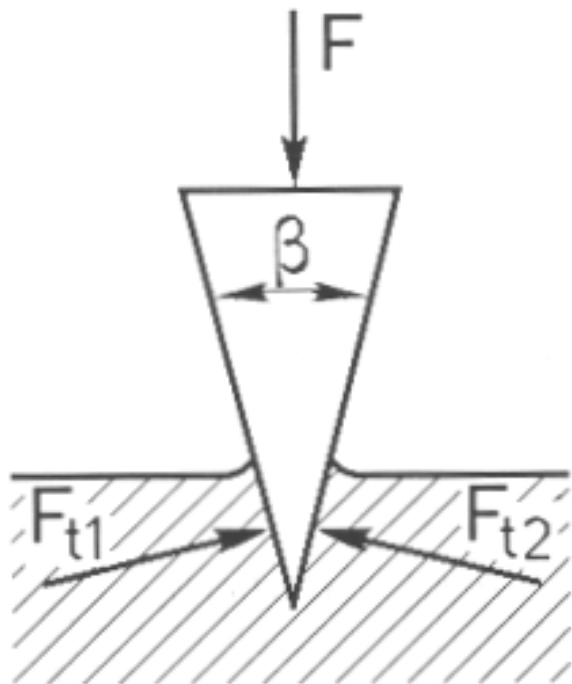


ODREZAVANJE-SPLOŠNO

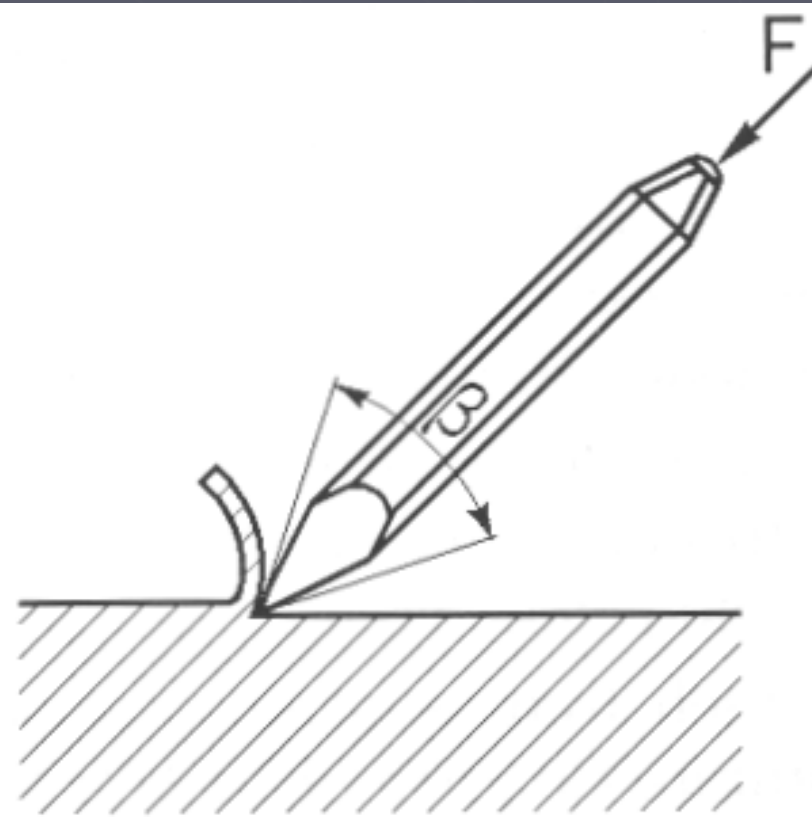


OSNOVNA NAČELA ODREZAVANJA

- ▶ Orodja delujejo po načelu klina
- ▶ a- princip klina, b- princip ploščatega sekača

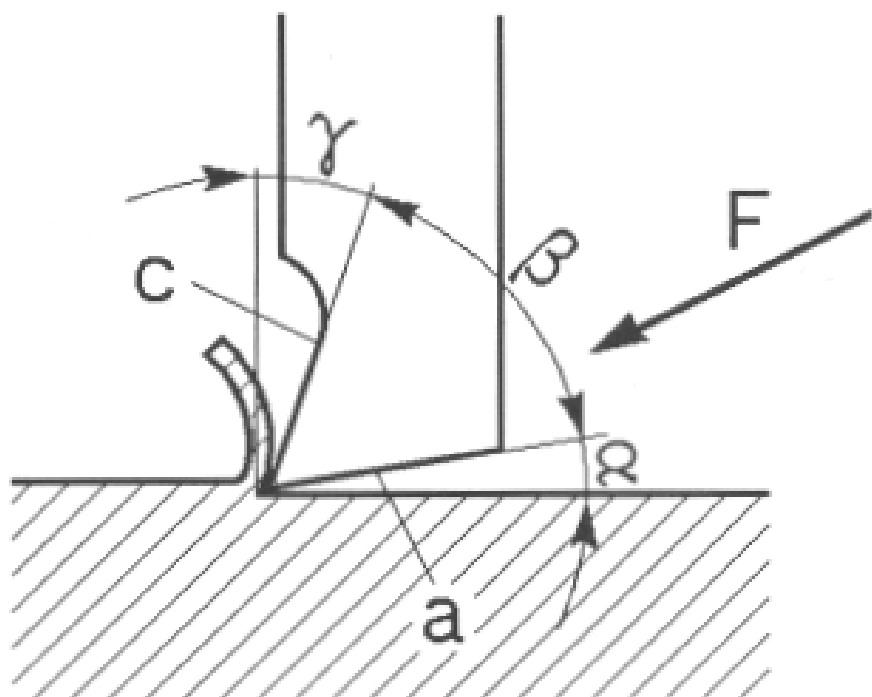


a

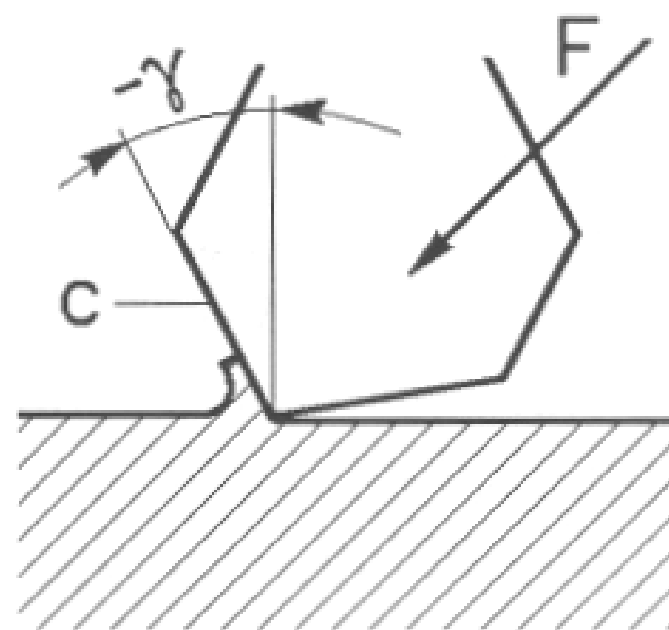


b

► Preprosta primera orodij za odrezavanje



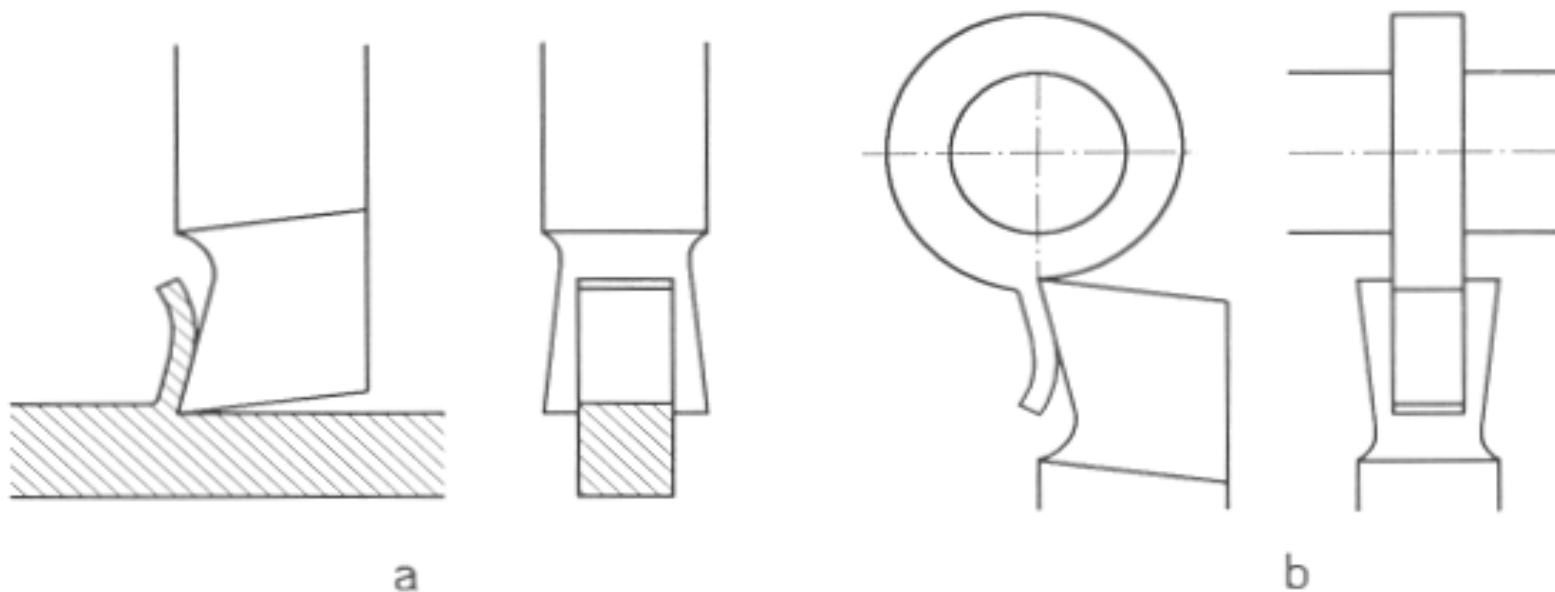
a



b

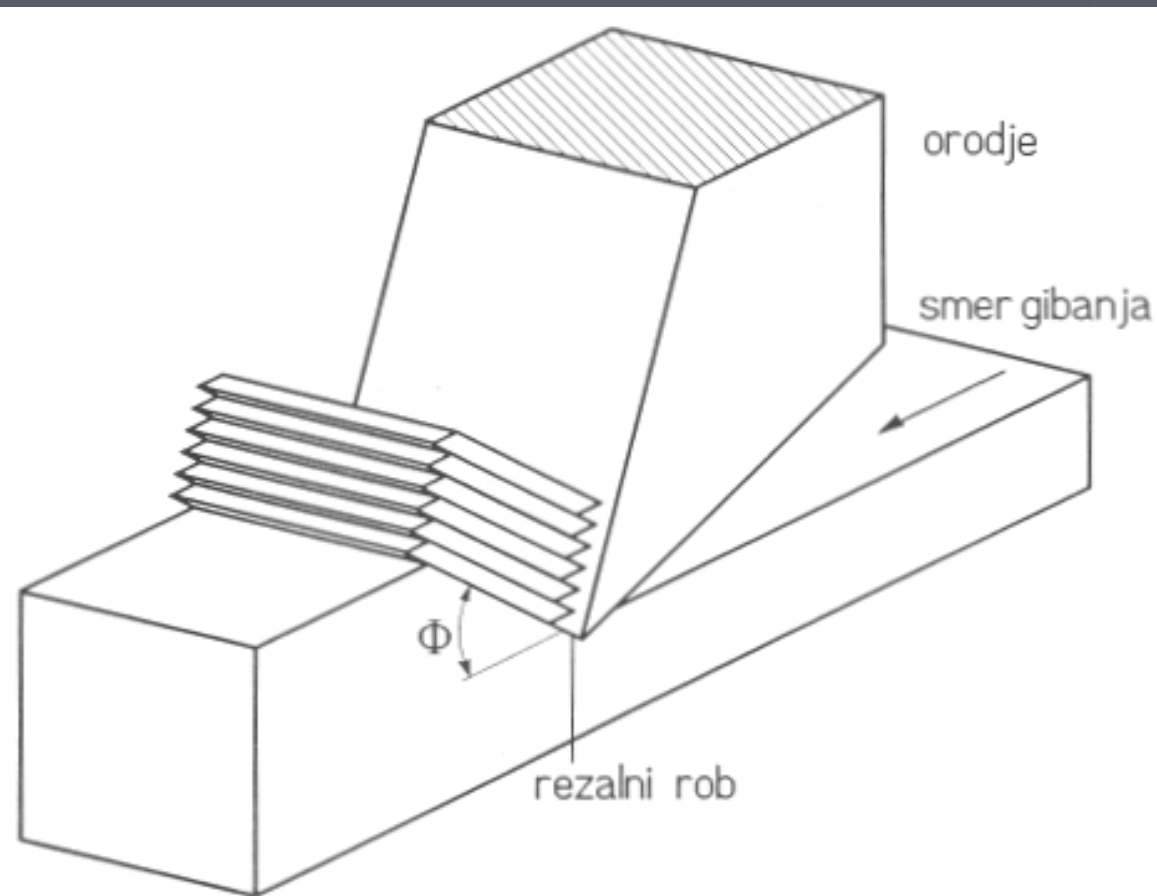
TEORETIČNI MODELI NASTAJANJA ODREZKOV

- ▶ Poznamo več teorij nastajanja odrezkov
- ▶ Ortogonalno odrezavanje



Dva primera ortogonalnega odrezavanja v praksi
a - skobljanje ozke letvice, b - struženje ploščice

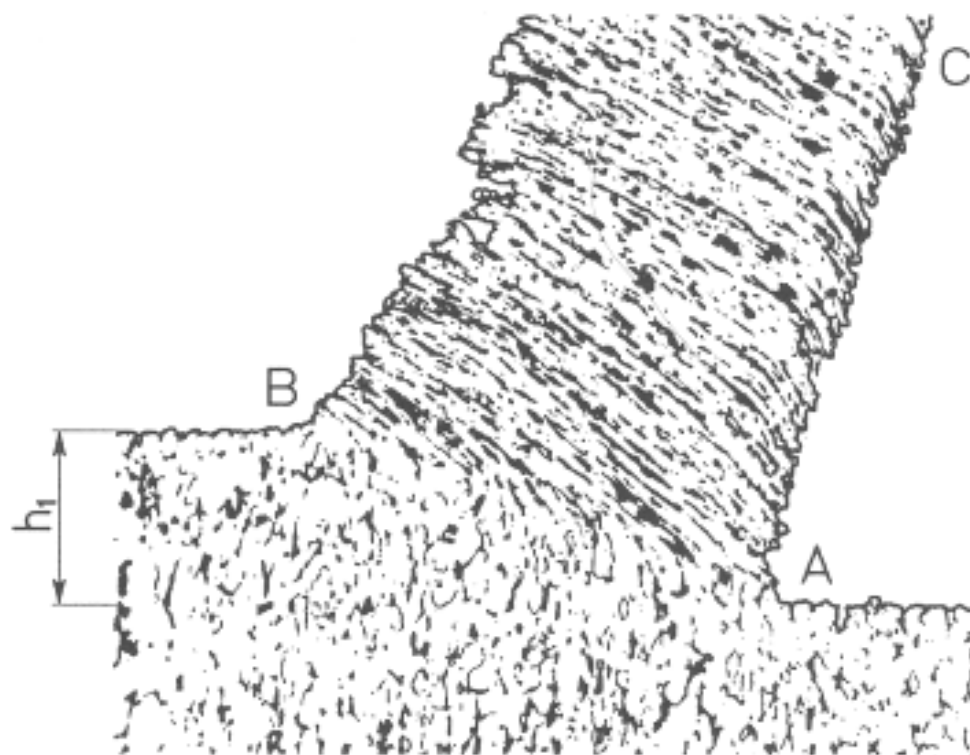
- ▶ Po avtorju Püspanenu odcepi od obdelovanca vrsta ploščic, ki drse v normalni smeri (kakor bi pobrali z mize igralne karte)
- ▶ Lamele materiala na odrezku se medsebojno zavarijo
- ▶ Strižna ravnina je ploskev po kateri lamele drsijo



Tvorba odrezka po Piispanenu

Struktura odrezka z jedkanjem

- ▶ A- konica orodja, A-B- strižna cona, A-C- spodnja stran odrezka
- ▶ h_1 - globina rezanja oziroma plast materiala, ki bo spremenjena v odrezek



TRENJE MED ORODJEM IN ODREZKOM

- ▶ Na dotikalni ploskvi med orodjem in odrezkom vladajo zelo visoki pritiski in visoke temperature
- ▶ Med orodjem in odrezkom velja Coulombov zakon trenja
- ▶ Koeficient trenja znaša med 0 in 0,577
- ▶ Mazanje in hlajenje imata na trenje majhen vpliv, ker se hladilno mazalna tekočina izrine zaradi velikih pritiskov na cepilno ploskev
- ▶ Kemični vpliv na trenje še ni povsem pojasnjen
- ▶ Pomembno je tudi trenje med obdelovancem in prosto ploskvijo

NASTANEK ODREZKOV PRI MATERIALIH

Na nastajanje odrezkov vplivajo naslednji dejavniki:

- ▶ Material obdelovanca- trdnost, trdota, kemična sestava, struktura
- ▶ Material orodja- Sestava, prevleke, odpornost proti obrabi, žilavost
- ▶ Režim dela- rezalna hitrost, podajanje, globina rezanja, geometrija orodja, hlajenje in mazanje orodja

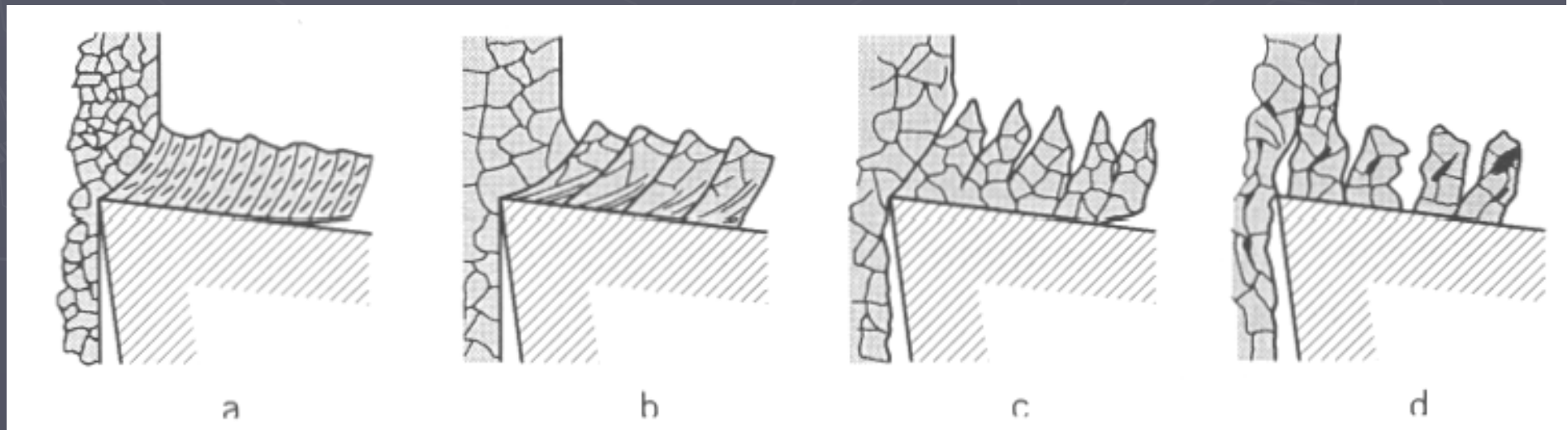
Pri geometriji orodja moramo upoštevati, da so postopki obdelave zajeti v dve glavni skupini:

- ▶ Postopki, pri katerih ima orodje natančno določeno geometrijo in jo lahko natančno predpišemo (koti na orodju, oblika rezalnega roba, ...)
- ▶ Postopki z naključno geometrijo orodja; na obliko orodja tu ne moremo vplivati

Delo z orodji z določeno geometrijo

- Oblika odrezka je odvisna od plastičnosti materiala in od hitrosti obdelave

Osnovne oblike odrezkov



- a/ Tekoči odrezek: dovolj velika hitrost in dovolj plastičen material; lamele so med seboj dobro zvarjene; dolgi in trdni odrezki; razmeroma majhna debelina odrezka
- b/ Lameličasti odrezek: debelejši odrezek; vidna lameličasta struktura; lamele dobro zvarjene; zunanja stran izrazito nazobčana; pogoste vibracije
- c/ Narezani odrezek: spoj med lamelami je razmeroma slab; pogoji nastajanja so enaki, kakor pri lameličastem odrezku, le da je material nekoliko manj plastičen; izrazite razpoke, ki so prisotne tudi v obdelovancu
- d/ Lomljeni odrezki: krhki materiali (Sl. Med, kamen); pri jeklu samo, če ima veliko vključkov in zelo neenakomerno strukturo; odrezki so iztrgani; površina obdelovanca je močno poškodovana; razpoke so po celotnem odrezku v nedoločeni smeri; strižna cona ni več izrazita

Najpogostejše oblike odrezkov

a- igličasti odrezki

c- kratki trakovi

e- polžasti odrezki

g- kratki in ozki navoji

i- dolgi in ozki navoji

k- dolgi ravni trakovi
odrezki

b- paličasti odrezki

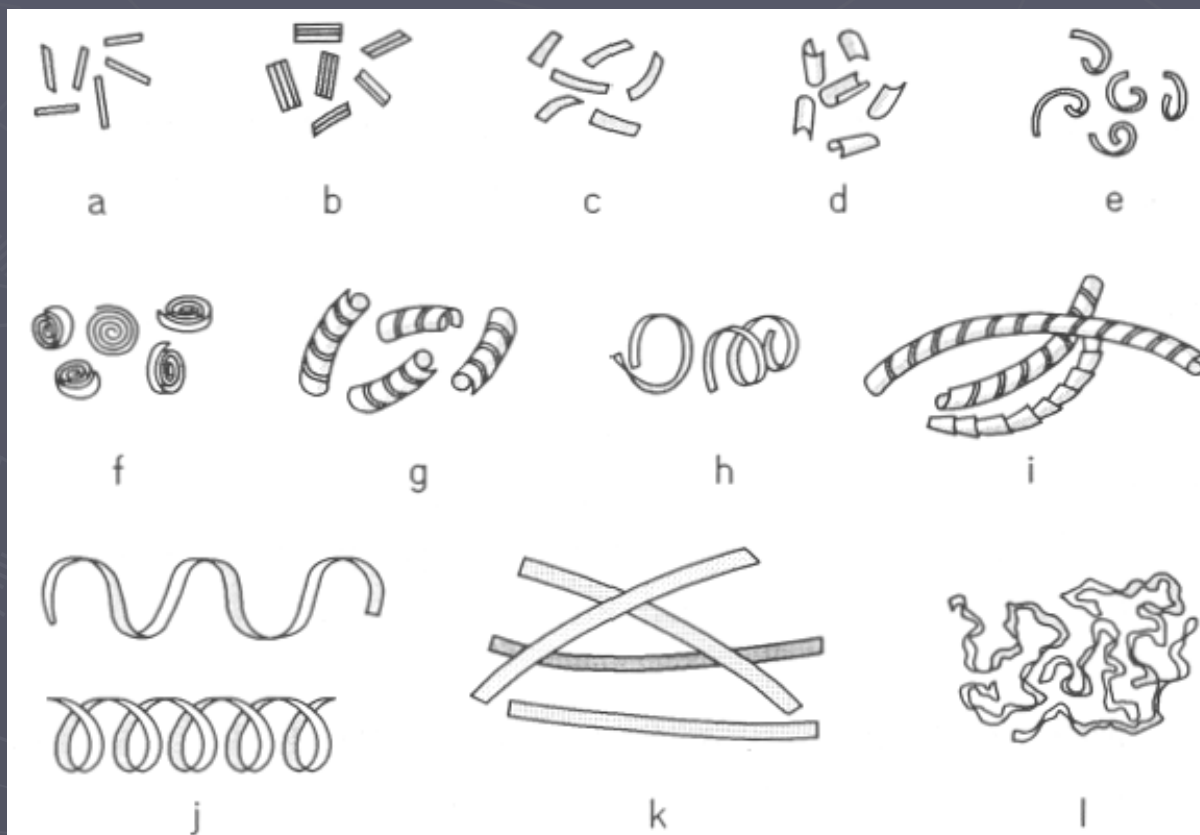
d- luske

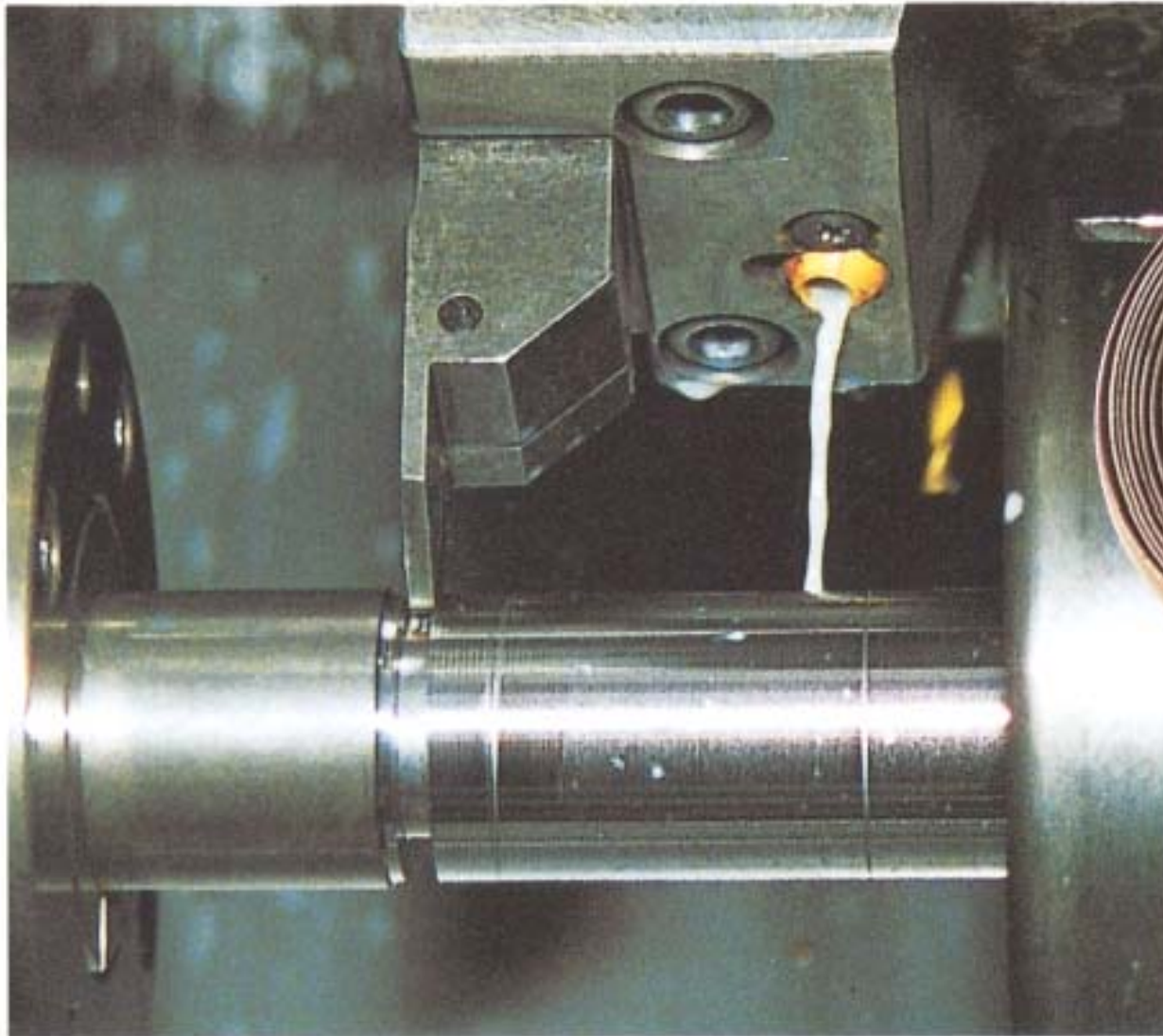
f- tesno navite spirale

h- kratki in široki navoji

j- dolgi in široki navoji

l- dolgi neenakomerno zaviti

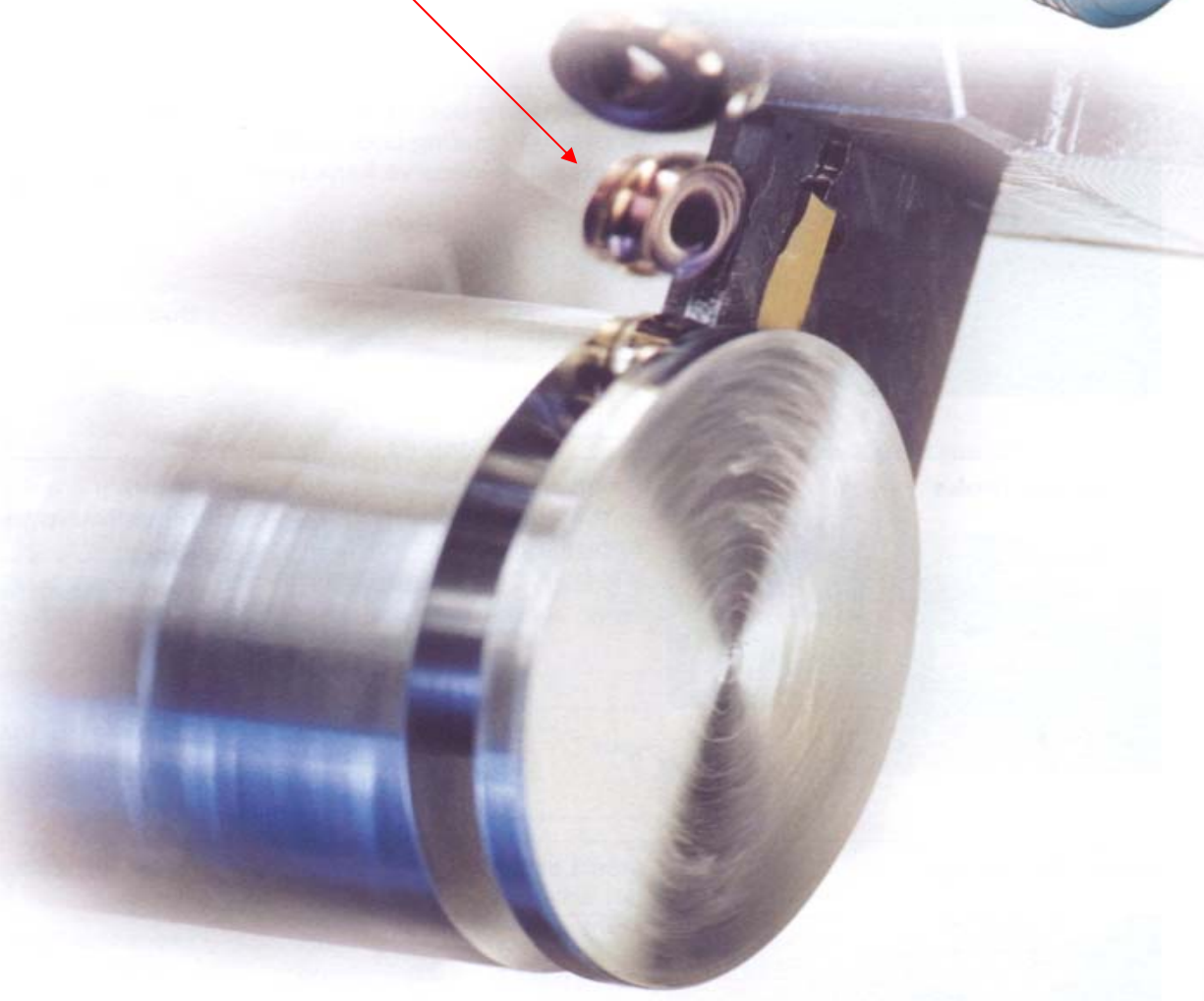
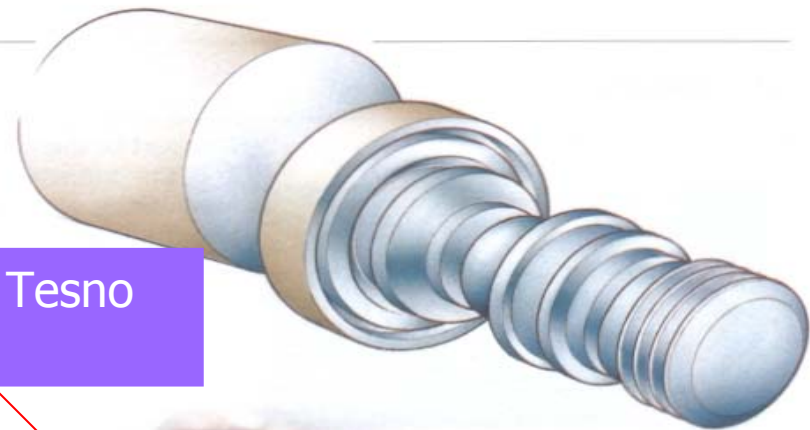


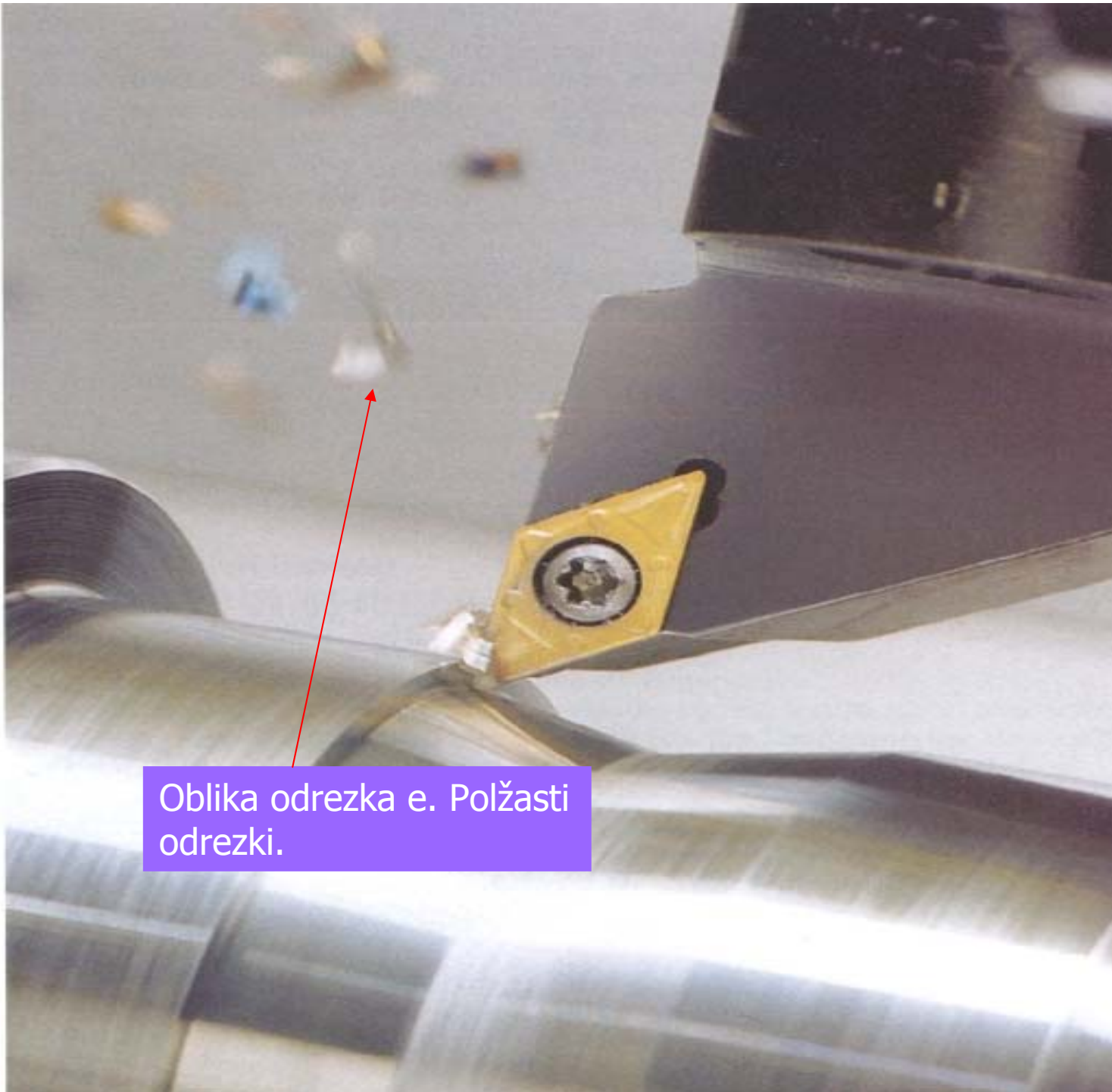


Oblika odrezka f. Tesno navite špirale.

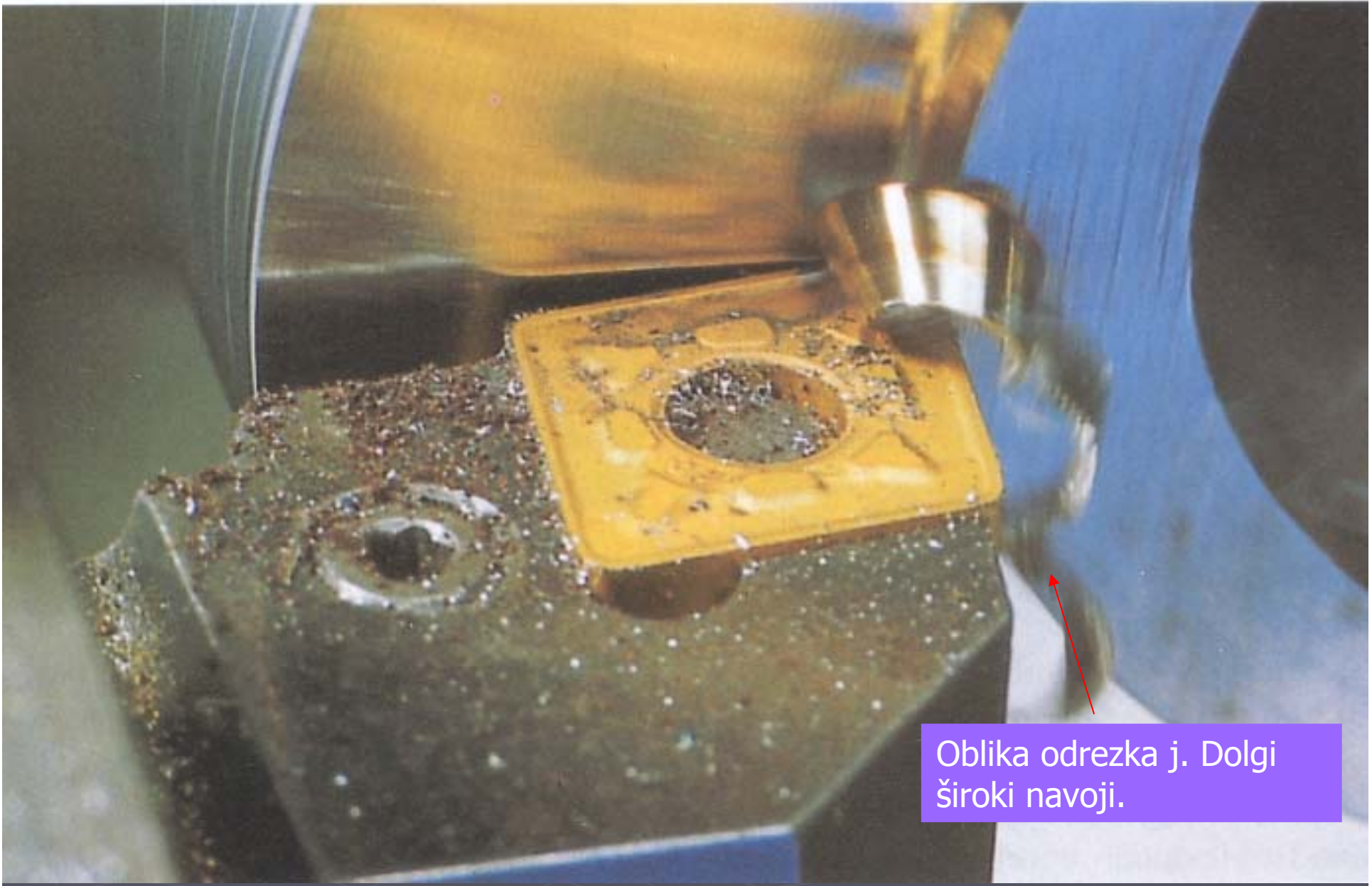
Cutting fluid is important in parting and grooving.

Oblika odrezka f. Tesno navite spirale.





Oblika odrezka e. Polžasti odrezki.



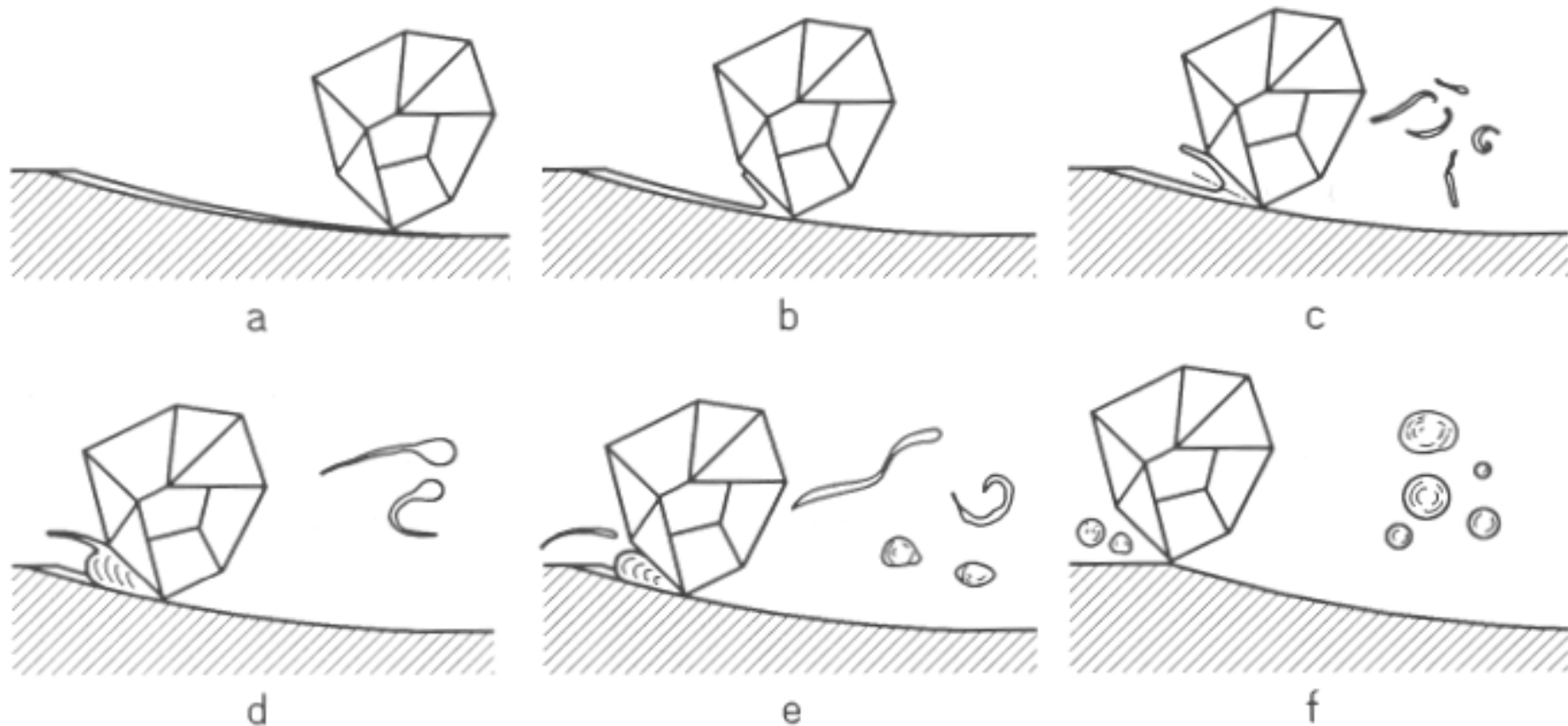
Oblika odrezka j. Dolgi široki navoji.

Delo z orodji z naključno geometrijo

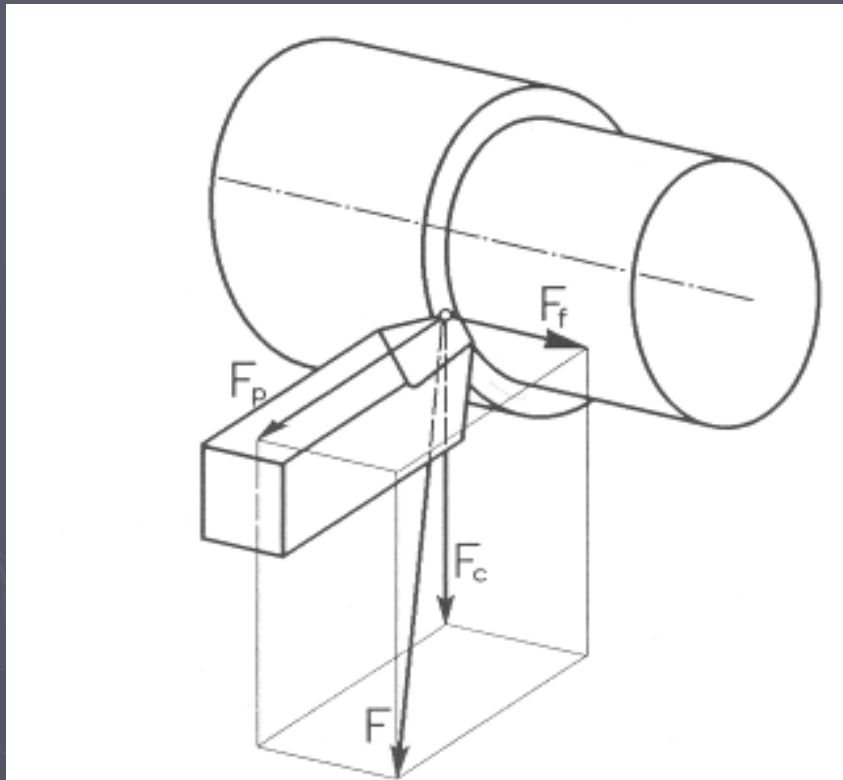
- ▶ Najbolj poznan postopek je brušenje
- ▶ Vlogo klinov imajo brusna zrnca, ki so povezana v brus
- ▶ Značilnost brusnih zrnec je koničasta oblika in zelo velik negativen cepilni kot
- ▶ Zaradi velikih rezalnih sil pri negativnem cepilnem kotu je debelina odrezkov zelo majhna

Nastanek odrezkov pri brušenju

- a/ Zrno zarezuje brazdo, deformacija površine je najprej elastična in nato plastična
- b/ Nastajajoči odrezek, omogoča dobro odvajanje toplote
- c/ Izoblikuje se opazna strižna cona, velika količina toplote, taljenje odrezka, tudi trenje zrna proti obdelovancu
- d/ Tvorba odrezka se zaključi, podobni so žabjim paglavcem
- e/ Odrezki odpadejo v obliki nitk
- f/ Zaradi površinske napetosti dobijo odrezki obliko kroglic



REZALNE SILE, PREREZ ODREZKA IN MOČ PRI ODREZAVANJU



$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2}$$

$$F_c = A \cdot f_c = b \cdot h \cdot k_{c1x1} \cdot h^{-z}$$

b – širina odrezka

h – debelina odrezka

$A = b \cdot h$ – prerez odrezka

f_c – specifična rezalna sila

k_{c1x1} – spec. rezalna sila za prerez odrezka

z – eksponent enačbe

$$\kappa = 45^\circ$$

- ▶ za ostro orodje
- ▶ za skrhano orodje

$$F_c : F_p : F_f = 5 : 2 : 1$$

$$F_c : F_p : F_f = 5 : 4 : 3$$

$$F'_c = F_c \cdot \left[\frac{\sin 45^\circ}{\sin \kappa} \right]^2$$

$$P_n = F_c \cdot v_c$$

$$P_B = \frac{F_c \cdot v_c}{\eta}$$

$$P_{Bf} = \frac{F_f \cdot v_f}{\eta_f}$$

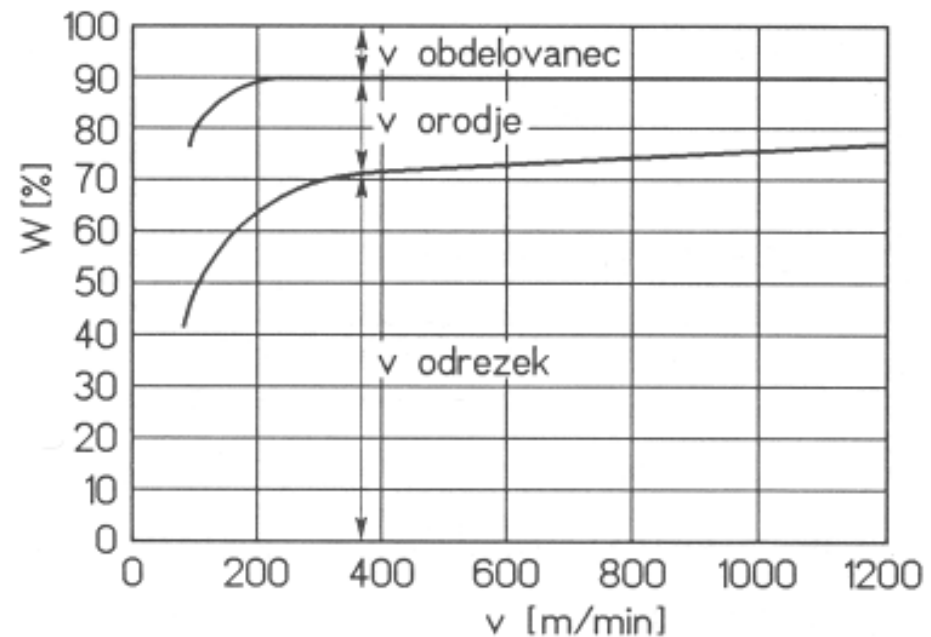
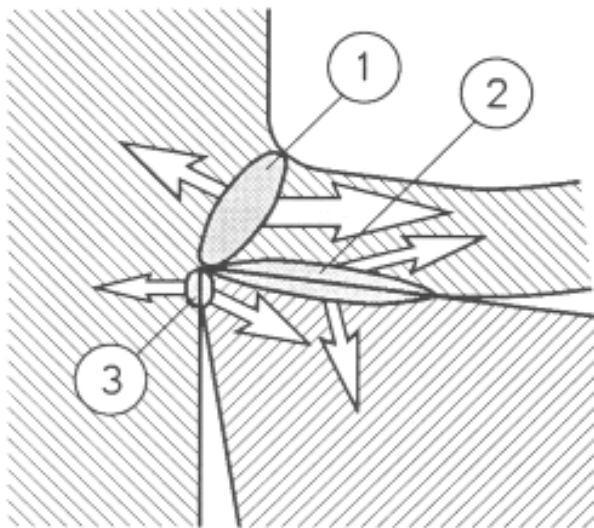
moč za podajanje

Neto moč se porabi za kritje energetskih izgub zaradi:

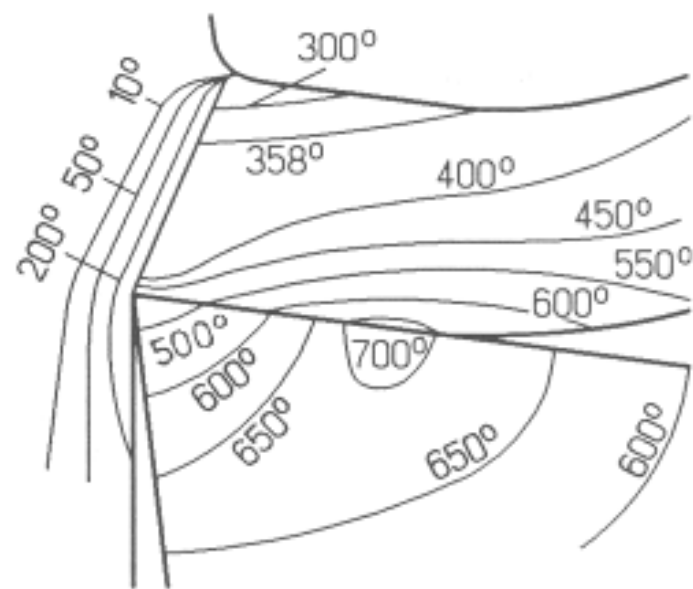
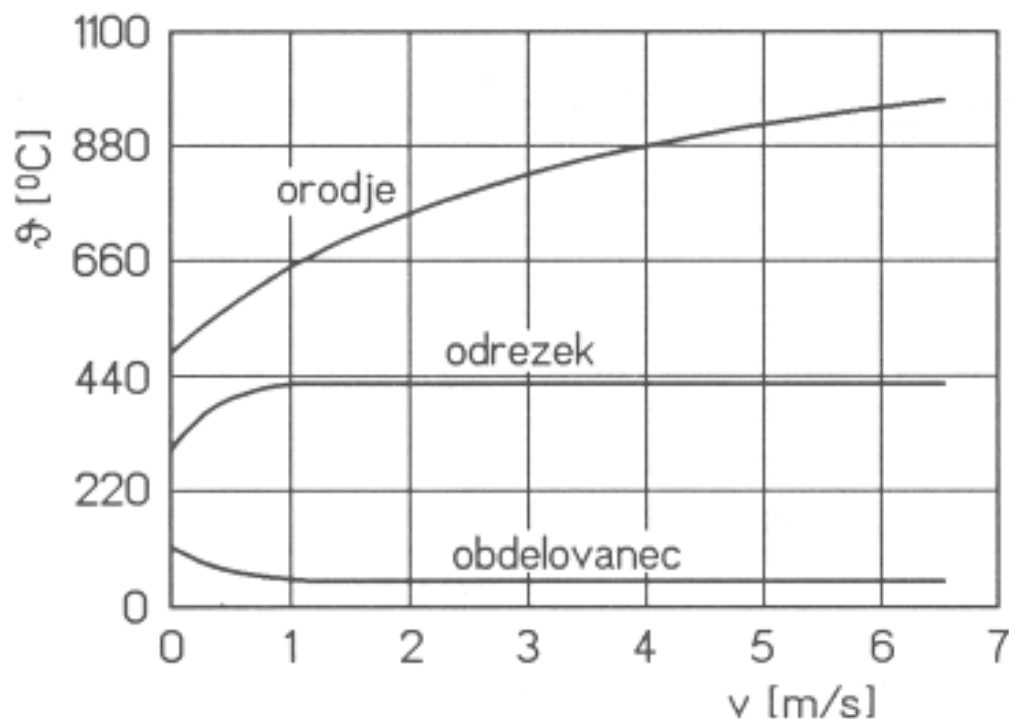
- deformacij v strižni coni
- trganja odrezka od obdelovanca
- trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo
- trenja med prosto ploskvijo in obdelano površino

TOPLOTNE RAZMERE PRI ODREZAVANJU

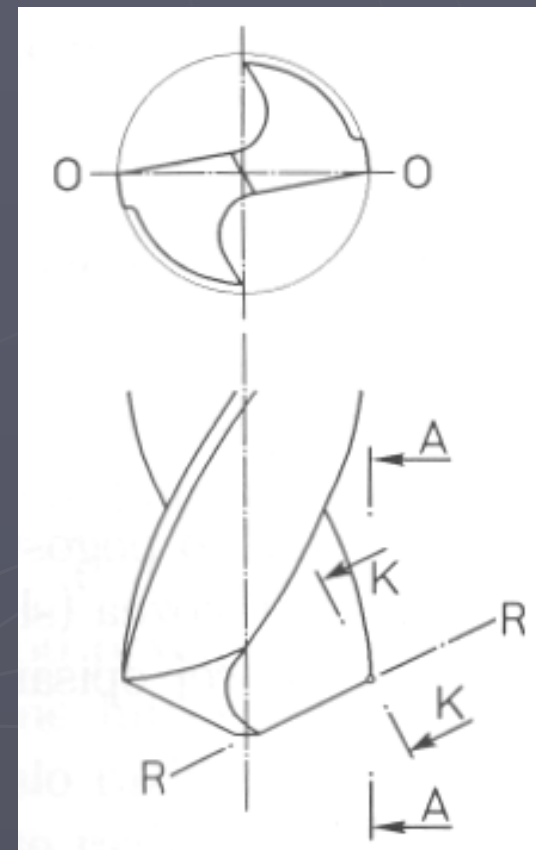
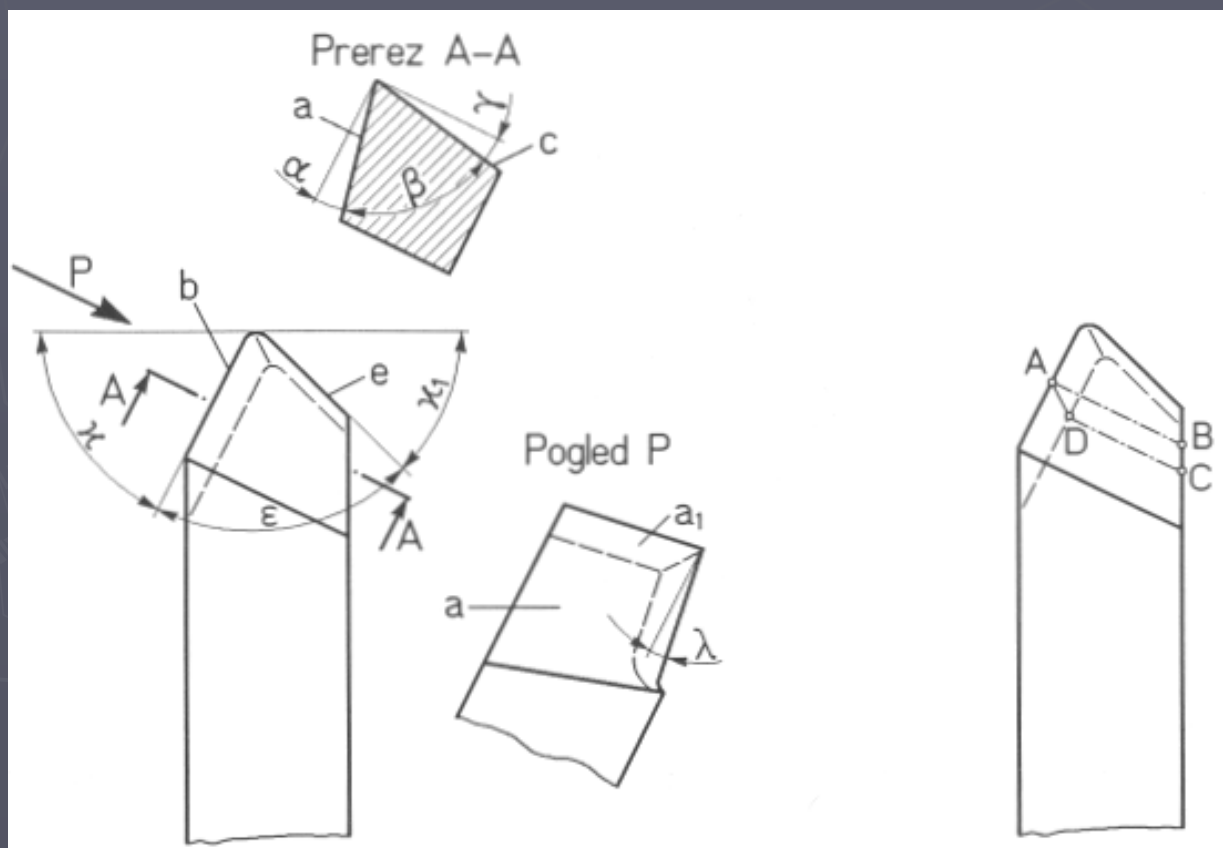
- ▶ Praktično se vsa energija, porabljena za nastanek odrezka, pretvori v toploto
- ▶ **Toplota se razvije v treh področjih:**
 - področje 1 sovpada s strižno cono; toplota zaradi deformacijskega trenja pri premagovanju notranjega trenja
 - področje 2 vzdolž cepilne ploskve; toplota zaradi trenja med odrezkom in cepilno ploskvijo orodja
 - področje 3 vzdolž proste ploskve; toplota zaradi trenja med obdelano površino obdelovanca in prosto ploskvijo orodja



- ▶ Največja temperatura je na cepilni ploskvi; tam se orodje najbolj obrablja
- ▶ Segrevanje obdelovanca- sprememba dimenzije
- ▶ Segrevanje odrezka vpliva pozitivno, ker postane bolj plastičen, rezalne sile se zmanjšajo, porabljena moč je manjša
- ▶ Segrevanje orodja je nezaželeno- manjša življenjska doba
- ▶ Orodno jeklo- temp. popuščanja 250°C, hitrorezno jeklo- 650°C, trdine- 1000 – 1200°C



GEOMETRIJA REZALNEGA ORODJA



Dodatni koti na orodju

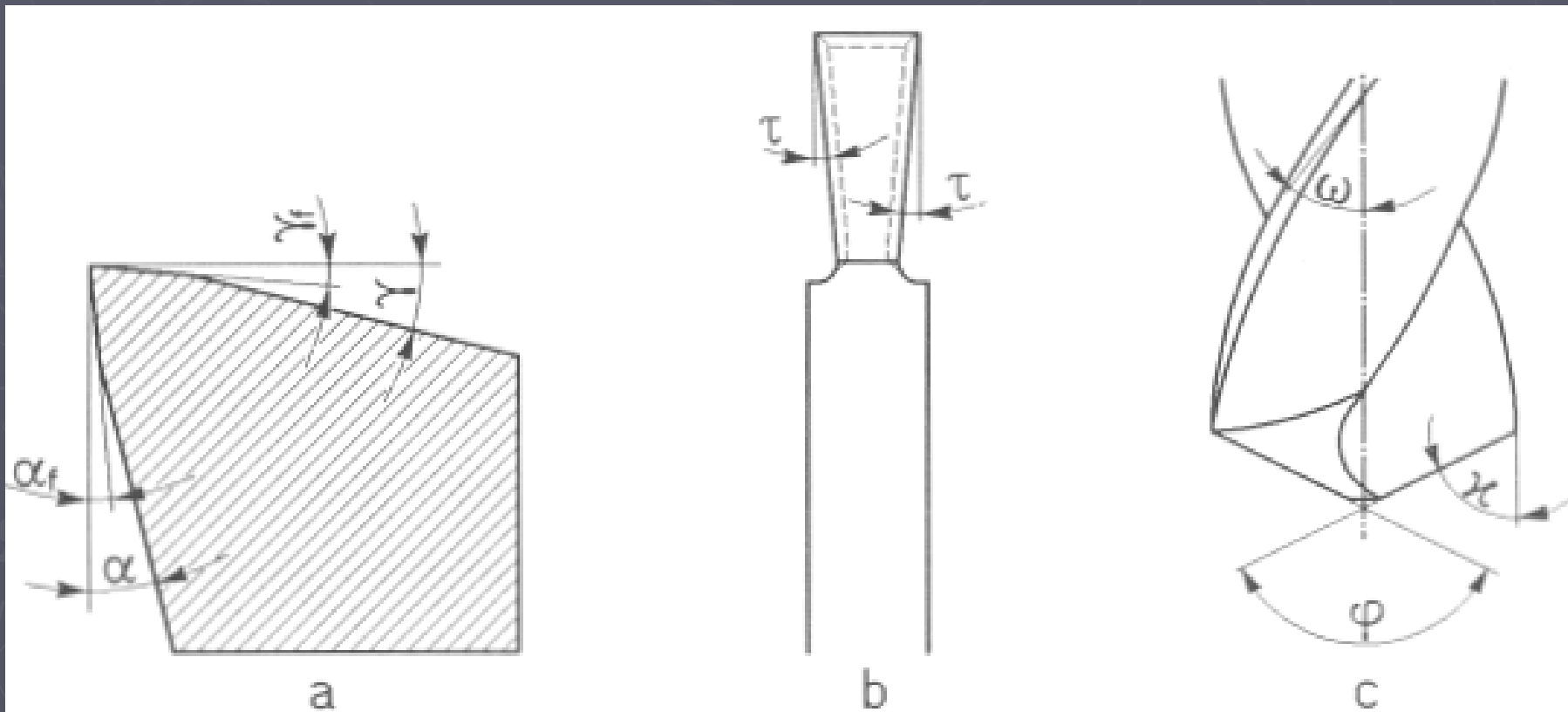
α_f – fazni prosti kot

γ_f – fazni cepilni kot

τ – bočni kot, $\tau = \kappa - 90^\circ$

φ – kot konice ali kot vrha svedra

ω – kot vijačnice



REZALNI MATERIALI

Aktivni del orodja- rezilo mora biti izdelano iz rezalnega materiala in mora imeti naslednje lastnosti:

- ▶ Veliko trdoto, ki jo mora obdržati tudi pri visokih temperaturah
- ▶ Veliko trdnost in po možnosti tudi visoko žilavost
- ▶ Veliko odpornost proti obrabi

Za rezalne materiale pridejo v poštev:

a/ nelegirana in legirana jekla

b/ hitrorezna jekla

c/ trdine

d/ supertrdi materiali (naravni in umetni diamant, borov nitrid)

e/ zelo trde spojine v obliki kristalov kot brusilno sredstvo

Orodna jekla:

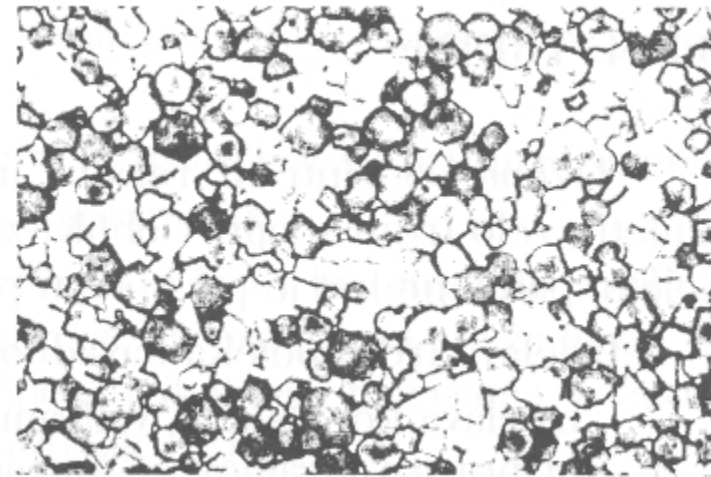
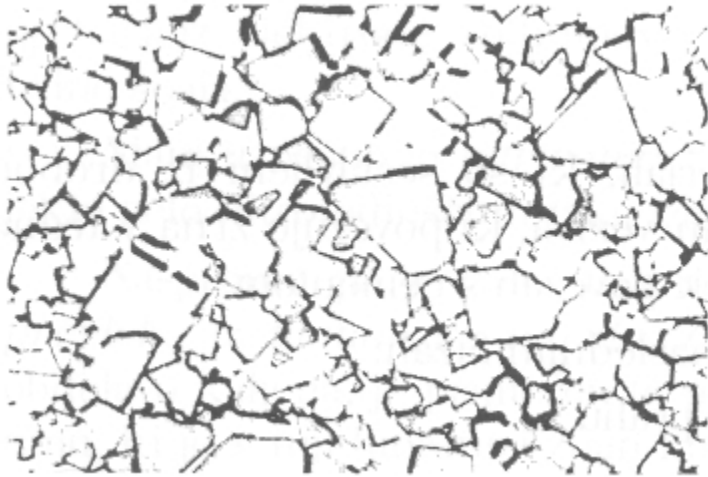
- ▶ Nelegirana jekla od 0,6 do 1,3%C
- ▶ Legirana jekla z dodatkom Cr, Co, V, W
- ▶ Temperatura največ 300°C; dopuščajo majhne rezalne hitrosti (do 85 mm/s)
- ▶ Na novejših strojih se več ne uporabljajo; le še za ročno orodje

Hitrorezna jekla:

- ▶ So močno legirana- boljše rezalne sposobnosti kakor orodno jeklo
- ▶ Bistveno boljša temperaturna obstojnost
- ▶ Obstojnost ni tako visoka, kakor pri trdinah, imajo pa zato večjo žilavost
- ▶ Najpomembnejši legirni element je W, pogosto pa jeklo vsebuje še Co, Cr, Mo in V
- ▶ Dobra temperaturna sposobnost, velika žilavost in odpornost proti udarcem

Trdine:

- ▶ So zelo trde sintrane spojine
- ▶ **Najbolj značilne skupine trdin so:**
- ▶ Karbidne trdine, s karbidnimi zrnici in kobaltom kot vezivom
- ▶ Oksidne trdine; zrnca iz različnih oksidov in drugih dodatkov ter keramičnim vezivom (rezalna keramika)
- ▶ Trdine z zrnici iz oksidov in drugih dodatkov ter kovinskim vezivom (cermeti)
- ▶ Drugi zelo trdi sintrani materiali



Mikrostruktura karbidne trdine

- levo: 89% WC, 11% Co

-desno: 70% WC, 9% TiC,

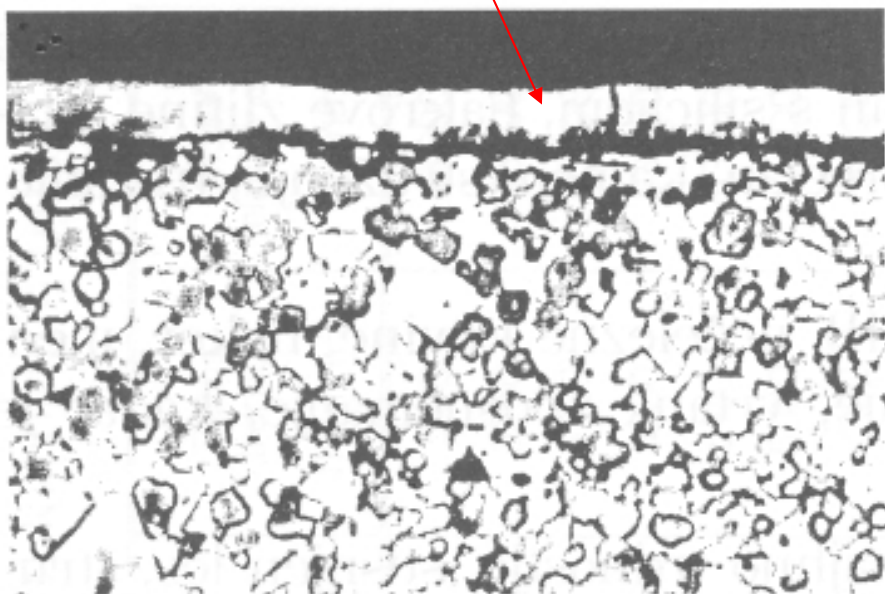
12% TaC, 9% Co

- ▶ **Uporabnost:**
- ▶ **Skupina P:** Nizko legirano jeklo (modre barve)
- ▶ **Skupina M:** Nerjavno jeklo (rumene barve)
- ▶ **Skupina K:** Siva litina, nodularna litina (rdeče barve)
- ▶ **Skupina N:** Aluminijeva zlitine (zelena barva)
- ▶ **Skupina S:** Toplotno odporne zlitine (rjava barva)
- ▶ **Skupina H:** Kaljeno jeklo (siva barva)

Rezila s prevlekami:

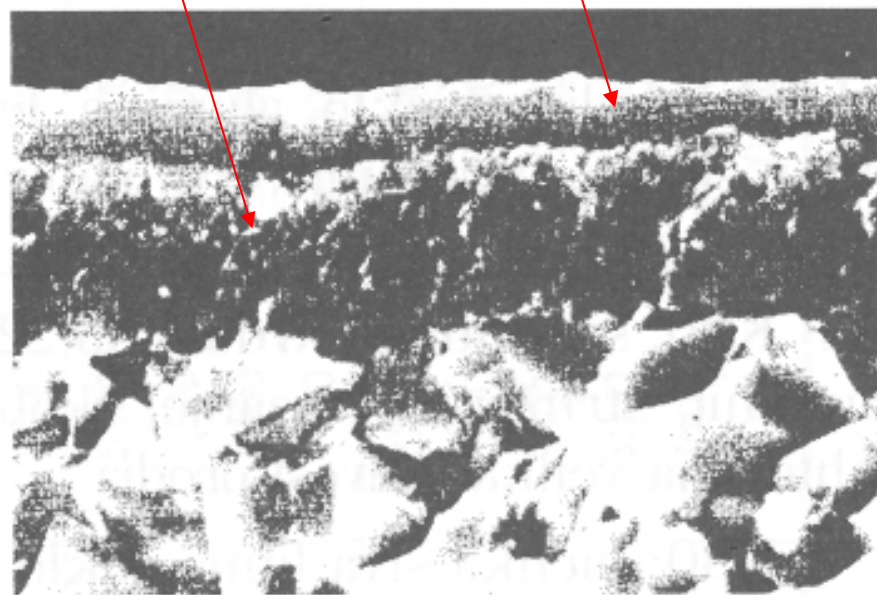
- ▶ Na podlage iz karbidnih trdin se nanašajo naslednje nekaj mikronov debele prevleke:
- ▶ Titanov karbid (TiC)
- ▶ Titanov nitrid (TiN)
- ▶ Titanov karbo-nitrid (TiCN)
- ▶ Aluminijev oksid (Al_2O_3)
- ▶ Poznamo enoslojne (predvsem pri orodnih jeklih) in večslojne prevleke (pri karbidnih trdinah)
- ▶ Orodja, ki imajo prevleke so produktivnejša (ostrejši režim obdelave)

En sam sloj prevleke



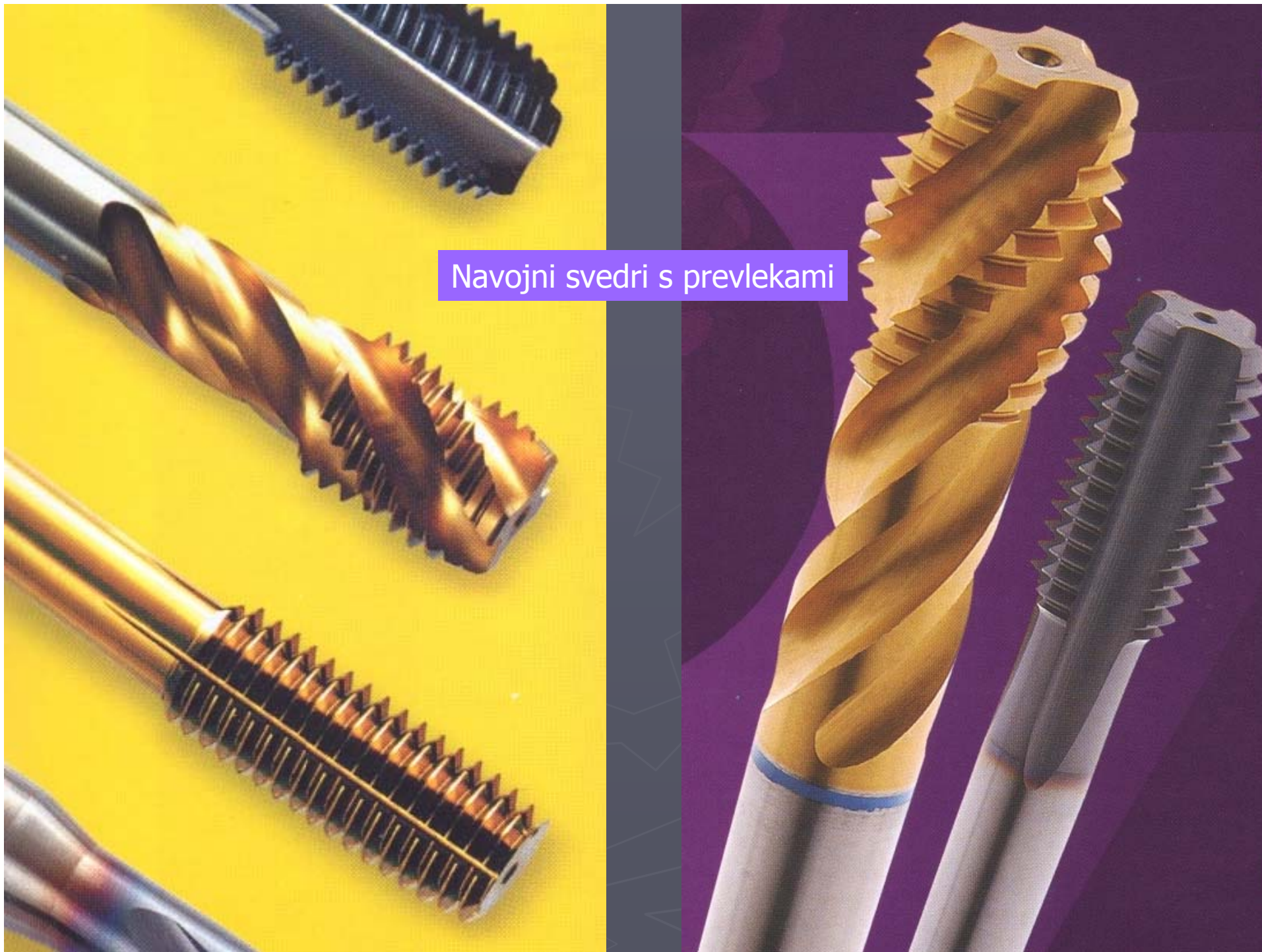
Prvi sloj

Prekrivni sloj



Mikrostruktura rezalnih ploščic s prevlekami
-Levo prevleka z eno samo plastjo, -Desno prevleka iz dveh plasti

Navojni svedri s prevlekami



Rezalna keramika:

- ▶ Je naravno trd rezalni material na bazi oksidov, oksid-karbidov in nitridov.
- ▶ **Oksidna ali bela keramika:** z majhnim deležem Mg, Si in Zr oksida; zrna veže keramično vezivo
- ▶ **Črna keramika:** je sestavljena iz aluminijevega oksida z dodatki kovinskih karbidov in nitridov; vezivo je keramično
- ▶ **Neoksidna keramika:** so rezalni materiali na osnovi čistega silicijevega nitrida, ali v obliki S_i-A_i-O-N ter borov nitrid
- ▶ Keramika je zelo trda in odporna proti obrabi ter kemijsko stabilna in tlačno odporna; uporabljamo jo lahko pri zelo neugodnih pogojih odrezavanja; njena temperaturna obstojnost je do 1200°C .
- ▶ **Posebnost keramike je drugačen pristop pri obdelavi; obdelovalni stroj mora imeti:**
 - ▶ veliko instalirano moč motorja,
 - ▶ veliko območje vrtilnih hitrosti glavnega vretena,
 - ▶ zadostno togost vretena,
 - ▶ veliko togost podstavka in podajalnega pogona,
 - ▶ veliko podajalno hitrost

- ▶ Polikristalinični rezalni materiali:
- ▶ Umetni diamant in kubično kristaliziran borov nitrid
- ▶ **Polikristalinični diamant (PKD):** je rezalni material, ki je primeren za fino obdelavo zelo trdih in krhkih materialov (karbidne trdine, keramika, steklo); ni primeren za obdelavo jekla in drugih železnih materialov; je zelo drag, občutljiv na sunkovite obremenitve, ima majhno strižno in upogibno trdnost
- ▶ **Kubično kristaliziran borov nitrid:** je namenjen za obdelavo hitroreznih in močno legiranih konstrukcijskih jekel, posebnih visoko trdnih zlitin, je sintetično izdelan material, po trdoti druga najtrša snov
- ▶ Oba sintetično izdelana materiala sta zelo trda. Uporabljata se pri orodjih z definirano geometrijsko obliko rezila in tudi kor abrazivni material pri brušenju. Imata 40 do 50 krat večjo obstojnost v primerjavi s karbidnimi trdinami; dopuščata zelo velike rezalne hitrosti.

Brusilna in polirna sredstva:

- ▶ Brusi imajo zrna nepravilne oblike
- ▶ Oblika zrn je odvisna od materiala in načina pridobivanja (mletja)
- ▶ Vsi brusilni materiali so lahko sestavni deli past, ki se uporabljajo za poliranje in lepanje

Za bruse uporabljamo naslednje umetne snovi:

- ▶ Aluminijev oksid ali korund (Al_2O_3)
- ▶ Silicijev karbid ali karborund (SiC) ali smirek
- ▶ Umetni diamant
- ▶ Kubični borov nitrid ali borazon (BN)

Za izdelavo polirnih past pridejo v poštev:

- ▶ Korund
- ▶ Železov oksid
- ▶ Kromov oksid
- ▶ Diamantni prah
- ▶ Na platno ali papir so nalepljeni smirek (karborund), zdrobljeno steklo, zmlete karbidne trdine

OBRABA ORODJA

- ▶ Obraba orodja nastopi zaradi trenja
- ▶ Razvije se toplota, ki segreva obdelovanec, odrezek in orodje
- ▶ Zaradi obrabe se najprej poslabša kakovost površine, nato dimenzije
- ▶ Zaradi obrabe se povečajo rezalne sile in poraba moči
- ▶ Poveča se segrevanje, kar povzroči napredovanje obrabe orodja

- ▶ **Adhezijska obraba:** zavarjanje med orodjem in odrezkom zaradi velikih tlakov in visokih temperatur; delci orodja se odtrgajo

- ▶ **Abrazivna obraba:** mehanska obraba, ki nastane zaradi odnašanja materiala orodja pri prodoru tršega delca obdelovanca v njegovo površino

- ▶ **Difuzijska obraba:** prehajanje atomov na stičnih površinah pri visokih temperaturah

- ▶ **Korozivna ali oksidacijska obraba:** nastane pri orodjih iz karbidnih trdin v področju visokih temperatur (700 do 800 °C) in z dostopom kisika

- ▶ **Porušitvena obraba:** zaradi mehanske preobremenitve in utrujenosti pride do krušenja rezalnega roba

OBDELOVALNOST MATERIALA

- ▶ Je sposobnost materiala, da ga lahko obdelujemo oziroma spreminjamo obliko
- ▶ Odrezovalnost je sposobnost materiala, da ga lahko obdelujemo z odrezavanjem

Material je boljše odrezovalen, če:

- ▶ ga lahko odrezujemo z večjo rezalno hitrostjo,
- ▶ so rezalne sile majhne,
- ▶ je poraba moči manjša,
- ▶ dosežemo boljše kakovost površine,
- ▶ nastajajo odrezki bolj ugodne oblike.

IZBIRA NAJPRIMERNEJŠE REZALNE HITROSTI

- ▶ Večjo obstojnost orodja dosežemo pri lažjih delovnih pogojih, v glavnem pri majhni rezalni hitrosti, vendar ne premajhna
- ▶ Z zmanjšanjem rezalne hitrosti se zmanjša tudi učinkovitost in ekonomska upravičenost proizvodnje
- ▶ Čeprav je obstojnost orodja večja, se cena poveča zaradi premajhne produktivnosti

KAKOVOST POVRŠINE

- ▶ Za doseg predpisane kakovosti površine moramo izbrati ustrezne delovne pogoje

a/ Obdelovalni parametri oziroma vplivi, ki so povezani z nastajanjem odrezka:

- ▶ material obdelovanca ter njegova termična obdelava
- ▶ rezalna hitrost
- ▶ temperatura odrezka
- ▶ material rezila
- ▶ postopek odrezavanja
- ▶ stabilnost stroja in togost obdelovanca
- ▶ mehkejše materiale obdelujemo z večjo rezalno hitrostjo, da dobimo čim bolj kakovostno površino, zlasti legirana jekla dobijo sijajno površino

b/ Obdelovalni parametri oziroma vplivi, ki so povezani z geometrijo orodja:

- ▶ geometrijska oblika rezalnega roba
- ▶ kakovost rezalnega roba (obraba, skrhanost)
- ▶ sprememba oblike zaradi nalepka
- ▶ globina rezanja


POSTOPEK, OBDELAVA – HRPAVOST

Srednje odstopanje profila R_a [μm]		0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800
Srednja višina neravnin R_z [μm]		0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200	400	800	1600	3200
Znaki, ki so se včasih uporabljali	Stopnja hrpavosti		N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12				
	Razred hrpavosti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
	Stari znaki	▽▽▽▽			▽▽▽			▽▽			▽							
ROČNA OBDELAVA	grobno piljenje										○	○	●	○	○	○	○	
	fino piljenje							○	○	●	●							
LITJE	v pesku												○	○	●	○	○	○
	v kokili											○	○	●	○			
	v školjki								○	○	●	○	○					
KOVANJE	toplo, prosto														●	○	○	○
	toplo v utopu								○	○	●		○	○	○			
	hladno v utopu																	
VALJANJE	toplo										○	○	○	○	○	○		
	hladno					○	○	●	○	○	○							
PESKANJE												○	○	○	○	○		
STRUŽENJE	grobno									○	○	○	○	○	○	○		
	fino					○	○	●	○									
SKOBLJANJE	grobno											○	○	○	○	○		
	fino								○	○	○	○	○	○	○	○		
FREZANJE	grobno									○	○	○	○	○	○			
	fino						○	○	○	○	○	○	○	○	○			
VRTANJE S SVEDROM												○	○	○	○	○		
POVRTAVANJE						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
BRUŠENJE	grobno									○	○	○	○	○	○			
	fino				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
POLIRANJE	mehanično				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	električno		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
HONANJE, LEPANJE			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
SUPERFINIŠ		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
OBDELAVA NAVOJEV	rezanje								○	○	○	○	○	○				
	brušenje					○	○	○	○	○	○	○	○	○				
IZDELAVA ZOB	skobljanje								○	○	○	○	○	○				
	freziranje								○	○	○	○	○	○				
	brušenje					○	○	○	○	○	○	○	○	○				
POSTOPKI OBDELAVE		za kontrolna merila in najnatančnejše površine				za tesne in točne torne površine				za torne in srednje točne površine				za ujeme, tesnilne in grobe površine				

● se uporablja prednostno

HLAJENJE IN MAZANJE ORODIJ

- ▶ Je teoretično zelo malo raziskano, čeprav je bilo opravljenih že veliko poskusov
- ▶ S hlajenjem in mazanjem skušamo povečati predvsem obstojnost orodij in kakovost obdelane površine in posredno rentabilnost proizvodnje
- ▶ S hlajenjem in mazanjem zmanjšamo trenje in obrabo na površini orodja
- ▶ Hladiti je potrebno predvsem rezalni rob in cepilno ploskev na mestu, kjer je temperatura največja
- ▶ Hladilno tekočino lahko dovajamo tudi skozi prevrtano orodje neposredno na cepilno ploskev med odrezek in orodje
- ▶ Ta način se uporablja v glavnem pri globokem vrtanju, kjer hladilna tekočina tudi odvaja odrezke
- ▶ Pomembno je enakomerno in izdatno hlajenje, da ne prihaja do toplotnih šokov na orodju; hladilno sredstvo se začne dovajati pred pričetkom odrezavanja



Intenzivno hlajenje s pomočjo dovajanja hladilne tekočine skozi telo svedra

Intenzivno hlajenje s pomočjo dovajanja hladilne tekočine skozi telo svedra



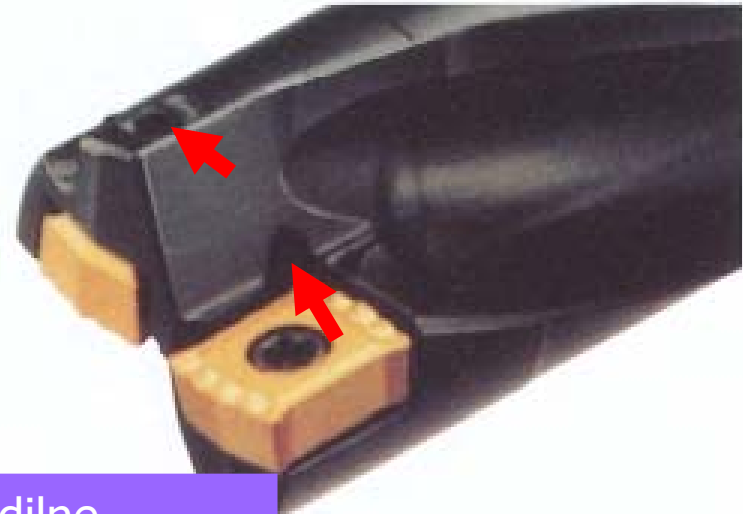


Oblika odrezka j.
Dolgi široki navoji.

Intenzivno hlajenje



Dovajanje hladilne tekočine skozi telo svedra za hlajenje in izpiranje odrezkov

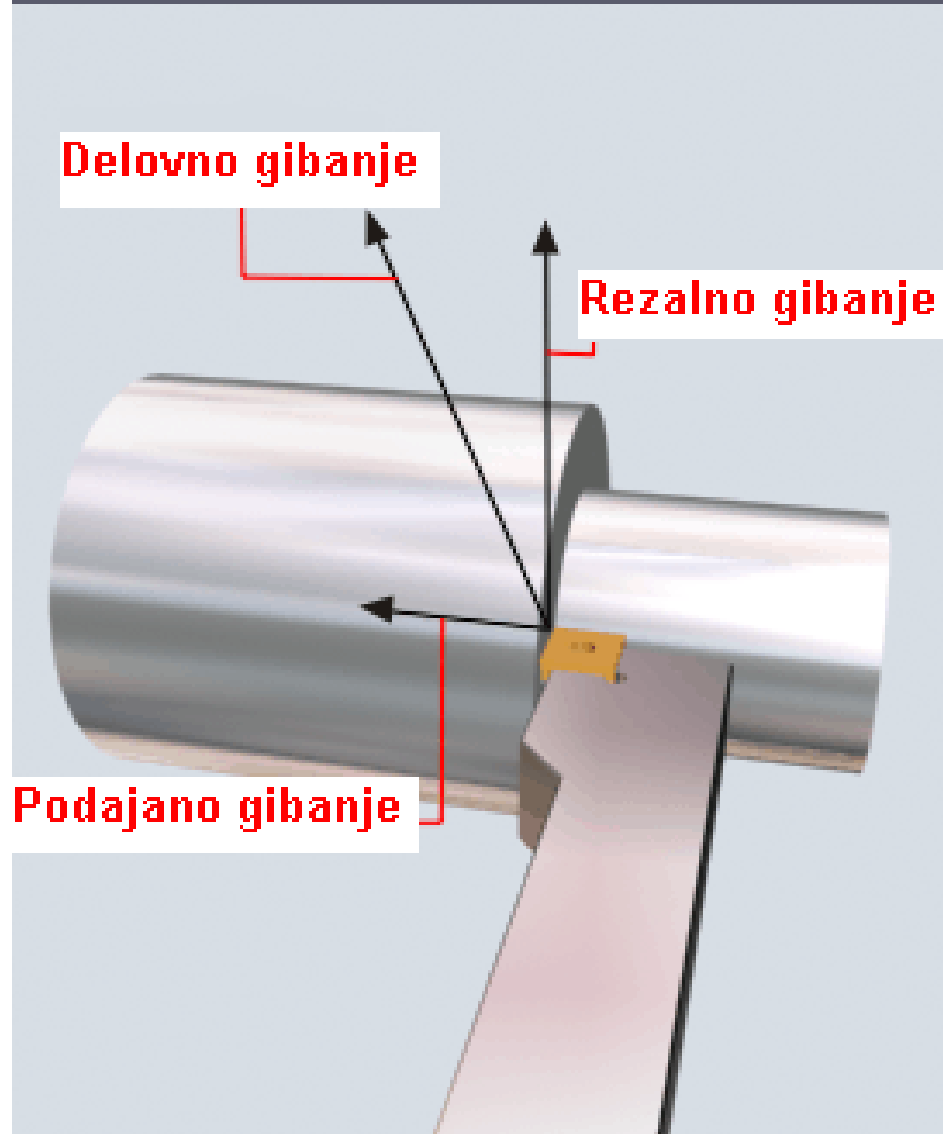


Kot hladilno- mazalna sredstva lahko uporabljamo:

- ▶ hladilne tekočine in raztopine
- ▶ hladilno emulzijo (voda + dodatki v razmerju od 10:1 do 100:1)
- ▶ rezalno olje in rezalne mešanice (v glavnem sintetična in mineralna)
- ▶ pline (ekspanzija CO_2 , bolj redko uporabljen)



Gibanja pri odrezavanju



GLAVNA GIBANJA so:

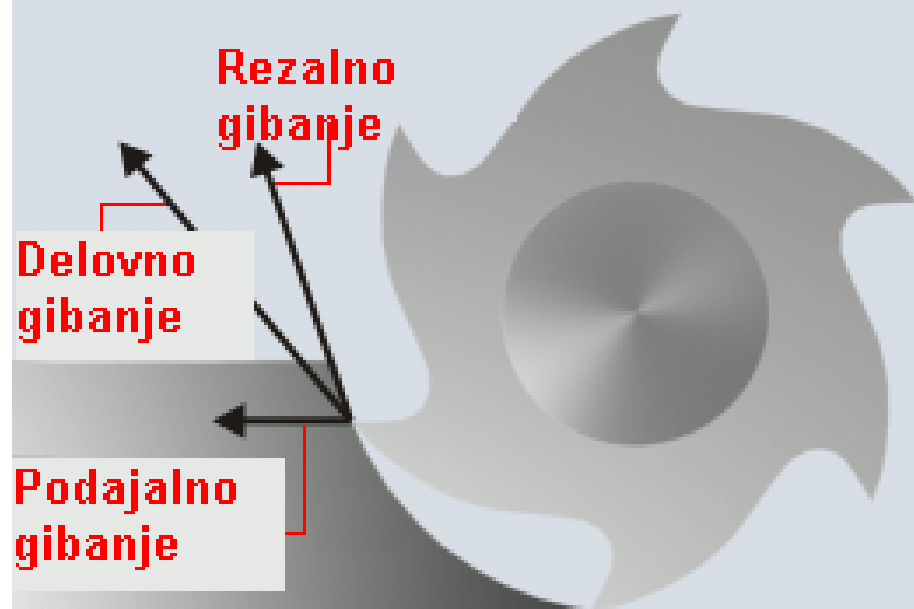
Glavna gibanja so gibanja, ki nastanejo med orodjem in obdelovancem med procesom odrezavanja.

REZALNO GIBANJE - to je gibanje med orodjem in obdelovancem, zaradi katerega pride do odrezavanja odrezkov

PODAJALNO GIBANJE - je gibanje orodja v obdelovanec ali obratno

DELOVNO GIBANJE - je rezultanta rezalnega in podajalnega gibanja

Glavna gibanja pri frezanju



Glavna gibanja pri vrtanju

