

<https://doi.org/10.24867/JPE-1992-09-095>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

P. Kovač, L. Šidjanin, D. Milikić

ISTRAŽIVANJA PROCESA NASTAJANJA STRUGOTINE
PRI OBRADI NA STRUGU

INVESTIGATION OF CHIP FORMATION DURING
TURNING

Summary

The purpose of metal cutting with machine tool is the generation of new surface having a required geometry. However, the metal cutting process is actually a process of chip production, almost all of the cutting energy is consumed for chip production, and most of the information for the evaluation of cutting operation such as surface finish, tool life and cutting forces are closely related to the chip geometry.

When cutting with tools under most cutting conditions it is shown that generally a special plastic field is formed above the tool face. Within this field is a dead metal zone which in appearance resembles a built-up-edge (BUE). The influence on this has material of the workpiece and cutting conditions. The effects of this BUE have been observed in an increase in the depth of the plastically deformed layer on the workpiece surface. Also, a variation in the primary rake angle may under some conditions have considerable effect on the cutting forces and therefore on the efficiency of the process, for example when using low cutting speeds.

In analyses of the cutting process it has been assumed that a continuum mechanics approach may be adopted. This paper provides that the influence of discontinuities in the microstructure play an important role in cutting. Recent experimental results of micro-void formation in two materials are presented for machining test. The methodology adopted was based on the metallurgical approach to metal cutting, i.e. to correlate material behaviour during cutting with the underlying metallurgical phenomena occurring during chip formation. The employment of a quick-stop device rapid enough to "freeze" the cutting action was essential for analysing the microstructural changes that take place within the chip material and was used extensively for detailed metallurgical examination.

Kovač dr Pavel, docent, Šidjanin dr Leposava, vanr. prof., Milikić dr Dragoje, red. prof., Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad.

Rezime

Proces rezanja je ustvari proces nastajanja strugotine i neposredno je povezan sa integritetom nastale površine, postojanošću alata i otporima rezanja.

Plastična deformacija se odvija u zoni ispred alata. Primarna zona deformacije se nalazi u okolini ravni smicanja a sekundarna zona na grudnoj površini alata tzv. kočioni sloj. Pojava ove sekundarne zone je povezana sa nastajanjem naslage na alatu. Naslaga menja reznju geometriju alata i utiče na dubinu deformacionog sloja u obradku.

Proces rezanja je baziran na principu mehanike kontinuuma. U radu je pokazano da diskontinuitet u mikrostrukturi ima veliki uticaj na proces rezanja. Eksperimentalna istraživanja su izvršena na dva čelika sa različitom količinom nemetalnih uključaka. Korišćen je uređaj za brzo zaustavljanje procesa rezanja koji bazira na lomu delova obradka usled unutrašnjeg napona uzrokovano silama rezanja.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Pretvaranje sloja materijala obradka uslovljenu dubinom rezanja δ u strugotinu debljine h vrši se u prostoru koji obuhvata deo obradka u blizini reznog klina alata. Ovaj prostor predstavlja zonu rezanja, a njen položaj oblik i granice utvrđuju se eksperimentalnim putem.

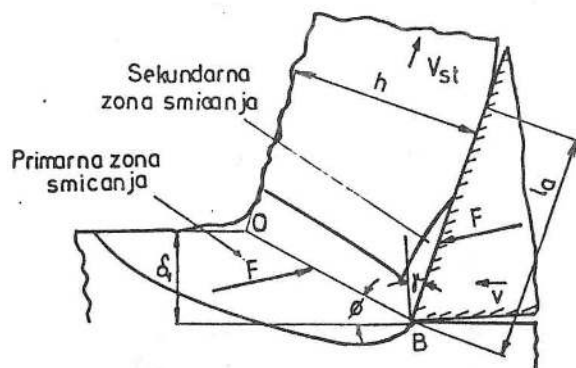
Opšti izgled zone rezanja prikazan je na slici 1. Usled dejstva reznog klina silom F i relativnom brzinom v , duž kontaktne dužine l_a , na sloj materijala uslovljen dubinom rezanja δ javljaju se u zoni rezanja naponi. Kao posledica napona u njoj javljaju se zone primarne i sekundarne deformacije /1,4,7/.

Uslovno u zoni čiju granicu predstavlja duž OB završava se proces plastične deformacije smicanja te tako deformisana zrna nastavljaju dalje kretanje brzinom V_{st} .

Kada je sila trenja na grudnoj površini reznog klina velika deformacija zrna se može nastaviti i posle prelaska ove granice OB . Usled toga se javlja kočioni sloj u zoni naknadne deformacije zrna. U ovoj zoni stepen plastične deformacije je čak 20 puta veći od deformacije zrna izvan nje.

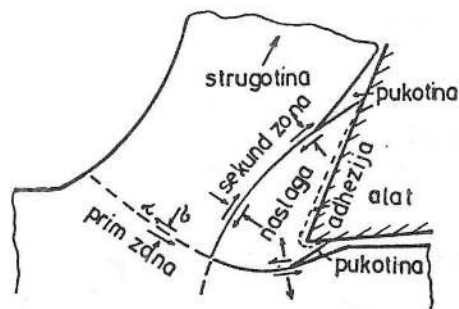
Istraživanja zona plastične deformacije sa smanjenom zonom kontakta između alata i strugotine izvedena su od strane Wortingtona /8/. Smanjenje dužine kontakta rezultira u smanjenju krivine strugotine ali se povećava deformacija sloja ispred vrha alata sa nastalom naslagom.

Istraživanja u vezi pojave naslage na alatu su vršena sa ciljem upoznavanja oblika, veličine, uslova nastanka i uticaja na habanje i hrpavost obradjene površine.



Sl.1. Zone deformacije bez formiranja naslage

Fig.1. Deformation zones without built-up edge



Sl.2. Zone deformacije prilikom formiranja naslage

Fig.2. Deformation zones with built-up edge

Nastajanje naslage može se objasniti kao posledica /5/:

1. adhezije na površini kontakta između obradka i alata
2. raspodele napona u strugotini (napon je niži u strugotini nego blizu granične površine).

Adhezija je izgleda potreban uslov za stvaranje naslage ali ne i jedini. Odredjene kombinacije alat/obradak uslovljavaju stvaranje naslage.

Rezultati dobijeni pri brzom prekidu procesa obrade pokazali su da nastale naslage vrlo retko ostaju na alatu. Pored toga se mogu uočiti i pukotine koje nastaju na grudnoj i ledjnoj površini alata (sl.2.) /5/.

2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Za dobijanje uzoraka korena strugotine, koji će poslužiti za istraživanje razvijena je posebna metoda brzog zaustavljanja procesa. To je vrlo jednostavna metoda koja bazira na lomu dela obradka usled unutrašnjeg napona u materijalu uzrokovanog silama rezanja. U tom cilju uzorci su pripremljeni tako, da kada se postigne odgovarajući odnos između brzine rezanja, pomaka i debljine sloja materijala, dolazi do loma na delu gde se nalazi koren strugotine.

Pripremljeni su uzorci od dva čelika čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli 1. To su: čelik za poboljšanje Č.1730 u normalizovanom stanju i

čelik za automate Č.3990.

Obradak	C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Ni
Č.1730	0,65	0,22	0,72	0,029	0,014	-	-	-
Č.3990	0,16	0,05	1,18	0,27	0,01	0,167	0,38	0,10

Treba naglasiti da su režimi rezanja u toku eksperimenta bili konstantni.

Pri obradi korišćen je držač sa izmenljivim pločicama od tvrdog metala oznake SPUN kvaliteta P25. Rezna geometrija je bila grudni ugao -6° ili $+7^{\circ}$, ledjni ugao 6° . Rezanje je bilo ortogonalno.

Ispitivanja su vršena na univerzalnom strugu Galeb snage 6 kW, bez korišćenja sredstva za hladjenje i podmazivanje.

Morfologija i karakterizacija mikrostrukture u korenu strugotine ispitivana je svetlosnim mikroskopom tipa Leitz i skening elektronskim mikroskopom (SEM) tipa JSM35 sa radnim naponom od 25 kV. Za primenu uzorka korišćena je metodologija klasične metalografije. Pri ispitivanju na SEM radi odstranjivanja efekta nabijanja elektrona i dobijanje jasnije slike sa izrazitim detaljima, uzorci su naparavani zlatom u vakuum naparivaču JEE4B pri vakuumu od $1,33-2,5510^{-5}$ mbar-a i jačine struje od 26 A.

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISTRAŽIVANJA I NJIHOVA ANALIZA

3.1. Parametri plastične deformacije strugotine

Parametri plastične deformacije strugotine određeni su na osnovu mikrofotografija uzoraka korena strugotine, dobijenim svetlosnim mikroskopom. Parametri neophodni za proračun prikazani su na slikama 3. i 4. i određeni su sledeći parametri:

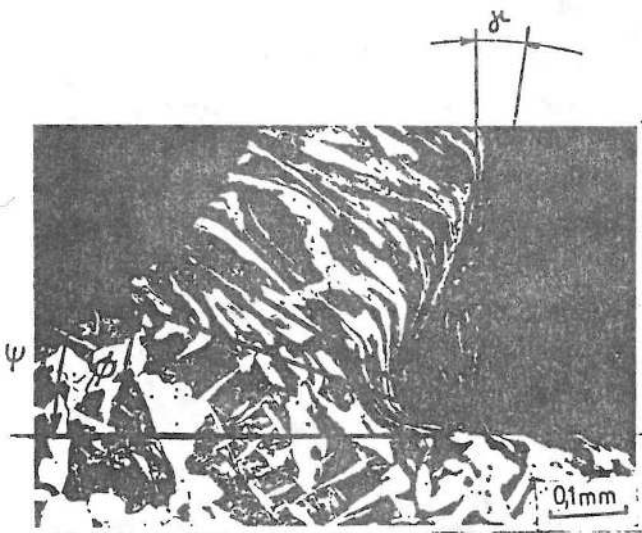
- faktor sabijanja strugotine

$$\lambda = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi}$$

- relativno klizanje

$$\epsilon = \frac{\cos \gamma}{\sin \phi \cdot \cos(\phi - \gamma)} = \operatorname{ctg} \phi + \operatorname{tg}(\phi - \gamma)$$

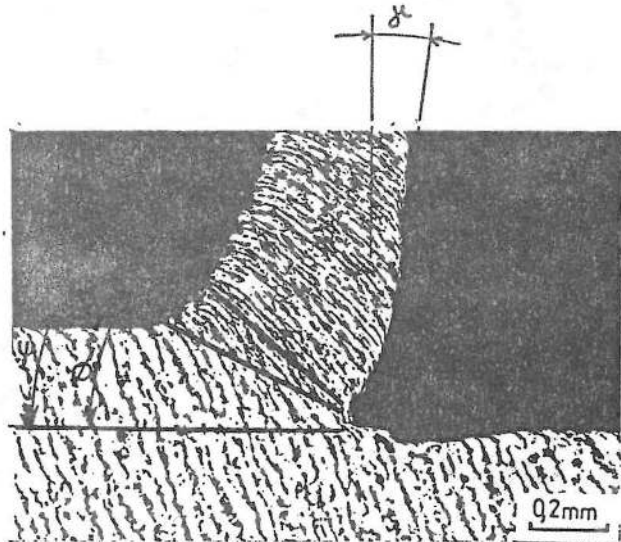
gde je: γ - grudni ugao
 ϕ - ugao ravni smicanja
 ψ - ugao teksture zrna



$V = 41 \text{ m/min}$ $\lambda = 2,57$
 $s = 0,507 \text{ mm/o}$ $\epsilon = 2,74$
 $\delta = 3 \text{ mm}$ $\phi = 23^\circ$
 $\gamma = 7^\circ$ $\psi = 31^\circ$

Sl.3. Mikroskopski snimak korena strugotine Č.1730

Fig.3. Micrograph of chip root Č.1730



$V = 59 \text{ m/min}$ $\lambda = 2,01$
 $s = 0,507 \text{ mm/o}$ $\epsilon = 2,22$
 $\delta = 3 \text{ mm}$ $\phi = 28^\circ$
 $\gamma = 7^\circ$ $\psi = 41^\circ$

Sl.4. Mikroskopski snimak korena strugotine Č.3990

Fig.4. Micrograph of chip root Č.3990

Na sl.3. i sl.4. se može uočiti da se linija teksture zrna nalazi pod uglom ψ , koji je veći od ugla smicanja ϕ . Uz grudnu površinu alata povijanje linija teksture zrna je još veće usled naknadne plastične deformacije pod uticajem sila trenja. Uočava se i da usled formiranja naslage dolazi do promene stvarnog grudnog ugla alata.

3.2. Uticaj mikrostrukture na proces nastajanja strugotine

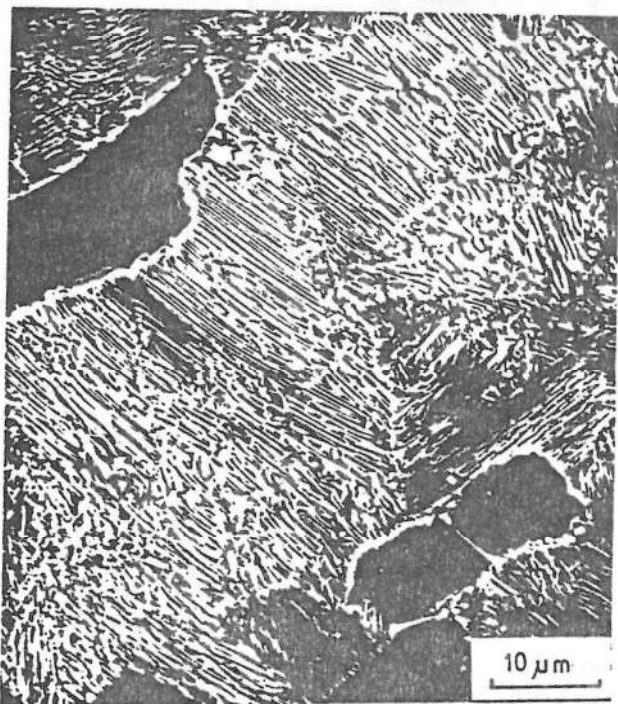
Detaljna analiza procesa nastajanja strugotine vršena je na skening elektronskom mikroskopu i uočen je uticaj sledećih parametara:

- diskontinuiteta u mikrostrukтури
- nastajanja mikrošupljina
- prslina u zoni rezanja
- stvaranja naslage u zoni rezanja.

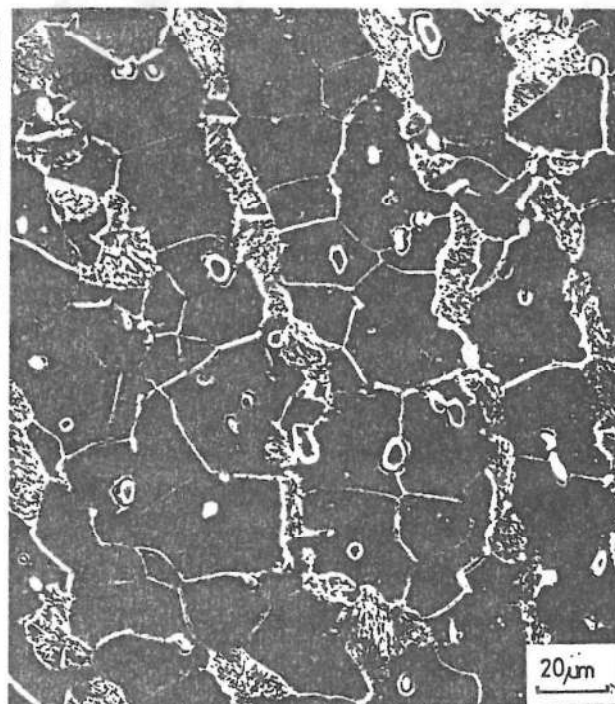
Za analizu uticaja ovih parametara na proces nastajanja strugotine korišćeni su dva čelika sa sledećim mikrostrukturnim karakteristikama:

- Č.1730 je ugljenični čelik sa 0,65%C, koji u mikrostrukturi zbog procenta ugljenika sadrži veći procenat perlita od slobodnog ferita što uslovljava veći udeo cementita (Fe_3C - karbid željeza). Pored perlita i slobodnog ferita prisutni su i MnS nemetalni uključci sa količinom dozvoljenom za ovu vrstu čelika (po JK-skali ispod 3) - sl.5.

- Č.3990 je legirani čelik sa Mn za automate, sa povećanim sadržajem S od 0,27%. Mikrostruktura se sastoji od slobodnog ferita, gnezda perlita i povećane količine nemetalnih uključaka MnS (po JK-skali iznad 5) - sl.6.



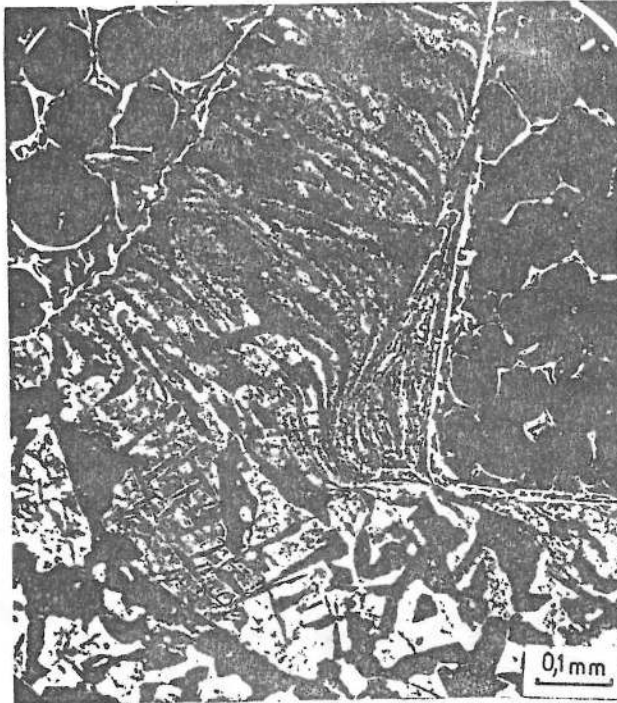
Sl.5. Mikrostruktura čelika Č.1730
Fig.5. Microstructure of Č.1730



Sl.6. Mikrostruktura čelika Č.3990
Fig.6. Microstructure of Č.3990

Uticaj nemetalnih uključaka MnS na smicajnu nestabilnost je vrlo veliki. Taj uticaj se pre svega svodi na to da nemetalni uključci smanjuju noseću površinu koja se opire smicanju a možda još važnije je nastajanje koncentracije napona na graničnoj površini nemetalni uključak/metalna osnova.

Izgled korena strugotine za Č.1730 prikazan je na sl.7. a za Č.3990 na sl.8. Može se uočiti da je kod čelika Č.1730 ugao teksture manji a time i deformacija manja što daje trakastu strugotinu. Kod Č.3990 je ugao teksture veći. Uočava se veliki broj mikrošupljina i prslina u strugotini zbog čega je ona lako lomljiva.



Sl.7. Koren strugotine Č.1730
Fig.7. Chip rooth of Č.1730



Sl.8. Koren strugotine Č.3990
Fig.8. Chip rooth of Č.3990

Istraživanja ponašanja nemetalnih uključaka i metalne osnove pri različitim veličinama napona, pokazuje da u zavisnosti od oblika uključaka postoje dva mehanizma nastajanja mikrošupljina i mikroprslina.

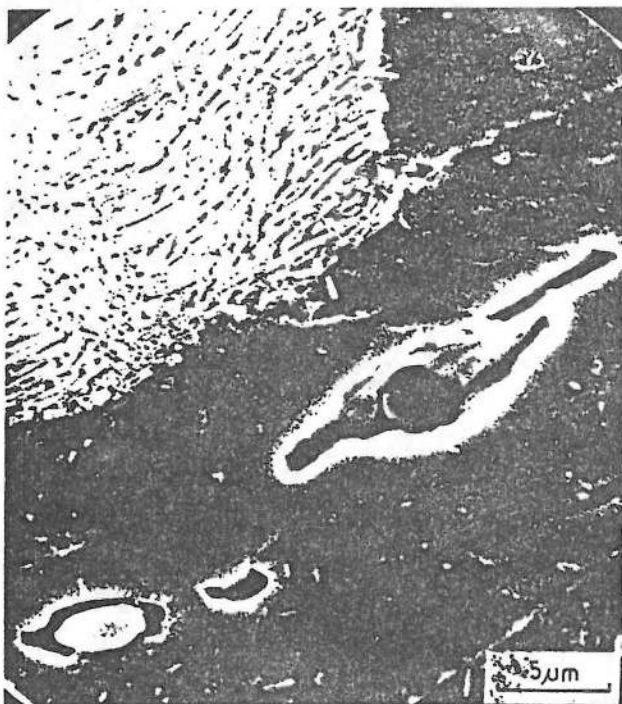
Ako je uključak sferičan onda pod dejstvom napona na graničnoj površini dolazi do mehanizma dekohezije granične površine nemetalni uključak/metalna osnova tj. kidanje veza i pojave mikrošupljine sl.9. U daljem procesu iz mikrošupljine se razvija mikroprslina.

Koalescencija mikrošupljina i mikroprslina omogućava, smicajnu nestabilnost. Postoji međjutim i mogućnost poništenja nastalih mikroprslina usled velikog dejstva pritisnih napona.

U slučaju da nemetalni uključak ima izduženi oblik tada pod dejstvom napona na graničnoj površini, prvo dejstvuje mehanizam loma nemetalnog uključka stvarajući više delova od tog uključka. Dalji proces se nastavlja mehanizam dekohezije na isti način kao i kod sferičnih nemetalnih uključaka, sl.10.

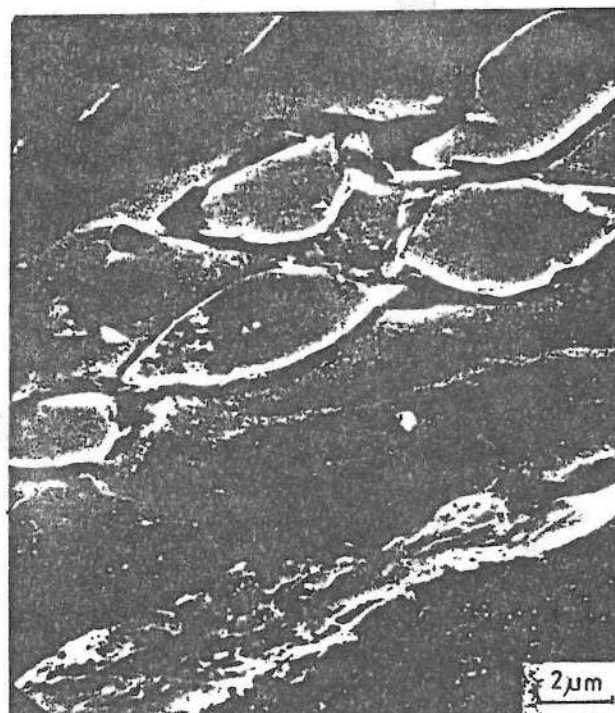
Nastajanje mikroprslina u zoni nastajanja strugotine su posledica velikih deformacija materijala i prisustva nemetalnih uključaka. Mikroprsline se mogu uočiti na obradjenoj površini, strugotini i naslagama.

Analizirajući snimke korena strugotine sa naslagama može se konstatovati da je model formiranja naslage, gde se za objašnjenje fenomena naslage koristi samo mehanizam naslage je nedovoljno adekvatan.



Sl.9. Sferični uključak, mikrošupljina i mikroprslina

Fig.9. Globular inclusion, microvoid and microcrack



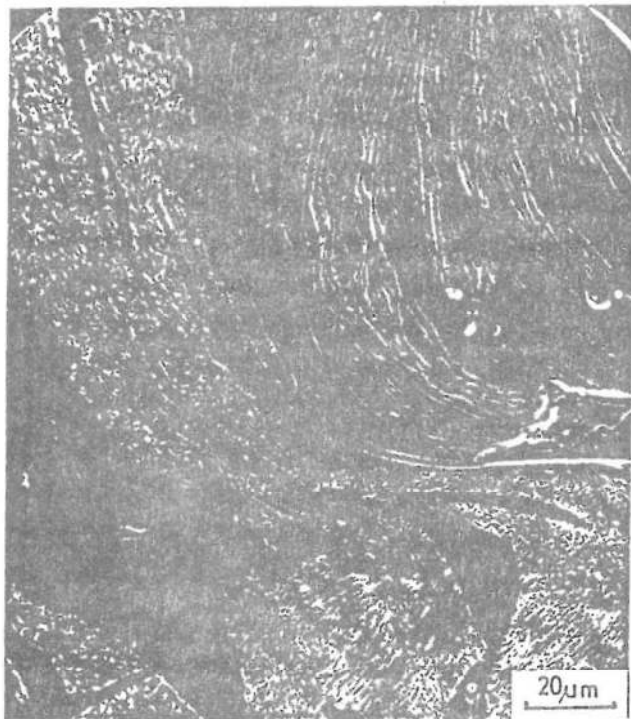
Sl.10. Izduženi uključak i nastajanje mikroprslina

Fig.10. Elongated inclusion and microcrack formation

Na sl.7. i sl.8. se vidi da osim dejstva adhezije uz sam alat postoji iniciranje i širenje prsline ispred grudne površine i ispod ledjne površine što ima značajan uticaj na formiranje i odvajanje krupnijih delova materijala. Grafički prikaz ovog modela je dat na sl.2.

Naslaga može preuzeti i ulogu sečiva i usled njenog periodičnog odvajanja u obradenoj površini može nastati udubljenje kako se to vidi na sl.7. i sl.8.

Na slikama 11. i 12. prikazane su naslage sa SEM pri velikom uvećanju. Vidi se da se naslaga sastoji iz osnovnog materijala koji je ispred vrha alata jako deformisan. Deo tog deformisanog sloja je još uvek vezan sa osnovnim materijalom a deo se već odvojio. Unutar naslage uočavaju se jako deformisani slojevi razdvojeni mikroprslinama. Mikroprslina se prostiru preko zrne ferita ili na graničnim površinama ferit/perlit. Usled visokih pritisaka i temperatura i smanjene površine kontakta neki slojevi su se naknadno spojili (tj. zavarili). Treba naglasiti da se rezanje odnosno plastična deformacija u toku nastajanja strugotine vrši preko naslage te je sečivo u određenoj meri zaštićeno, što je opet povezano sa nekim mehanizmima habanja alata.



Sl.11. Naslage Č.1730

Fig.11. Built-up edge Č.1730



Sl.12. Naslage Č.3990

Fig.12. Built-up edge Č.3990

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti:

- Mikrostrukturni prilaz proučavanju plastične deformacije omogućuje određivanje parametara deformacije (λ i ϵ) i zona deformacije prilikom nastajanja strugotine.
- Analiza uticaja vrste materijala obradka je ukazala da je veoma veliki uticaj mikrostrukture na proces nastajanja strugotine.
- Oblik, veličina i orijentacija nemetalnih uključaka imaju veliku ulogu u procesu plastične deformacije jer stvaraju uslove za koncentraciju napona, stvaranje mikrošupljina i mikroprslina koje olakšavaju proces nastajanja strugotine i njeno lomljenje.

LITERATURA

- /1/ Bao H., Stevenson M.G.: A Basic Mechanism for Built-up Edge Formation in Machining, Annals of the CIRP, Vol.25/1/1976.
- /2/ Brown R.H., Luong H.S.: The Influence of Microstructure Discontinuities on Chip Formation, Annals of the CIRP, Vol.25/1/1976.
- /3/ Gvozdenac G.: Istraživanje procesa nastajanja strugotine pri bušenju i glodanju. Diplomski rad, FTN, IPM, Novi Sad, 1991.

- /4/ Hau-Bracamonte J.L., Wise M.L.H.: Austenitization of Steel during Chip Formation. Metallurgical Transactions A, Vol.14A,1983.
- /5/ Kuzaki I., Kanji U.: The Significance of Dynamic Crack Behaviour in Chip Formation, Annals of the CIRP, Vol.25/1/1976.
- /6/ Skakun Ž.: Istraživanje procesa nastajanja strugotine. Diplomski rad, FTN, IPM, Novi Sad, 1991.
- /7/ Wise M.L.H., Milović R.: Ranges of Application of Free Cutting Steels and Recommended tool materials, Materials Science and Technology, Vol.4, 1988.
- /8/ Worthington B.: Surface Integrity, Cutting Forces and Chip Formation When Machining With Double Rake Angle Tool, Int.J.Mach. Tool Des.Res., Vol.14, 1974.