

## Lastnosti hitroreznih jekel in analiza vzdržnosti orodij

Preiskavam orodnih jekel so še zmerom postavljene precejšnje omejitve zaradi težavnosti izdelave prob in samih orodij. Posebej velja to za hitrorezna jekla. Zato se za dve od največ uporabljanih vrst hitroreznih jekel podaja nekaj najnovejših ugotovitev, ki lahko koristijo pri toplotni obdelavi in spreminjanju kemijske sestave. Posebej se prikazuje tudi analiza vzdržnosti orodij s pomočjo njihove trdote in žilavosti. Na osnovi analize se ustvari krivulja relativne vzdržnosti za nekaj različnih pogojev mehanske obdelave, vključno pri visoki temperaturi. Iz izvajanj je razvidno, da je za izboljšanje kvalitete orodij, za izbiro ustrežnejših jekel treba izdelovati jeklo zmerom v analiznih mejah, da ga je treba skrbno toplotno obdelati in da se morajo dobro poznati njegova trdota, žilavost in po možnosti trdota v vročem. Poudarek je tudi na zasledovanju vzdržnosti orodij, kajti le tako da je možno skonstruirati smerno krivuljo relativne vzdržnosti samo na osnovi znanih trdot in žilavosti.

žanje trdnosti se začne pri nižji kalilni temperaturi, če je vsebnost ogljika povišana. Tudi plastično upogibno delo je pri probah, kaljenih z višje temperature manjše, toda veliko hitreje pada z zviševanjem temperature kaljenja pri probah z nižjim ogljikom, kot pri probah z višjim ogljikom (sl. 1).

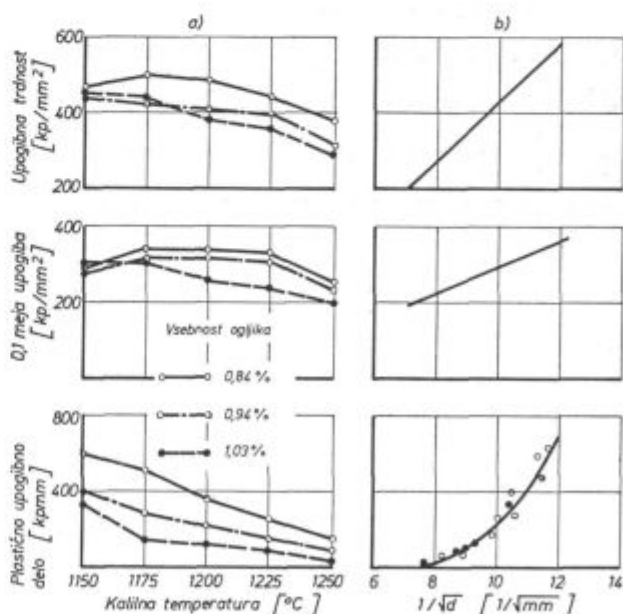
Mehanske lastnosti so močno odvisne od velikosti avstenitnega zrna, zato so na sliki 1b prikazane mehanske lastnosti prob v odvisnosti od recipročne vrednosti kvadratnega korena premera zrna, izraženega v milimetrih. Za upogibno trdnost so dobili znano ravnočrtno odvisnost, podobno tudi za upogibno mejo 0,1, medtem ko se plastično upogibno delo ne obnaša po tej zakonitosti. Pomembno pri vsem tem je, da na mehanske lastnosti vsebnost ogljika ne vpliva, v kolikor kalimo probe na enako velikost zrna.

Vpliv zadržanega avstenita na 0,1 upogibno mejo je viden iz slike 2. Meja 0,1 pada z večjo vsebnostjo zadržanega avstenita, vendar ni videti posebnega vpliva vsebnosti ogljika. Preizkušali so

### VPLIV TOPLTNE OBDELAVE IN SPREMEMB KEMIJSKE SESTAVE NA MEHANSKE LASTNOSTI TER REZILNOST ORODJA IZ JEKLA TIPA 6-5-2, KI USTREZA JEKLU BRM 2 (Č. 7680)

S poskusi statičnega upogiba so pri hitroreznih jeklih ugotovili, da mehanske lastnosti pri povečevanju vsebnosti ogljika niso odvisne samo od vsebnosti ogljika temveč tudi od velikosti avstenitnega zrna in količine zadržanega avstenita. Vpliv samega ogljika je pravzaprav težko določiti, čeprav se seveda lahko računa na manjše plastično upogibno delo pri jeklih z večjo vsebnostjo ogljika. Rezilna zmožnost orodij iz hitroreznih jekel molibdenovega ali kobaltovega tipa se zveča z zvišanjem vsebnosti ogljika predvsem tedaj, ko so trdota v vročem, popuščna obstojnost in obrabna obstojnost ustrezne obremenitvam. Za obdelavo, pri kateri nastopajo udarci, imajo orodja iz jekel z višjim ogljikom samo tedaj prednost, kadar se zagotovi z ustrežno toplotno obdelavo zadostna žilavost.

S statičnim upogibnim preizkusom so ugotovili pri jeklu BRM 2, da se z zviševanjem kalilne temperature orodij trdnost in meja 0,1 tembolj zmanjšujeta, čimvečja je vsebnost ogljika in tudi zni-

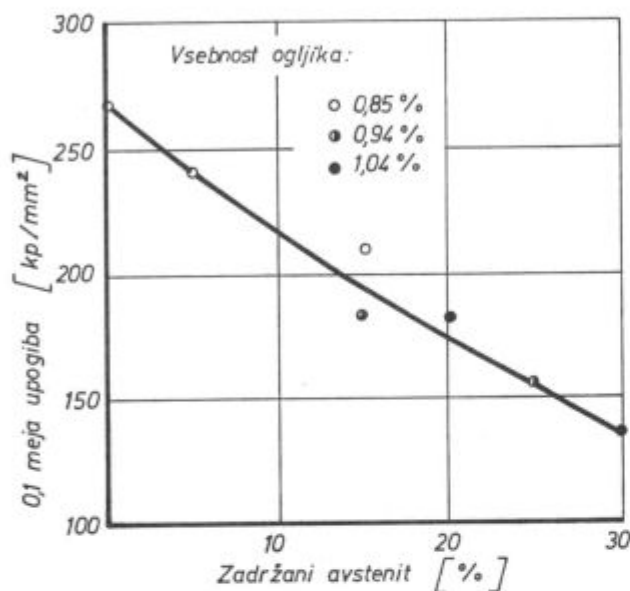


Slika 1  
Upogibne lastnosti jekla BRM 2, ki ima različne vsebnosti ogljika in je popuščeno  $2 \times 1$  h na  $550^\circ\text{C}$ .  
a) Vpliv kalilne temperature, b) Vpliv velikosti avstenitnega zrna ( $d$  = srednji premer zrna).

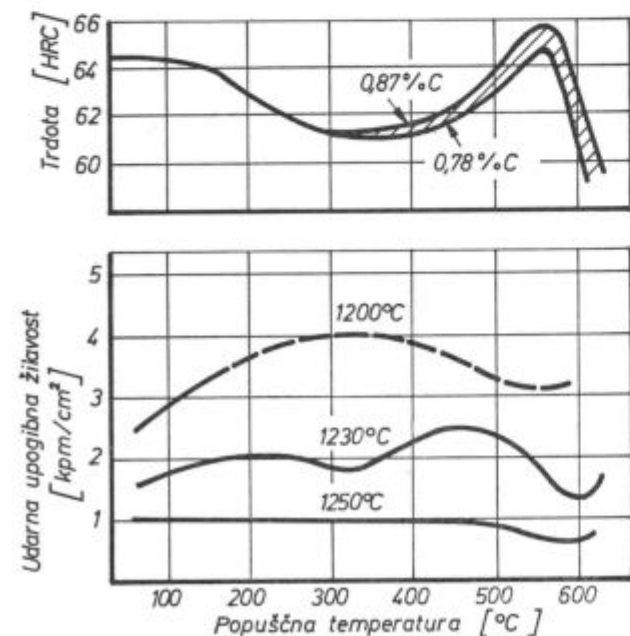
probe jekla S 6-5-2-5, ustreza BRCMo (Č.9780), ki so se popuščale na temperaturo pod vrhom sekundarne trdote (1).

Vpliva ogljika ni lahko določiti, ker je veliko drugih vplivov (tudi izceje), toda pri navadni toplotni obdelavi je višjeogljivično hitrorežno jeklo krhkejše od nižjeogljivičnega.

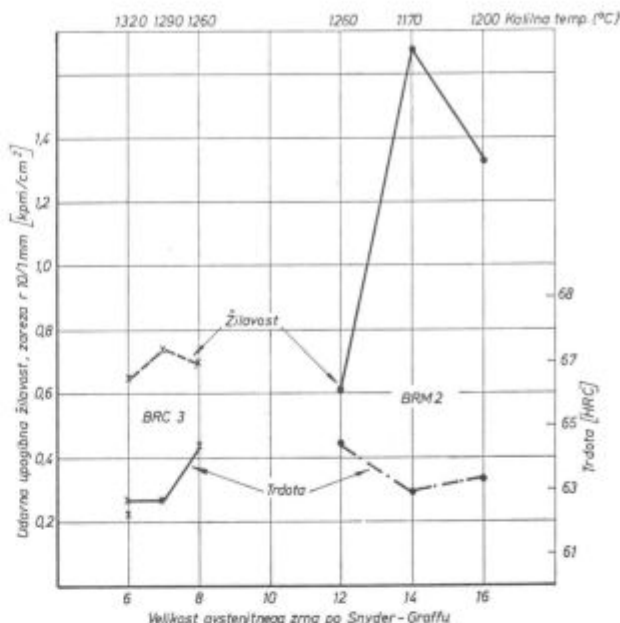
Iz slike 3 je jasno razvidno kako ugoden je vpliv zvišanja vsebnosti ogljika na trdoto po popuščanju in kako močno je žilavost orodij odvisna od toplotne obdelave. Za kvalitetno orodje naj ne



Slika 2 Odnos 0,1 upogibne meje od količine zadržanega avstenita v jeklu BRM 2 z dodatkom 5% Co.



Slika 3 Trdota BRM 2 (avstenitizirano 2,5 min na 1230° C, popuščano 2 h). Žilavost merjena na probah 8 × 10 × 55 mm



Slika 4 Odnos žilavosti in trdote od velikosti avstenitnega zrna pri jeklih BRC 3 (Č. 9682) in BRM 2 (Č. 7680). Popuščano 2 × 1 h na 560° C.

bodo odstopanja vsebnosti ogljika v raznih talinah večja od 0,05 % C. Vsebnost ogljika nikakor ne sme pasti pod spodnjo analizo mejo. Orodja z vsebnostjo ogljika pod 0,75 % C se zelo težko toplotno obdelujejo, težko se dosega sekundarna trdota. Pri jeklih z višjim ogljikom je zelo primeren dodatek 5 do 10 % kobalta, ker se lahko dviga kalilna temperatura (če ni prevelika vsebnost vanadija, to je, če ga je manj kot 3 %) in se lahko doseže velika trdnost, ki je pomembna predvsem pri rezilnih orodjih. Kobaltova jekla so zelo trda v vročem, zelo trdna, toda tudi zelo krhka, kljub drobnejšemu avstenitnemu zrnu kot ga ima BRM 2 (sl. 4).

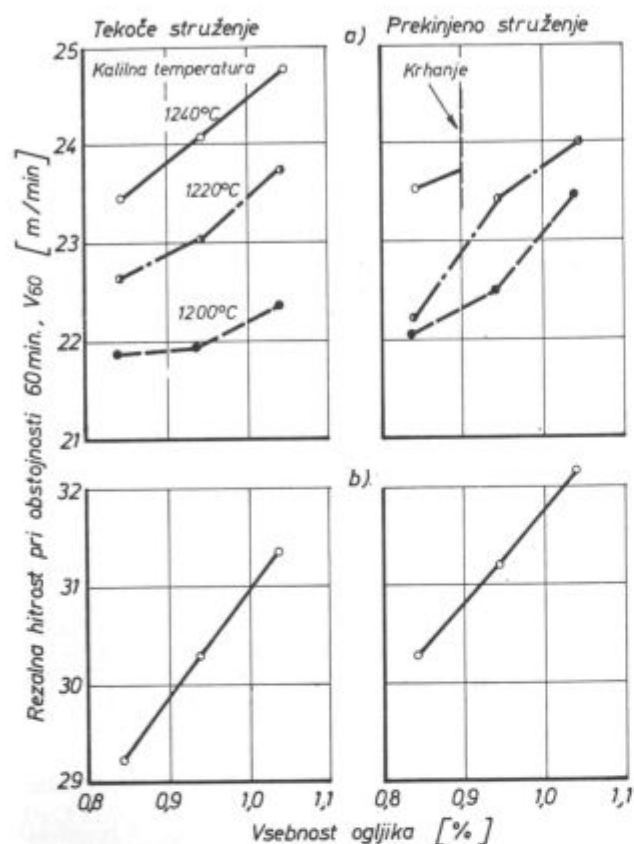
Vpliv toplotne obdelave na stisno trdnost in obrabno obstojnost hitroreznih jekel je tudi izredno velik. Tlačna trdnost je pomembna predvsem pri orodjih kot so trni pri hladnem stiskanju. Jeklo se mora kaliti z visoke temperature, da se dobi trda osnovna masa. Casovna dinamična trdnost se z zvišanjem kalilne temperature dvigne na 300 kp/mm<sup>2</sup>, čeprav se zvečata tako žilavost in trdota kot tudi obrabna obstojnost orodij (2).

Obrabna obstojnost je močno odvisna od kemijske sestave in toplotne obdelave jekla iz katerega je orodje. Najbolj obrabno obstojno je orodje popuščano na 550 do 600° C, vendar je po takšnem popuščanju žilavost minimalna. Z zvišanjem vsebnosti ogljika in ustreznim znižanjem kalilne temperature se močno zvečata tako žilavost in trdota kot tudi obrabna obstojnost orodij (2).

Preiskovali so tudi rezilnost orodij iz BRM 2 z različnimi vsebnostmi ogljika. Na sliki 5 je prikazana rezilna zmožnost strgarskih nožev v odvis-



Popuščanje orodij iz višjeogljčnih hitroreznih jekel naj bo toliko višje od popuščanja nižjeogljčnih, da se dobi zadostna žilavost pri zadostni trdoti, ki pri teh jeklih ne pade tako hitro z zvišanjem temperature.



Slika 6

Odvisnost rezilnosti od načina struženja in temperature, s katere so orodja kaljena. Jeklo orodje je BRM 2 z različnimi vsebnostmi ogljika in z dodatkom 5 % Co.

- a) Obdelava jekla Ck 60 s trdnostjo 82 kp/mm<sup>2</sup>, presek stružca 2 × 0,45 mm<sup>2</sup>.
- b) Obdelava temperaturno obstojnega jekla s trdnostjo 56 kp/mm<sup>2</sup>, presek stružca 2 × 0,2 mm<sup>2</sup>.

## 2. ANALIZA REZILNOSTI IN OBRABNE OBSTOJNOSTI S POMOČJO VZDRŽNOSTI PROTI UDARNI OBRABI

Izsledke o vplivu kemijske sestave (in predvsem ogljika) in pogojev dela na lastnosti orodij iz hitroreznih jekel so skušali potrditi z raziskavami na doslej neznan način. To se je zdelo umestno predvsem zato, ker imamo osvojeno posebno metodo merjenja odpornosti materialov na udarno obrabo. Po tej metodi lahko ugotovimo, kolikšne udarne obremenitve je orodje iz določenega jekla zmožno prenesti, ne da bi se preveč obrabljalo. Podatki stružnih preizkusov z noži iz jekla BRC 3 so se izkoristili za izdelavo krivulje, ki naj bi kazala relativno vzdržnost strugarskih nožev iz jekla BRM 2. To krivuljo lahko izdelamo

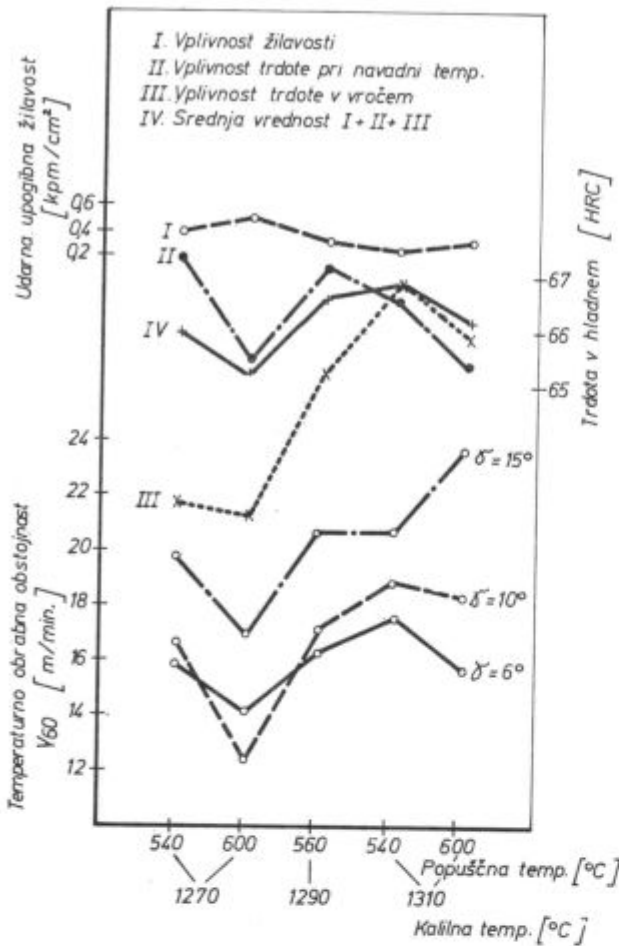
na osnovi rezultatov stružnega preizkusa temperaturne obstojnosti jekla BRC 3 in na osnovi rezultatov udarnih obrabnih preizkusov obeh jekel. Razvojna pot do takšne krivulje je analiza rezultatov obeh preizkusnih načinov ter nato sinteza, ki izhaja iz ugotovljenih sorazmerij.

S porastom žilavosti se določenemu jeklu v mejah primerne toplotne obdelave sorazmerno dviga obrabna obstojnost in lahko predvidimo povezanost trdote in trdote v vročem z obrabno obstojnostjo. Torej najbrž obstaja računsko pot za določitev relativne obrabne obstojnosti orodij iz določenega jekla, obdelanega na različne trdote. V kolikor zadosti točno opredelimo medsebojni odnos vplivov žilavosti, trdote in trdote v vročem na obrabno obstojnost, se lahko po predpostavki ti vplivi enostavno seštejejo in se dobi za vsoto krivulja relativne obrabne obstojnosti. Vpliv posamezne komponente obrabne obstojnosti ni dejansko nič drugega kot komponenta sama izražena v svojih enotah in pomnožena z določenim faktorjem, ki določa njen odnos glede na drugi dve komponenti obrabne obstojnosti in obrabno obstojnost samo. Poenostavljen postopek sinteze vseh treh vplivov je določanje srednje vrednosti iz vrednosti, ki se odčitavajo iz krivulj vplivnosti posameznih komponent obrabne obstojnosti. Tako dobimo krivuljo — rezultanto vplivov.

Vplivnost komponent obrabne obstojnosti moremo določiti samo na osnovi ustreznih preizkusov. Kvečjemu eno od komponent lahko podamo samo v relativnih enotah, to je morda lahko trdota ali trdota v vročem, če sta obe v podobni odvisnosti od toplotne obdelave. Tako se lahko z rezultati žilavostnega in stružnega preizkusa in z meritvami trdot na različno toplotno obdelanih probah, oziroma stružnih nožih določi vplivnost posameznih komponent obrabne obstojnosti in tudi rezilnosti, ki je posebna vrsta obrabne obstojnosti pri določenih pogojih delovanja. Za jeklo BRC 3 so se zato izrisale krivulje trdot in žilavosti v takšnih sorazmerjih, da se je skupaj s krivuljo predpostavljene trdote v vročem lahko dobila rezultantna krivulja rezilnosti. Odnos med vplivnostjo žilavosti in trdote pri navadni temperaturi se je mogel opredeliti s pomočjo rezultatov preizkusa temperaturne obrabne obstojnosti strugarskih nožev. Način obremenjevanja strugarskega noža ni udaren, kar kaže tudi krivulja  $v_{60}$ , če jo primerjamo s krivuljo trdote. Zato se je vzelo za žilavostno vplivnost tako majhne enote, da so sešteti vsi vplivi trdote, trdote v vročem in žilavosti dali krivuljo, podobno po obliki krivulji  $v_{60}$  (sl. 7).

Kot pove ime preizkusa  $v_{60}$  je orodje toplotno obremenjeno in je zato trdota v vročem močno vplivna na obrabno obstojnost in s tem tudi na rezilnost. Glavni vpliv na rezilnost imata trdota v vročem in trdota pri navadni temperaturi. Vplivnost trdote v vročem je določena s tem, da se zaradi nje, kot lahko sklepamo, dvigne rezilnost po kaljenju na najvišjo glede na srednjo preizkusno kalilno temperaturo. Porast trdote v vročem





Slika 7

Rezilnost strgarskih nožev iz jekla BRC 3 pri različnih cepilnih kotih nožev. Za primerjavo je dana konstruirana krivulja rezilnosti. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

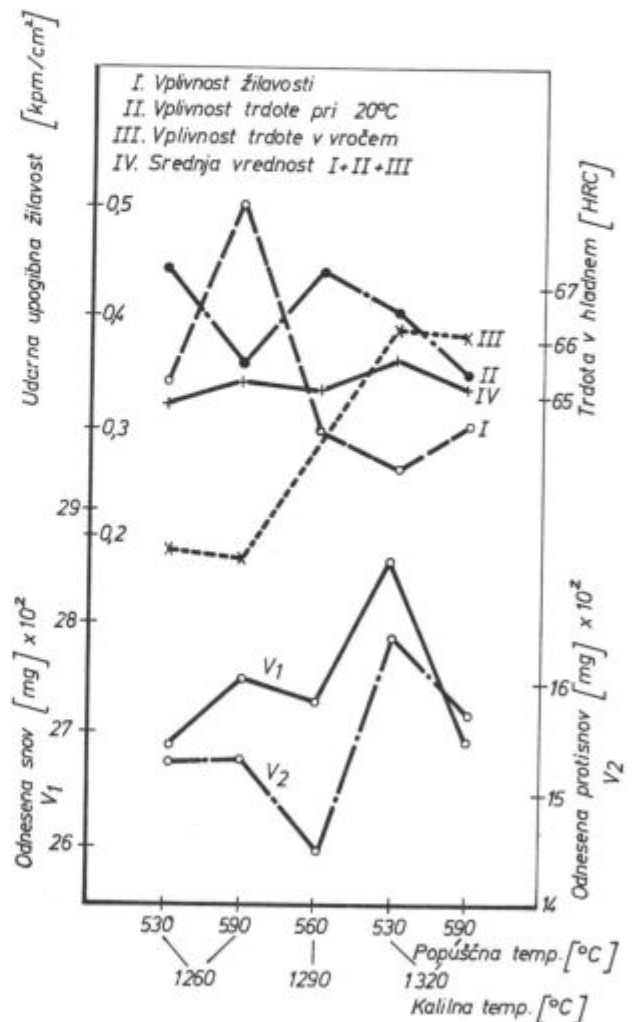
je približno enakomeren z dvigom kalilne temperature, vpliv popuščanja ni velik. Tako je opredeljen odnos med trdoto v vročem in trdoto pri navadni temperaturi. Odnos teh dveh do žilavosti pa je opredeljen s tem, da se žilavostnega vpliva pravzaprav ne sme opaziti na krivulji rezilnosti vsaj pri nožih s cepilnimi koti pod 10°.

Zanimiva je krivulja temperaturne obstojnosti nožev s koti 15°. Noži kaljeni z nižjih dveh temperatur so kazali, da na njihovo obstojnost močno vpliva trdota, oziroma trdota v vročem, manj pa njihova žilavost. To je razumljivo, če upoštevamo, da imajo ti noži z velikim cepilnim kotom velik delovni učinek in se zato tudi močno obrabljajo ter grejejo in so tudi sunki precejšnji. Ker so ti noži, kaljeni z nižjih temperatur, razmeroma manj temperaturno obstojni, je njihova šibkost premajhna trdota glede na prikazano žilavost. Noži, kaljeni z najvišje kalilne temperature so temperaturno dobro obstojni in je zato omejitvev za še boljši delovni učinek premajhna žilavost — vendar ni ravno majhna, saj se najbrž ravno zaradi ugod-

ne žilavosti dvigne storilnost nožev, ki so popuščeni na višjo temperaturo. Težko, da bi ta porast lahko pripisali samo ugodnejši razdelitvi karbidov, ki se izločajo po popuščanju nad popuščno temperaturo sekundarne trdote.

Podobno, kot so določili vplivnosti glavnih komponent rezilnosti pri jeklu BRC 3, so določili tudi vplivnosti komponent udarne obrabne obstojnosti (sl. 8). Rezultati udarnega obrabnega preizkusa, ki so bili že objavljeni, so se uporabili za analizo, ki bi morda dopustila sklepati na rezilno zmožnost nožev, ki bi bili izdelani iz tega jekla. Pri teh preizkusih igrata posebno močno vlogo žilavost in trdota v vročem.

Na osnovi teh dveh analiz in sintez krivulj udarne obrabne obstojnosti in rezilnosti se je lahko analizirala krivulja udarne obrabne obstojnosti jekla BRM 2 in ker so se dobili podobni odnosi vplivnosti posameznih komponent udarne obrabne obstojnosti kot pri jeklu BRC 3, se je



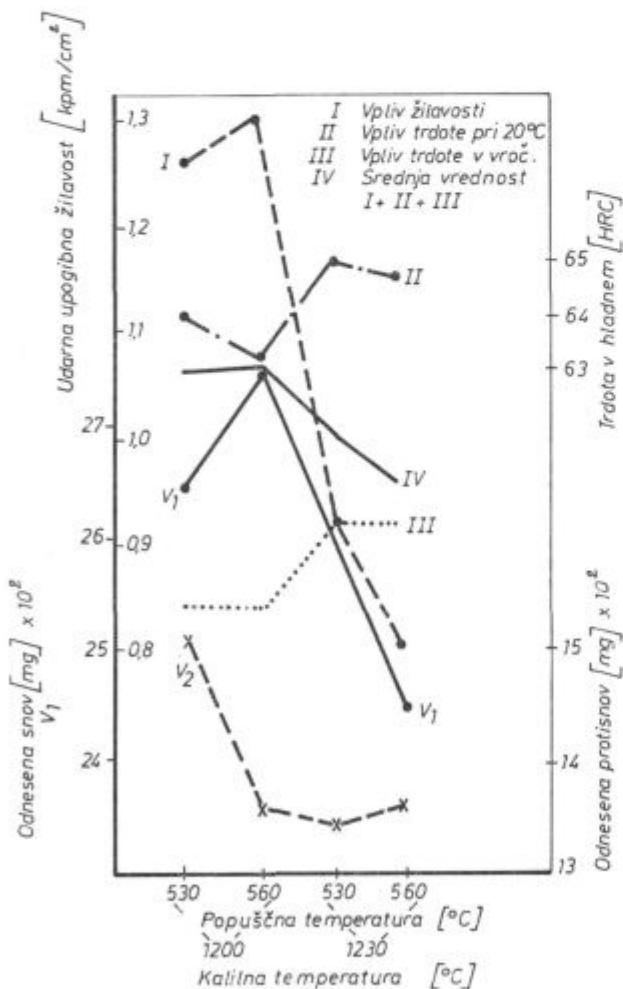
Slika 8

Odpornost jekla BRC 3 proti udarni obrabi pri velikih tlakih. P = 60 kp, v<sub>1</sub> = 265 obr/min, v<sub>2</sub> = 150 obr/min, t = 1 min. Obdelovana snov: poboljšani C 35 (210 HB), dolžina rezila 10 do 20 mm. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

s sintezo izdelala krivulja relativne rezalne zmožnosti nožev iz BRM 2, predvsem za majhne cepilne kote. Takšna krivulja se gotovo lahko uporabi za predvidevanje najugodnejše toplotne obdelave raznih rezalnih orodij, ki so manj obremenjena na udarce, precej pa na ogrevanje in obrabo (sl. 9, sl. 10).

To sklepanje pa še nima prave uporabne vrednosti, kajti vsako jeklo ima prednosti, ki ga priporočajo za določeno uporabo in se zato ne gleda samo na to, kako naj se jeklo obdelata na največjo trdoto ali trdoto v vročem ali obrabno obstojnost, temveč se obdelata tako, da je polno izkoriščena tista njegova lastnost, ki ga odlikuje pred drugimi jekli in zaradi katere je sploh v uporabi. Jeklo BRM 2 se ne uporablja samo zato, ker je hitrorezno jeklo z veliko trdoto v vročem, temveč predvsem zato, ker je to najbolj žilavo hitrorezno jeklo.

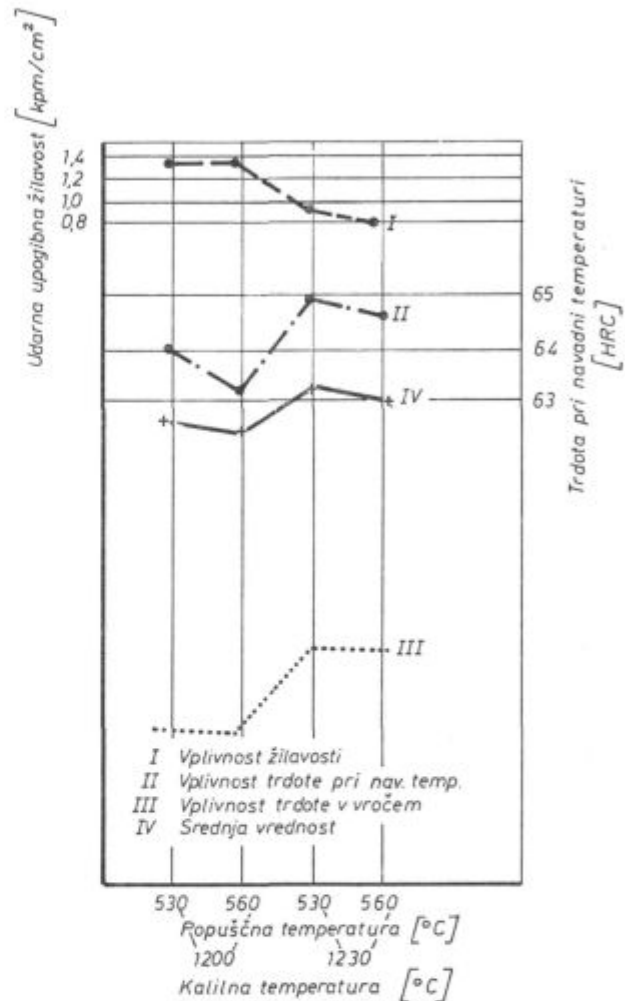
Pri tem jeklu je zato preizkus temperaturne obrabne obstojnosti (metoda  $v_{60}$ ) manj odločujoč



Slika 9

Odpornost jekla BRM 2 proti udarni obrabi pri velikih tlakih.  $P = 60$  kp,  $v_1 = 265$  obr/min,  $v_2 = 150$  obr/min,  $t = 1$  min. Obdelovana snov: poboljšan C 35 (210 HB), dolžina rezila 10 do 20 mm. Hipotetična trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

za izbiro primerne toplotne obdelave kot preizkus udarne ohrabe. To se vidi tudi iz rezultatov in iz teženj v dejanski toplotni obdelavi orodij. Ne kali se to jeklo s  $1230^{\circ}\text{C}$ , razen če gre za tanka, ostra orodja, temveč z nižje temperature, kjer se sicer ne doseže takšna trdota v vročem, je pa orodje zato bolj žilavo.



Slika 10

Konstruirana krivulja relativne rezalnosti za BRM 2. Trdota v vročem nima absolutne vrednosti.

Zanimiva je primerjava udarne obrabne obstojnosti jekel BRC 3 in BRM 2 glede na njuno žilavost. Vkljub udarnim obremenitvam, ki so pri teh poskusih za nekajkrat hujše kot pri struženju, se je BRC 3 bolje obnesel kot BRM 2, posebej velike razlike med obema so pri manjši poskusni hitrosti (150 obr/min), kar je razumljivo zaradi manjših udarcev pri teh pogojih. Razmerje vplivnosti trdote z vplivnostjo odpornosti na udarjanje (žilavost) je pri udarnih obremenitvah tovrstnega obrabnega preizkusa za približno desetkrat manjše kot pri stružnem preizkusu, kjer je obraba veliko mirnejša in trdota glede na žilavost orodij pomembnejša. Vpliv trdote v vročem je približno enak pri udarni obrabi kot pri struženju, pri teh pogojih in odnosih med vplivom žilavosti in trdote.

Gornje preizkusno in sintetično dobljene krivulje udarne obrabne obstojnosti ter rezilnosti se dobro ujemajo s prikazanimi rezultati preiskav drugih raziskovalcev.

Kot kaže slika 5, se strgarski noži iz jekla BRM 2 pri mirnem delu tembolje obnesejo čim višje je bila njihova kalilna temperatura. To velja za srednje velike in velike cepilne kote nožev. O vplivu žilavosti na vzdržnost nožev pa govorita diagrama, ki kažeta rezilnost nožev pri prekinjevanem delu. Kot se vidi iz slike 1 upada žilavost nožev z večanjem vsebnosti ogljika in kalilne temperature. Pri prekinjevanem struženju se posebej noži večjih cepilnih kotov slabo obnesejo, če so izdelani iz višje ogljičnega jekla ali kaljeni z višje kalilne temperature. Večanje ostrine rezila močno poveča nagnjenost h krhkemu obnašanju orodja. Z našimi udarnimi obrabnimi preizkusi pa se je doseglo podobne odvisnosti obstojnosti probe od kalilne temperature kljub topemu rezilu. Topo rezilo probe pri udarni obrabi je pokazalo več krhkosti kot najostrejši nož iz visokoogljjičnega jekla pri prekinjevanem delu.

Preizkus udarne obrabne obstojnosti ni nekoristno namenjen sam sebi, temveč se lahko njegovi rezultati analizirajo podobno kot rezultati preizkusov z BRC 3. Podobnost vplivnosti posameznih komponent udarne obrabne obstojnosti pri preizkusih prob iz BRC 3 in BRM 2 dopušča možnost, da se tudi krivulje rezilnosti lahko podobno analizirajo, če jih imamo na razpolago za obe jekli. Ker pa nimamo podatkov o rezilnosti nožev iz BRM 2, se lotimo naloge z drugega konca. Namesto analize in sinteze, ki bi služili ugotavljanju podobnosti sintetično ustvarjene krivulje s poskusnimi rezultati, se s seštevanjem posameznih vplivnosti komponent dobi sintetična krivulja, ki je uporabna sama zase. Pravilnost relativnih vrednosti takšne krivulje (enot ni možno predvideti, ker ne vemo točnih vrednosti trdot v vročem) temelji na upravičenosti do sklepov o enaki vplivnosti posameznih komponent rezilnosti pri enakih pogojih rezanja. Doslednost v podobnosti vplivnosti posameznih komponent pa pokaže še stranski rezultat. Opazimo namreč, koliko bolj se z dviganjem kalilne temperature lahko zviša trdota v vročem kobaltovem in molibdenovem jeklu.

Takšna analiza, s katero dobimo potem krivuljo relativne rezilnosti nožev iz BRM 2, je bila potrebna samo zato, ker so na razpolago za to jeklo samo rezultati preizkusov, ki so bili opravljeni pri opisanih pogojih. Kot pa se je že s posebnimi preizkusi dokazalo, se lahko s krajšimi probami — manj udarni preizkusi — dobijo neposredno, brez vmesnih analiz, krivulje, ki potekajo enako kot krivulje rezilnosti.

Nadaljnja dva diagrama kažeta, da se s primernimi količniki pomnožene vrednosti za žilavost in trdoto orodij že lahko uporabijo, brez upoštevanja stopnje legiranja, za sintezo krivulje relativne vzdržnosti.

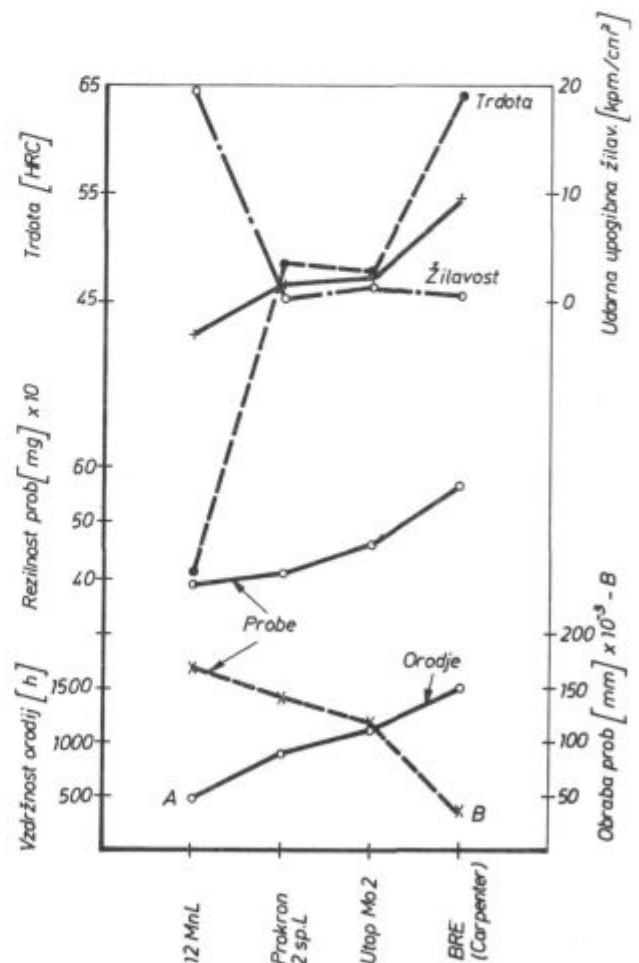
Na slikah 11 in 12 so prikazani rezultati dveh različnih vrst udarnih obrabnih preizkusov.

Slika 11 kaže rezultate preizkusov, pri katerih so bili udarci le šibki. Ti rezultati se primerjajo z vzdržnostjo orodij iz enakih jekel. Krivulji sta si zelo podobni, enako pa sta podobni krivulji, ki je dobljena kot diagramska sredina krivulj trdote in žilavosti.

Slika 12 podaja samo rezultate udarnega obrabnega preizkusa, ter trdote in žilavosti na istih probah, ki so se obrabljale. Izrisala se je tudi krivulja vplivnosti kemijske sestave, ki se je izračunala po formuli

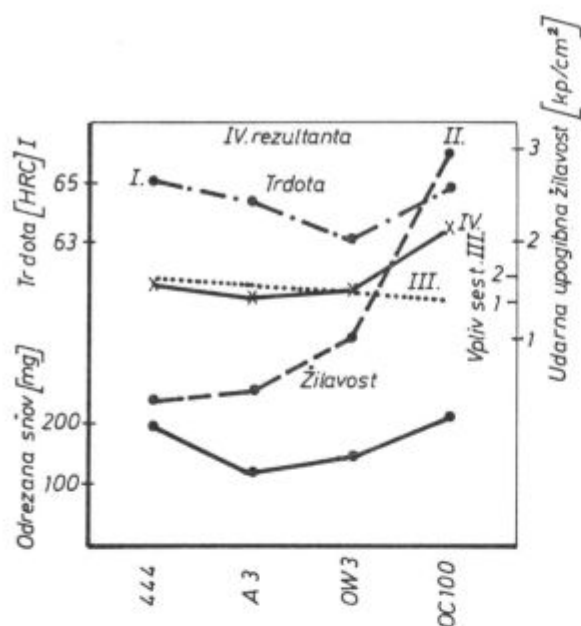
$$v = 1 + 2 (\% C - 1) + 0,02 (\% \text{ ostalih leg. elementov}),$$

vendar ni preveč vplivno nagnjena in se dobi podobna rezultanta tudi brez nje. Pri teh na kratko prikazanih preizkusih obrabne vzdržnosti v hladnem sta približno enako vplivna dvig trdote za eno enoto HRC ali dvig žilavosti za 1 kpm/cm<sup>2</sup> do 0,33 kpm/cm<sup>2</sup> na probah dimenzij 10 × 10 × 55 mm z radialno zarezo r10 globine 1mm.



Slika 11

Rezultanta trdote in žilavosti v primerjav z vzdržnostjo mlinskih segmentov za les ter vzdržnost udarnih prob iz preizkušanih jekel. Pogoji obrabnega preizkusa: P = 10 kp,



Slika 12

$v = 230 \text{ obr/min}$ ; obdelovana snov je C 35, obdelovana površina  $10 \times 20 \text{ mm}^2$

Pri preizkusih s strgarskimi noži je ta ekvivalent za eno enoto HRC trdote v hladnem okoli  $0,4 \text{ kpm/cm}^2$ , seveda pa je pri tem treba upoštevati močan vpliv trdote v vročem. Ta trdota se dejansko razlikuje pri preizkusnih probah iz jekla BRM 2 za okoli 1,5 enote HRC na temperaturi  $500^\circ \text{C}$ . To je dobljeno na osnovi interpolacije vrednosti trdot v vročem pri probah kaljenih s  $1150$  in  $1230^\circ \text{C}$ . To pomeni, da je trdota v hladnem približno enako vplivna kot trdota v vročem.

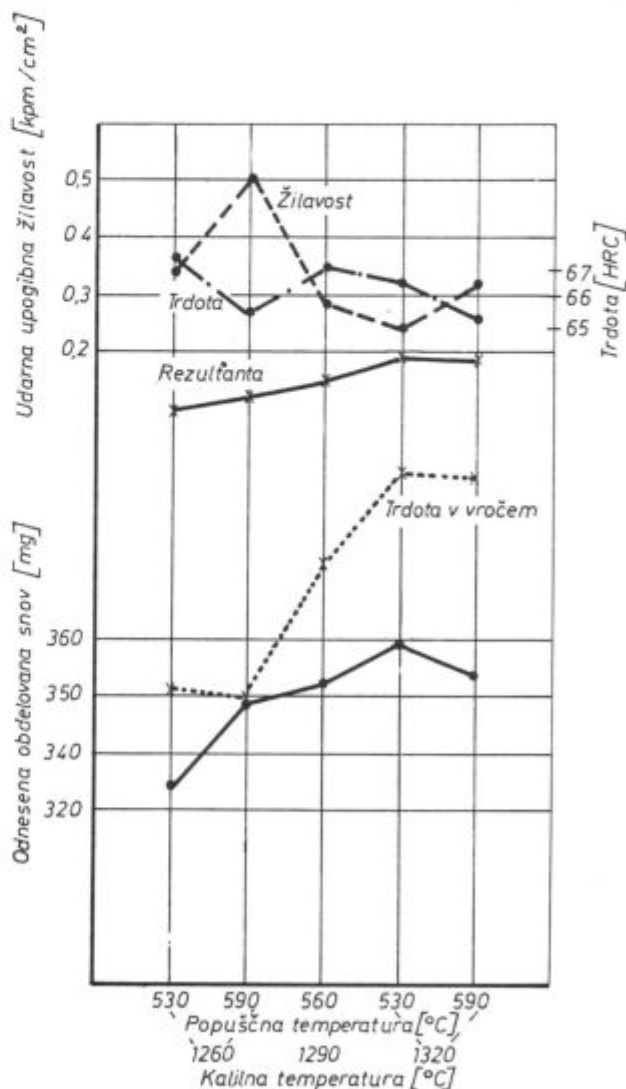
Pri orodjih iz BRC 3 pa je vroča trdota spremenljiva v širših mejah kot pri BRM 2 in je možno, da je bolj vplivna — saj je najbrž precej višja kot trdota BRM 2 pri enaki temperaturi. Pri udarnih obrabnih preizkusih pod velikim tlakom je vplivnost žilavosti glede na vplivnost trdote pri navadni in trdote pri povišani temperaturi precej večja kot pri struženju. Enoti HRC ustreza tu že  $0,05 \text{ kpm/cm}^2$ .

To pa nikakor ne pomeni, da bi se morali za preizkuse hitroreznih jekel ustvariti tako močno udarni pogoji, če želimo, da bi občutili pri obrabi tudi vplivnost trdote v vročem. V poprejšnjih poročilih o tem predmetu je že bilo prikazano, da je možno s krajšimi primerjalnimi probami (snovi, ki se obdeluje) dobiti popolnoma enako krivuljo kot se dobi s stružnimi preizkusi. V tej analizi smo se morali spoprijeti z nevarnejšo in težavnejšo obliko krivulje, ker za BRM 2 niso bili opravljeni drugačni preizkusi in so se morali za analizo vzeti preizkusni rezultati enakovrstnih obremenitev pri jeklih BRC 3 in BRM 2.

Na sliki 13 je prikazana krivulja udarne obrabne obstojnosti v vročem pri majhnih tlakih in šibkih udarcih. Skonstruirana je tudi tej krivulji

podobna krivulja kot rezultanta trdote, žilavosti in trdote v vročem, katera je podana samo hipotetično. Tudi tu ustreza enoti Rc že  $0,05 \text{ kpm/cm}^2$ . V primerjavi z obstojnostjo pri velikih tlakih in hitrostih (sl. 8) je tu vplivnost trdote v vročem glede na vplivnost trdote in žilavosti pri navadni temperaturi za polovico večja. To je razumljivo, saj se je proba ogrevala večji del samo zaradi prenosa toplote od obdelovane snovi, ki se je posebej ogrevala za preizkus. Obdelava snovi je bila razmeroma lahka in udarci šibki.

Pravilnost domneve o možnosti skonstruiranja krivulje relativne obrabne obstojnosti (za določene delovne pogoje) se je opravičila z analizo več vrst rezultatov. Zanimivo je, da sta vpliv trdote in vpliv žilavosti daleč najbolj odločilna za obrabno obstojnost orodja. V teh dveh so zajeti že drugi vplivni dejavniki. Za posamezne pogoje obrabe je torej treba ugotoviti le odnos med vplivnostjo



Slika 13

Udarne obrabni preizkus jekla BRC 3 v vročem.  $P = 10 \text{ kp}$ ,  $v = 100 \text{ obr/min}$ ,  $t = 2 \text{ min}$ . Obdelovana snov valjčki  $d = 10 \text{ mm}$ ,  $l = 17 \text{ mm}$ , ogretj na  $650^\circ \text{C}$ .



trdote in odpornosti na udarce, pa se lahko predvidi, kakšna toplotna obdelava je najugodnejša, ali katero jeklo je za določeno uporabo najprimernejše, če se pravilno toplotno obdela.

Seveda so se pri analizi rezultatov udarno obrabnih preizkusov pojavila tudi odstopanja, ki niso bila v skladu s pravilom. Toda manj kot ena desetina vseh preizkušanih jekel se je izjemno obnašala. Poudariti je treba, da naj se v analizi, ki naj primerja vzdržnosti jekel, ločujejo lita orodja od kovanih, ki so iz istih jekel, enako kot če bi bila iz različnih jekel.

### Zaključki

Krivulja rezilnosti, konstruirana na osnovi preizkusov udarne obrabne obstojnosti, se ujema glede najpopolnejše toplotne obdelave z rezultati stružnih preizkusov nožev iz jekel BRM 2 in BRC 3. V resnici pa se vendar orodja iz BRM 2 kalijo z nižje meje kalilnih temperatur, ker se ta orodja navadno uporabljajo pri obdelavi, kjer nastopajo precejšnji udarci. Preizkusi udarne obrabne obstojnosti kažejo velike razlike v vzdržnosti različno kaljenih orodij.

Tudi pri orodjih drugačnih vrst kot so strugar-ska se je prikazalo, da se njihova obstojnost glede na orodja iz določenega jekla lahko predvidi že samo s pravilno analizo obremenitev in ustreznim seštevanjem vplivov trdote ter žilavosti posameznih jekel. Odstopanja od takšnih računskih določitev vzdržnosti orodij iz različnih jekel znašajo povprečno samo 10 %, to je, v skupini desetih jekel se lahko zgodi, da se eno ne bo obnašalo tako

kot kaže splošno zakonita odvisnost trdote, žilavosti in vzdržnosti za določene pogoje. To se je ugotovilo s primerjavo več poskusnih vrst rezultatov dobljenih na skupini dvanajstih jekel. Poudariti je treba, da se v analizi vzdržnosti ne smejo skupaj obravnavati lita in kovana orodja.

Kakor kažejo izsledki, udarnega obrabnega preizkusa skoraj ne rabimo več, potem ko smo enkrat že ugotovili to tesno in v glavnem odločilno, skoraj funkcijsko, povezavo trdota—žilavost—vzdržnost. Potrebujemo samo rezultate dejanskega obnašanja treh, štirih različno trdih in različno žilavih, ali samo različno žilavih, ali samo različno trdih orodij za določen tip mehanske obdelave. Krivulja vzdržnosti orodij iz različnih jekel se poskuša skonstruirati s seštevanjem vplivnosti trdote in žilavosti vsakega od teh orodij in ta konstruirana krivulja se potem lahko poljubno dopolni s trdoto in žilavostjo kateregakoli od kovanih (ali ločeno litih) orodnih jekel. Ločeno se seveda obdelujejo primeri za delo v vročem in primeri, kjer se temperatura orodij dvigne le neznatno nad sobno temperaturo. Vpliv stopnje legiranja se najlažje vnese z razmerji med trdotami pri povišani temperaturi.

### Literatura:

1. Bungardt, K., H. H. Weigand, E. Haberling: Einfluss erhöhter Kohlenstoffgehalte auf einige Eigenschaften von Schnellarbeitsstählen mit rd 2 % V, Stahl und Eisen 89 (1969), Nr. 8, April, str. 420—426
2. Zmihorski, E.: Einfluss der Zusammensetzung und Wärmebehandlungsfaktoren auf die kennzeichnenden Eigenschaften der Schnellarbeitsstähle, Härtereitechn. Mitt., 22 (1967), Heft 4, str. 348-354.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die modernen Werkzeugstähle enthalten mehr Kohlenstoff als die vor Jahren erzeugten Stähle. Mit dem Steigen des Kohlenstoffgehaltes werden die Zähigkeitseigenschaften der Schnellarbeitsstähle wichtiger. Im Artikel wird eine besonders einfache Methode für die Bestimmung der relativen Beständigkeit der Werkzeuge aus Schnellarbeitsstählen und auch anderen Werkzeugstählen vorgestellt. Nach dieser Methode ist für ein bestimmtes Werkzeug aus einem bestimmten Schnellarbeitsstahl möglich die günstigste Wärmebehandlung voraus zu bestimmen, nur mit Hilfe des Addierens der Zähigkeitseinflüsse, der Härte, bei der höheren und bei der Raumtemperatur.

Für irgendein Werkzeug welches schon aus verschiedenen Stählen gefertigt wurde, kann die Kurve der relativen Beständigkeit konstruiert werden. Dies ist möglich mit

Hilfe der Daten über die Beständigkeit drei oder vier gleichartigen Werkzeuge, die aus verschiedenen Stählen hergestellt worden sind, und von denen die Härte und die Zähigkeit bekannt sind. Das Werkzeug kann nur von einem Stahl hergestellt werden, welches verschieden wärmebehandelt worden ist. Die Kurven für die relative Beständigkeit können für jeden Stahl beliebig verlängert werden, wenn die Härte und die Zähigkeit bekannt sind. Eine jede Kurve der relativen Beständigkeit ist nur für eine bestimmte Art der Werkzeugbeanspruchung bzw. für einen bestimmten Typ der Werkzeuge gültig. Die Daten für die gegossenen und für die geschmiedeten Werkzeuge müssen getrennt werden, ebenso die Daten für diejenige Werkzeuge, welche im höheren Temperaturbereich arbeiten. Der Legierungsgrad kann mit dem Verhältniss der Härte im warmen Zustand berücksichtigt werden.

## SUMMARY

Contemporary tool steels contain more carbon than those manufactured few years ago. Increased carbon content increases toughness of high-speed steels. The paper presents a specially simple method for determining relative endurance of tools made of high-speed steels and also of other tool steels. This method enables to determine beforehand the most suitable heat treatment by adding

influences of toughness, and hardness at high and room temperatures for any tool of a given high-speed steel.

For any tool made of various steels a curve of relative endurance can be plotted. This is possible if data on endurance of three or four tools of the same kind and made of various steels, and their hardness and toughness

are known. The tool can be made of the same steel if it was treated in different ways. The curve of relative endurance can be prolonged for any steel which hardness and toughness are known. Each curve of relative endurance is valid only for a certain way of loading the tools, and

for a certain type of tools. A difference is to be made between the data on cast and forged tools, and hot forming tools and tools working at normal temperatures. Influence of alloying degree can be introduced by the ratios between hardnesses at high temperatures.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные инструментальные стали содержат больше углерода в сравнении с сталями тех же самых марок произведённые несколько лет тому назад. С увеличением содержания углерода улучшается вязкость быстрорежущих инструментов. В статье рассмотрен специальный метод определения относительной выносливости инструментов, изделий из быстрорежущей а также и из других сортов инструментальной стали. По описанному методу можно для каждого намечённого инструмента из определённой марки стали заранее определить самую подходящую термическую обработку лишь на основании сочетания вязкости, твёрдости в горячем состоянии и твёрдости при нормальной температуре.

Для любого инструмента изготовленного из разных сортов стали можно вывести кривую относительной выносливости. Это возможно на основании данных о выносливости трёх до четырёх одно-

родных инструментов, изделий из разных сортов стали, твёрдость и вязкость которых известны. Инструмент можно изготовить также из одной и той же самой марки стали которая находилась под переменным режимом термической обработки. Кривую относительной выносливости можно по усмотрению продолжить для каждого сорта стали, твёрдость и вязкость которых нам известна. Необходимо взять во внимание, что одну и ту же самую кривую относительной выносливости можно применить только к определённому способу нагружения инструмента, также при учёте выбора инструмента. Также надо отличать данные литых и откованных инструментов; данные инструментов при уплотнении при работе в горячем состоянии или при более высоких  $t$ -ах. В кривую можно, параллельно с отношениями между твёрдостями в горячем состоянии, внести также влияние степени легирования.