

UDK 621.9.002.54

## Vrednotenje kakovosti orodij

FRANC ROETHEL

### 1. UVOD

Iz svetovne literature je znano, da lahko pri tehnološkem postopku pri izdelavi izdelka prihranimo tudi do 60 % stroškov. Povsod se oblikujejo banke tehnoloških podatkov in predpisov, ki omogočajo optimalno vodenje in potek izdelovalnega procesa. Posebej je pomemben natančen predpis tehnologije pri avtomatizaciji postopka. Podatke zbiramo v raziskovalnih in razvojnih laboratorijih ter pri praktičnem delu v industrijskih obratih. Pri uporabi zbranih podatkov slišimo kritiko, da je mogoče z zbranimi optimalnimi predpisi za obdelavo v podjetju pridobiti le do 70 % predvidene storilnosti. Prvi vzrok za manjšo storilnost so razlike med orodji, ki smo jih uporabljali pri preizkusih v laboratoriju, in samimi orodji v obratu. Drugi vzrok pa so razlike v kakovosti vložnega materiala obdelovanja. Pri tem ne smemo zane-mariti vpliva lastnosti obdelovalnega sistema.

V obravnavani raziskavi smo ugotavljali razlike na večjem orodju glede na lokacijo merjenja in razlike med posameznimi orodji. Pri tem smo merili osnovne parametre, ki jih lahko ugotavljamo med obdelavo v obratu, kakor so trdota, hrapavost in geometrija, ter vrednotili še nekaj parametrov, ki vplivajo na obstojnost.

V vsakem izdelovalnem obratu je treba za orodja predpisati standardno kakovost, ki omogoča krmiljenje proizvodnje ob upoštevanju resnične obrabe orodja. Te predpise je treba izvajati in tudi skrbno nadzirati kakovost izdelka oziroma orodja.

### 2. PROBLEMATIKA KAKOVOSTI ORODJA

Kakovost obdelovanja opisujemo z zahtevami porabnika izdelka. Običajno lahko na grobo opišemo kakovost že z

- oblikovno natančnostjo izdelave,
- zahtevano hrapavostjo,
- zahtevano trdoto,
- odpornostjo proti koroziji,
- zunanjim videzom in
- z ugotovitvijo, da je izdelek brez napak.

Dober izdelek lahko izdelamo le z orodjem in strojem, ki želene kakovosti ustrezata in jo zagotavljata. Pri izbiri kakovosti izdelka je odločilna želja uporabnika, ki jo moramo doseči z optimalnim tehnološkim postopkom in izdelovalnim sistemom. Zavedati se moramo, da stroški kakovosti ne rastejo sorazmerno s stroški izdelave. Cena kakovostnejšega izdelka raste z eksponentom glede na zahteve. Največkrat tudi nima nobenega pomena pretiravati s kakovostjo, ker ta pri uporabniku dostikrat tudi ni najbolj zaželena in so drugi dejavniki (npr. cena) pri izbiri bolj odločujoči.

Naj na hitro opišemo povprečen premislek uporabnika pri nakupu.

Uporabnik bo prej izbral cenejši izdelek, ki se mu bo pokvaril, bo pa imel pri tem možnost, da ga zelo hitro popravi v bližnjem vzdrževalnem obratu in z majhnimi stroški. Torej ni najpomembnejše, da je izdelek čim manj pokvarljiv in trajen, temveč da je pri nakupu cenejši in seveda cenejši tudi pozneje pri vzdrževanju. Tovarna, ki izdeluje preveč kakovosten izdelek, ne bo mogla organizirati dobre vzdrževalne službe za svoje izdelke, ker bodo imeli vzdrževalci premalo trajnega dela. Pri izdelavi torej ne smemo upoštevati samo tehnoloških optimumov, temveč se moramo ozirati tudi na poznejšo uporabo in izkoriščanje izdelka pri uporabniku. Povprečen uporabnik ne bo grajal cenejšega izdelka, ki se pokvari, če mu tovarna zagotavlja ceneno popravilo v najkrajšem času.

Podobna merila bo uporabljal tudi uporabnik orodja. Vendar se moramo zavedati, da so njegove zahteve drugačne. Predvsem je že samo orodje drago, po drugi strani pa pomeni okvara orodja med uporabo zaustavitev celotne izdelovalne proge. Zato na orodjih ne sme prihajati do nepredvidenih okvar, prav tako pa mora biti znana njegova obstojnost. Najprimernejša je taka obstojnost, ki omogoča menjavo orodja zunaj rednega delovnega časa med izmenami ali med odmorom. Večini orodij podaljšamo dobo trajanja s primernim vzdrževanjem. K temu štejemo pravočasno in pravilno ostrenje. Iz navedenega lahko že sklenemo, naj ima orodje čim manjši raztros želenih tehnoloških parametrov, tj. obstojnosti in ponovljivosti lastnosti po vzdrževanju.

Dostikrat moramo upoštevati tudi to, da izdelano orodje ne terja dolge obstojnosti, ker se bo spremenila oblika izdelka ali pa je izdelek sam tak, da orodja mnogo ne obrablja kakor npr. izdelki iz umetnih snovi. V tem primeru si želimo čim cenejše orodje, ker obrabe skoraj ne bo.

### 3. PARAMETRI KAKOVOSTI ORODJA

Kakovost orodja opisujemo predvsem z dvema meriloma. To sta obstojnost in neoporečnost glede na mogoče napake, ki povzročajo izmeček orodja. Obstojnost orodja je odvisna od lastnosti materialov, orodja in obdelovanja, od vrste izdelovalnega postopka, od geometrije, kinematičnih parametrov in lastnosti stroja oziroma naprave, po katerih teče obdelovalni proces. Posebno pomembna je geometrija orodja, ki grobo opisuje rezilo in natančno medsebojna geometrična razmerja med orodjem in obdelovancem. Ugotovimo lahko, da je bila že vrsta raziskav posvečena lastnostim rezalnega robu

pri orodjih za odrezovanje kovin. Manj raziskana in opisana je geometrija orodij za rezanje nekovinskih materialov. Posebej to velja za geometrijo velikih orodij, ki jih potrebujemo na primer pri rezanju tobaka, lesa, papirja itd. Geometrija takih orodij je bila dosedaj največkrat izkustveno določena v tovarnah, ki izdelujejo orodja. V zadnjih časih se ta geometrija ni mnogo spreminjala, kljub različnim materialom orodja in obdelovanca, ki jih danes uporabljamo. Poseben problem pomeni mikrogeometrija ostrine orodja. Pri kovinskih materialih sama ostrina ni vedno močno vpliven parameter, ker se pri mnogih procesih rezanja kovin ustvari pred rezalnim robom nastavek, ki spreminja geometrijo rezalnega roba.

Pri drugih materialih ugotavljamo, da orodje reže najboljše, kadar je njegova ostrina čim bolj geometrično popolna, tj. čim manj hrapava (ravna ali okrogla). Mnogokrat pa reže najboljše, če ima ostrina obliko žage. Torej je oblika ostrine odvisna predvsem od vrste materiala, ki ga režemo. Preizkusi so pokazali, da polirana površina ostrine slabše reže meso od brušene površine, ki je bistveno bolj robata. Pri rezanju papirja ugotavljamo, da dobro reže zglačena ostrina. Že sam postopek običajnega brušenja pri nožih za papir ni zadovoljiv. Odstraniti je treba še srh, ki ostane po brušenju. To se včasih sicer dogaja med samim odrezovanjem, ko se nož sam ostri.

Pri velikih orodjih za rezanje in pri orodjih za preoblikovanje zelo rado prihaja do napak, ki se pojavljajo kot posledica neprimerne kakovosti materiala ali najbolj pogosto toplotne obdelave, ki ni bila krmiljena po optimalnem predpisu. Po izkušnjah v naši industriji bi lahko trdili, da prihaja največkrat do loma orodij zaradi napak, ki so nastale med izdelavo orodja. Orodje z napako postane prej ali slej izmeček. Zelo hudo je, če se zlomi orodje, katerega izdelava je zelo draga. Večinoma iščemo napako, ki je povzročila lom, že v samem izhodnem materialu surovca. Resnica pa je, da so različni materiali različno občutljivi na natančnost, predpisano za toplotno obdelavo. Tako nekateri materiali dopuščajo majhna odstopanja od predpisanih temperatur in časov, drugi pa večja, ne da bi se pri tem zmanjšala kakovost. Ob okvari orodja prihaja zato pogosto do sporov o krivdi med brusilci in kalilci. Žal se največkrat zadovoljimo z ugotovitvijo, kdo je kriv za napako, manj pa skušamo analizirati vzrok za napako in ga po možnosti vnaprej preprečevati. Tako ostaja odstotek izmečka nespremenjen, stroški pa le »pravilno« obračunani med TOZDi. Dostikrat se pri tem ne zavedamo, da smo pri mehanski obdelavi orodja, kjer smo želeli čimprej dobiti geometrijsko obliko, odrezovali material z debelim odrezkom in tako povzročili globoko spremembo na površini. Že takrat so se lahko pojavile začetne razpoke in dodatne notranje napetosti. Razpoke se lahko pozneje povečajo in povzročajo lom orodij. Pri vseh fazah

obdelave orodja, bodisi toplotne ali mehanske, moramo zato razmisliti o tem, kakšne notranje napetosti so se lahko pojavile v materialu. Dosedanje raziskave pri nas in v svetu so pokazale, da ima kaljen material na površini notranje napetosti velikosti, ki so blizu porušni trdnosti materiala. Zato je trd, zakaljen material tudi najbolj občutljiv za razpoke. Največkrat si lahko pomagamo z žarjenjem za odpravo napetosti med posameznimi fazami obdelave. Včasih moramo to opraviti tudi med grobo in fino mehansko obdelavo. Pri končni obdelavi zakaljenega materiala z brušenjem se moramo vedno zavedati, da ima material, ki ga obdelujemo, že v svoji notranjosti napetosti, ki so ostale od toplotne obdelave. Tem napetostim dodamo še dodatne napetosti, ki nastanejo pri brušenju na površini. Brušenje na posameznih mestih lahko dvigne temperaturo lokalno tudi nad 1000 °C, kar je bilo ugotovljeno že pri preizkusih pred mnogo leti.

Do razlik v kakovosti orodja prihaja lahko tudi na enem samem orodju na različnih mestih. Posebej se to pozna pri večjih orodjih. Do razlik prihaja že zaradi sprememb lastnosti materiala surovca, ki vendar ne more ostati pri predelavi povsem enak na vseh straneh. Razlike se lahko še povečujejo med toplotno obdelavo. Znano je, da se materiali v peči (manj v kopeli) ne morejo enako ogrevati. To onemogočajo zakoni prenosa toplote. Zato idealnih kalilnih peči, v katerih bi lahko vsa orodja ogrevali na vseh straneh na res natančno temperaturo, ni in jih po vsej verjetnosti tudi nikoli ne bo. Pri izdelavi bo vedno prihajalo do odstopanj. Za nas je pomembno, da ti odstopki ne presegajo dopustne vrednosti.

Pri toplotni obdelavi orodja lahko dobimo na površini tudi mehko plast, ki jo je treba z brušenjem odstraniti. Šele po odstranitvi te poškodovane plasti pridemo do zdravega kaljenega materiala, ki daje prave lastnosti oziroma trdoto površine na orodju, ki bo oblikovalo obdelovanec. Pri toplotni obdelavi se orodje deformira. Zato mora imeti orodje že pred toplotno obdelavo tak presežek, da bomo lahko pozneje odvzeli tolikšno debelino materiala, kolikršna je zaradi toplotne obdelave poškodovana plast, obenem pa upoštevali še geometrično deformacijo izdelka. Večkrat pridejo pri orodju v poštev za končno obdelavo dve površini, ki se stikata (to je vedno pri ostrini). Takrat se lahko zgodi, da odbrusimo poškodovano (mehko) plast samo z ene strani, na drugi strani pa ostane na obrušnem orodju. Tako orodje bo trdo samo na eni strani. Prav pri brušenju oziroma odbrušenju mehkejših plasti pa je proces brušenja drugačen kakor pri brušenju trdega materiala. V tem lahko iščemo zmanjšanje storilnosti brusilnega procesa pri obdelavi kaljenih materialov. Posebno pomemben je simetričen odvzem materiala tudi pri kaljenju orodij, ki imajo zelo tanko toplotno obdelano plast. Poleg teh imajo orodja z majhno prekaljivostjo spremenljivo trdoto po globini. Zato je

zelo pomembno ugotoviti, na katerem delu orodja se bodo pojavile največje obremenitve in v zvezi s tem kontrolirati trdoto na ogroženih mestih. Jasno je, da so raztrosi trdote pri velikih orodjih še mnogo večji. Zato smo se lotili raziskav kakovosti industrijskih nožev, ki jih izdeluje Železarna Ravne. Opazovali smo vplive internega predpisa, preverjali normativno predpisano kakovost in ugotavljali odstopanja.

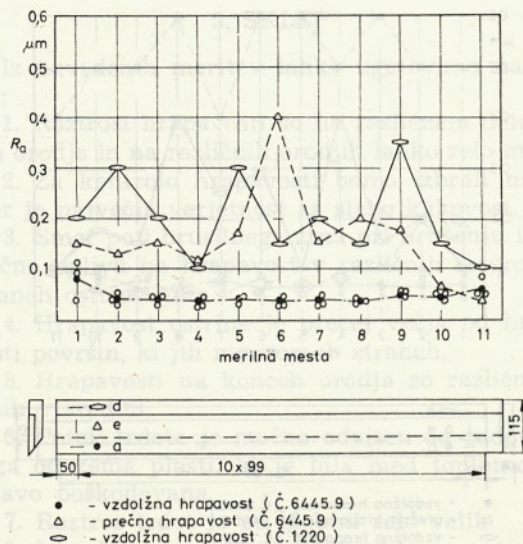
#### 4. MERITVE PARAMETROV INDUSTRIJSKIH NOŽEV

V preteklih poglavjih smo že navedli, da so najbolj vplivni parametri pri tehnologiji rezanja nekovinskih materialov material obdelovanca ter orodja, trdota in hrapavost rezalnih površin. Vse te parametre je mogoče meriti pri izhodu izdelave in tako zagotoviti kakovost izdelka. Z meritvijo smo želeli ugotoviti dejansko stanje parametrov na posameznih mestih posameznega izdelka kakor tudi stanje parametrov pri seriji izdelkov. Pri tem smo ugotavljali srednje vrednosti, največja in najmanjša odstopanja ter njihovo porazdelitev po različnih mestih orodja. Take meritve so namenjene tudi kot osnova za izboljšanje tehnologije. Pri izboljšavah lahko smiselno in usmerjeno spreminjamo obdelovalne parametre pri izpolnjeni zahtevi kakovosti izdelka.

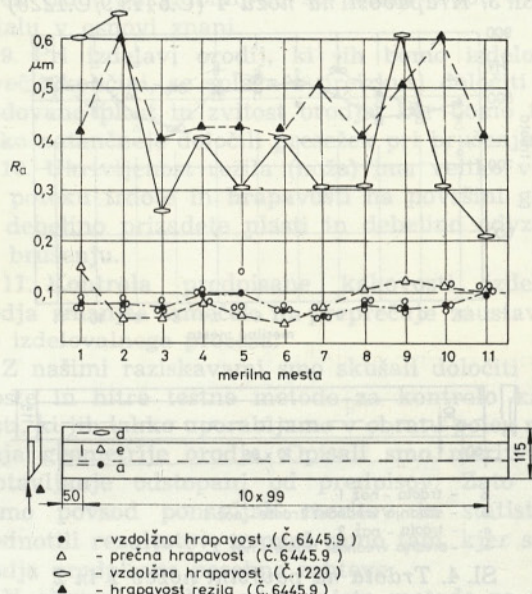
Hrapavost smo merili z merilnikom hrapavosti Talysurf 4, podjetja Taylor & Hobson, trdoto smo merili na merilniku Leitz po Vickersovi metodi z vtiskavanjem diamantne piramide v merjenec. Obe meritvi lahko opravljamo tudi v obratu pri izdelovalcu ali uporabniku orodja z neznatno potrebno opremo. Največkrat zadostuje za orientacijo že ena meritev brez ponovitev. To velja tudi za kontrolo.

##### 4.1. Merjenje hrapavosti

Hrapavost smo merili pri seriji nožev za rezanje papirja, ki smo jih oštevilčili. V serijo smo vključili za primerjavo tudi poškodovan nož. Merjeni noži so bili sestavljeni (kombinirani) iz dveh vrst materialov, in sicer iz Č.6445.9 (rezilo) in Č.1220 (nosilni del noža). Oba materiala sta bila brušena hkrati z eno vrsto brusar. Noži niso bili brušeni vedno pod istim kotom poti zrna brusar po površini. Na nožu št. 1 (sl. 1) smo merili na treh mestih. Prva meritev v bližini rezila na spodnji strani noža je bila trikrat ponovljena. Meritve kažejo zelo majhen raztros blizu rezila. Zanimivo je, da je prečna hrapavost na Č.6445.9 bistveno večja. Ta razlika je odvisna od smeri rezanja brusilnega zrna. Meritev pod »e« kaže na merjenem mestu 6 izrazito hrapavost, ki je posledica poškodbe, nastale na tem mestu na nožu. Poškodba se je nato nadaljevala na mehke materialu noža pri meritvi »d« na točki 9. Zanimivo je pogledati srednjo vrednost vzdolžne hrapavosti na mestu »a« na prvem in zadnjem merilnem mestu. V obeh primerih je



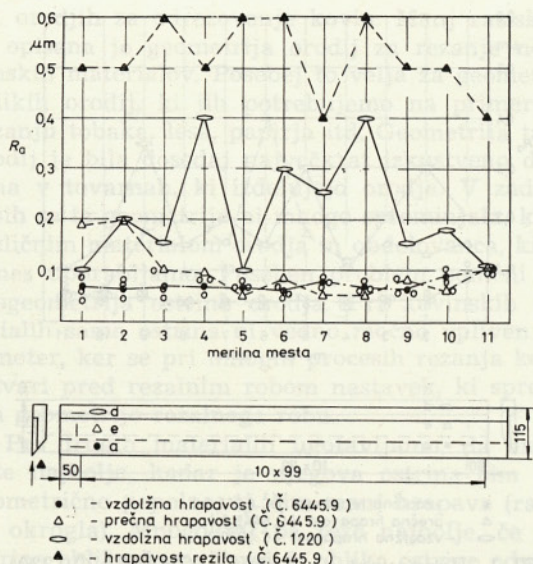
Sl. 1. Hrapavost na nožu 1 (Č.6445.9/Č.1220)



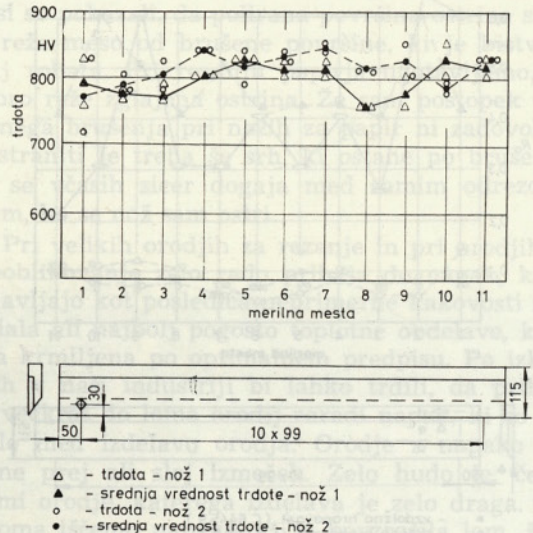
Sl. 2. Hrapavost na nožu 3 (Č.6445.9/Č.1220)

hrapavost večja kakor v srednjem delu noža. Vzrok zanj so razlike, ki se pojavljajo pri brušenju noževih koncev. Kljub temu kaže potek srednje vrednosti od drugega do desetega mesta izrazito kakovost, ki ima pri treh ponovitvah merjenja skoraj stalno vrednost. Raztros pri ponovljenih meritvah je res neznaten. Hrapavost mehkega dela noža iz Č.1220 je mnogo večja od hrapavosti trdega dela v vzdolžni smeri. Očitno je, da v enakih razmerah ne moremo doseči enake hrapavosti pri različnih materialih. Sploh pa je prečna hrapavost noža proti koncu noža čedalje bolj raztrošena. To pa ni bistveno pomembno za sam postopek rezanja.

Še večje razlike opažamo pri nožu št. 3 (sl. 2). Iz diagrama je razvidno, da je raztros meritev izredno majhen. Zato smo izračunali za prve tri vzdolžne meritve srednjo vrednost, jo vnesli v dia-



Sl. 3. Hrapavost na nožu 4 (Č.6445.9/Č.1220)



Sl. 4. Trdota na površini nožev 1 in 2 (HV 300 cN/15 s)

gram in jo primerjali s prečno meritvijo. Pokazalo se je, da je v tem primeru prečna meritev na nekaterih mestih celo manjša od srednje vrednosti vzdolžne hrapavosti. Nož št. 3 ni bil enako brušen glede na smeri poti brusilnega zrna. Medtem ko je bila vzdolžna hrapavost na trdem delu mnogo manjša (e) kakor na nožu 1, pa se je povečala vzdolžna hrapavost na mehkem delu (d). Pri tem nožu tudi opazamo, da so posamezni udarci ali raze na površini mehkega dela močno vidni. Na primer na merilnih mestih 2 in 9. Ti udarci se pojavljajo že pri samem prenosu in prekladanju nožev ter po njihovi namestitvi v stroj za rezanje. Na sliki 2 je prikazana tudi meritev samega rezila. Zelo zanimiva je simetrija na merilnih mestih 2 in 10, kjer je hrapavost na ostrini največja, nato pa se proti koncu noža manjša. Ta pojav smo lahko večkrat opazovali. Povezan je z brušenjem koncev noža,

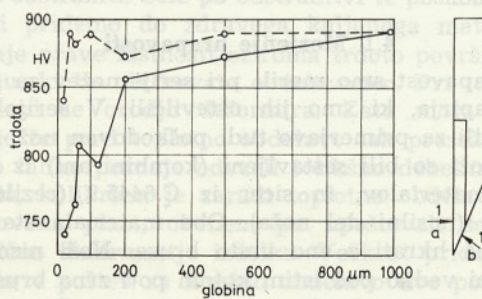
ki jih ne moremo popolnoma enako pobrusiti kakor srednji del noža. Poudariti moramo, da so vsi noži, katerih hrapavosti navajamo, vsaj za enakovostni razred boljši glede na hrapavosti, ki so za take nože predpisane.

Na sliki 3 je prikazan diagram merjene hrapavosti na nožu št. 4. Kakor je že pričakovano, vidimo, da so vzdolžne hrapavosti v bližini rezila zelo enakomerne. Izrazito nezakonskost opazamo kakor vedno le na mehkem delu noža (d). Pri prečnih hrapavostih (e) pa zopet vidimo rahel odklon na mestih 1 in 2.

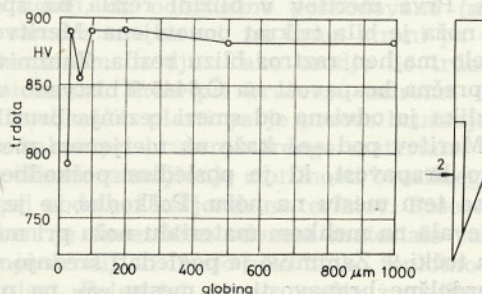
Hrapavost rezila (f) ni izrazita in ne kaže izrazitih povezav. Večina meritev rezila je pokazala tak potek. Odstopki vseh meritev od mesta do mesta so res tako majhni, da jih lahko štejemo med normalni raztros. Vse meritve zajemajo le majhne hrapavosti.

#### 4.2. Merjenje trdot na površini noža

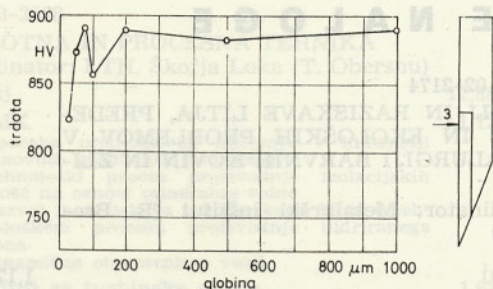
Pri nožih smo merili trdoto na istih merilnih mestih, kjer smo merili hrapavost. Pri meritvah nožev 1 in 2 smo meritev večkrat ponovili. Na sliki 4 vidimo ekstreme merjenj na nožih 1 in 2 ter srednje vrednosti. Očitno je, da ima nož št. 1 kar na dveh mestih zelo majhno trdoto, medtem ko jo ima nož 2 samo na prvem mestu merjenja. Obe nožema nismo popolnoma odstranili od toplotne obdelave poškodovane plasti in zato so trdote na določenih mestih nekaj manjše od predpisanih. Z nadaljnjim brušenjem smo nato trdoto povečali na želeno vrednost. Za boljše razlago pojava (sl. 4) smo nož št. 1 prerezali z elektroerozijo in merili trdoto po globini noža na sedmih različnih mestih. Na slikah 5, 6, 7 vidimo merjeno trdoto po globini (prerezu) noža na različnih mestih. Na sliki 5 je primerjava meritev na različnih straneh rezila



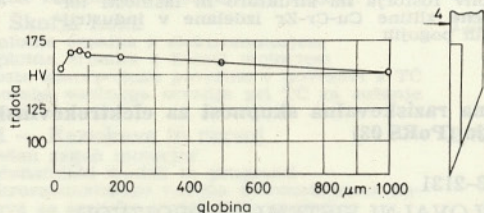
Sl. 5. Trdota po globini — mesto 1 (Č.6445.9)



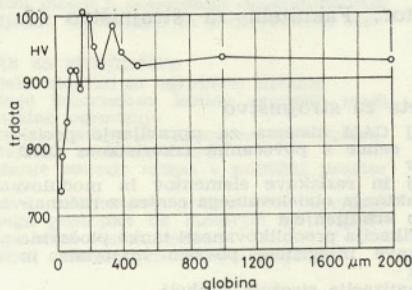
Sl. 6. Trdota po globini — mesto 2 (Č.6445.9)



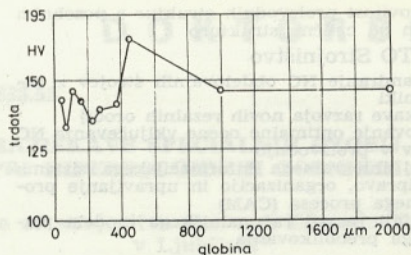
Sl. 7. Trdota po globini — mesto 3 (Č.6445.9)



Sl. 8. Trdota po globini — mesto 4 (Č.1220)



Sl. 9. Trdota po globini (Č.7680)



Sl. 10. Trdota po globini (Č.1220)

noža. Očitno je, da na rezilu na strani »a« še ni posneta vsa mehka plast tako, kakor je že posneta na strani »b«. Pri merjenju na mestu 2 (sl. 6) vidimo, da se je trdota že povečala in je na mestu 3 (sl. 7) največja. Vse tri slike skupaj prikazujejo, da je bilo bližje rezilu odvzetega pri brušenju manj poškodovanega materiala kakor dlje od rezila. Za primerjavo je na sliki 8 še meritev trdote po globini v nosilnem materialu.

Debelino plasti smo merili tudi na kombinaciji materialov Č.7680 in Č.1220, ki so prišli iz toplotne obdelave in še niso bili nič brušeni. S slik 9 in 10 je razvidno, kako globoko lahko sega toplotni vpliv in koliko globoko moramo brusiti, da bomo prišli do nepoškodovane plasti. Pri odvzemanju z brušenjem ne smemo pozabiti, da bo tudi samo brušenje povzročilo spremembe na površini.

## 5. SKLEP

Iz navedenih meritev lahko ugotovimo naslednje:

1. Raztrosi hrapavosti so na različnem delu rezila orodja in na različnih orodjih lahko zelo močni.
2. Za kontrolo hrapavosti bomo izbrali mesta, kjer je največja verjetnost za slabo kakovost.
3. Smer poti brusilnega zrna pri brušenju lahko močno vpliva na hrapavost v različnih smereh ob straneh ostrine noža.
4. Hrapavost ostrine je precej večja od hrapavosti površin, ki jih merimo ob straneh.
5. Hrapavosti na koncih orodja so različne od tistih v sredini.
6. Potek trdote je močno odvisen od zadovoljivega odvzema plasti, ki je bila med toplotno obdelavo poškodovana.
7. Raztros trdot je po globini zelo velik.
8. Iz trdot na površini lahko sklepamo tudi na potek trdot po globini, če so poteki trdot v materialu v osnovi znani.
9. Pri izdelavi orodij, ki jih bomo izdelovali v večji količini, se splača s preizkusi določiti poškodovano plast in zvito orodja, ker bomo tako lahko natančneje določili presežek pri brušenju.
10. Ukrivljenost rezila (noža) ima veliko vlogo pri poteku trdote in hrapavosti na površini glede na debelino prizadete plasti in debelino odvzema pri brušenju.
11. Kontrola predpisane kakovosti izdelave orodja zmanjša izmeček in preprečuje zaustavljanje izdelovalnega procesa.

Z našimi raziskavami smo skušali določiti preproste in hitre testne metode za kontrolo kakovosti, ki jih lahko uporabljamo v obratu poleg merjenja geometrije orodja. Opisali smo meritve za ugotavljanje odstopanj od predpisov. Zato tudi nismo povsod ponavljali meritev in statistično vrednotili rezultatov, temveč samo tam, kjer so za orodja predpisane posebne zahteve.

V okviru raziskav niso zajete metode za ugotavljanje napak brez porušitve v materialu, ki jih moramo nujno opravljati. Namen naloge je bil izboljšati kakovost orodij in poboljšati postopek izdelave. Poboljšanja postopka izdelave v tem sestavku nismo obravnavali.

Zahvaljujemo se Železarni Ravne, ki nam je omogočila raziskave in dovolila objaviti obravnavane primere.

## LITERATURA

- [1] Roethel, F.: Nekaj misli o izbiri posebnih tehnoloških postopkov za obdelavo; Strojniški vestnik, l. 1977, št. 1—2, str. 23—28.
- [2] Leskovar, P.: Tehnične površine in njihove značilnosti pri odrezovalnih procesih, Strojniški vestnik, l. 1975, št. 9—10, str. 181—186.

Avtorjev naslov: prof. dr. ing. Franc Roethel  
Fakulteta za strojništvo  
Ljubljana