

TEHNOLOGIJA MAŠINSKE OBRADE I KLK

Tehnologija je nauka koja proučava procese i postupke prerade sirovina (ruda i sl.) u polufabrikate i gotove proizvode. Ona obuhvata materijalne i nematerijalne procese i deli se na:

- **neproizvodnu ili nematerijalnu** (transformacije ili prerade energije i informacija, transporta i organizacije transporta, skladištenja, čuvanja i ispitivanja materijala i proizvoda i sl.)
- **proizvodnu ili materijalnu tehnologiju.**

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

Proizvodne tehnologije su tehnologije prerade sirovina i izrade polufabrikata i proizvoda različitih tipova i namena (alatnih mašina, automobila, aviona, brodova...).

To su tehnologije kojima se menja:

- suština materije (dobijanje gvožđa, čelika, bakra i drugih metala, granulata za izradu sinterovanih delova i delova od plastike, drobljenje, mlevenje i rastvaranje sirovina ...),
- oblik, dimenzije i karakteristike delova i proizvoda i
- struktura materijala i estetski izgled proizvoda (termička i hemijskotermička obrada, površinska zaštita, tehnologija modifikovanja površina ...).

Proizvodne tehnologije se dele na:

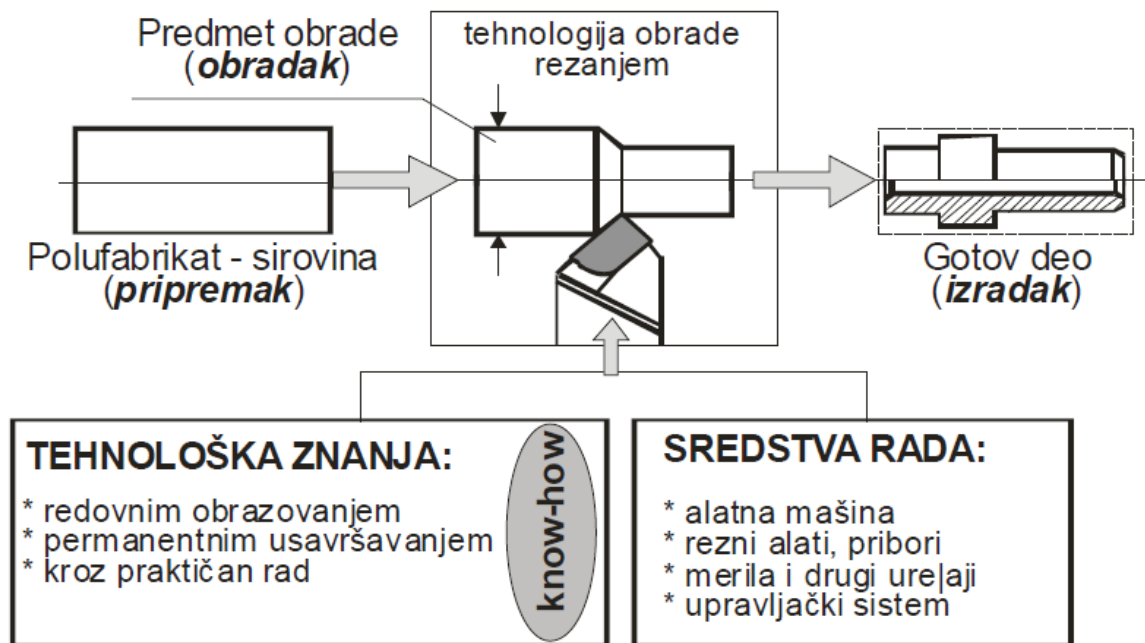
- tehnologije mašinogradnje,
- tehnologije prerade plastičnih masa,
- tehnologije prerade drveta,
- tehnologije prerade papira,
- tehnologije prehrambene industrije,
- tehnologije dobijanja cementa itd.

TEHNOLOGIJA MAŠINOGRADNJE

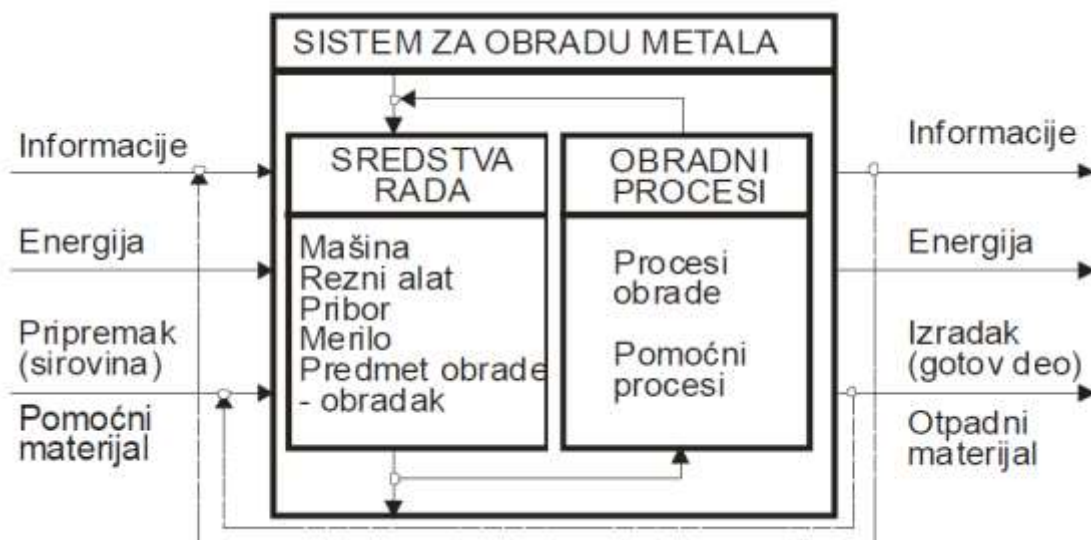
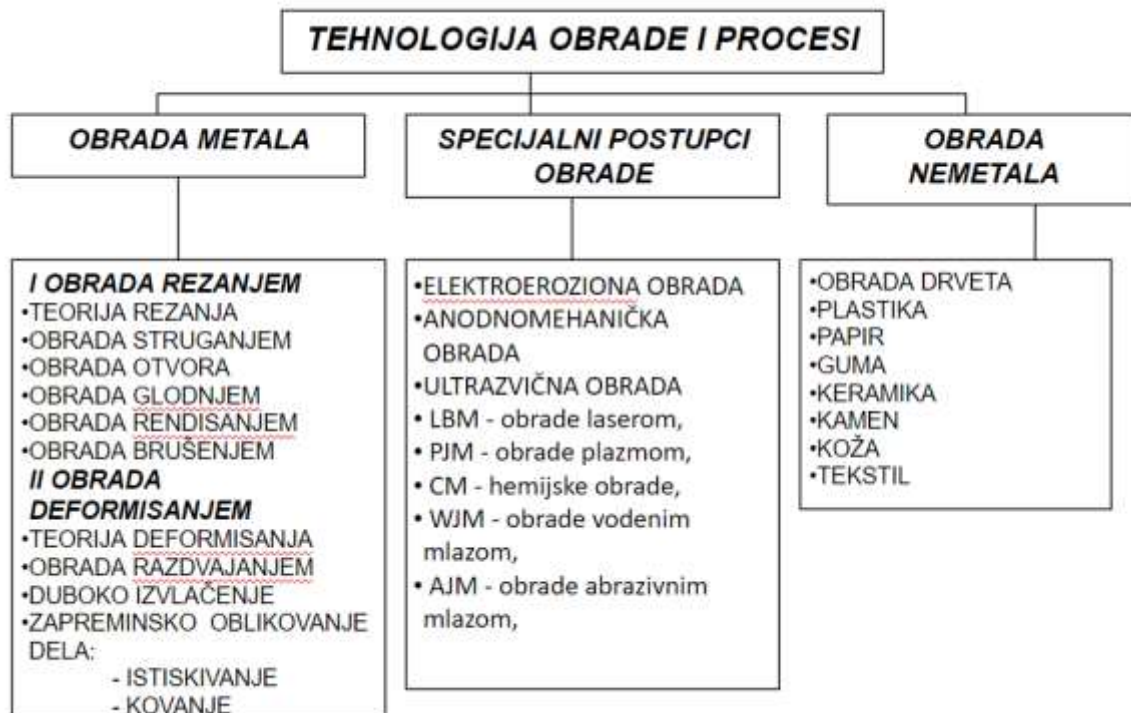
Postoji šest osnovnih tehnologija, to su tehnologije:

1. materijala,
2. obrade,
3. termičke i hemijsko-termičke obrade,
4. montaže,
5. površinske zaštite i
6. modifikovanja površina.

Tehnologija obrade proučava postupke izrade i obrade (oblikovanja) mašinskih delova željenog oblika i dimenzija od polufabrikata, dobijenih livenjem, kovanjem, valjanjem i sl. Pojednostavljeno rečeno obuhvata problematiku izrade i oblikovanja gotovih delova (slika 1.1).



Slika 1.1. Ilustracija postupka obrade



Obradni procesi se sastoje od:

- procesa obrade (direktnih ili efektivnih procesa) – je proces izrade delova ili proizvoda, npr. struganje, bušenje, glodanje...
- pomoćnih ili dopunskih procesa – omogućavaju izvođenje procesa obrade, npr. pozicioniranje i stezanje alata i predmeta obrade, odlaganje predmeta obrade, uključivanje i isključivanje mašine...

Tehnološki ili obradni proces se realizuje kroz tehnološke postupke obrade. *Tehnološki postupak* je skup svih obrada na predmetu obrade u toku izrade na odgovarajućim mašinama, uz primenu reznog, steznog i mernog alata. Elementi tehnološkog postupka su tehnološke operacije.

Operacija je obrada priprema na jednoj mašini (jednom radnom mestu) uz jednu pripremu mašine. Broj operacija je broj priprema ili broj mašina (kada se operacija poklapa sa obradnim procesom) ili broj pozicija obrade.

U okviru jedne operacije može da postoji više podoperacija.

Podoperacija predstavlja jedan položaj predmeta obrade u odnosu na mašinu i stezni alat ili pribor. Svaka operacija odnosno podoperacija se sastoji od: zahvata i prolaza.

Zahvat je proces istovremene obrade jedne ili više površina predmeta obrade korišćenjem jednog ili više alata, bez promene režima obrade.

Prolaz je deo zahvata u kome se jedan sloj materijala uklanja jednim alatom.

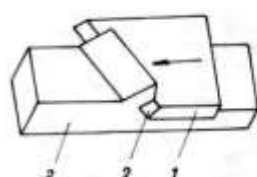
OSNOVI TEORIJE OBRADE METALA REZANJEM

Osnovni princip obrade rezanjem je u stvari proces odvajanja viška materijala u obliku strugotine sa obratka, gde je strugotina otpadak što je glavna karakteristika svih metoda obrade rezanjem.

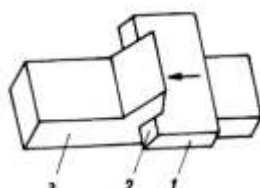
Cilj odvajanja strugotine od obratka je dobijanje obrađene površine određenih dimenzija, oblika i kvaliteta.

Pri prodiranju reznog klina alata (1) u materijal predmeta obrade (2) mogu da se pojave dva slučaja (principa) rezanja: ortogonalno i koso rezanje.

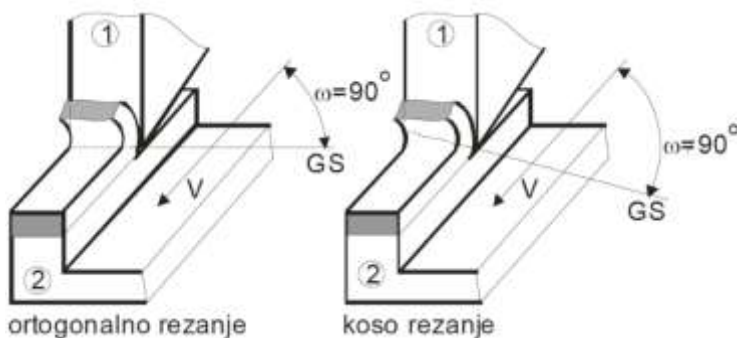
1 – alat, 2 – sečivo, 3 - obradak



Slika 1.1. Prikaz kosog rezanja



Slika 1.2. Prikaz ortogonalnog rezanja



Ortogonalno rezanje nastaje u slučajevima kada je glavna rezna ivica alata (glavno sečivo) normalna na pravac kretanja alata ili predmeta obrade (pravac relativnog kretanja).

Kod kosog rezanja pravac kretanja alata ili predmeta obrade i glavnog sečiva zaklapaju ugao različit od 90° .

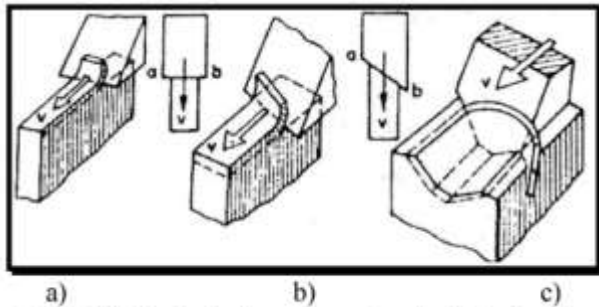
Struganje je, u opštem slučaju, koso rezanje. Pri odsecanju (usecanju) i obradi kada je napadni ugao 90° nastaje ortogonalno rezanje.

Pri **obimnom glodanju** koso rezanje nastaje pri obradi valjkastim glodalima sa zavojnim zubima, a ortogonalno pri glodanju glodalima sa pravim zubima.

Rendisanje je koso rezanje, osim usecanja žljebova kada nastaje ortogonalno rezanje.

Pri **bušenju** se javlja koso rezanje. **Provlačenje** je najčešće ortogonalno rezanje. Obrada **brušenjem**, sa mnogosečnim alatima, tocilima, je koso rezanje.

Najčešći oblik reznog dela radnog alata ima geometriju klina. On sadrži jednu (sl. 2a i 2b) reznu ivicu ili "sečivo" koje je na slici 2a i 2b označeno ivicom "ab" reznog klina, odnosno nekoliko reznih ivica - sečiva kako je to prikazano na slici 2c prema kojoj rezni klin ima sečivo sastavljeno iz više elemenata koji formiraju izlomljenu liniju "abcd".



Slika 2. Odvajanje strugotine od materijala obratka

U procesu rezanja odvajaju se materijal s obratka u vidu strugotine te se tako on transformiše u gotov deo. To znači da pripremljeni materijali - pripreмки moraju imati nešto veće dimenzije od dimenzija gotovih delova. Ova razlika u dimenzijama predstavlja dodatak za obradu rezanjem.

Veličine dodataka za obradu zavise od kvaliteta površine pripremkа, vrste obrade rezanjem i sl.

Da bi se proces rezanja mogao kontinualno da odvija, mašina na kojoj se odvija proces rezanja ima zadatak da obezbedi, pored ostalog, kinematske uslove za ovaj proces.

Kinematika procesa rezanja sadrži dva osnovna kretanja. To su:

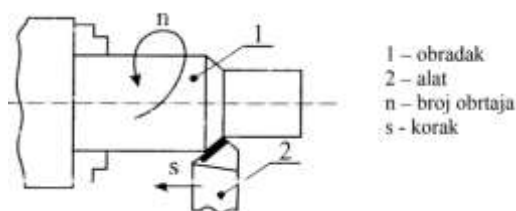
- Glavno kretanje koje izvodi alat ili obradak i kojim se obezbeđuje potrebna brzina rezanja. Brzina rezanja se meri najčešće u metrima u jednoj minuti i označava se sa v [m/min].
- Pomoćno kretanje može da izvodi alat ili obradak i ima zadatak da obezbedi kontinuitet procesa rezanja. Pomoćno kretanje ima tačno definisane veze sa glavnim kretanjem, obeležava se sa s i naziva "korakom", i najčešće se izražava u milimetrima po jednom obrtaju [mm/o].

OBRADA STRUGANJEM

Obrada struganjem se koristi kao završna obrada pri dobijanju gotovog proizvoda. Ovu obradu karakteriše proces stvaranja strugotine. Da bi došlo do skidanja strugotine potrebno je obezbediti dva kretanja:

- glavno i
- pomoćno kretanje.

Šema obrade rezanjem na strugu:



Kod struganja glavno kretanje vrši obradak i ono je kružno. Definisano je brzinom rezanja, odnosno brojem obrtaja. Brzina rezanja je obimna brzina obratka i definisana je izrazom:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} [\text{m/min}],$$

gde je:

- D [mm] - prečnik obratka,
- n [o/min] - broj obrtaja radnog vretena, odnosno obratka u min.

Brzina rezanja se bira iz tablice (literatura novijeg datuma, prospekt mašine) u zavisnosti od materijala obratka, materijala alata, vrste obrade (gruba, fina).

Iz obrazca za brzinu određuje se broj obrtaja n :

$$n = \frac{1000 v}{D \pi} [\text{o/min}].$$

Pomoćno kretanje vrši alat – strugarski nož i ono je pravolinijsko u pravcu rezanja. Definisano je korakom s [mm/o]. Korak je pomeranje alata u pravcu obrade, u milimetrima, za jedan obrtaj obratka. Korak se bira iz tablice u zavisnosti od vrste obrade: gruba ili fina (završna).

Prema tome, režimi obrade pri struganju su:

- v [m/min] - brzina rezanja, odnosno broj obrtaja n [o/min],
- s [mm/o] - korak i
- t [mm] - dubina rezanja.

Mašinsko vreme izrade (glavno vreme) je aktivno vreme učešća alata u procesu rezanja i određuje se:

$$t_{\text{m}} = t_{\text{t}} = \frac{L}{ns} [\text{min}],$$

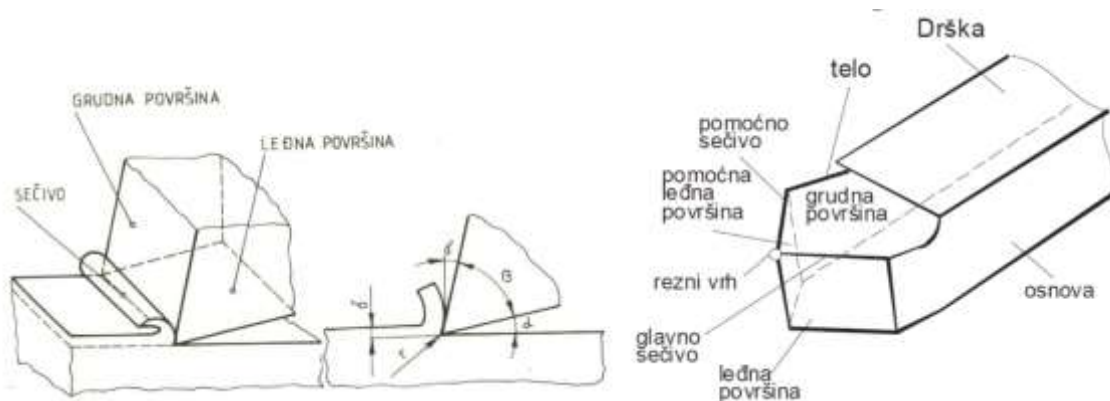
gde je L [mm] - dužina koja se obrađuje, a proizvod ns predstavlja brzinu pomoćnog kretanja:

$$V_p = ns [\text{mm/min}].$$

Brzina pomoćnog kretanja treba da bude što veća kako bi vreme obrade bilo što kraće, odnosno vreme izrade nekog proizvoda bilo kraće, a time proizvod bio jeftiniji i konkurentniji na tržištu.

Strugarski nož se sastoji od:

- tela alata na kome se nalaze rezni elementi (rezni klin) i
- drške preko koje se izvodi postavljanje i pričvršćivanje na nosač alata.

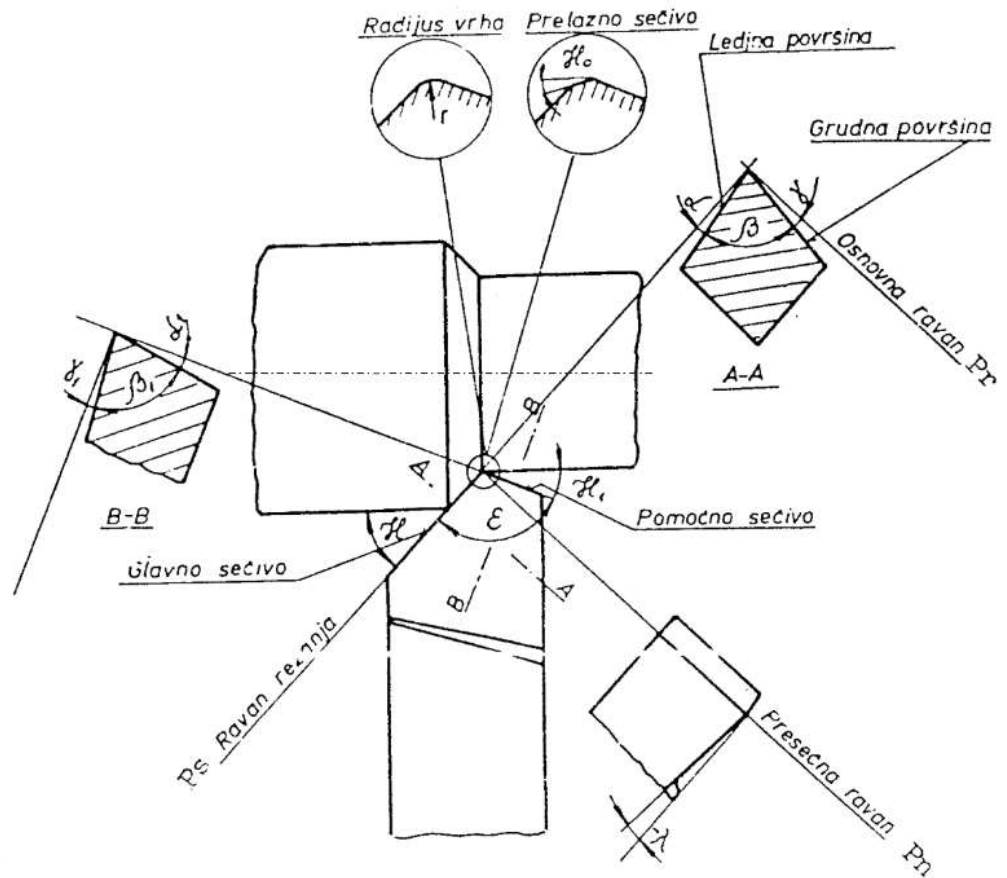


Po grudnoj površini klizi strugotina u procesu rezanja; leđna površina je naspram obradjivanog materijala obratka, a pomoćna leđna površina je naspram obradjene površine obratka.

Prema položaju oštrice mogu biti: desni, levi i neutralni.

Prema materijalu predmeta obrade mogu biti: za obradu metala, nemetala, kamena i papira.

Uglovi reznog klina strugarskog noža su prikazani na slici 11.



Slika 11. Uglovi reznog klina alata

U preseku A-A prikazani su glavni uglovi reznog klina alata:

α - ledjni ugao,

γ - grudni ugao,

β - ugao reznog klina (ugao između grudne i ledjne površine),

δ - ugao rezanja $\delta = \alpha + \beta$.

Na slici su prikazani i sledeći uglovi:

χ - napadni ugao (ugao između glavnog sečiva i pravca rezanja),

χ_1 - pomoćni napadni ugao (ugao između pomoćnog sečiva i pravca rezanja),

ϵ - ugao vrha noža (ugao između glavnog i pomoćnog sečiva),

λ - ugao nagiba (ugao između osnovne ravni i glavnog sečiva).

Uglovi γ i λ mogu biti pozitivni i negativni. Ugao γ je pozitivan ako je zbir $\alpha + \beta + \gamma < 90^\circ$, a negativna ako je $\alpha + \beta + \gamma > 90^\circ$.

ALATNI MATERIJALI

Početak XX veka brzina rezanja se kretala u granicama 10 - 20 m/min , da bi u savremenim proizvodnim uslovima dostigla vrednost i do 1.000 m/min, pa i više, u proizvodnim operacijama struganja i čeonog glodanja.

Sve vrste savremenih alatnih materijala su nastale kao rezultat stalne težnje da se obezbedi alatni materijal što veće tvrdoće i žilavosti, odnosno otpornosti na:

- habanje i
- udarna opterećenja i vibracije, posebno u uslovima visokih temperatura rezanja.

Sa porastom temperature rezanja opadaju vrednosti mehaničkih karakteristika alatnih materijala.

Istovremeno rešenje suprotnih zahteva, posebno zahteva za visokom tvrdoćom i žilavošću, dovelo je do razvoja spektra alatnih materijala kao što su:

- ◆ ugljenični i legirani alatni čelici,
- ◆ brzorezni čelici,
- ◆ tvrdi metali,
- ◆ alatna ili rezna keramika i
- ◆ super tvrdi materijali.

Danas se za izradu reznih alata najčešće koriste: brzorezni čelik i tvrdi metal.

Pored alatnih materijala za izradu alata koriste i **pomoćni materijali**. To su materijali za izradu drške, tela, nosača, nastavaka i sl. Kao pomoćni materijali koriste se: konstruktivni čelici, sivi liv, čelični i aluminijumski liv itd.

Alatni čelici

Alatni čelici koji se primenjuju za izradu reznih alata mogu biti:

1. **ugljenični** - koriste se za izradu reznih alata koji rade pri malim brzinama. To su najčešće ručni alati. Iz ove grupe alatnih čelika koriste se čelici: Č 1940 (sa oko 1% C) i Č 1943 (sa oko 1,2% C).
2. **niskolegirani alatni čelici** - sadrže manju količinu legirajućih elemenata, a time i veću otpornost na habanje i višu toplotnu izdržljivost. Od njih se izrađuju ručni alati kao i alati za obradu drveta. Iz ove grupe alatnih čelika koriste se čelici : Č 6840, Č 4141, Č 3840.
3. **visokolegirani (brzorezni) alatni čelici** - primenjuju se za izradu reznih alata jer se od njih danas izrađuju gotovo sve vrste ovih alata. Tu spadaju spiralne

burgije, strugarski noževi i noževi za rendisanje, glodala i dr. odnosno alati koji pretežno rade u uslovima prekidnog rezanja.

Brzorezni alatni čelici sadrže: hrom(Cr), volfram(W), molibden(Mo), vanadijum(V) i kobalt(Co). Imaju dobru otpornost na habanje kao i zadržavanje toplotne otpornosti do oko 600⁰ C.

Savremeni brzorezni čelici sa prevlakama, najčešće titan - nitrida (TiN) poskupljuju alat za 20 - 40 %, ali obezbeđuju i povećanje postojanosti alata za 2 - 3 pa i nekoliko puta. Prevlake se izrađuju kao jednoslojne ili višeslojne od TiC, TiN, Al₂O₃, kubnog nitrida bora ili dijamanta.

Tvrđi metali

Tvrđi metali se koriste za izradu strugarskih noževa, čeonih glodala i sl., alata koji pretežno rade u uslovima neprekidnog rezanja.

Tvrđi metali su fizičko - metalurška smeša tvrdih (osnovni materijal tipa karbida WC, TiC, TaC, NbC, ...) i žilavih komponenti - vezivnog materijala (metali Co, Ni, ...).

Variranjem sadržaja osnovnog i vezivnog materijala prilagođavaju se tvrdoća i žilavost tvrdih metala širokom području primene.

Tvrde metale odlikuju visoka postojanost i tvrdoća na povišenim temperaturama (i do 1250⁰C), što obezbeđuje povećanje brzine rezanja i proizvodnosti. Međutim, manja žilavost dovodi do smanjenja otpornosti na udarna, dinamička opterećenja.

Tvrđi metali se dobijaju presovanjem i sinterovanjem prahova karbida volframa(WC), titana(TiC) i tantala(TaC) i kobalta(Co) kao vezivnog materijala.

Tvrđi metali se najčešće proizvode u vidu reznih pločica koje se pričvršćuju za telo alata lemljenjem ili mehaničkim putem.

Tvrđi metali za rezne alate razvrstani su u tri grupe u zavisnosti od materijala koji se obrađuje, sa više kvaliteta u svakoj grupi (JUS K.A9.020). Oznake ovih osnovnih grupa su P, K i M dok brojni deo oznake označava kvalitet gde veći broj u oznaci smanjuje tvrdoću a povećava žilavost:

1. P (P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P40, P50) - koriste se kod obrade žilavih materijala(čelik, mesing i drugi materijali kod kojih se stvaraju trakaste strugotine);

2. **K (K01, K05, K10, K20, K30, K40)** - koriste se za obradu tvrdih i krutih materijala (sivi liv, čelični liv, obojeni i laki metali, nemetali idrugi kod kojih se formiraju kidane strugotine)

3. **M (M10, M15, M20, M30, M40)** - koriste se za obradu tvrdog liva i visokolegiranih čelika.

Alatna keramika

Keramički materijal za izradu alata sve više nalazi primenu pri obradi čelika, naročito ugljeničnih i legiranih, sivog i tvrdog liva, legura obojenih metala i nemetala. Od alatne keramike izrađuju se pločice postupkom presovanja praha od Al₂O₃ uz dodatak oksida i karbida nekih metala.

Prednost alatne keramike u odnosu na tvrde metale ogleda se u većoj tvrdoći, većoj toplotnoj izdržljivosti i većoj otpornosti prema habanju, a nedostatak je mala žilavost. Zbog toga je veoma osetljiva na udare, pa se ovaj alatni materijal koristi za tzv. neprekidno struganje.

Supertvrđi materijali

Supertvrđi materijali se dele na :

1. prirodni dijamant - koristi se za strugarske noževe tako što se kristal dijamanta pričvrsti lepljenjem za držač. Takav nož služi za finu obradu struganjem, malog koraka i dubine, a velike brzine;

2. kubni nitrid bora - koristi se za obradu čelika, sivog liva i specijalnih legura na bazi nikla i titana. Takvi noževi su osetljivi na udarce, pa se zato ne koriste za prekidno struganje;

3. sintetički dijamant - koristi se isto kao i prirodni dijamant. Dobija se od grafita, procesom sinteze pri vrlo visokim temperaturama i pritiscima.

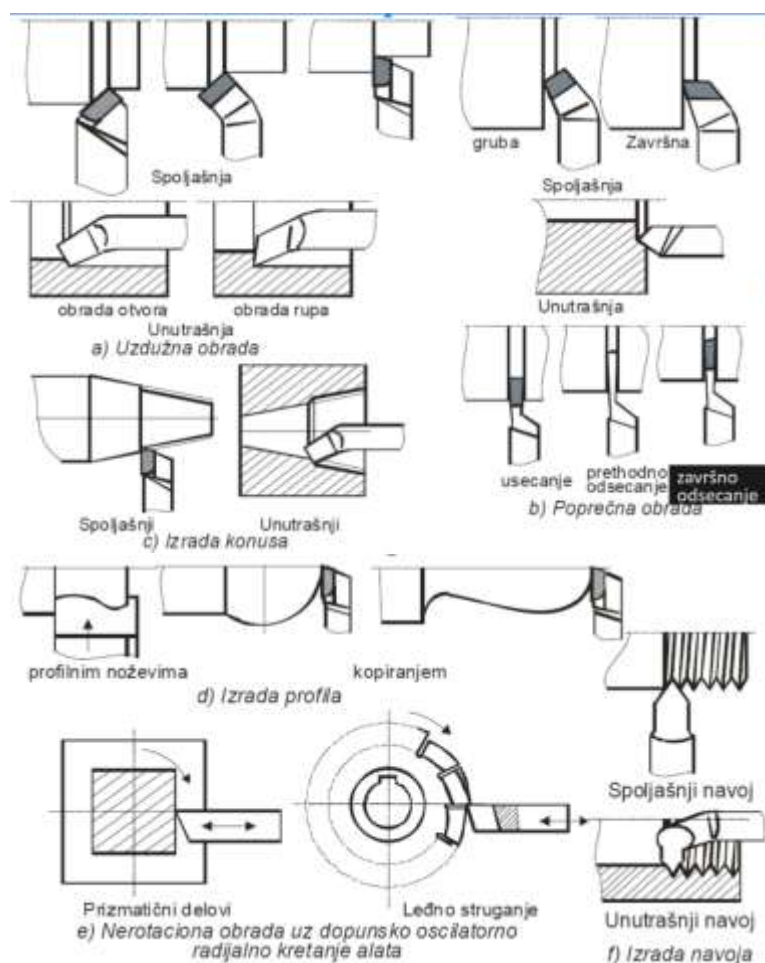
Proizvodne operacije u obradi struganjem

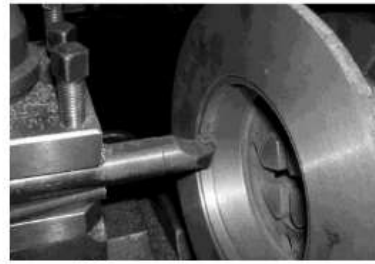
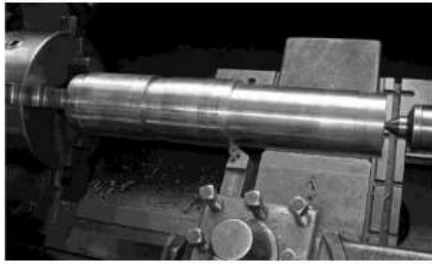
Proizvodne operacije struganjem se u zavisnosti od kvaliteta obrađene površine razvrstavaju na proizvodne operacije: grube i fine obrade, odnosno proizvodne operacije:

- prethodne i
- završne obrade,

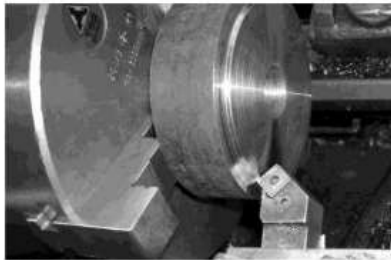
Kod obrade struganjem se realizuje veliki broj operacija kao što su:

- uzdužna obrada (spoljašnja i unutrašnja - a),
- poprečna obrada (spoljašnja i unutrašnja, usecanje, prethodno i završno odsecanje - b),
- izrada konusa (spoljašnjeg i unutrašnjeg - c),
- izrada profila (profilnim alatom i kopiranjem - d),
- nerotaciono struganje (prizmatičnih delova i leđno struganje - e),
- izrada navoja (spoljašnjeg i unutrašnjeg - f),
- izrada i obrada otvora i rupa itd.

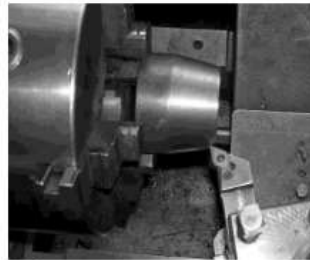




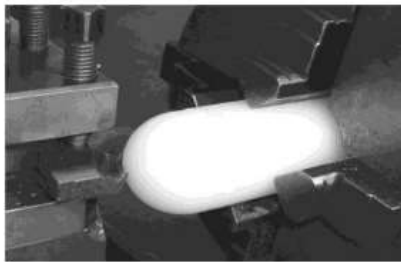
a) spoljašnje i unutrašnje uzdužno struganje



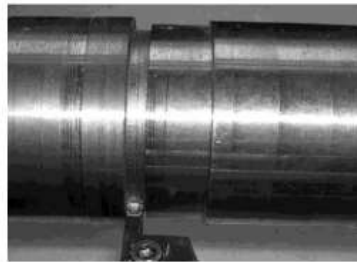
b) poprečno struganje



v) konusno struganje



g) profilno struganje



g) kopirno struganje

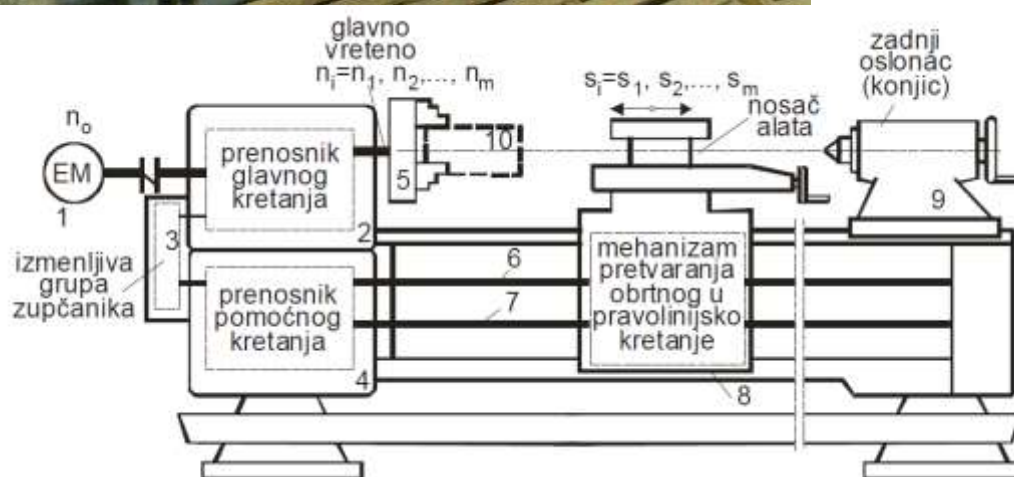


d) nerotaciono struganje



d) struganje navoja

Strugovi za pojedinačnu proizvodnju



Strugovi za pojedinačnu proizvodnju su strugovi koji se lako mogu prilagoditi prelazu sa jedne konfiguracije predmeta obrade na drugu, sa jednih dimenzija na druge.

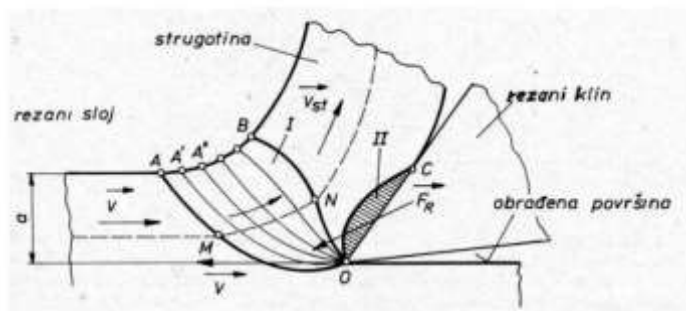
To su: univerzalni strugovi, strugovi sa vučnim vretenom, strugovi sa vodećim vretenom, strugovi za leđno struganje, strugovi za poprečnu obradu i sl.

Univerzalni strugovi su strugovi namenjeni realizaciji različitih proizvodnih operacija. Osnovu gradnje čine pogonski elektromotor (1), prenosnik glavnog kretanja (2), izmenjiva grupa zupčanika (3), prenosnik pomoćnog kretanja (4), glavno vreteno (5), vučno vreteno (6), vodeće vreteno (7), nosač alata (8) i konjic (9). Obrtno kretanje se od elektromotora prenosi na glavno vreteno i predmet obrade (10), a preko izmenjive grupe zupčanika, prenosnika za pomoćno kretanje i mehanizma za pretvaranje obrtnog u pravolinijsko kretanje, nosač alata dobija pomoćno pravolinijsko kretanje. Na nosač alata se postavlja rezni alat. Vodeće vreteno se, umesto vučnog, uključuje pri izradi navoja na strugu.

OBRAZOVANJE STRUGOTINE

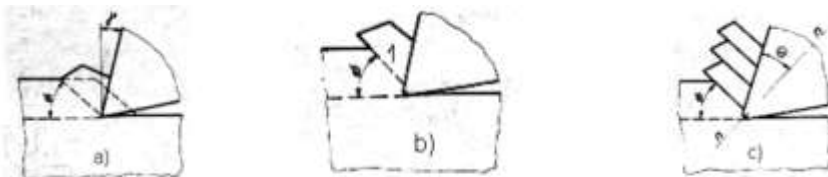
Proces odvajanja materijala u vidu strugotine, uprošćeno posmatrano, nastaje klizanjem odvojenih delića po ravni smicanja. Položaj ravni smicanja je određen uglom smicanja Φ . Ona predstavlja geometrijsko mesto tačaka u zoni rezanja gde su naponi smicanja dostigli maksimalne vrednosti.

Tako se u osnovi, s dovoljno tačnosti, može smatrati da se po ravni smicanja strugotina odvaja od obratka u vidu sitnih lamela.



Slika 13. Zona rezanja

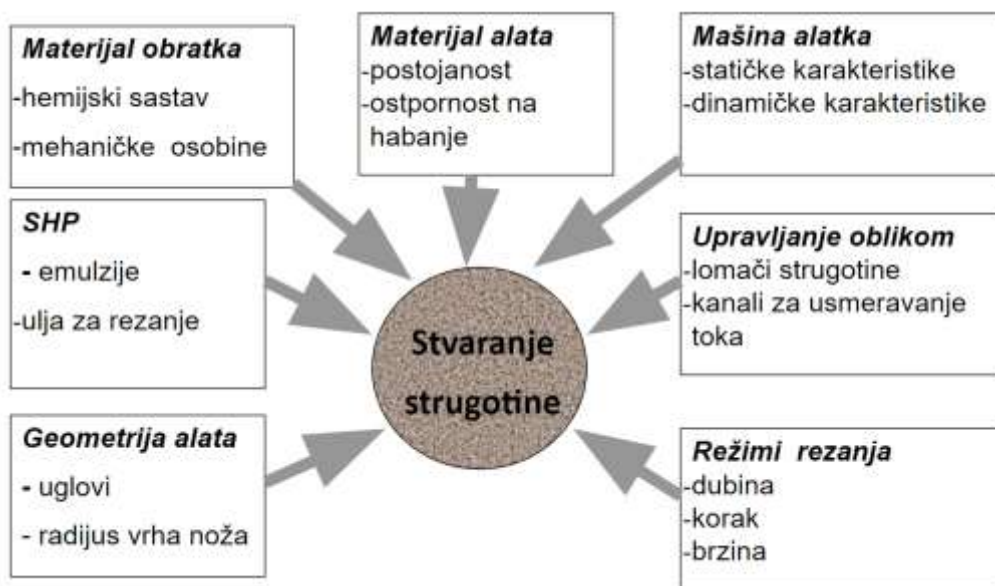
Odvajanje strugotine od materijala obratka se vrši postupno prolazeći pri tome različite faze:



Slika 14. Faze nastanka strugotine

1. Tokom prodiranja reznog klina alata u materijal obratka usled dejstva sile F na alat nastaje plastično deformisanje materijala koji se nalazi na putu prodiranja alata (slika 14.a)
2. Druga faza nastaje daljim prodiranjem alata u materijal usled čega napreznja u materijalu obratka rastu do granice njegovog loma, te nastaje smicanje delića alatom zahvaćenog materijala. Smicanje se vrši u ravni A-B, koja zahvata ugao Φ u odnosu na ravan rezanja. Tako nastaje element strugotine označen brojem 1 na slici 14.b. Ravan A-B se naziva ravni smicanja.
3. U trećoj fazi, posle smicanja prvog elementa strugotine, rezni alat svojom grudnom površinom deformiše sledeći sloj materijala obratka. Tako nastaje drugi element strugotine, a zatim treći itd. - slika 14.c.
4. Četvrta faza nastanka strugotine se odnosi na konačno formiranje oblika strugotine nakon njenog odvajanja od materijala obratka, tako da njen konačan oblik zavisi od više uticajnih faktora.

Faktori koji utiču na proces stvaranja strugotine:



Materijal obratka

Svi metali, zavisno od oblika dobijene strugotine u procesu rezanja, mogu se podeliti u dve grupe.

Tako u **prvu grupu** spadaju svi krti metali kao što su sivi liv, legure bakra - bronza, i sl. koji pri rezanju daju kratku - drobljenu strugotinu.

U **drugu grupu** metala spadaju, pored ostalih metalnih materijala, i svi čelici koji pri obradi rezanjem daju različite vrste povezane ili izlomljene strugotine.

Kao što se vidi, materijal obratka ima primaran uticaj na proces stvaranja strugotine. Može se reći da sa povećanjem tvrdoće i smanjenjem žilavosti materijala obratka, nastaje u procesu rezanja kraća strugotina, odnosno krupnozrnaste strukture metalnih materijala daju povoljne oblike strugotine.

Materijal alata

Otpornošću na habanje grudne površine alata, stvaranje kratera i sl., materijal alata utiče na proces oblikovanja strugotine. Sa povećanjem kratera na grudnoj površini alata, povećava se i kontakt između strugotine i alata, a kao posledica nastaju nepovoljni oblici strugotine.

Mašina alatka

Sa svojim statičkim i dinamičkim karakteristikama mašina alatka utiče na proces oblikovanja strugotine. Tako, pojave vibracija utiču na dopunska opterećenja i lomljenje strugotine.

Upravljanje oblikom

Upravljanje oblikom obuhvata mere koje se preduzimaju pri konstrukciji reznog klina alata, a zatim ugradnjom specijalnih pribora - lomača strugotine. Tako se naknadnim merama utiče na konačno oblikovanje strugotine nakon njenog odvajanja od materijala obratka i upravlja pravcem njenog odvođenja iz zone rezanja.

Režimi rezanja

Osnovni režimi rezanja su dubina, korak i brzina rezanja, pri čemu njihov uticaj na oblikovanje strugotine zavisi od vrste elementarne operacije koja se izvodi, kao što su struganje, bušenje, glodanje, itd.

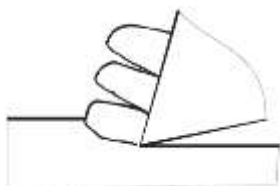
Vrste i oblici strugotine

U zavisnosti od mehanizma i karaktera obrazovanja strugotine formira se strugotina različitog oblika i tipa.

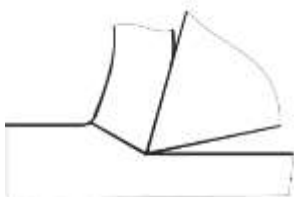
Oblik i tip strugotine zavisi od vrste i fizičko-mehaničkih osobina materijala predmeta obrade (pre svega plastičnosti) i uslova plastičnog deformisanja reznog sloja: karaktera naprezanja (prekidno ili neprekidno rezanje), vremena, stepena i brzine deformisanja.

Šarolikost uslova obrade, po spektru obrađivanih materijala i njihovih osobina, metodama obrade itd., dovodi do velikog broja oblika i tipova strugotine, razvrstana u osnovne tipove:

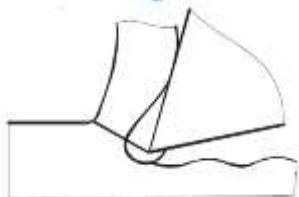
Prekidna ili diskontinualna strugotina (lomljena, segmentna itd.) - nastaje pri obradi livenog gvožđa, livene bronzne i drugih krtih materijala. Nastaje i pri obradi žilavih materijala malim brzinama rezanja i velikim koracima. Proces formiranja prekidne strugotine prate lomovi materijala između kojih teče proces plastičnog deformisanja dela materijala koji se pretvara u strugotinu.



Neprekidna ili kontinualna (trakasta) strugotina - je najčešće željeni oblik strugotine pri obradi većine materijala. Njeno formiranje je posledica uglavnom plastičnog deformisanja u zoni smicanja, odvajanje materijala se vrši kontinualno u vidu traka određene debljine. Pri tome je kvalitet obrađene površine veoma dobar. Pri obradi na automatima ovaj oblik strugotine nije poželjan.



Neprekidna strugotina u uslovima pojave naslage - javlja se u uslovima rezanja pogodnim za stvaranje naslage na reznim elementima alata.



Opšta podela strugotine na vrste, obzirom na njene oblike:

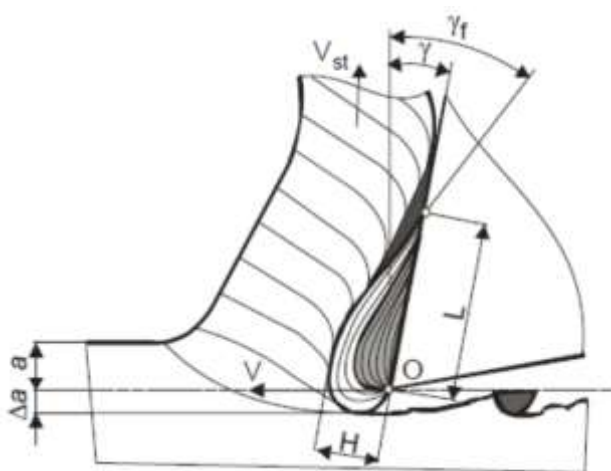
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
duga-glatka	zgužvana	zavojna	zavojna cilindrična	cilindrična	kratka cilindrična	spiralno cilindrična	spiralna	krupno drobljena	sitno drobljena
nepovoljna			5 / 7 dobra						
			zadovoljava						

Naslaga na reznom klinu alata

Visoka specifična toplotna i mehanička opterećenja dovode do visokih temperatura i do 1600 K i kontaktnih pritisaka i do 35000 MPa.

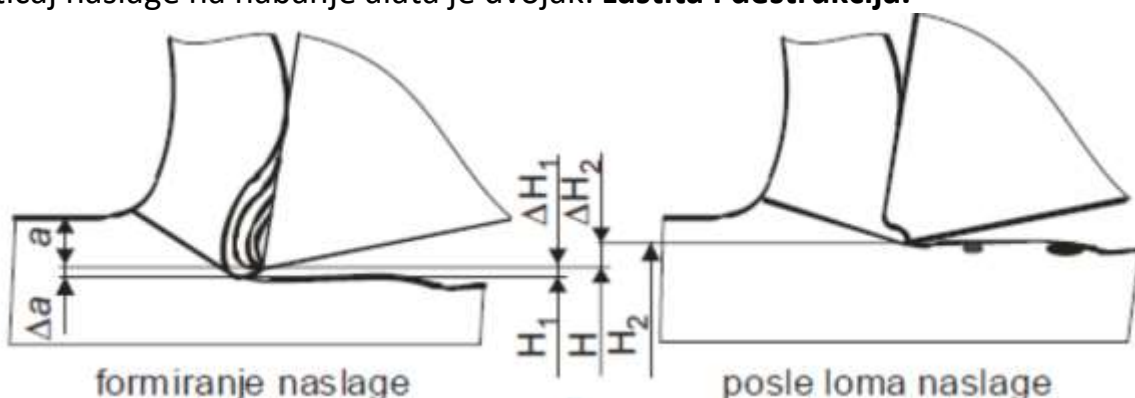
To su idealni uslovi za pojavu zavarivanja dva materijala (materijala predmeta obrade i alata).

Kako je kontakt grudne površine reznog klina alata i strugotine diskontinualne prirode, u pogodnim uslovima obrade, dolazi do stvaranja zavarenih spojeva u nizu tačaka. Zavareni spojevi su dobra podloga za dalje nagomilavanje čestica materijala i stvaranje naslage. **Pod naslagom se podrazumeva klinasta manje ili više nepokretna oblast materijala uz reznu ivicu alata.**



Periodična pojava i lom naslage utiče na proces nastanka strugotine, oblik i veličinu zone rezanja, geometriju i postojanost alata, habanje alata, kvalitet obrade, sile i snagu rezanja, stabilnost procesa rezanja i sl.

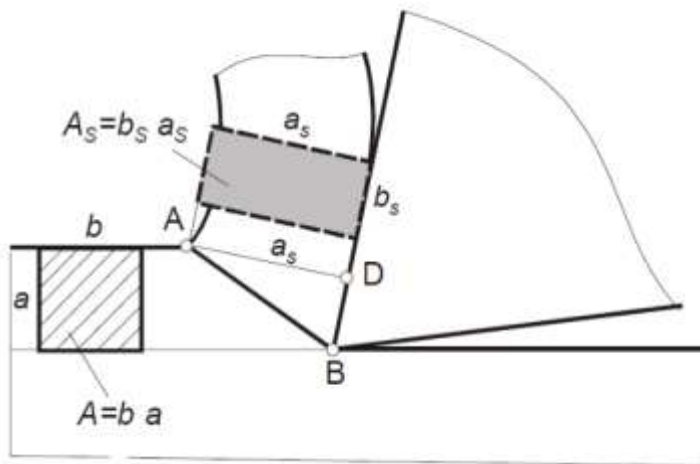
Uticaj naslage na habanje alata je dvojak: **zaštita i destrukcija.**



Pojava naslage ima negativan uticaj i na kvalitet obrade. Pojava loma naslage izaziva skraćenje reznog klina, smanjenje tačnosti obrade i pojavu većih neravnina na obrađenoj površini.

Faktor sabijanja strugotine

Za identifikovanje stepena deformisanja strugotine najčešće se koristi **faktor sabijanja strugotine** koji predstavlja odnos debljine strugotine (a_s) i dubine rezanja (a).

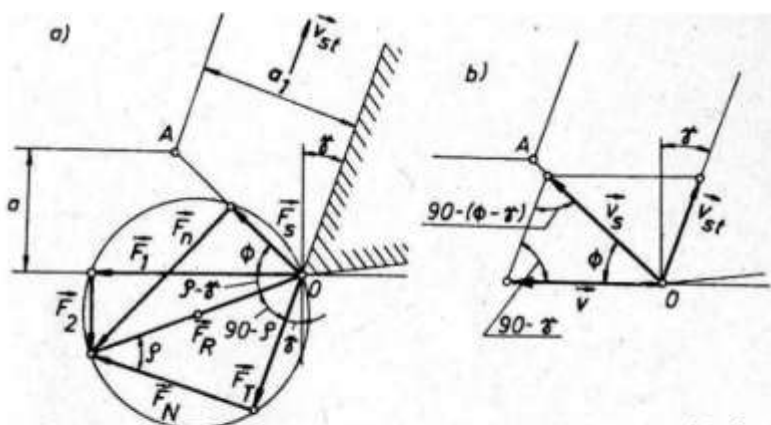


$$\lambda = \frac{a_s}{a} = 2 - 5.$$

BRZINE I SILE U ZONI REZANJA

Brzine i sile u zoni rezanja su glavni faktori procesa rezanja. Oni utiču na ponašanje svih uticajnih faktora na proces rezanja, odnosno oblikovanje strugotine.

Uprošćeni model formiranja strugotine, prikazan na slici 20 pogodan je za analizu sila rezanja i njihovih komponentata. Polazeći od ovog modela, prikazana je rezultujuća sila F_R i njene karakteristične komponente za slučaj ortogonalnog rezanja :



Slika 20. Komponente sile(a) i brzine rezanja (b) u uprošćenom modelu formiranja strugotine

F_1 - glavna sila rezanja čiji pravac se poklapa sa pravcem brzine rezanja

F_2 - sila prodiranja reznog klina u materijal obratka, koja je normalna na obrađenu površinu.

F_t - tangencijalna sila rezanja leži u ravni određenom grudnom površinom alata i predstavlja silu trenja između strugotine i grudne površi alata, i

F_n - normalna sila rezanja je upravna na silu F_t , i sa kojom rezni klin preko svoje grudne površi deluje na strugotinu.

F - rezultujuća sila rezanja može se razložiti i na:

F_s - silu smicanja strugotine koja deluje u ravni smicanja, i

F_{sn} - normalnu silu u ravni smicanja

Φ - ugao smicanja

γ - grudni ugao

ρ - ugao trenja

Pod dejstvom mehaničke sile rezanja, rezni klin alata prodire u materijal obratka. Sila koja je po intenzitetu i pravcu jednaka sili rezanja, a suprotnog je smera i deluje na rezni klin alata, naziva se otpor rezanja.

Između odgovarajućih karakterističnih sila u zoni rezanja mogu se uspostaviti korelacije, i to:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

gde je odnos između tangencijalne i normalne sile označen sa koeficijentom trenja μ između strugotine i grudne površine alata. Dalje se može napisati da je:

$$\rho = \text{arc tg } \mu$$

gde je ρ ugao trenja.

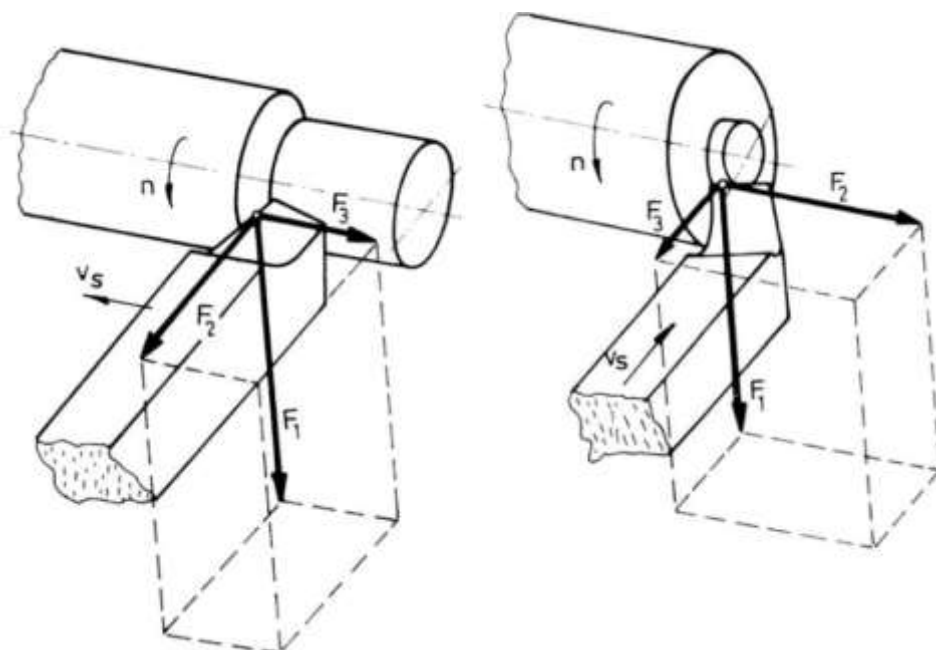
Otpori rezanja pri obradi struganjem

Pri obradi na strugu skinuti sloj materijala (strugotina) pritiska sečivo i grudnu površinu alata. Obradivani materijal pruža otpor smicanju strugotine suprotstavljajući se sili rezanja. Rezultanta svih sila koje djeluju na sečivo od strane obrađivanog materijala se naziva otpor rezanja.

Pravac dejstva rezultujućeg otpora zavisi od geometrije alata i vrste obrade.

U praksi se ne koristi rezultanta svih tih otpora već se koriste njene komponente koje se poklapaju sa pravcem glavnog i pomoćnog kretanja.

Na slici 21 prikazane su komponente otpora rezanja za slučaj uzdužnog i poprečnog struganja.



Rezultujući otpor rezanja FR se razlaže na tri međusobno upravne komponente: F1, F2 i F3 koje se poklapaju sa pravcima koordinatnih osa x, y i z.

Komponenta otpora F1 deluje u vertikalnoj ravni i poklapa se sa pravcem glavnog kretanja tj. sa pravcem brzine rezanja, pa se zato i zove glavni otpor rezanja.

Komponenta otpora F2 deluje u horizontalnoj ravni normalno na osu obrtanja predmeta obrade kao otpor prodiranja alata u predmet obrade i zove se otpor prodiranja. Komponenta otpora F3 deluje u horizontalnoj ravni kretanja, kolinearna je sa brzinom pomoćnog kretanja i zove se otpor pomoćnog kretanja.

Rezultujući otpor rezanja je:

$$F_1 : F_2 : F_3 = 5 : 2 : 1$$

Proračun snage mašine

Potrebna snaga mašine se izračunava za slučaj maksimalnog iskorišćenja postojanosti alata uz usvojeno (nepotpuno) iskorišćenje preseka strugotine i slučaj maksimalnog preseka strugotine (i nepotpuno iskorišćenje postojanosti alata) pri gruboj obradi maksimalnog prečnika predmeta.

$$P = \frac{F_1 v}{1000 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{C_k \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1} \cdot v}{6 \cdot 10^4 \cdot \eta} \quad [KW]$$

gde su:

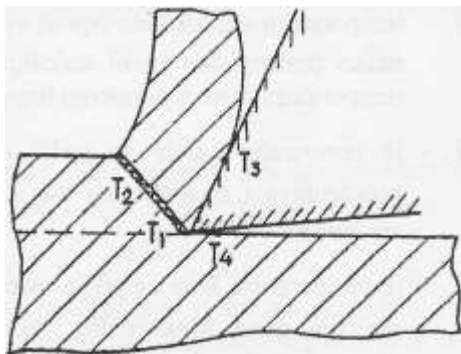
η - mehanički stepen iskorišćenja snage mašine,

$F_1 = C_{k1} \cdot a^{x_1} \cdot s^{y_1}$ [N] - glavni otpor rezanja,

C_{k1}, x_1, y_1 - konstanta i eksponenti uticaja materijala predmeta obrade, geometrije alata i uslova obrade,

v [m/min] - brzina rezanja.

POJAVA POVIŠENIH TEMPERATURA U ZONI REZANJA I METODE ZA NJIHOVO MERENJE



T_1 - temperatura neposredno ispred vrha noža i to na mestu gde se javlja pukotina i gde se nalazi početni deo ravni smicanja. To je najviša temperatura u ravni smicanja. Ova temperatura raste s porastom brzine rezanja.

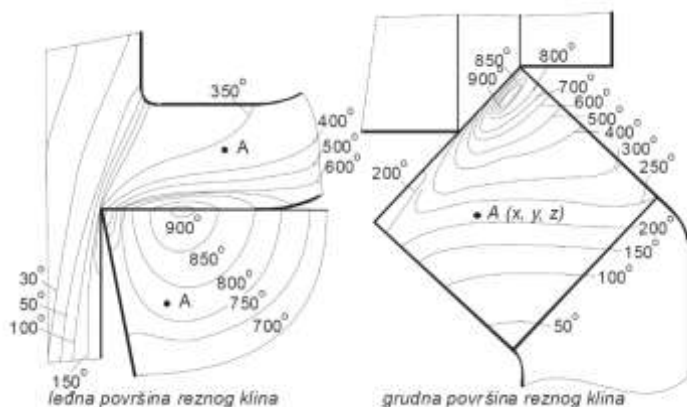
T_2 - je temperatura koja se javlja u ravni smicanja - u korenu strugotine. Ona je promenljiva i opada idući od T_1 ka spoljnoj površini, a posledica je deformisanja strugotine.

T_3 - je temperatura koja se javlja usled oslobađanja toplote pri trenju strugotine o grudnu površinu alata. Maksimalna vrednost ove temperature je na sredini dodira strugotine po grudnoj površini i u nekim slučajevima može da prekorači vrednost temperature T_1 .

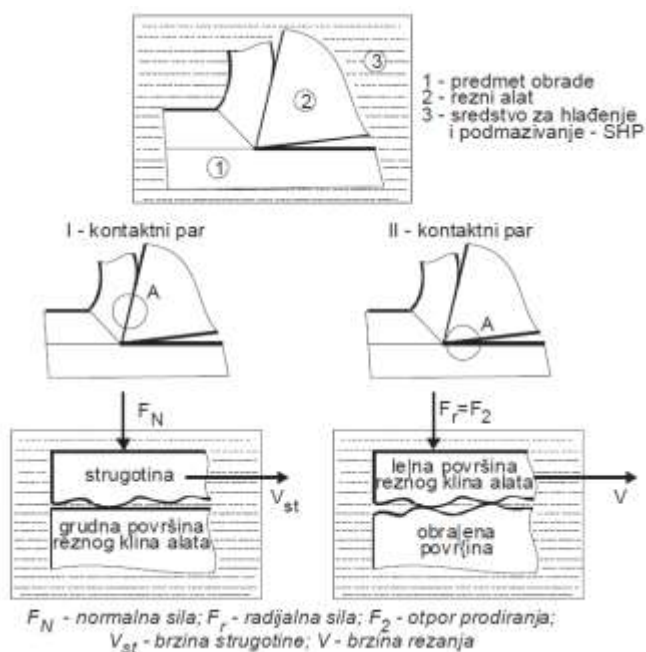
T_4 - je temperatura koja nastaje usled trenja između ledne površine alata i obrađene površine na obratku.

Pojava toplote u zoni rezanja posledica je pretvaranja mehaničke energije u toplotnu.

Toplota utiče na: proces obrazovanja strugotine, plastično deformisanje strugotine i faktor sabijanja strugotine, otpore rezanja, pojavu naslage, intenzitet razvoja procesa habanja reznih elemenata alata i strukturu i debljinu defektnog sloja.



HABANJE ALATA U PROCESU REZANJA



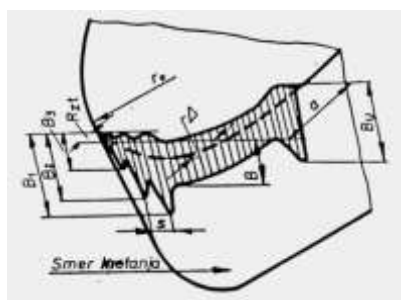
Postojanost alata je vreme rezanja između dva uzastopna oštrenja ili vreme neprekidnog rezanja. Ona karakteriše sposobnost alata da bez oštrenja što duže i ekonomski efektivno obezbeđuje obradu rezanjem u granicama tehničkih uslova. Označava se slovom **T** i izražava u minutima.

Prilikom procesa rezanja nastaje kretanje masa između elemenata koji učestvuju u procesu rezanja. Odlazak čestica alatnog materijala dovodi do habanja reznih elemenata alata.

Posledica razvoja procesa habanja je deformacija reznih elemenata alata, zbog čega rezni klin sve teže prodire u materijal. Habanje radnih elemenata reznog alata odvija se neprekidno i u svim trenucima procesa, a isto tako i pri tehnološkim uslovima i režimima obrade.

Na habanje alata u procesu obrade utiču mnogi faktori:

- vrsta i karakteristike alata i obratka,
- režimi obrade (dubina rezanja, brzina rezanja i korak),
- sredstva za hlađenje alata i podmazivanje (vrste i karakteristike sredstava, sistemi hlađenja),
- temperatura rezanja,
- krutost obradnog sistema,
- ostali uslovi obrade.

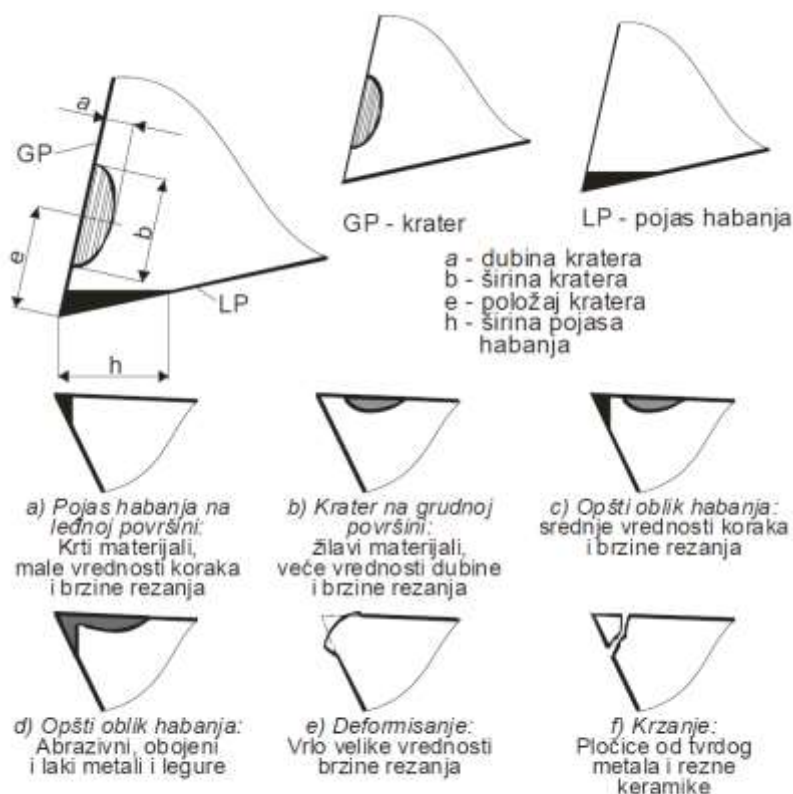


Odlazak čestica alatnog materijala sa strugotinom, obrađenom površinom i sredstvom za hlađenje i podmazivanje dovodi do promene oblika reznog klina alata. Ta promena se manifestuje preko pojave: **kratera na grudnoj i pojasa habanja na leđnoj površini reznog klina alata.**

Tri osnovna oblika habanja reznih alata su:

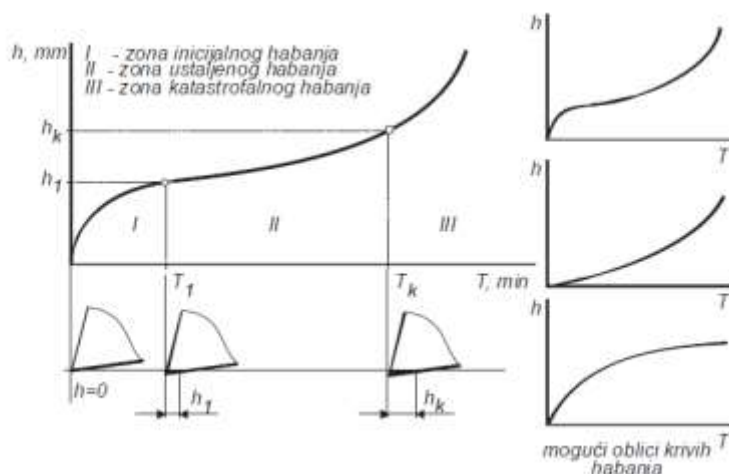
- ◆ habanje isključivo po grudnoj površini reznog klina alata u vidu kratera. Karakteristično je za obradu alatima od brzoreznog čelika bez primene sredstva za hlađenje i podmazivanje,
- ◆ habanje isključivo po leđnoj površini reznog klina alata u vidu pojasa habanja odgovarajuće širine. Karakteristično je za završnu obradu i
- ◆ opšti oblik habanja (habanje i po leđnoj i po grudnoj površini reznog klina alata). Karakteristično je za obradu krtih materijala, čelika sklonih pojavi naslage, obradi većim dubinama rezanja i pri primeni sredstva za hlađenje i podmazivanje i sl.

Koncentrisano habanje se manifestuje pojavom niza žljebova, najčešće u zoni prelaza sa pomoćne na glavnu reznu ivicu.



Slika 3.23. Oblici habanja reznih elemenata alata

Kriva habanja



Razvoj procesa habanja reznih elemenata alata sa vremenom se prikazuje, najčešće, krivom promene širine pojasa habanja na leđnoj površini reznog klina alata, poznatom pod nazivom **kriva habanja**.

U zoni **inicijalnog habanja** intenzitet habanja je prouzrokovan visokim specifičnim toplotnim i mehaničkim opterećenjima, nastalim kao posledica relativno male mase reznog klina alata, jer je alat potpuno oštar.

U drugoj fazi dolazi do usporavanja intenziteta razvoja procesa habanja i pojava zone **ustaljenog ili normalnog habanja**.

U trećoj fazi (**katastrofalno habanje**) dolazi do naglog porasta širine pojasa habanja.

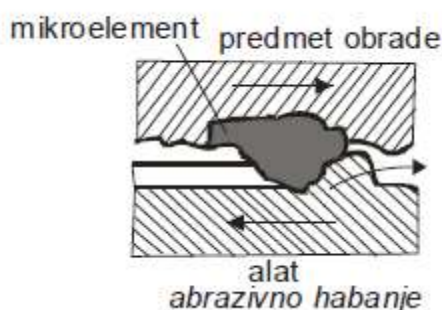
Kriterijum zatupljenja alata definiše trenutak prekida procesa rezanja i zamene alata novim ili preoštreim.

Kod utvrđivanja kriterijuma zatupljenja alata treba:

- izbegavati nepotrebna oštećenja alata - krzanje ili lom alata (nastaje pri visokom stepenu pohabanosti alata);
- obezbediti zahtevani kvalitet obrade (tačnost obrade i kvalitet obrađene površine);
- obezbediti maksimalnu ekonomičnost i proizvodnost obrade i sl.

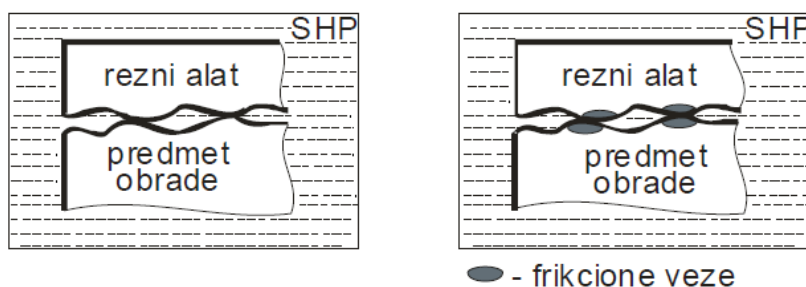
Vrste habanja reznih alata

Habanje alata može biti: **abrazivno, adhezivno, difuziono, oksidaciono** i **habanje usled zamora materijala**.



Abrazivno habanje alata nastaje usled paranja (struganja) alata tvrdim ispuččenjima ili delićima prisutnim u materijalu obratka (u strugotini i obrađenoj površini). Abrazivno habanje je uslovljeno mikrokomponentama (mikro – ispuččenjima) u materijalu obratka.

Atheziono habanje karakteriše stvaranje čvrstih metalnih veza između hemijski čistih materijala alata i obratka (dolazi do zavarivanja, lepljenja) i njihovo razaranje, odnosno čupanje i prenošenje čestica sa jednog na drugi element spregnutog para.



Difuzno habanje je specifičan oblik habanja alata koji se javlja pri visokim temperaturama. Pri ovim temperaturama i u nekim drugim uslovima nastaje prenos (difuzija, međusobno mešanje) molekula iz jednog elementa spregnutog para u drugi.

Oksidaciono habanje se javlja pri visokim temperaturama rezanja kada počinje oksidacija karbida u alatnom materijalu, a time i slabljenje njegove strukture i otpornosti na habanje.

Habanje usled zamora materijala javlja se zbog periodično promenljivog opterećenja i krzanja delića. Do ovog periodično promenljivog opterećenja dolazi kada jedan element sa mikro – neravninama (mikro – ispupčenjima) klizi po drugom elementu spregnutog para izazivajući spregnute napone različite i po znaku i po intenzitetu. Usled ovog habanja dolazi do pojave karakterističnih jamica i kratera na alatu.

Obrađena površina

Defektni sloj

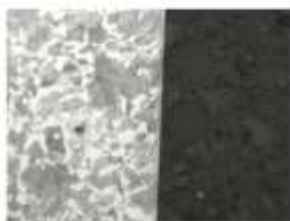
Pod obrađenom površinom se podrazumeva površinski sloj materijala ispod površine nastale obradom. To je tanak sloj materijala sastavljen, po *Schmalzu*, od dva dela:

- spoljašnjeg graničnog sloja i
- unutrašnjeg graničnog sloja.

Spoljašnji granični sloj debljine oko $0,0001 - 0,001 \text{ mm}$ je sloj koji razdvaja metalnu površinu predmeta obrade od atmosfere ili nekog naležućeg čvrstog tela. Sastavljen je od apsorbirane vode, ulja, gasova i drugih organskih jedinjenja, kao i sloja oksida nastalih nakon reakcije obrađene površine sa sredinom u kojoj se izvodi proces obrade.

Unutrašnji granični sloj debljine oko $0,01 - 0,05 \text{ mm}$ je tanak strukturno izmenjen prelazni sloj materijala u odnosu na strukturu materijala pre obrade. Fizičke i hemijske osobine sloja se znatno razlikuju od osnovnog materijala, a promene su rezultat ukupnih toplotnih i mehaničkih opterećenja, fizičko-hemijskih i drugih međudejstava. Zbog strukturnih promena, promene hemijskog sastava, mehaničkih karakteristika, pojave zaostalih napona i drugih defekata sloj se često naziva i **defektnim slojem**.

$n=910\text{o/min}$, $s=0,249\text{mm/o}$, Č 1530



$t=2,5\text{mm}$
 $l=15,145 \mu\text{m}$



$t=0,4\text{mm}$
 $l=6,67 \mu\text{m}$

KVALITET OBRAĐENE POVRŠINE

Hrapavost obrađene površine

Hrapavost obrađene površine predstavlja mikroteometrijske nepravilnosti (neravnine na obrađenoj površini nastale zbog geometrije noža, kinematike rezanja, naslaga na grudnoj površini alata, elastičnih deformacija obradnog sistema itd.) površine tj. manje ili veće neravnine posmatrane u mikrorazmeri.

Dužina isečka (l) površine za merenje stepena hrapavosti utvrđena je konvencijom i izabrana tako da se eliminišu greške oblika i valovitosti.

Za klasifikaciju i merenje hrapavosti JUS je usvojio sistem srednje linije (**sistem m**). U ovom sistemu se koriste određeni pojmovi, te je neophodno dati njihove definicije radi boljeg razumevanja:

- **Stvarna površina** je površina koja ograničava telo i odvaja ga od okoline.
- **Efektivna površina** je približna slika stvarne površine, dobijena merenjem.
- **Profil površine** je linija dobijena presecanjem površine jednom podesno odabranom ravni.
- **Neravnine površine** su izbočine i udubljenja stvarne površine.

Osnovne karakteristike mikroteometrije obrađene površine su:

- valovitost i
- hrapavost obrađene površine.

Valovitost obrađene površine je definisana neravninama kod kojih je odnos koraka (S_v) i visine neravnina (H_v) iznad 40.

$$S_v / H_v \geq 40$$



Hrapavost površine je skup svih neravnina koje obrazuju reljef površine i koje se posmatraju u granicama dogovoreno određenog isečka takve veličine, da su eliminisane greške oblika i valovitosti.

Hrapavost obrađene površine čine neravnine kod kojih je odnos koraka i visine neravnina ispod 40.

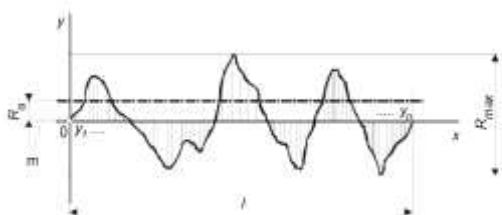
Parametri hrapavosti obrađene površine

Za praćenje hrapavosti obrađene površine postoji više od 30 parametara. Prema JUS standardima (*JUS M.A1.020*) parametri hrapavosti se dele na:

- osnovne i
- dopunske.

Tri osnovna parametra hrapavosti su:

- R_a - srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila,
- R_z - srednja visina neravnina i
- R_{max} - maksimalna visina neravnina.



Srednja linija profila - m je linija koja seče profil obrađene površine tako da je, u granicama referentne dužine, zbir kvadrata odstupanja svih tačaka profila minimalan:

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 \rightarrow \min$$

Referentna dužina - l je minimalna dužina isečka profila površine, neophodna za pouzdano definisanje parametra hrapavosti, na kojoj su eliminirani uticaji drugih vrsta nepravilnosti (valovitosti, greške oblika itd.).

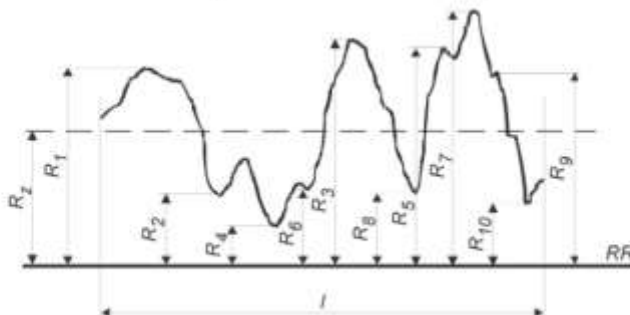
Srednje aritmetičko odstupanje profila od srednje linije profila - R_a je srednja aritmetička vrednost odstupanja svih tačaka efektivnog profila (y_1, y_2, \dots, y_n) od srednje linije profila u granicama referentne dužine:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| \cdot dx$$





Maksimalna visina neravnina - R_{max} je rastojanje dve paralelne prave sa srednjom linijom profila, provučene tako da u granicama referentne dužine profila dodiruju najvišu i najnižu tačku profila.

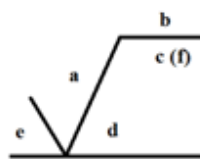
Srednja visina neravnina - R_z je razlika srednjih aritmetičkih vrednosti pet najviših i pet najnižih tačaka profila u granicama referentne dužine:

$$R_z = \frac{R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9}{5} - \frac{R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10}}{5}$$



Označavanje kvaliteta površina na crtežu je propisano standardom JUS M.A0.065

-  Označena površina se obrađuje bilo kojim postupkom obrade
-  Označena površina se obrađuje postupcima skidanja materijala
-  Označena površina se ne obrađuje
-  Označena površina se obrađuje postupcima bez skidanja materijala



- a – Klasa hrapavosti
- b – Postupak obrade ili vrsta prevlake-upisuje se jasno rečima
- c – Referentna dužina
- d – Oznaka pravca prostiranja neravnina
- e – Dodatak za obradu [mm]

GRADACIJE	NAJFINIJA OBRADA				FINA OBRADA		PRETHODNA OBRADA			GRUBA OBRADA		
	N1/ ▽	N2/ ▽	N3/ ▽	N4/ ▽	N5/ ▽	N6/ ▽	N7/ ▽	N8/ ▽	N9/ ▽	N10/ ▽	N11/ ▽	N12/ ▽
VRSTA OBRADJE	Aritmetičko odstupanje od srednje linije profila, Ra [µm]											
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Grubo rendisanje												
Fino rendisanje												
Grubo struganje												
Prehodno strug.												
Fino struganje												
Najfinije struganje												
Bušenje												
Upuštanje												
Razvrtanje												
Fino razvrtanje												
Najfinije razvrt.												
Grubo glodanje												
Prehodno glod.												
Fino glodanje												
Najfinije glodanje												
Provlačenje												
Fino provlačenje												
Grubo brušenje												
Normalno bruš.												
Fino brušenje												
Najfinije brušenje												
Honovanje												
Fino honovanje												
Najfinije honov.												
Grubo lepovanje												
Prehodno lepov.												
Fino lepovanje												
Najfinije lepov.												