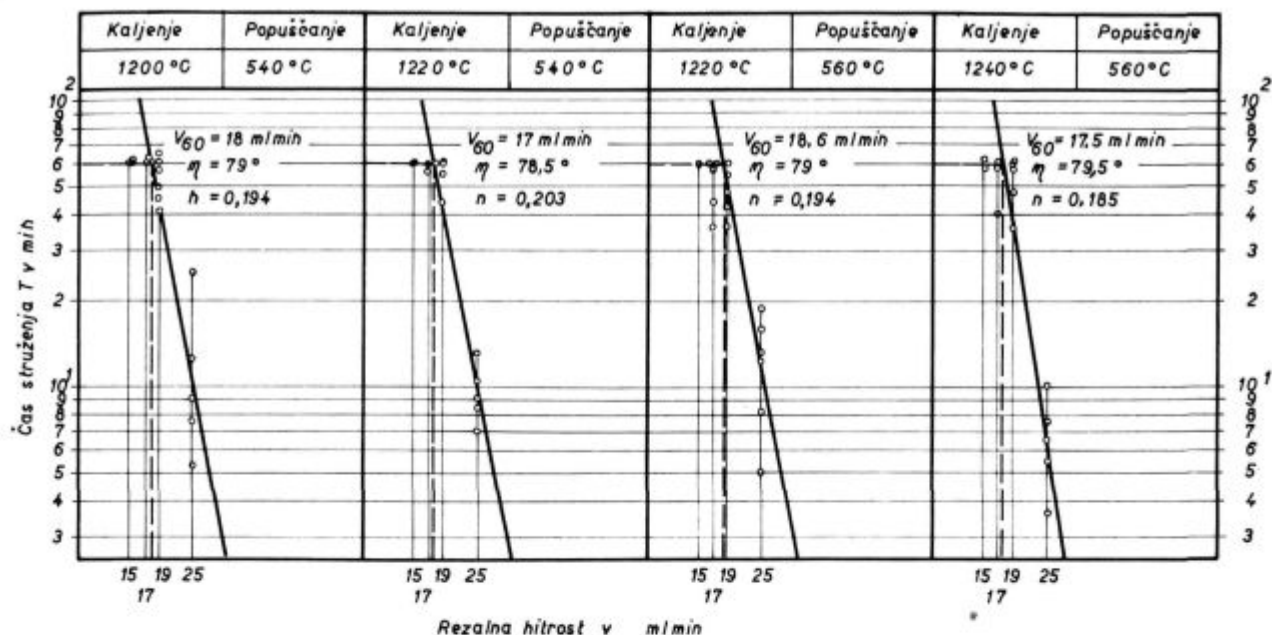
Zaključki razprav mnogih avtorjev soglašajo v trditvi, da orodja iz brzoreznih jekel zahtevajo večje kote kot orodja iz karbidnih trdin. Kolikšni so najugodnejši koti, pa ni vedno jasno in v katalogih podajajo precej nepopolna priporočila. Izvršeni preizkusi z jeklom elomax jeklom so delno rešili to neznanko ali vsaj pokazali pot z nadaljnimi poizkusi.

Sprememba kota $\gamma = 10^\circ$ na kot $\gamma = 20^\circ$ je povečala obstojnost nožev za več kot 50 %. V praksi se večkrat uporablja prvi kot. Iz slike 22 tudi vidimo, da je bilo precej preizkusov pri cepilnem kotu $\gamma = 20^\circ$ prekinjenih. V nadaljnjih preizkusih bi bilo potrebno povečati rezalne hitrosti na $v_1 = 22 \text{ m/min.}$, $v_2 = 25 \text{ m/min.}$ in $v_3 = 28 \text{ m/min.}$, po potrebi pa še $v_2' = 29$ ali $v_3' = 31 \text{ m/min.}$ Mnogo sigurnejši bi tudi bili rezultati preizkusov, če se ne bi omejili na prekinitve preizkusa po 60 min., ampak po 90 minut, kar pa je vprašanje praktičnih možnosti in dimenzij obdelovanca. Povečanje časa preizkušanja od $T = 60$ minut na $T = 90$ minut predlagamo zato, ker $T = 60$ minut sovпада s točko v_{60} v T-v diagramu. Večji razpon časov preizkušanja bi bil tudi zaželen pri statističnem vrednotenju rezultatov.

6. PREIZKUSI OBSTOJNOSTI STRUGARSKIH NOŽEV IZ JEKLA BRC-3 (Č. 9782)

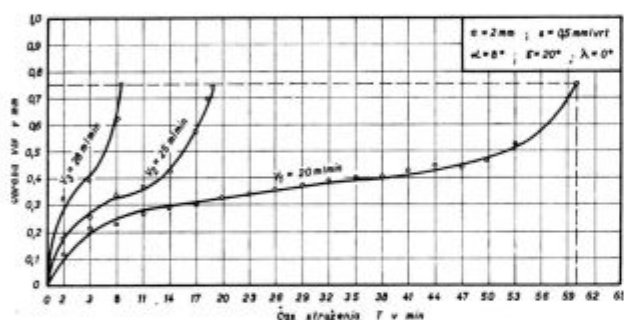
Pri ugotavljanju obstojnosti strgarskih nožev BRC-3 je bil potek podoben kakor pri nožih elomax. Poizkus je bil obsežnejši in na osnovi izkušenj pri preizkušanju jekla elomax vnaprej natančneje planiran. Na razpolago je bilo 80 nožev, vsi noži so bili iz ene šarže jekla, kar daje ugotavljanju vpliva toplotne obdelave večjo gotovost. Noži so bili kaljeni na treh različnih temperaturah in za vsako temperaturo kaljenja popuščani pri dveh različnih temperaturah popuščanja.

Iz sheme (slika 17) je razvidno, da smo ugotavljali obstojnost nožev za cepilne kote $\gamma = 6^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ pri hitrostih $v_1 = 25 \text{ m/min.}$, $v_2 = 21 \text{ m/min.}$ in $v_3 = 28 \text{ m/min.}$



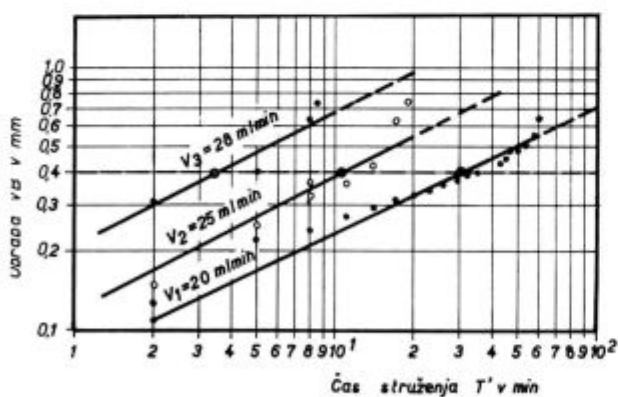
Slika 13

Vpliv toplotne obdelave na vzdržljivost strgarskih nožev elomax



Slika 14

Odvisnost obrabe proste ploskve od časa struženja za jeklo elomax

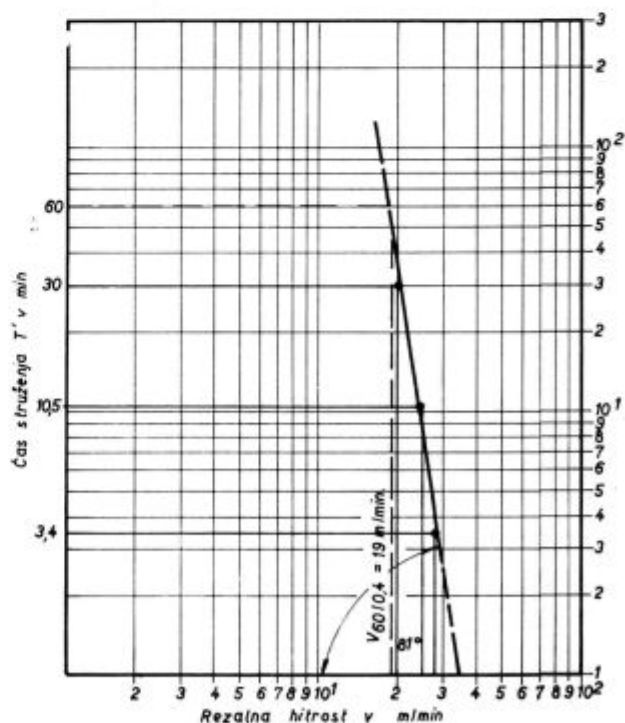


Slika 15

Odvisnost obrabe proste ploskve od časa struženja v dvojno logaritmčni koordinatni mreži

Za nože, ki so bili kaljeni na 1290 °C in popuščani na 560 °C, smo ugotavljali tudi vpliv nagibnega kota $\lambda = 0$ in $\lambda = +4^\circ$ C (glej sliko 6).

Iz pregleda sheme ne moremo dati nikakršnih zaključkov, pač pa nam to omogoča statistično vrednotenje rezultatov. Z analizo variance smo ugotovili, kako vplivajo na obstojnost različni ciklusi toplotne obdelave, kako cepilni kot γ in kako nagibni kot λ . Omejili se bomo samo na zaključke posameznih analiz, ker bi podrobnejše opisovanje izračunavanj presegalo okvir tega članka.



Slika 16

Določitev $v_{60,0,4}$ za elomax
 $v_{60,0,4} = 19 \text{ m/min.}, \sigma = 81^\circ \text{ m} = 0,18$

BRC-3 (šarža C)

Temperatura kaljenja

1270°C

1290°C

1310°C

Temperatura popušćanja

600°C

540°C

560°C

560°C

600°C

540°C

Naklonski kot λ

0°

0°

0°

+4°

0°

0°

Cepilni kot γ°

6°

10°

15°

6°

10°

15°

6°

10°

15°

6°

10°

15°

Obstojnost nožev „T“

Hitrost rezanja	$V_1=25\text{m/min}$			$V_2=21\text{m/min}$			$V_3=28\text{m/min}$											
1	6'40"	7'32"	22'24"	6'12"	6'35"	10'40"	11'13"	9'7"	9'8"	9'20"	18'2"	(1h)	7'20"	21'10"	41'45"	7'11"	10'00"	1'5"
2	10'27"	7'4"	33'35"	4'15"	9'55"	22'15"	10'47"	9'00"	13'56"	18'00"	(1h)	(1h)	7'25"	25'00"	(1h)	8'12"	11'20"	11'2"
3	8'2"	8'34"	35'50"	6'28"	9'9"	18'55"	5'42"	9'57"	8'27"	8'58"	49'00"	(1h)	9'40"	17'25"	(1h)	9'4"	16'30"	9'16"
4	6'14"	7'30"	11'15"	7'40"	8'10"	19'55"	5'38"	9'35"	11'38"	13'55"	44'2"	(1h)	6'42"	18'25"	50'41"	6'40"	12'50"	18'8"
5	8'55"	12'14"	12'30"	7'12"	9'18"	14'16"	5'48"	7'3"	17'55"	8'42"	38'5"	(1h)	10'18"	24'20"	40'12"	8'15"	16'3"	19'10"
6	6'45"	13'18"	11'30"	3'50"	7'40"	9'48"	9'16"	12'11"	9'55"	14'25"	50'00"	(1h)	7'55"	37'11"	36'18"	5'41"	9'6"	1'1"
7	6'42"	15'3"	15'20"	6'5"	8'32"	13'7"	7'5"	9'18"	10'32"				(1h)	16'14"	58"	6'00"	10'35"	10'36"
1	8'40"	10'23"	28'25"	15'25"	17'3"	(1h)	18'30"	39'4"	(1h)	12'50"	(1h)	(1h)	10'28"	25'00"	(1h)	24'50"	25'12"	(1h)
2	10'32"	14'52"	30'25"	23'32"	15'55"	45"	30'17"	15'7"	(1h)	30'15"	(1h)	(1h)	13'7"	36'12"	(1h)	19'10"	48'1"	(1h)
3	17'20"	11'51"	22'30"	17'32"	22'23"	(1h)	10'28"	23'25"	(1h)	13'00"	39'47"	(1h)	14'52"	27'00"	(1h)	33'40"	36'20"	(1h)
4	10'42"	15'55"	27'15"	16'14"	34'46"	(1h)	11'56"	26'31"	(1h)	31'15"	(1h)	(1h)	20'41"	28'00"	(1h)	21'10"	35"	(1h)
5	13'41"	16'27"	33'5"	17'5"	25'55"	19'30"	16'35"	22'13"	38'33"	12'39"	26'55"	(1h)	11'16"	22'5"	(1h)	25'6"	40'5"	34'18"
6	9'50"	15'32"	25'7"	15'18"	23'35"	(1h)	15'00"	19'46"	(1h)	14'55"	(1h)	(1h)	15'42"	28'10"	59"	19'20"	26'6"	(1h)
7	7'46"	13'58"	(1h)	16'56"	20'15"	24'51"	20'27"	14'32"	48'5"				16'11"	25'10"	(1h)	18'20"	26'7"	25'00"
1	2'10"	13'10"	11'27"	8'12"	2'55"	17'4"	3'30"	9'40"	9'22"	10'44"	17'15"	18'40"	2'47"	8'50"	13'10"	4'50"	11'20"	10'10"
2	2'10"	4'27"	15'11"	12'00"	8'35"	9'12"	2'12"	2'50"	6'54"	6'57"	5'00"	28'50"	2'38"	7'40"	10'18"	4'41"	10'5"	18'10"
3	3'45"	3"	12'52"	5'6"	7'9"	12'7"	3'55"	6'46"	3'50"	7'10"	21'50"	22'30"	4'50"	5'12"	15'9"	8'10"	9'50"	7'50"
4	2'40"	5'6"	31'40"	5'7"	8'00"	16'24"	5'00"	8'12"	27'5"	9'00"	4'25"	12'2"	3'50"	10'1"	24'5"	3'11"	12'5"	7'20"
5	3'45"	8'30"	10'30"	7'30"	4'45"	19'12"	4'40"	5'55"	16'25"	5'5"	21'40"	21'55"	4'5"	9'00"	16'18"	5'9"	11'48"	11'12"
6	4'3"	7'42"	17'12"	6'12"	5'16"	15'19"	4'4"	6'46"	34'30"	8'00"	4'25"	15'00"	5'25"	7'42"	19'10"	6'00"	9'00"	20'15"
7	2'32"	4'12"	15'20"	8'3"	15'30"	17'5"	3'23"	9'00"	25'12"				3'18"	11'5"	11'25"	3'15"	8'20"	23'4"

Širina obrabe na prosti ploskvi „VB“

Hitrost rezanja	$V_1=25\text{m/min}$			$V_2=21\text{m/min}$			$V_3=28\text{m/min}$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
1	0,96	0,67	0,75	0,72	0,77	1,10	0,53	0,43	0,93	0,63	0,59	0,40	0,59	0,58	0,67	0,74	0,83	0,73																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										

6.1 Analiza variance za rezultate preizkušanja rezalne obstojnosti T in širine obrabe VB pri jeklu BRC-3

Vse analize obstojnosti in obrabe strgarskih nožev so bile izvršene za 3 nivoje statistične gotovosti:

$\alpha = 10$ (90 % gotovost)

$\alpha = 5$ (95 % gotovost)

$\alpha = 1$ (99 % gotovost)

6.11 Čas rezalne obstojnosti T v odvisnosti od toplotne obdelave in cepilnega kota

Pri tej analizi smo ugotavljali vpliv ciklusa toplotne obdelave, cepilnega kota γ in nagibnega kota λ na obstojnost strgarskih nožev. Pri tem smo upoštevali sledeče variante toplotne obdelave:

1' kaljenje 1270° C + popuščanje 600° C $2 \times$ po 1^h

2' kaljenje 1270° C + popuščanje 540° C $2 \times$ po 1^h

3' kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C $2 \times$ po 1^h

(pri $\lambda = 0$)

4' kaljenje 1310° C + popuščanje 600° C $2 \times$ po 1^h

5' kaljenje 1310° C + popuščanje 540° C $2 \times$ po 1^h

Pri vseh teh variantah toplotne obdelave je bil kot $\lambda = 0$.

Pri kaljenju 1290° C in popuščanju 560° C smo posebej primerjali dva različna nagibna kota $\lambda = 0^\circ$ in $\lambda = +4^\circ$. Za vsak cikel toplotne obdelave in za vsak nagibni kot λ so bili noži preizkušeni s koti $\gamma = 6^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ ter pri treh različnih hitrostih $v_1 = 25$ m/min., $v_2 = 21$ m/min. in $v_3 = 28$ m/min.

Čas preizkušanja je bil tudi tukaj omejen in po 60 minutah prekinjen.

Analiza variance za obstojnost je pokazala, da sta najboljši kombinaciji kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C; $\lambda = +4^\circ$, $\gamma = 15^\circ$ in kaljenje 1310° C + popuščanje 600° C; $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = 15^\circ$. Med obstojnostjo v teh dveh kombinacijah ni statistično pomembne razlike. Pri vseh ostalih (razen ene) kombinacijah se obstojnost od navedenih dveh pomembno razlikuje z 99 % gotovostjo. Izjema je kombinacija — kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C; $\lambda = +4^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, ki jo zato smatramo kot tretjo najboljšo kombinacijo glede obstojnosti.

6.12 Širina obrabe

Pri primerjavi širine obrabe VB na prosti ploskvi ni statistično pomembnih razlik pri raz-

kaljenje 1270° C + popuščanje 600° C $\lambda = 0^\circ$ $\gamma = 6^\circ$

kaljenje 1270° C + popuščanje 600° C $\lambda = 0^\circ$ $\gamma = 15^\circ$

kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C $\lambda = +4^\circ$ $\gamma = 6^\circ$

kaljenje 1310° C + popuščanje 540° C $\lambda = 0^\circ$ $\gamma = 10^\circ$

Z 99 % gotovostjo trdimo le še, da je razlika pomembna proti obstojnosti v 1 in 3 napisani kombinaciji, zato ti dve smatramo za najslabši in to dejstvo pripisujemo vplivu cepilnega kota. Vpliv različnih rezalnih hitrosti na širino obrabe ni pomemben, vsaj ne pri razlikah v hitrosti do 7 m/min. Tudi tukaj je potrebno pripomniti, da so

ličnih ciklusih toplotne obdelave in različnih cepilnih kotih.

6.13 Vpliv nagibnega kota λ

Z analizo variance za vpliv nagibnega kota pri toplotni obdelavi kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C in treh cepilnih kotih $\gamma = 6^\circ$, 10° in 15° smo primerjali še vpliv nagibnega kota $\lambda = 0^\circ$ in $\lambda = +4^\circ$.

Rezultati kažejo, da je obstojnost pri $\lambda = +4^\circ$ (99 % gotovost) večja od obstojnosti pri $\lambda = 0^\circ$. Vpliv cepilnih kotov γ je enak kot pri že opisani analizi variance. Obstojnost se povečuje s povečevanjem cepilnega kota. Z analizo vpliva nagibnega kota smo še ugotovili, da je sprememba kota λ zelo pomembna tako kot sprememba kota γ .

Rezultati analize variance v primerjavi širine obrabe VB pri $\lambda = +4^\circ$ in $\lambda = 0^\circ$ kažejo, da sprememba nagibnega kota λ ne vpliva pomembno na širino obrabe.

Spet pa z 99 % gotovostjo lahko trdimo, da je obraba manjša pri cepilnem kotu $\gamma = 15^\circ$ kot pri cepilnem kotu $\gamma = 6^\circ$. Z 90 % gotovostjo tudi lahko trdimo, da je obraba pri cepilnem kotu $\gamma = 10^\circ$ manjša kot pri $\gamma = 6^\circ$.

6.14 Vpliv rezalne hitrosti

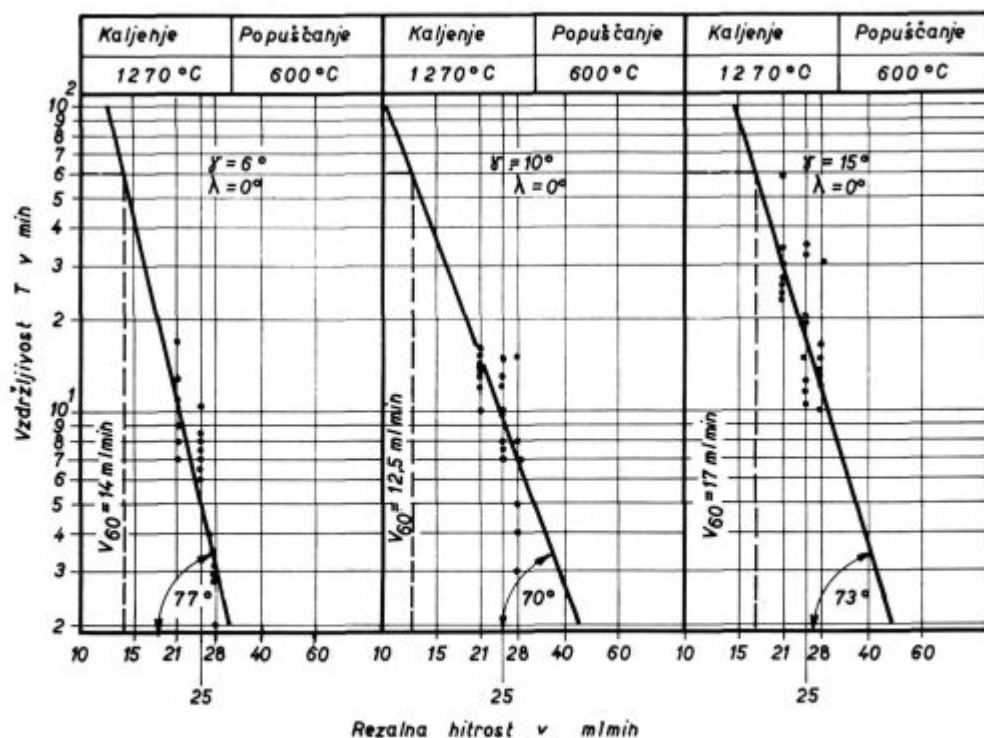
Preizkušali smo tudi vpliv rezalne hitrosti na obstojnost strgarskih nožev. Vzeli smo za preizkus tri različne rezalne hitrosti, $v_1 = 25$ m/min., $v_2 = 21$ m/min., $v_3 = 28$ m/min.

Rezultati analize variance kažejo, da z 99 % gotovostjo lahko trdimo, da se obstojnosti pri treh rezalnih hitrostih pomembno razlikujejo. Največja je obstojnost pri najmanjši rezalni hitrosti, kar je popolnoma razumljivo. Važnejši je zaključek, da že sprememba hitrosti za 3 oz 4 m/min. pomembno vpliva na obstojnost noža. V tej analizi variance smo na enak način kot čase obstojnosti T primerjali tudi širino obrabe VB. Izkazalo se je, da je obraba najmanjša pri kombinaciji toplotnega ciklusa: kaljenje 1290° C + popuščanje 560° C s koti $\lambda = +4^\circ$ in $\gamma = 15^\circ$, kjer je bila tudi največja obstojnost.

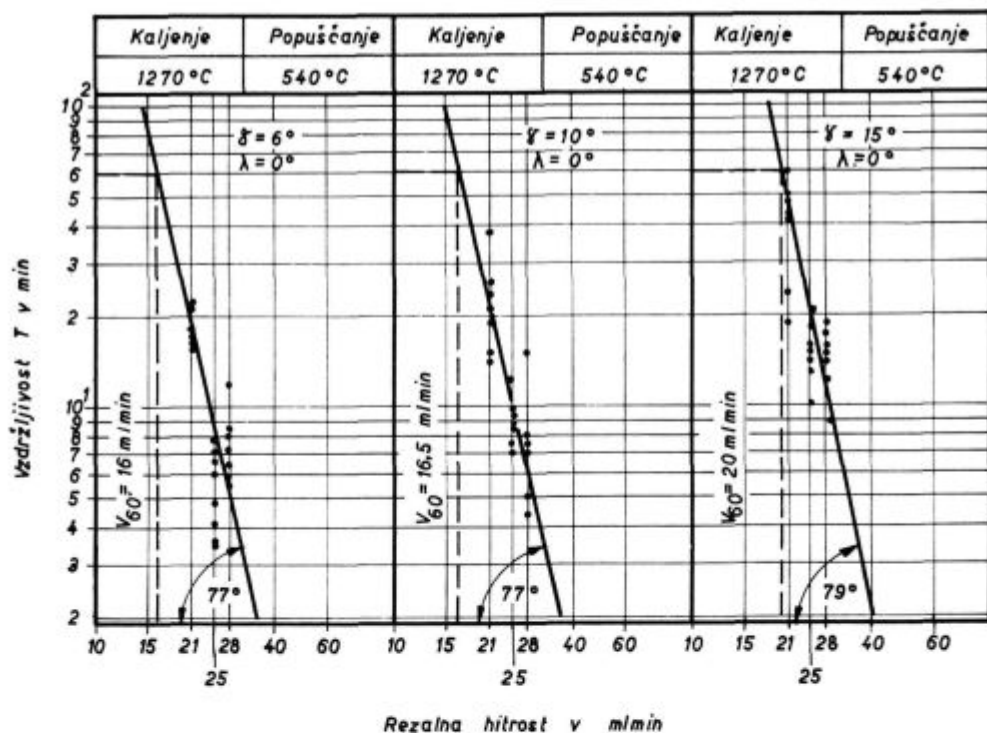
Z 90 % gotovostjo lahko trdimo, da je obraba pri tej kombinaciji pomembno manjša le od obrabe pri kombinacijah:

bili poizkusi po 60 minutah prekinjeni, zato obstaja možnost, da bi bili rezultati delno spremenjeni, če bi se poizkusi nadaljevali.

Za grafičen prikaz izvršenih preizkusov in za določitev v_{90} smo v dvojno logaritmčno koordinatno mrežo T-v diagrama vnesli vse rezultate obstojnosti (slike 18—23).



Slika 18

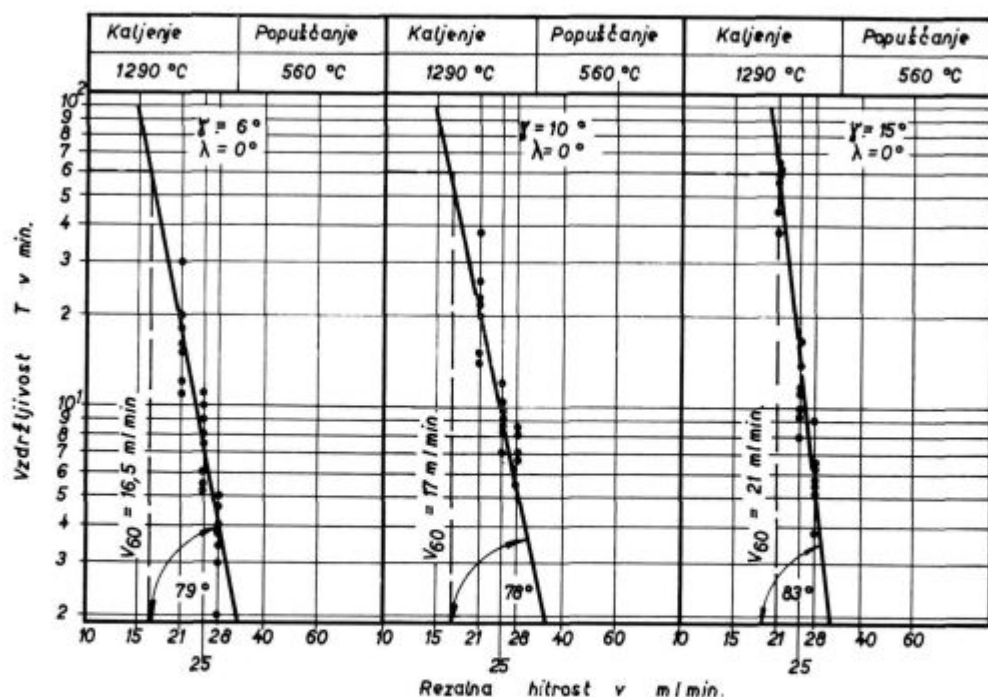


Slika 19

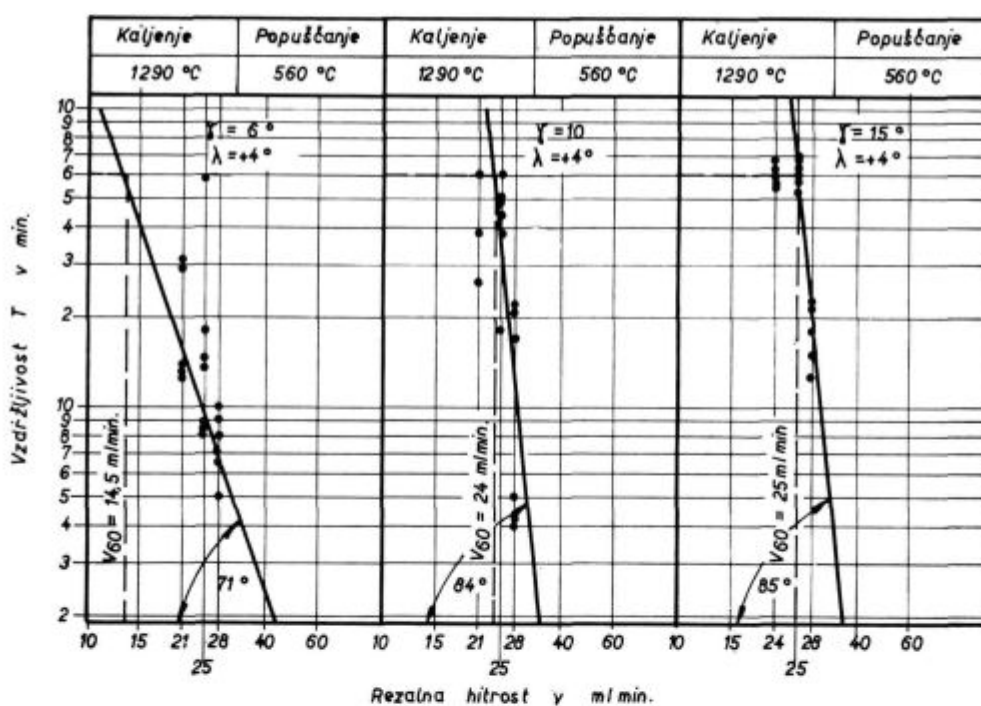
Iz vseh premic v T-v diagramu oziroma določenih v_{60} se vidi, da je največja $v_{60} = 25$ m/min. pri kalilni temperaturi 1290 °C, popuščni temperaturi 560 °C, nagibnemu kotu $\lambda = +4^\circ$ in cepilnemu kotu $\gamma = 15^\circ$. Grafičen prikaz rezultatov se popolnoma ujema s statističnim vrednotenjem, kar samo povečuje zanesljivost zaključkov.

6.15 Preizkus obrabne obstojnosti za brzorezno jeklo BRC-3

Na sliki 24 je v linearni mreži VB-T' diagrama narisana karakteristična krivulja obrabe za tri različne hitrosti $v_1 = 25$ m/min., $v_2 = 28$ m/min. in $v_3 = 30$ m/min. Do nenormalnega trošenja rezultatov je prišlo pri rezalni hitrosti $v_3 = 30$ m/min.



Slika 20



Slika 21

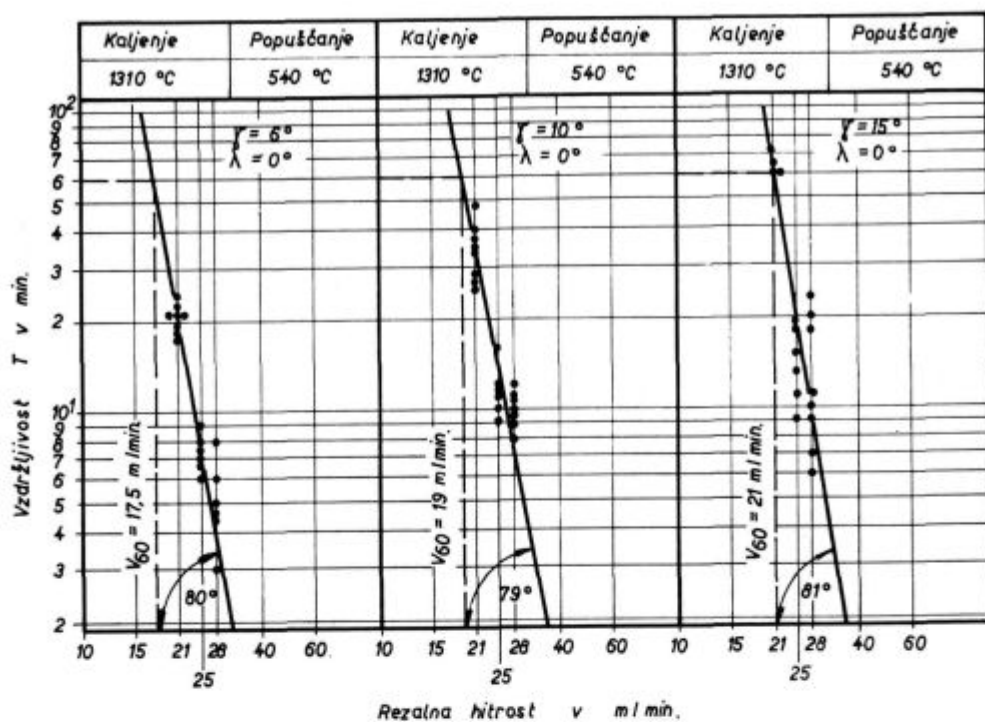
Temu je verjetno vzrok prevelika rezalna hitrost.

Za določitev $v_{60,4}$ je potrebno rezultate preizkusa vnesti v dvojno logaritmično koordinatno mrežo v - T diagrama (slika 25). Tako dobimo hitrost 20 m/min.

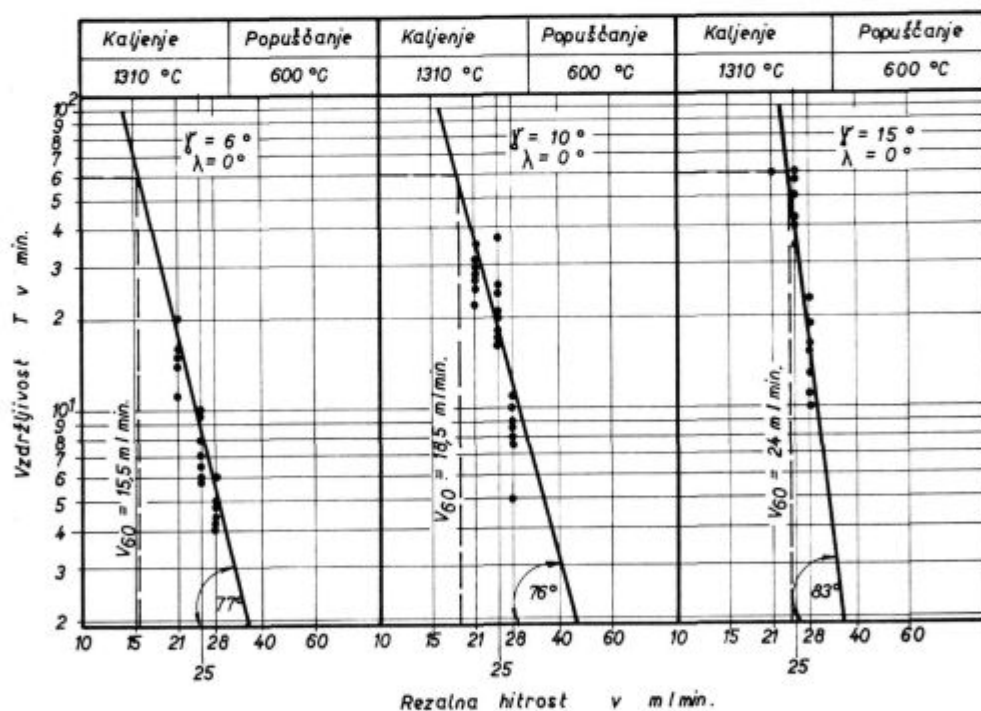
6.16 Nekaj dodatnih preizkusov

Za nazoren prikaz vpliva cepilnega kota γ smo z dodatnimi poizkusi ugotovili odvisnost obstoj-

nosti od cepilnega kota γ , ki ga prikazuje slika 26. S spremembo geometrije bi lahko zelo povečali obstojnost strgarskih nožev in drugih orodij. Pri spremembi geometrije je mišljena najprimernejša geometrija rezalnega roba in oblika lomilca ostružkov, ki je obvezen pri večjih cepilnih kotih. Raziskave naj bi šle v prihodnje nekoliko bolj v to smer. Z brušenjem nožev na »fazo« se bodo verjetno dosegale še večje obstojnosti kot pri bru-



Slika 22



Slika 23

Slika 18, 19, 20, 21, 22, 23

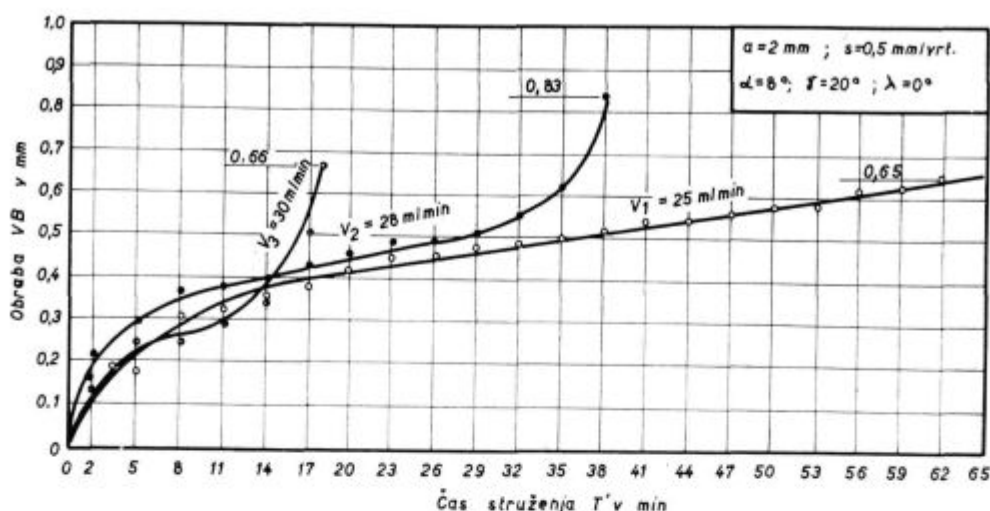
Vpliv cepilnega kota γ na vzdržljivost strgarskih nožev BRC-3 pri dani toplotni obdelavi

šenju brzoreznih strgarskih nožev v geometrijo, ki jo danes normalno predpisujejo. Opravljeni preizkusi so torej zadostili nekaterim neznankam, še več pa jih je ostalo nenakazanih. Te bo še treba s preizkusi rešiti, če hočemo, da bodo rezalna orodja popolnoma izkoriščena.

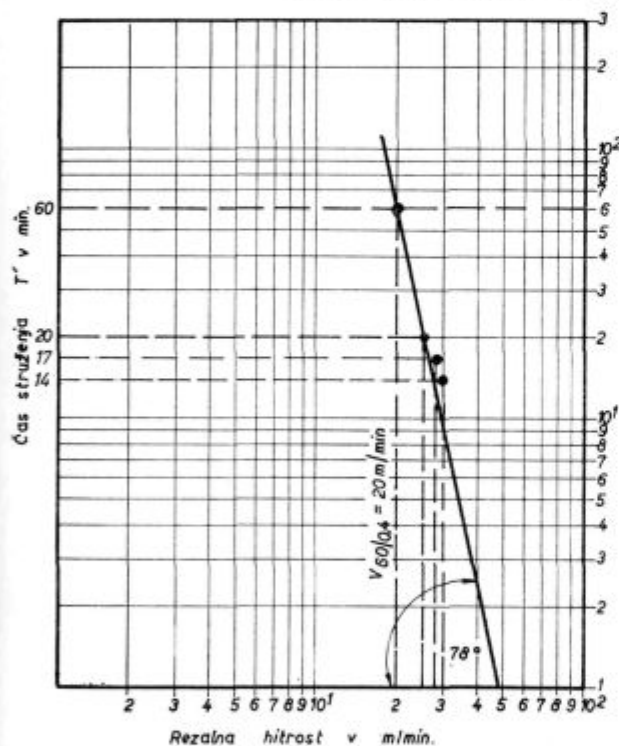
6.2 Zaključki preizkušanja BRC-3 jekla

Če zberemo v grobem rezultate analiz variance za BRC-3 in upoštevamo območje preizkušanja, ugotovimo:

- Najboljši je cikel toplotne obdelave kaljenje 1290 °C + popuščanje 560 °C

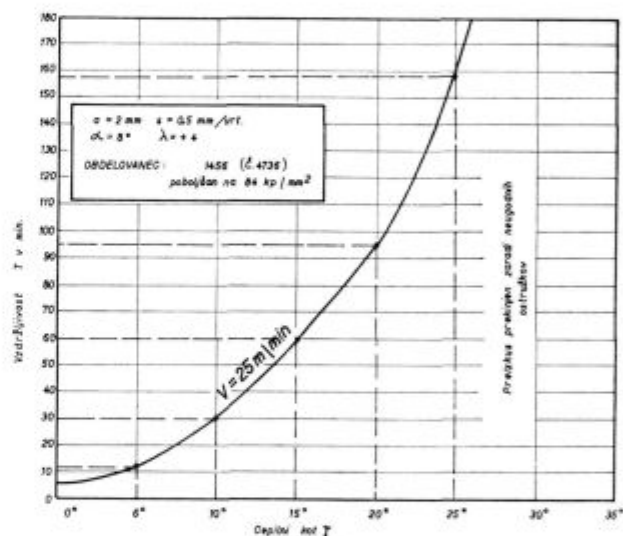


Slika 24
Odvisnost obrabe proste ploskve od časa struženja za jeklo BRC-3



Slika 25
Določitev $v_{60,0,4}$ za RRC-3; $v_{60,0,4} = 20 \text{ m/min.}$, $\sigma = 78^\circ$, $m = 0,2$

- Nagibni kot $\lambda = +4^\circ$ je boljši (povprečno povečanje obstojnosti za 35 %) od nagibnega kota $\lambda = 0$.
- Najboljši je največji cepilni kot $\gamma = 15^\circ$.
- Pri manjši rezalni hitrosti je obstojnost večja.
- Pri nižjih kalilnih temperaturah daje boljše rezultate nižje popuščanje, pri višjih kalilnih temperaturah pa višje popuščanje. Ta pojav je tudi iz metalurškega vidika popolnoma logičen.



Slika 26
Vpliv cepilnega kota γ na vzdržljivost strgarskih nožev BRC-3 pri konstantni rezalni hitrosti $v = 20 \text{ m/min}$

- Vpliv kalilnih temperatur na obstojnost nožev je pomemben le pri večjih cepilnih kotih.

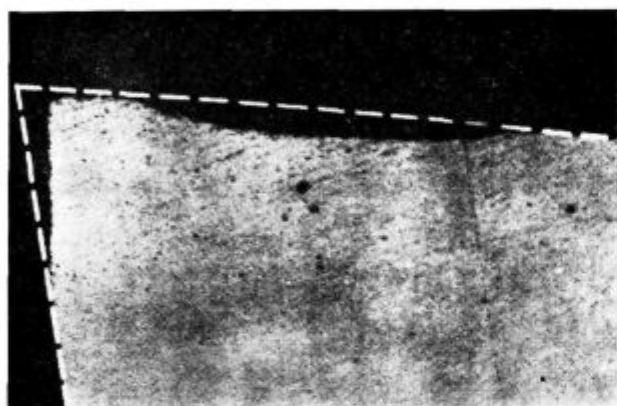
Nujno je, da se v prihodnjih preizkusih posveti nagibnemu kotu λ več pozornosti. Preizkusi bi se morali izvesti vsaj še za dva večja nagibna kota $\lambda = 8^\circ$ in $\lambda = +12^\circ$.

7. OBRABA STRGARSКИH NOŽEV IZ BRZO-REZNIH JEKEL ELLOMAX in BRC-3

Obraba orodja določa (če se rezalni rob ne zlomi) trajanje ostrine na rezalnem robu ali obstojnost T med dvema brušenjema noža. Vzroki za neuporabnost orodja so zelo različni. Obrabljene nože je treba zamenjati ali na novo nabrusiti iz naslednjih vzrokov.

- Obrabljeni nož lahko moti proces dela ali škoduje funkciji obdelovalnega stroja.
- Nož izgubi rezalno sposobnost.
- Obraba na rezalnem robu je tolikšna, da lahko pričakujemo uničenje noža.
- Zaradi obrabe noža ni mogoče obdelovati obdelovanca v mejah dopustnih odstopkov.
- Kvaliteta površine obdelovanca ne ustreza zahtevam.

Od vseh naštetih vzrokov smo v preizkusih jemali za kritični faktor izgubo rezalne sposobnosti. Obraba je bila najboljčutnejša na tistih mestih noža, ki so v neposrednem dotiku z obdelovancem oziroma odtekajočimi odrezki. To je obraba na prosti ploskvi in obraba na cepilni ploskvi. Najpogostejši primer je bilo istočasno obrabljanje na prosti in cepilni ploskvi, vendar je bila v večini primerov obraba na cepilni ploskvi vzrok za lom konice noža (slika 27). Vzrok obrabe proste plos-



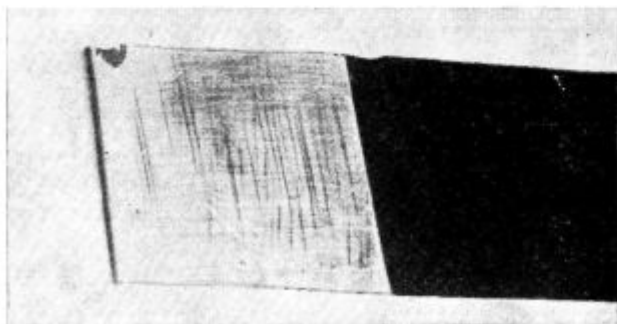
Slika 27

Tipičen primer obrabe strgarskih nožev iz brzoreznih jekel

kve je v trenju med prosto ploskvijo in obdelovancem. Obraba cepilne ploskve pa se pripisuje trenju med cepilno ploskvijo in ostružki.

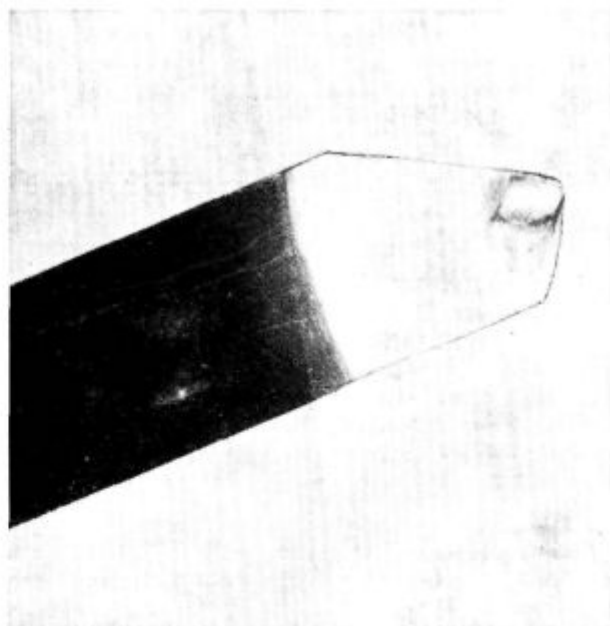
Najpogostejši vzroki otopitve orodja so bili:

- plastična deformacija orodja zaradi temperaturnih vplivov;
- izkrhanost, ki je posledica vplivov utripajoče sile odrezka in nihanj, ki prekoračijo nihajno upogibno trdnost orodja;



Slika 28

Obraba proste ploskve



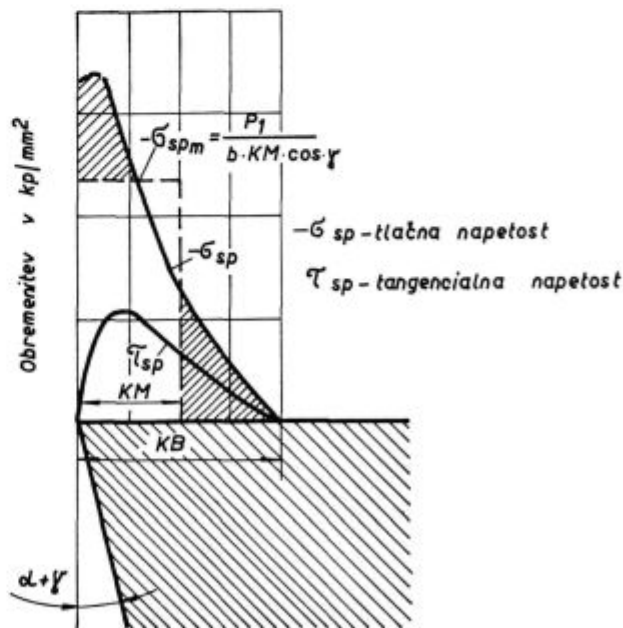
Slika 29

Obraba cepilne ploskve

- izguba snovi v obliki mikroskopsko majhnih delcev, ki odhajajo deloma z odrezki, deloma pa ostanejo privarjeni na površini obdelovanca.

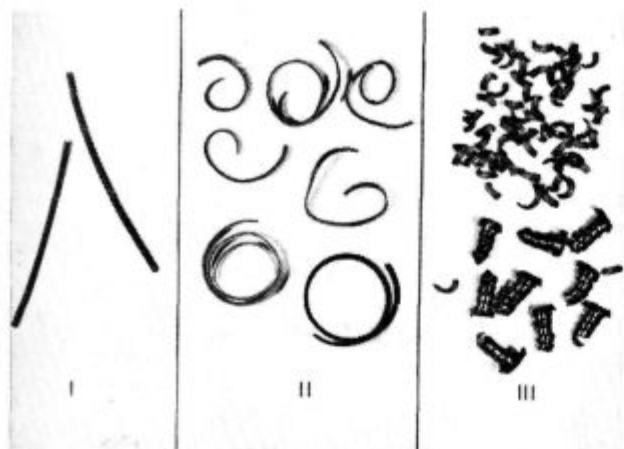
Sliki 28 in 29 prikazujeta obrabo proste in cepilne ploskve. Iz slike 29 vidimo, da rob izdolbine na cepilni ploskvi ne sovпада z rezalnim robom, ampak je odmaknjen od rezalnega roba za ca 0,3 mm. Omenjeni pojav bo potrebno za brzorezna jekla še podrobneje raziskati.

Vzrok za nastanek sorazmerno široke »faze« pri strgarskih nožih iz jekla elomax in BRC-3 je



Slika 30

Diagram obremenitve strgarskega noža (po Kottvinkel Stahl Eisen 1958 sl. 1685)



Slika 31
Karakteristične oblike ostružkov od začetka rezanja do zaplitve noža

verjetno utrditev rezalnega roba zaradi velikih pritiskov, ki se pojavijo med rezanjem. Na sliki 30 so prikazane obremenitve strgarskega noža med delom. Veliki pritiski imajo podoben učinek kot hladno kovanje, za katerega vemo, da izboljšuje mehanske lastnosti predmeta. Bistvenih razlik v globini izdolbine pri različnih cepilnih in nagibnih kotih ni bilo opaziti, vendar se je opazila tendenca, da večji cepilni koti zmanjšujejo KT (slika 8) in povečujejo KB. Ta pojav si lahko razlagamo tako, da veliki cepilni in nagibni koti zmanjšujejo koeficient trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo. Manjše trenje ima za posledico manjše razvijanje toplote, ta pa manjšo plastično deformacijo cepilne ploskve in zato manjše odnašanje delcev cepilne ploskve.

Zelo velike razlike so nastopile v obliki ostružkov pri vseh preizkušanih nožih. Takoj na začetku struženja so bili ostružki ravni (oblika I na sli-

ki 31) in globine izdolbine KT so se dolgi ostružki spremenili v lepo tekoče spiralne ostružke (oblika II. na sl. 31). Proti koncu preizkusa, tik pred popolno otopelostjo, ko površina izdolbine ni več gladka in je cepilna ploskev na torni površini že žarela v temnordečem žaru, so se ostružki zelo na drobno lomili (oblika III. na sliki 31).

Pri dosedanjih raziskavah smo analizirali le rezultate meritev na prosti ploskvi. V prihodnje bo treba analizirati tudi obrabo na cepilni ploskvi in vpliv poteka obrabe na porušitev rezalnega roba.

Metodično zasledovanje obrabe na cepilni ploskvi noža je bilo nemogoče, ker nimamo primernega merilnega instrumenta za merjenje izdolbenja na cepilni ploskvi.

Smoter prihodnjih preizkusov naj bi bil, da dobimo kompleksen kriterij za obrabo orodij in obdelovalnosti jekel.

Literatura

1. J. Rodič: Matematična statistika, Metode 1 in 2; Izdaja, Metalburo, Zagreb 1964.
2. J. Rodič: Matematična statistika, Upute 1, 2 in 3; Izdaja, Metalburo, Zagreb 1964.
3. J. Rodič: Alatni čelici; Izdaja, Metalburo, Zagreb 1963.
4. P. Puhar: Tehnologija odrezavanja I. del; Strojniški vestnik, Ljubljana 1964.
5. T. Pratnek: Diplomsko delo; Fakulteta za strojništvo, Ljubljana 1965.
6. M. Kronenberger: Grundzüge der Zerspanungslehre I. del; Springer — Verlag Berlin 1954.
7. E. Siehel: Handbuch der Zerspanungslehre I. del; Springer — Verlag Berlin 1955.
8. DIN-Normen: Stahl — Eisen Prüfblätter; Beuth — vertrieb GMBH Berlin 30, 1952.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Untersuchungen der Beständigkeit von Drehmessern aus Schnellschneidstählen wurden für die Stähle Elomax und BRC-3 durchgeführt.

Der Zweck der Untersuchungen war die Bestimmung der optimalen Wärmebehandlung, das bedeutet die Bestimmung der Härtings- und Anlasstemperatur der günstigsten Geometrie der Schneidekanten. Bei der Untersuchung der günstigsten Geometrie der Schneidekanten haben wir die verschiedenen Spaltwinkel, beim Stahl BRC-3 aber auch noch die verschiedenen Neigungswinkel untersucht.

Die Betonung der Untersuchungen der Schnelldrehstähle lag nicht nur auf der Feststellung der günstigsten Geometrie der Messer und der optimalen Wärmebehandlung, sondern auch auf der statistischen Wertung der gewonnenen Resultate. Zu diesem Zwecke war es notwendig, die Resultate angemessen zu sammeln.

Für beide Sorten der Schnelldrehstähle ist charakteristisch, dass die Wärmebehandlung im Bereich der Unter-

suchungen nicht wesentlich auf die Beständigkeit der Messer einwirkt. Man kann daraus nur schliessen, dass höhere Härtetemperaturen auch höhere Anlasstemperaturen erfordern. Diese Feststellung ist auch vom metallurgischen Standpunkt aus bewiesen.

Wesentliche Unterschiede in der Messerbeständigkeit zeigen sich bei verschiedenen Spaltwinkeln. Für beide Sorten von Schnellschneidstählen Elomax und BRC-3 gilt es, dass eine Vergrößerung des Spaltwinkels die Beständigkeit vergrößert. Eben so hat der Neigungswinkel eine wesentliche Einwirkung auf die Schneidebeständigkeit, da die Änderung des Neigungswinkels von 0° auf $+4^\circ$ die Messerbeständigkeit um 35 % erhöhte.

Aus den durchgeführten Untersuchungen ist es ersichtlich, dass die richtige Auswahl des Spaltwinkels wichtig ist. In den zukünftigen Untersuchungen wäre es aber notwendig, mehr Aufmerksamkeit dem Neigungswinkel zu widmen.

SUMMARY

Cutting characteristics of Elomax and BRC-3 high speed steel were tested.

The tests were made in order to find out the optimal conditions for heat treatment and the optimal geometry of cutting edge. Experiments were conducted under different back rake angle and also by different side cutting edge angle when testing BRC-3 steel.

The results obtained were evaluated by the methods of statistical analysis.

Various conditions of heat treatment did not influence essentially the duration of cutting tools. When higher tem-

peratures of quenching were used also higher tempering temperatures were required.

Basic differences in their duration were experienced with different back rake angles. Bigger back rake angle increased the duration of Elomax and BRC-3 high speed steel. Side cutting edge has also significant influence on the cutting performance. The change of side cutting edge angle from 0 to $+4^\circ$ causes an increase of duration for 35 %.

From the point of experimental facts it is clear that the best choice of back rake angle is of extreme importance. In further study of their duration more attention will be paid to the influence of side cutting edge angle.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытания стойкости токарных ножей из быстрорежущей стали были выполнены на сталях марок Elomax и BRC-3. Цель испытания определить оптимальную температурную обработку т. е. определить температуры закалки и отпуска а также самую подходящую геометрию режущей кромки. При этом испытанию изменяли угол резания а при стали марки BRC-3 также угол наклона. Основным мотивом испытания была статистическая обработка и оценка полученных результатов. Поэтому было необходимо полученные результаты целесообразно собрать.

Для обеих марок стали достоверно, что температурная обработка в интервале испытания не влияла значительно на прочность ножей. Можно вывести заключение, что более высо-

кая температура закалки требует повышение температуры отпуска. Это определение доказано также со стороны металлургической точки зрения. Существенная разница стойкости ножей появляется в случае различных углов резания. Для обеих марок быстрорежущей стали Elomax и BRC-3 следует правило, что с увеличением угла резания увеличивается устойчивость. Также угол наклона имеет значительное влияние на стойкость, напр. изменением угла наклона с 0° на $+4^\circ$ увеличилась стойкость ножей за 35 %.

На основании выполненных испытаний можно заключить что важную роль играет правильный выбор угла резания. В следующих испытаниях надо посвятить больше внимания углу наклона.