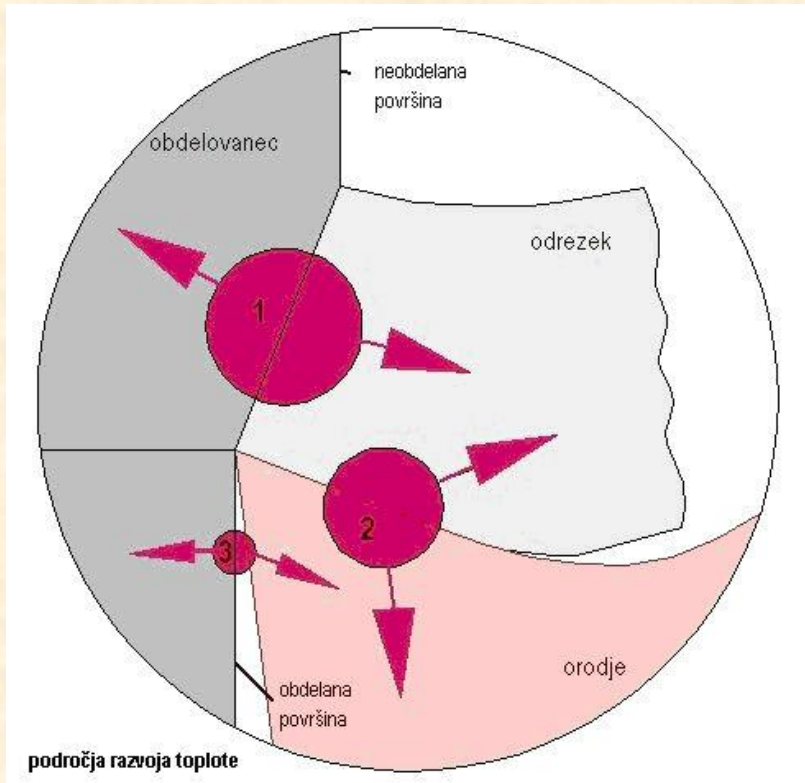


# **OBRABA ORODIJ ZA ODREZAVANJE**

# Toplota pri odrezavanju

Orodja so med odrezavanjem obremenjena s silami, ki so posledica deformacij pri nastajanju odrezka in trenja med orodjem in obdelovancem. Pri tem se razvija toplota, ki segreva orodje, odrezek, in deloma obdelovanec. Toplota se razvije v treh conah:



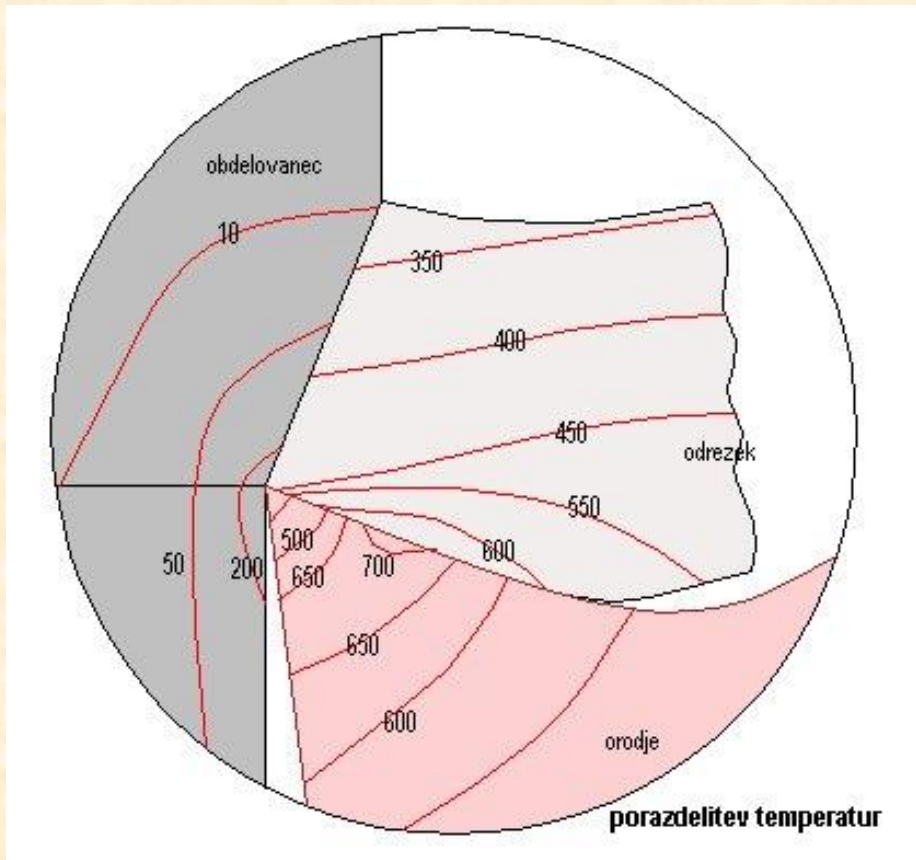
**1. cona** Tukaj nastopi t.i. notranje trenje, ker nedeformirani material prehaja v deformirani (odrezek se ločuje od obdelovanca).

**2. cona:** Zaradi drsenja odrezka po cepilni ploskvi orodja tukaj nastopi največja temperatura in pride do kotanjaste obrabe.

**3. cona** Toplota nastaja zaradi trenja obdelane površine ob obrabljeni del proste ploskve.

# Toplota pri odrezavanju

**Najbolj kritično** je segrevanje orodja. Ker poznamo orodja iz različnih materialov, ki imajo različne temperaturne trdote, moramo biti na segrevanje orodja izredni pozorni - kajti če prekoračimo kritično temperaturo orodja, lahko le-to izgubi rezalno sposobnost.



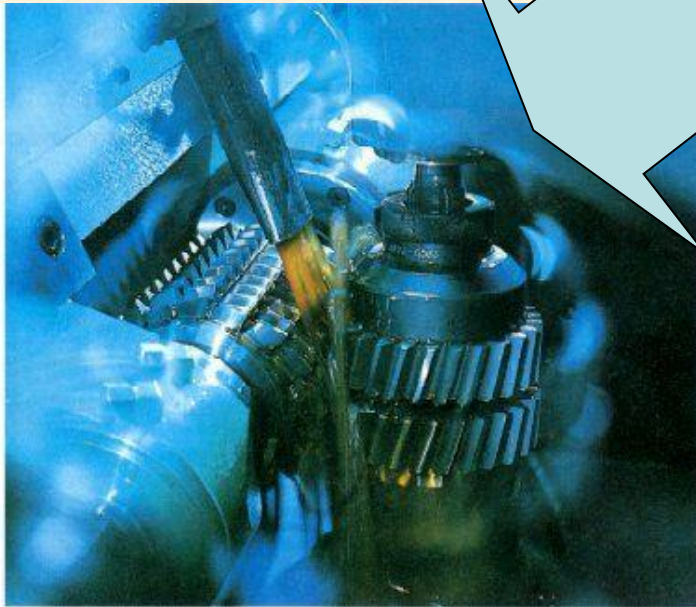
## Toplota se oddaja v:

- orodje 20%,
- obdelovanec 10% in
- odrezek 70%.

**Največja temperatura na orodju nastane nekoliko odmaknjeno na cepilni ploskvi, kjer tudi nastopi obraba v obliki kotanje.**

# Hladilna mazalna sredstva

Pri odrezavanju moramo hladiti, da znižamo temperaturo in zaščitimo orodje, mažemo pa, da zmanjšamo trenje in dobimo bolj fino obdelavo. Mazanje preprečuje tudi lepljenje odrezka na cepilno ploskev orodja in tvorbo nalepka na rezalnem robu.



Hladilna mazalna sredstva morajo doseči pravo mesto na orodju.

Če začnemo hladiti pred rezanjem **(nevarnost temperaturnega šoka)**.

Pri lomljenju odrezkov hladilno mazalno sredstvo skrbi tudi za odnašanje odrezkov.

# Tekočine, ki jih uporabljamo za hladilno mazalna sredstva

- **hladilne tekočine in raztopine** (voda, ki ne maže in ima odlične hladilne sposobnosti, povzroča pa korozijo; raztopine sode in milnice; ogljikov tetraklorid, ki je ena najučinkovitejših poznanih rezalnih tekočin za majhne rezalne hitrosti, se ga pa zaradi njegove strupenosti ne uporablja.)
- **hladilna emulzija** (mešanica vode in mineralnih olj) + dodatki (dezinfekcijska sredstva, emulgator, mehčalec). Emulzija odlično hladi in maže.
- **rezalna olja** (mineralna, rastlinska in živalska olja). Bolj mažejo in zmanjšuje trenje.
- **plini** - utekočinjen plin ali zrak ekspandira v bližini rezila in ga s tem hladi. Če plinu dodamo še drobno razpršeno olje, obenem tudi maže.
- **petrolej** za hlajenje pri obdelavi aluminijevih zlitin,
- protipožarna hladilna sredstva,
- sintetična hladilna sredstva,
- čista voda z dodatki proti rjavenju.

# Hladilno mazalna sredstva

## **Na izbor tekočine vplivajo naslednji faktorji:**

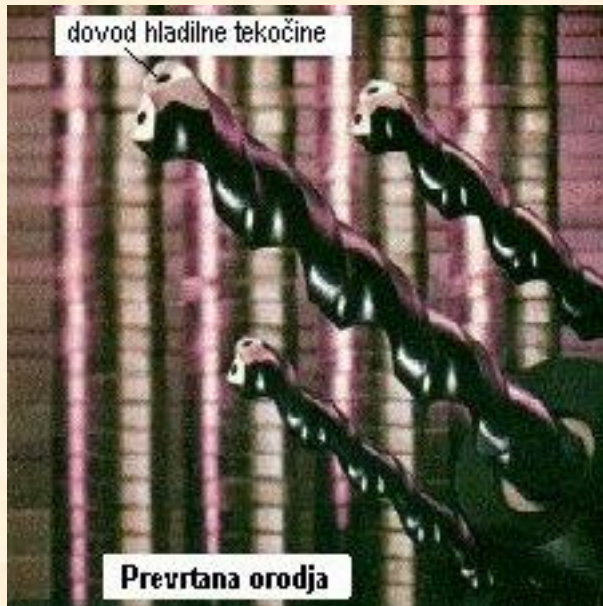
- hitrost,
- rezalni material,
- odstranjevanje odrezkov,
- korozija,
- strupenost,
- stroški.

## **Od mazalnega in hladilnega sredstva se zahteva:**

- dobro mazanje in hlajenje,
- obstojnost,
- ne sme škodljivo delovati na material in okolje,
- ne sme se peniti

# Načini dovajanja hladilno-mazalne tekočine

Poznamo **prevrtana orodja** (globoko vrtanje...), pri katerih ima tekočina visok tlak, poleg hlajenja pa služi tudi za odvajanje odrezkov .



Slika 1.30: Dovajanje hladilno - mazalne tekočine

# NASTANEK OBRABE

Med odrezovanjem so orodja obremenjena s silami, ki so posledica deformacij pri nastajanju odrezka in trenja med orodjem ter obdelovancem.



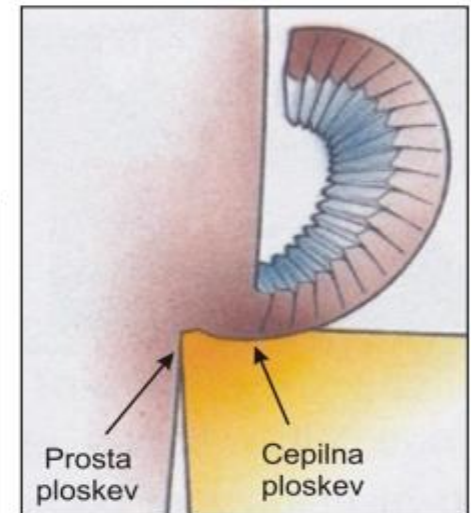
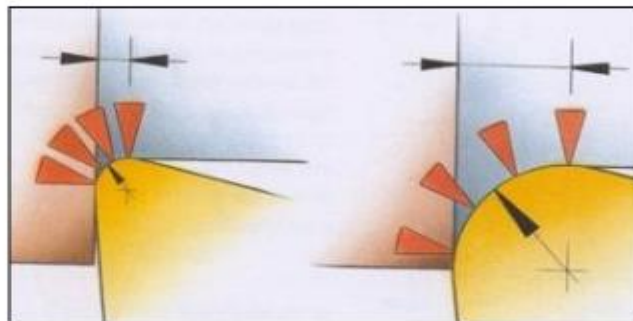
Razvija se toplota, ki segreva orodje, odrezek in obdelovanec. Vse kontaktne površine so običajno čiste in kemično aktivne, kar je idealno, da se lahko med odrezavanjem pričnejo izvajati zapleteni fizikalno kemijski procesi.



Pojavi se obraba, ki pomeni postopno odnašanje materiala s površine orodja in je neposredno izpostavljena mehanskemu ter kemičnemu vplivu.

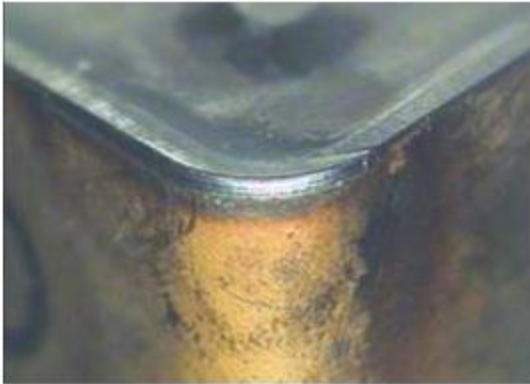
Ločimo:

- obrabo na prosti ploskvi,
- obrabo na cepilni ploskvi,
- zaokrožitev rezalnega robu.

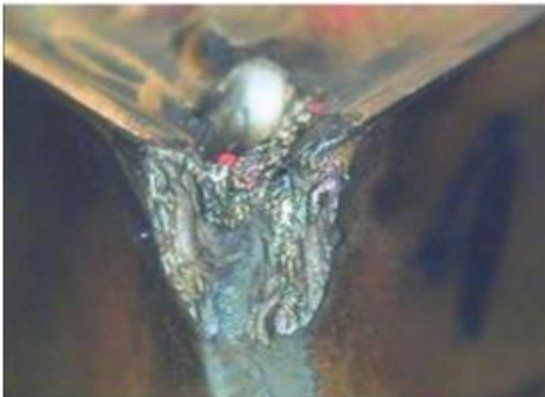




## Dejstva



Obraba proste ploskve



Lom konice rezalnega orodja

- Obraba orodja nam pove, ali smo izbrali pravilno kvaliteto orodja
- Na obrabo lahko vplivamo z rezalnimi parametri
- Dokazana je povezava med materialom obdelovanca in obrabnimi mehanizmi
- Cilj je doseči napovedano/predvideno obrabo proste ploskve
- Enakomerna obraba – konstantna velikost obrabe po celotnem rezalnem robu
  - Napovedljiv pojav
- Neenakomerna obraba– naključna velikost obrabe po celotnem rezalnem robu
  - Naključen pojav

Obrabo na orodju povzročajo mehanske in s tem povezane toplotne obremenitve:

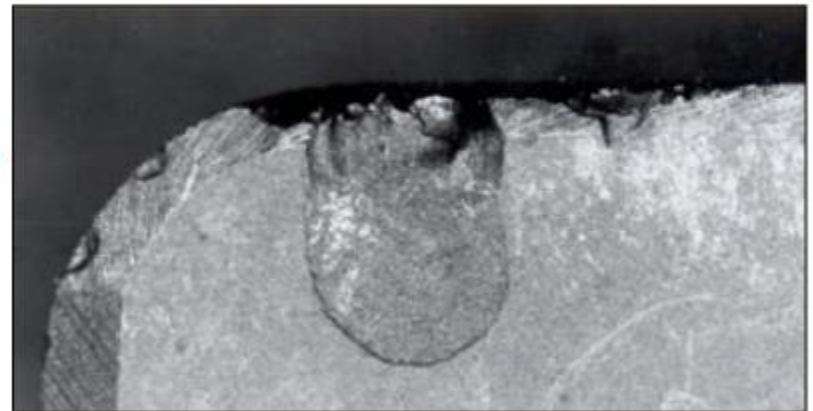
• **ABRAZIVNA OBRABA**: nastopa zaradi odnašanja materiala orodja pri prodoru tršega delca v njegovo površino (hitrorezna jekla).

• **ADHEZIVNA OBRABA**: nastopi, ko dva materiala z dobro površinsko obdelavo in podobno trdoto medsebojno drsita. (veliki površinski pritiski med orodjem in odrezkom – plastična deformacija).

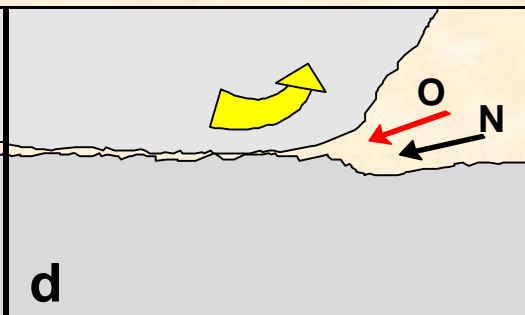
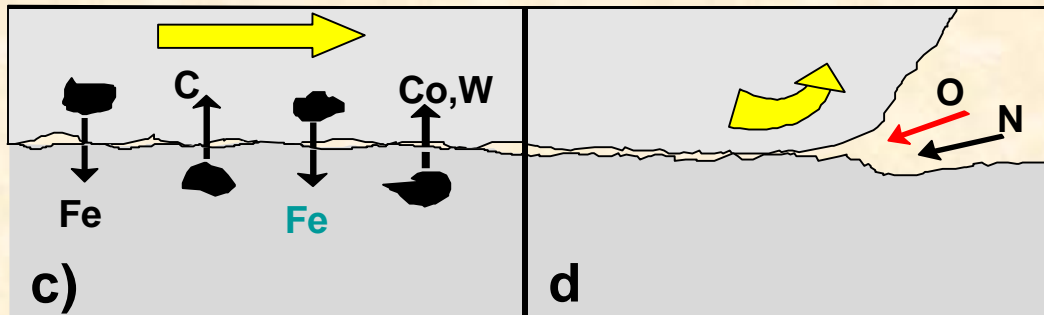
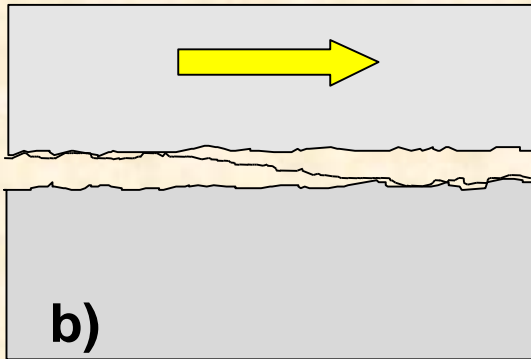
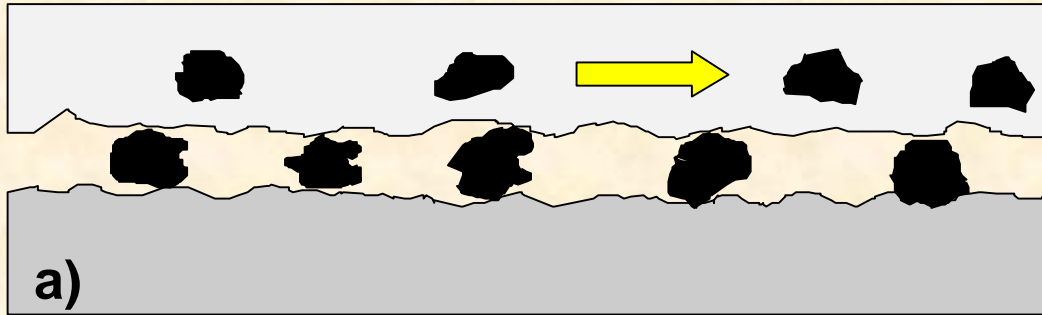
Obrabo na orodju povzročajo kemični vplivi: (karbidne trdine)

• **DIFUZIJSKA OBRABA** – visoka temperatura na stični ploskvi (odrezek-orodje) povzroča tvorbo novih zmesnih kristalov (karbidov), ki zrahljajo strukturo orodnega materiala.  
→ kotanjasta obraba na cepilni ploskvi.

• **OKSIDACIJSKA OBRABA** – pri visokih temperaturah ( $700 - 800^{\circ}\text{C}$ ) se kisik iz zraka veže na površino orodja. Nastajajo oksidi volframa, kobalta in železa, ki imajo večjo prostornino kot karbidna trdina → oksidirana mesta nabreknejo in se pričnejo luščiti.

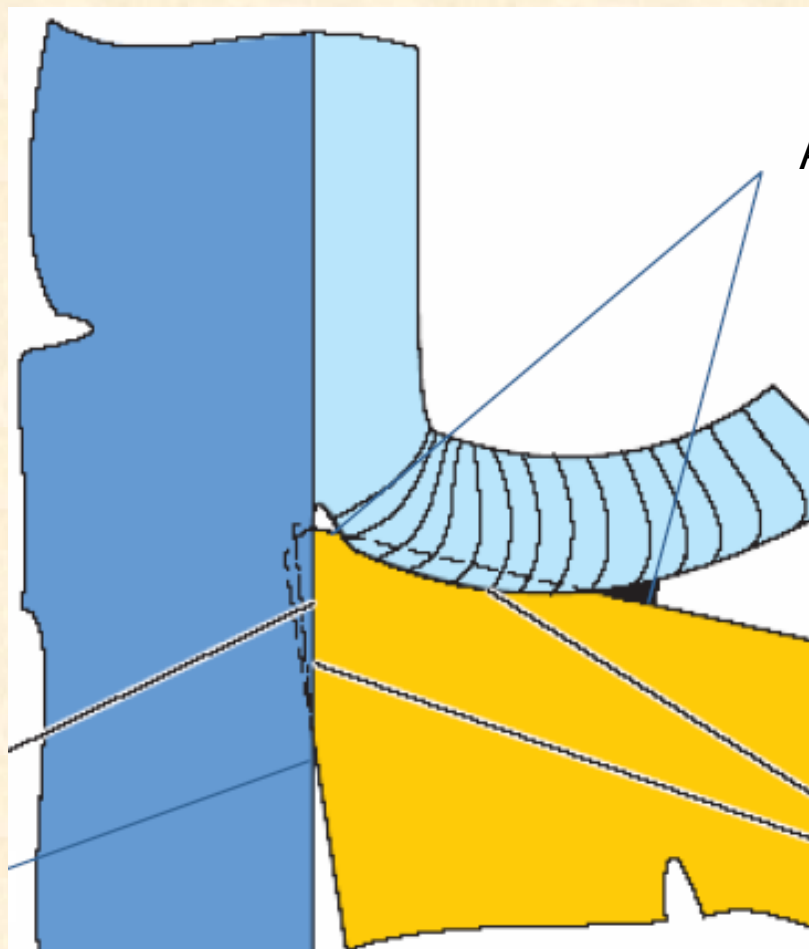


# Procesi obrabe



- a) abrazijska obraba
- b) adhezijska obraba
- c) difuzijska obraba
- d) oksidacijska obraba

# Mehanizmi obrabe



Adhezijska obraba

Abrazijska obraba

oksidacija

Difuzijska obraba

In kemične reakcije

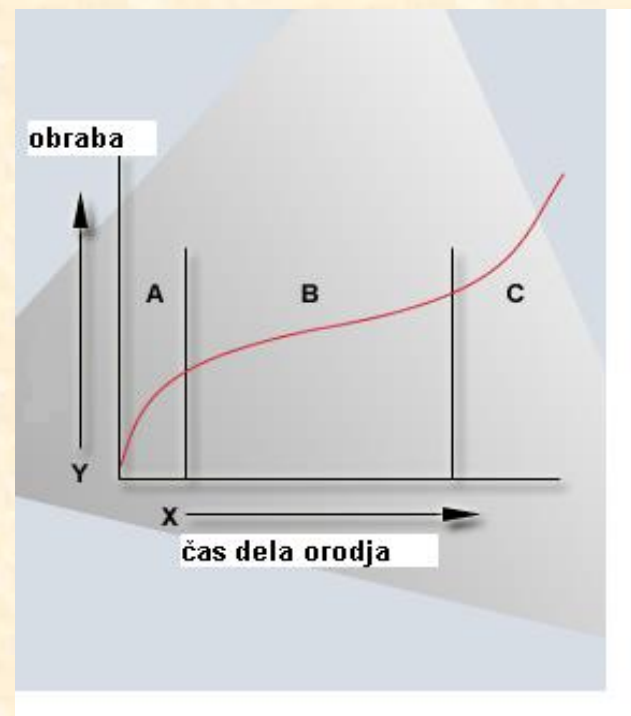
# OBRABA ORODIJ

Posledice obrabljenosti orodja so:

- ovira potek dela,
- negativno vpliva na delovanje stroja,
- orodje izgubi rezalno sposobnost, pričakuje se lom orodja,
- kvaliteta površine obdelovanca ni več zadovoljiva,
- geometrijska netočnost obdelovanca,
- porast rezalnih sil.

# ČASOVNA PODROČJA OBRABE ORODJA

Največkrat obrabo orodja opazimo takoj na začetku, ko je orodje še idealno ostro, precej hitro naraščajočo obrabo (področje A). Naraščanje se potem upočasni in je precej časa skoraj linearno (področje B). Po določenem času pa začne obraba nesorazmerno hitro naraščati, tako da nadaljnje delo ni več smotrno (področje C).



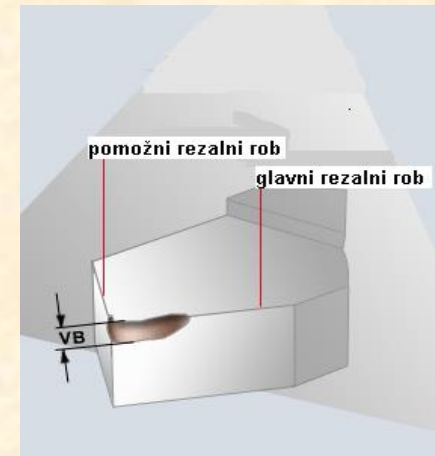
# OBRABA NA REZALNI PLOSKVI

Obraba na rezalni ploskvi se pojavlja vedno na podoben način. Na rezalni ploskvi nastane obrabna ploskev v obliki pravokotnika, ki ima nazobčan spodnji rob. Povprečno širino te ploskve označujemo navadno z **VB**. Širino obrabe na rezalni ploskvi jemljemo zelo pogosto kot kriterij, ki naj pove, kdaj je orodje toliko skrhano, da ga je potrebno naostriti ali zamenjati. Dovolimo lahko večjo obrabo, če ni treba dosežati zelo gladke površine obdelovanca. Velikost obrabe je odvisna tudi od vrste in materiala orodja in deloma tudi cene orodja.

Na splošno lahko vzamemo, da je pri orodjih iz hitroreznega jekla ali iz karbidne trdine rezalni rob izrabljen:

- **VB = 0,4 do 0,5 mm za grobo obdelavo**
- **VB = 0,1 do 0,2 mm za fino obdelavo**

Te vrednosti za dovoljeno obrabo na prosti ploskvi so bile izbrane na podlagi opazovanj, kako poteka obrabljanje orodij.



# OBRABA NA CEPILNI PLOSKVI

Obraba na cepilni ploskvi ima lahko različne oblike. Najpogostejša je obraba v obliki kotanje. Ta oblika obrabe se pojavlja navadno pri delu z veliko rezalno hitrostjo in pri visokih temperaturah na cepilni ploskvi.

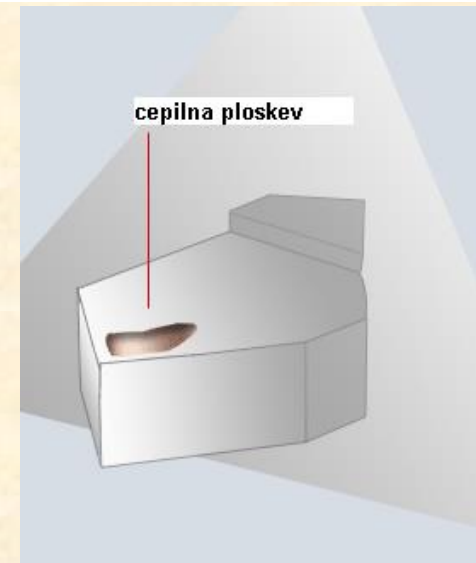
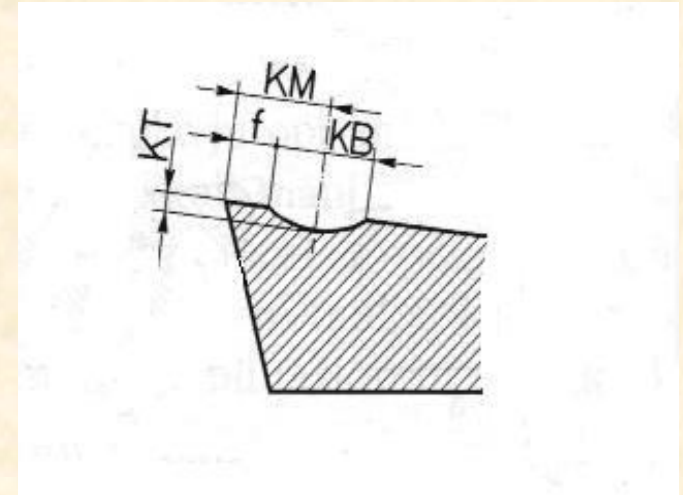
Kotanja nastane v začetku na razdalji  $f$  od rezalnega roba. Sredina kotanje je od roba odmaknjena za  $KM$  in se skoraj povsem ujema s točko, v kateri je temperatura orodja najvišja. Ko obraba napreduje, se širina kotanje  $KB$  večja, dokler kotanjo ne doseže rezalnega roba. Navadno pride pri karbidnih trdinah kmalu nato do loma oslabiljenega rezalnega roba zaradi mehanskih obremenitev, pri hitroreznih orodjih pa zaradi koncentracije toplote do mehčanja in tako velike zaokrožitve, da orodje povsem odpove.

Merjenje kotanje je smiselno samo, če je razmerje med globino in širino kotanje:

•  **$KT/KM$  0,4 mm**

V tem primeru naj bi dopuščali:

•  **$KT_{max} = 1,0$  do  $1,5$  mm**





# VPLIV REZALNE HITROSTI NA OBRABO ORODJA

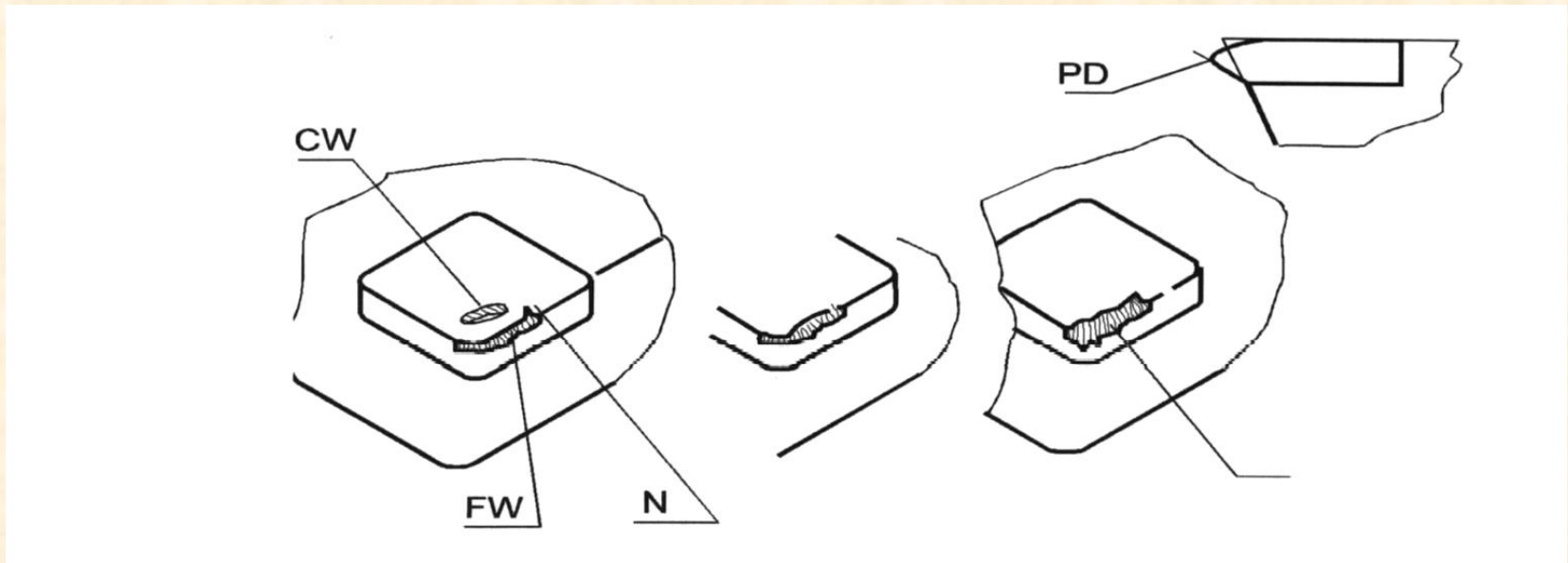
Vse vrste obrab orodja naraščajo z večanjem rezalne hitrosti.

Največji vpliv ima rezalna hitrost na naslednje obrabe:

- **Obraba oblike rezanega roba**
- **Deformacije rezalnega roba**
- **Velikost obrabe**
- **Difuzijska obraba**
- **Obraba zaradi trenja**
- **Vsa obraba**



# Običajni položaji in oblike obrabe rezalnega orodja

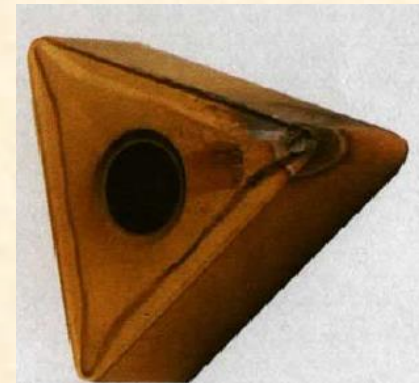


FW- obraba na prosti ploskvi

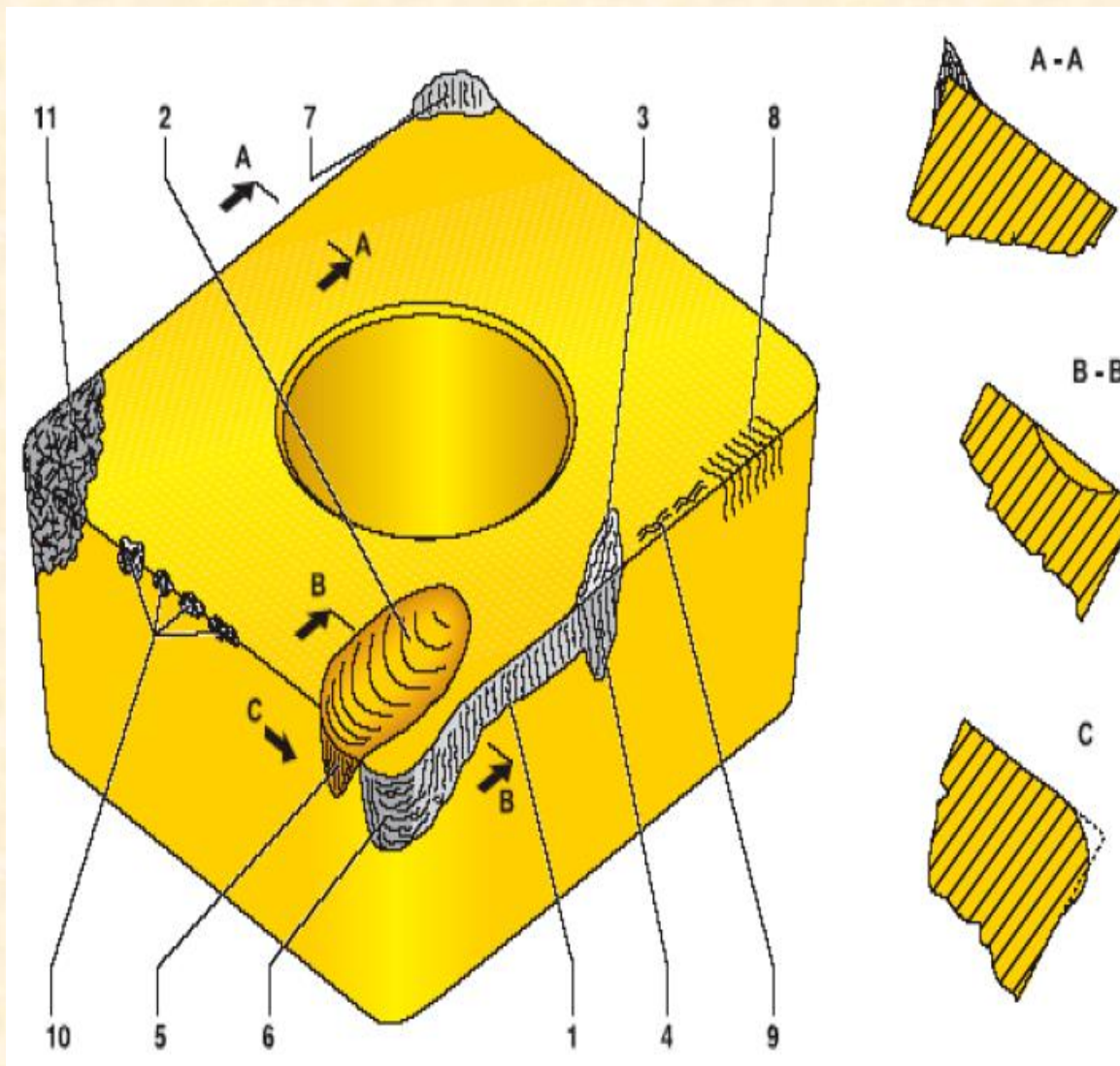
CW- kotanjasta obraba na sprednji površini

N- lom orodja

PD- plastična deformacija konice



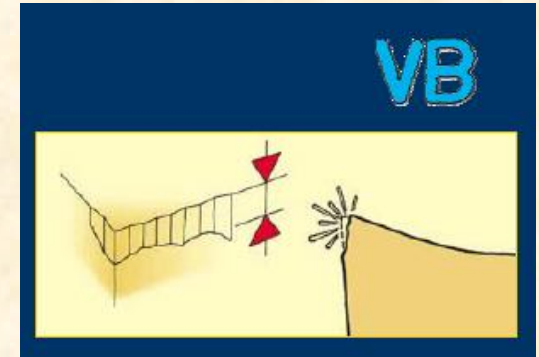
# Oblike obrabe



1. Obraba proste ploskve
2. Kraterska obraba
3. Zrezna obraba
4. Obraba proste ploskve max.
5. Oksidacijsko zrezna obraba
6. Plastična deformacija
7. Nalepek (BUE)
8. Toplotna razpoka
9. Vzdolžna razpoka
10. Razgradnja konice
11. Lom konice

# VRSTE OBRAB

- Obraba na prosti ploskvi :



Hitra obraba  
povzroča slabo  
kvaliteto površine in  
mersko  
nsnatančnost

## Najpogostejši vzroki:

Prevelika rezalna hitrost

Premala odpornost proti obrabi

## Možne rešitve:

Zmanjšati rezalno hitrost

Izbrati drugačen rezilni material

- **Toplotne razpoke :**



Mala razpoka pravokotno na konico povzroča slabo kvaliteto površine in krhanje.

**Najpogostejši vzroki:**

Oscilacija temperature

Slabo hlajenje

Prekinjen rez

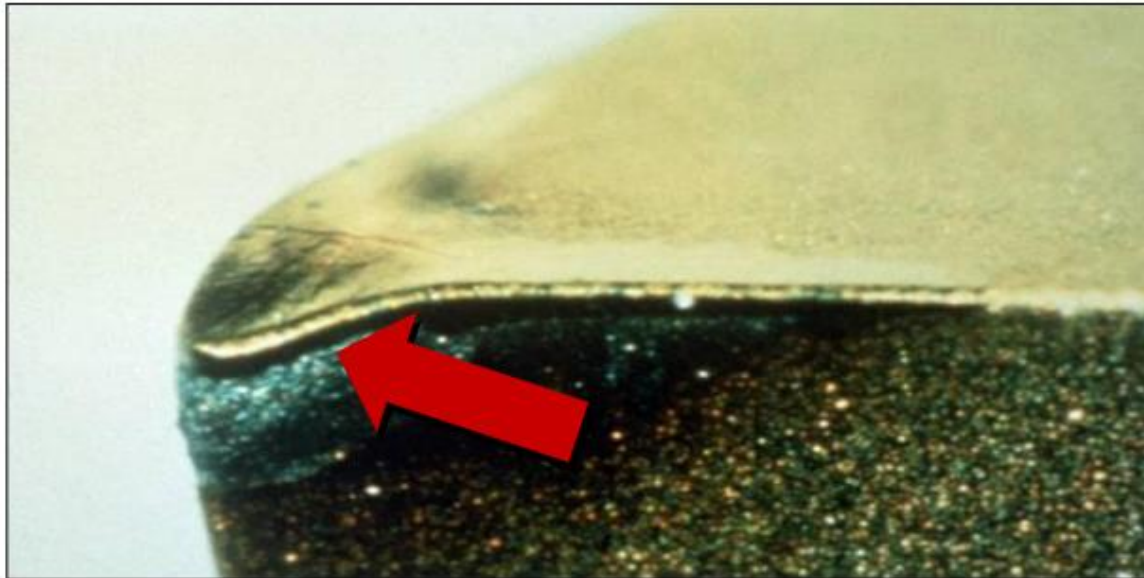
**Možne rešitve:**

Suha obdelava

Izbrati bolj žilav material

- **Plastična deformacija:**

Prevelika toplotna obremenitev in tlak



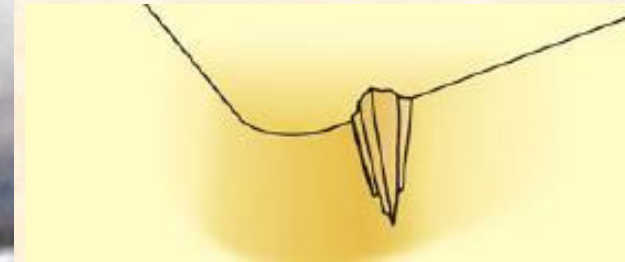
**Posledice:**

- Spremeni geometrijo rezalnega robu,
- Orodje izgubi rezalno sposobnost,
- Nekontrolirana oblika odrezkov, slabša kakovost obdelane površine.

**Možne rešitve**

- Izberite boljšo kvaliteto ploščice
- Zmanjšati rezalno in podajalno hitrost

- **Zareze** :



Povzročča slabo kvaliteto površine in velik rizik loma konice

**Najpogostejši vzroki:**

Prevelika rezalna hitrost

Premala odpornost proti obrabi

Oksidacija in abrazija na globini rezanja (oplaščno/neoplaščno orodje). Nastopi pri obdelavi nerjavečih jekel.

**Možne rešitve:**

Zmanjšati rezalno hitrost

Za kaljene mareriale manjši kot kapa

Izbrati orodje z boljšo obrabno trdnostjo

- **Kotanjasta obraba :**



Hitra obraba  
povzroča slabo  
kvaliteto površine  
slabšanje  
odpornosti konice

### **Najpogostejši vzroki:**

Difuzija in abrazija med rezalno ploščico in material obdelovancev.

Previsoke temperature in pritiski

### **Možne rešitve:**

Zmanjšati rezalno hitrost in pomik (manjša temperatura

Izbira pozitivne geometrije orodja

Izbrati drugačen rezilni material



- **Krhanje konice :**



Hitra obraba  
povzroča slabo  
kvaliteto površine in  
preveliko obrabo na  
prosti ploskvi

### **Najpogostejši vzroki:**

Konica je prekrhka

Nstanek nalepka

### **Možne rešitve:**

Povečati rezalno hitrost

Izbira pozitivne geometrije orodja

Izbrati drugačen rezilni material

Zmanjšati pomik na začetku reza

- **Nalepek** :

Material obdelovanca se navari na rezalni rob



Hitra obraba  
povzroča slabo  
kvaliteto površine in  
povzroča vibracije

**Najpogostejši vzroki:**

Prenizka temperatura

Težave pri nizkoogljiknih jeklih.

**Možne rešitve:**

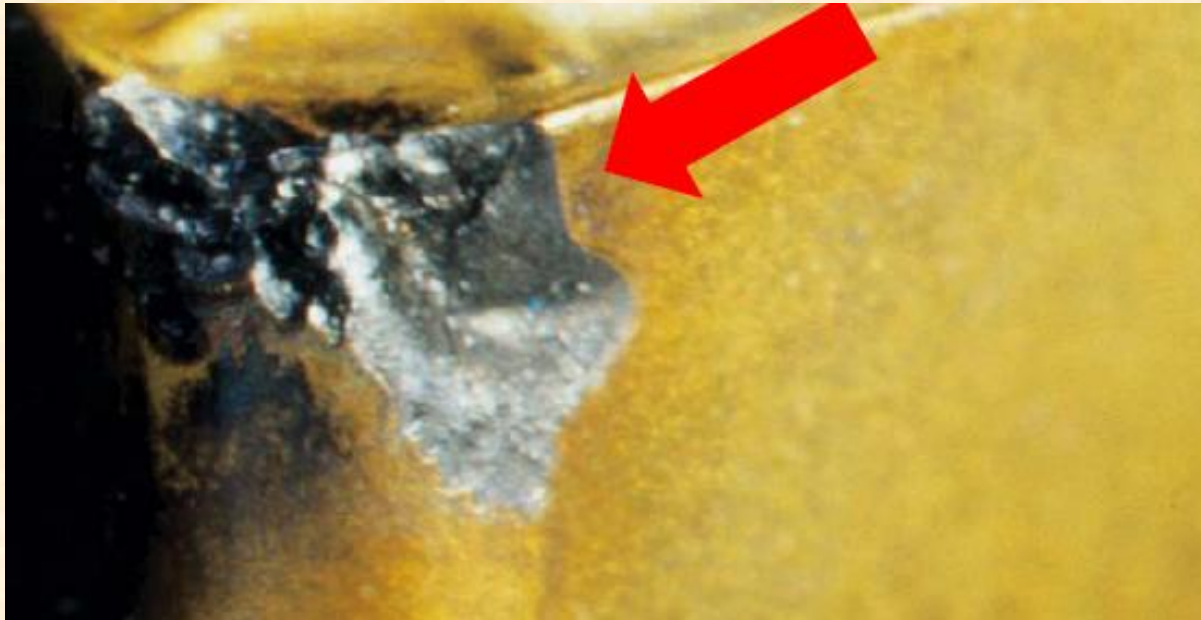
Povečati rezalno hitrost

Izbira pozitivne geometrije orodja

Izbrati primernejše orodje

- **Lom konice :**

Prešibak rezalni rob



Onemogoča  
obdelavo, možnost  
loma celega orodja  
ali podložne ploščice

**Najpogostejši vzroki:**

Prevelike napetosti

Nalepek

Slaba geometrija orodja

**Možne rešitve:**

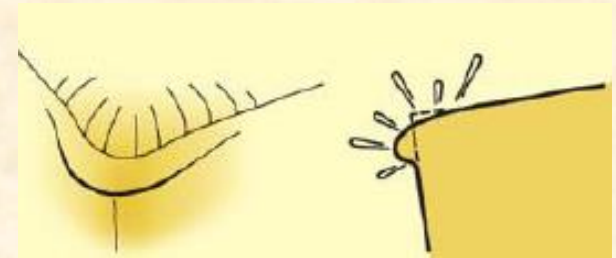
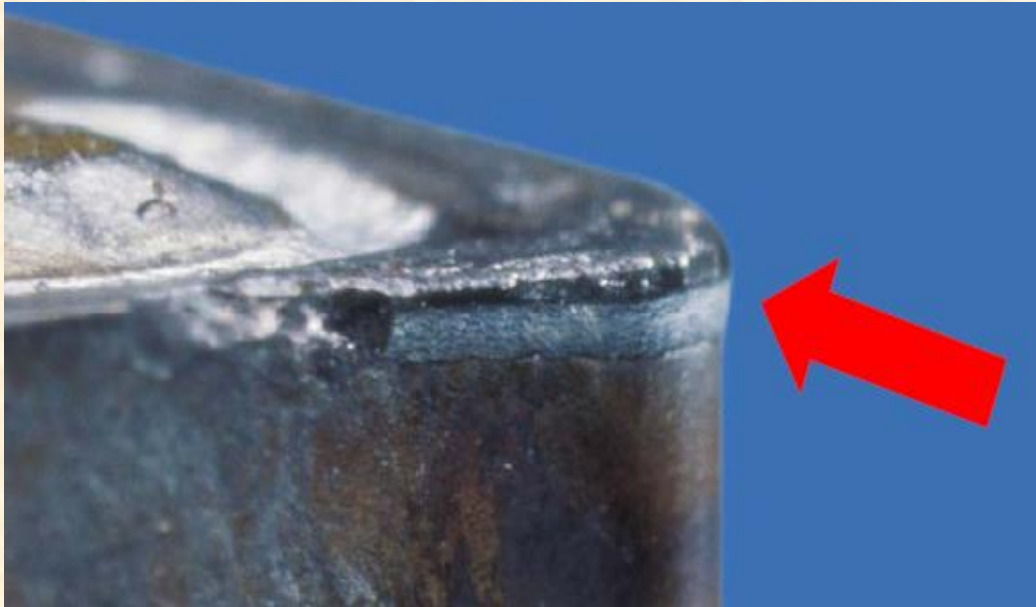
Zmanjšati rezalno hitrost, pomik,  
globino

Izbira močnejše geometrije orodja

Izbrati večjih ploščic,.....

- **Plastična deformacija :**

Prevelika toplotna obremenitev in tlak



Povzroča slabo kvaliteto površine, povzroča vibracije, velika možnost loma orodja

### **Najpogostejši vzroki:**

Prevelike napetosti

Nalepek

Slaba geometrija orodja

### **Možne rešitve:**

Zmanjšati, pomik, globino

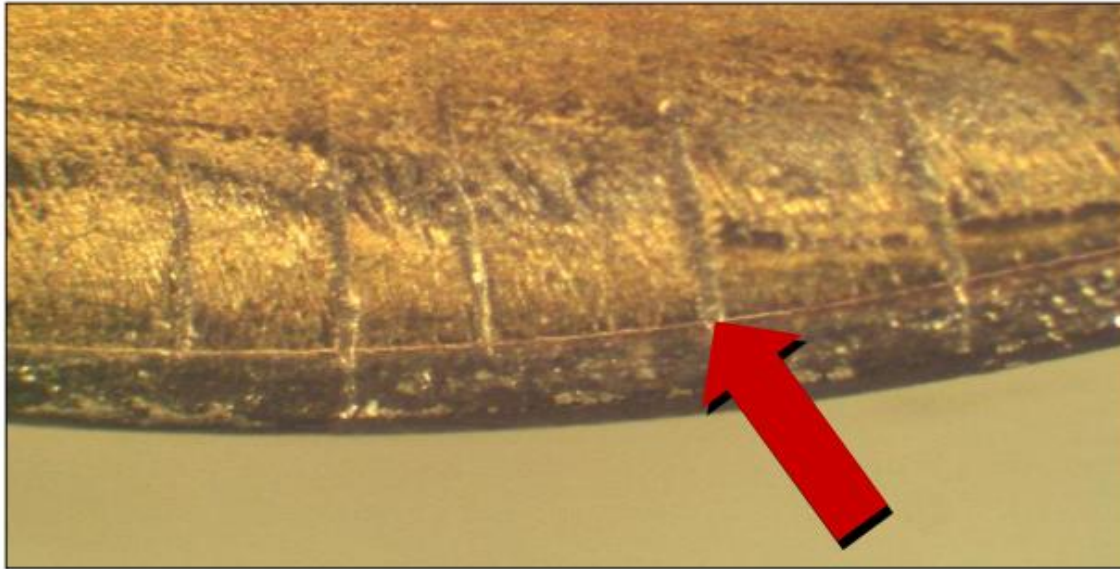
Izbira močnejše geometrije orodja

Izbrati večjih ploščic,.....

Izbrati bolj žilav material

- **Temperaturne razpoke:**

Nenehne spremembe temperature, temperaturni šoki



**Možne rešitve:**

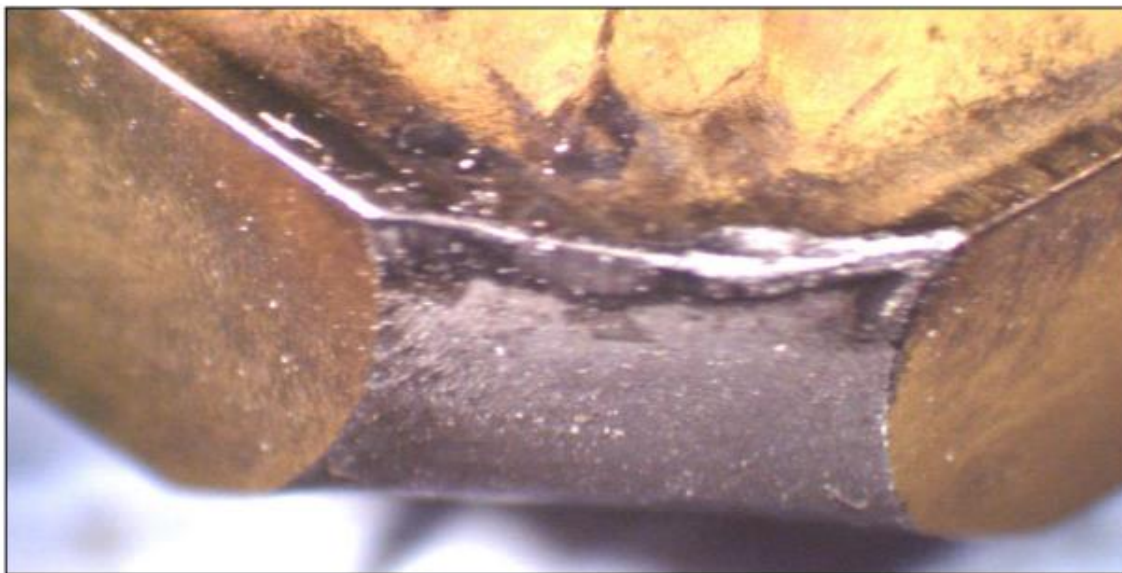
Stabilizirati temperaturo

Izbrati bolj žilav material

# VRSTE OBRAB

- **Lom rezalnega roba:**

Prekomerna obraba orodja



## Možne rešitve:

Zmanjšati hitrost pomika

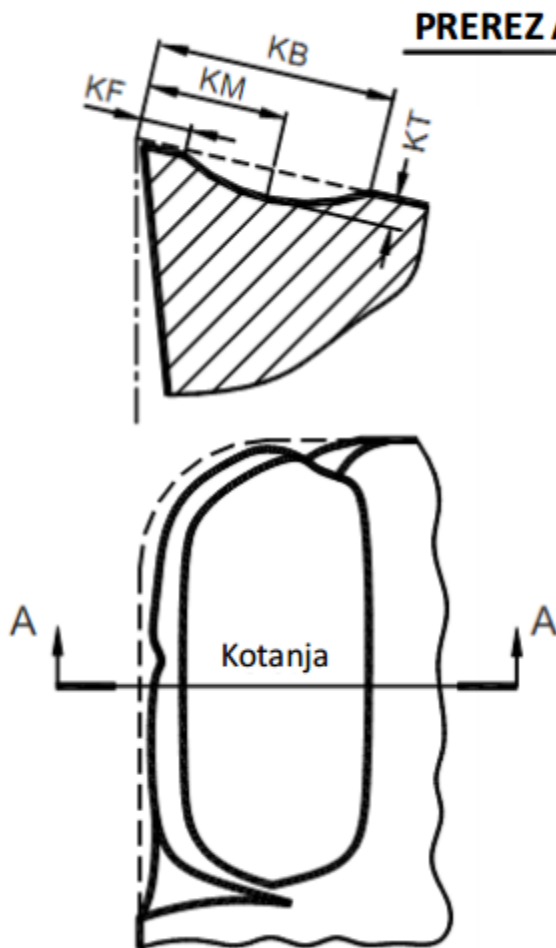
Zmanjšati rezalno hitrost

Izbrati bolj žilav material rezalne ploščice

Zaradi **prikazanih obrab** in zaradi **različnih kriterijev za zamenjavo orodja** je težko določiti pravi trenutek za zamenjavo le-tega. V vsakem primeru se moramo izogibati najslabše situacije, ko se konica orodja odlomi. Pred tem dogodkom se navadno pojavljajo značilni znaki na orodju ali obdelovancu, ki neposredno ali posredno kažejo na prekomerno obrabo orodja oz. rezalnega robu:

- oblikuje se prstan okrog obdelovanca,
- potrebna je večja moč stroja za obdelavo,
- obdelovanec se prekomerno pregreva,
- nekontrolirano oblikovanje odrezkov (neugodni odrezki),
- mere obdelovanca so izven toleranc,
- prisotni so odkruški,
- prekomeren hrup med obdelavo,
- kakovost obdelane površine je slaba,
- neenakomeren odvod toplote med obdelavo,
- prisotnost prekomernih vibracij.

Standard ISO 3685:1993 predpisuje tipe obrabe ter kriterije za zamenjavo orodja.



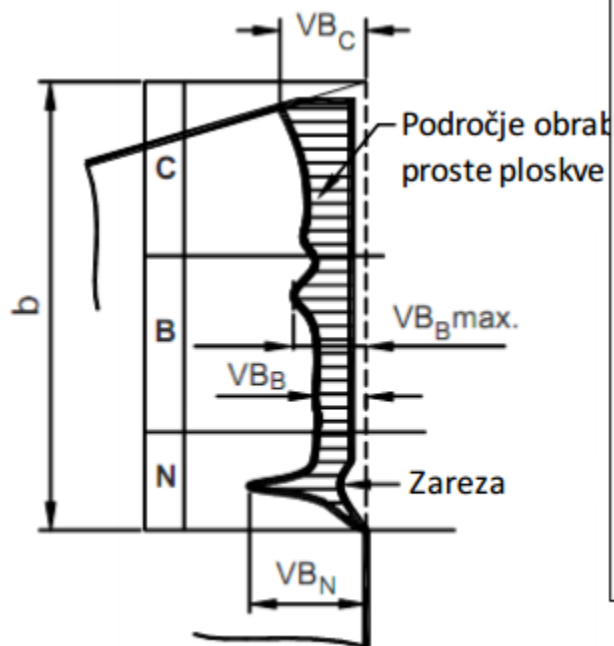
**PREREZ A-A**

KM = pozicija centra kotanje

KF = razdalja od roba kotanje do rezalnega robu

KB = širina kotanje

VB = obraba proste ploskve



*Kriterij za zamenjavo orodja*

• *Karbidne trdine*

1.  $VB = 0,3 \text{ mm}$  ali
2.  $VB_{Max} = 0,6 \text{ mm}$  (če je VB neenakomerna) ali
3.  $KT = 0,06 + 0,3 \times f$ .

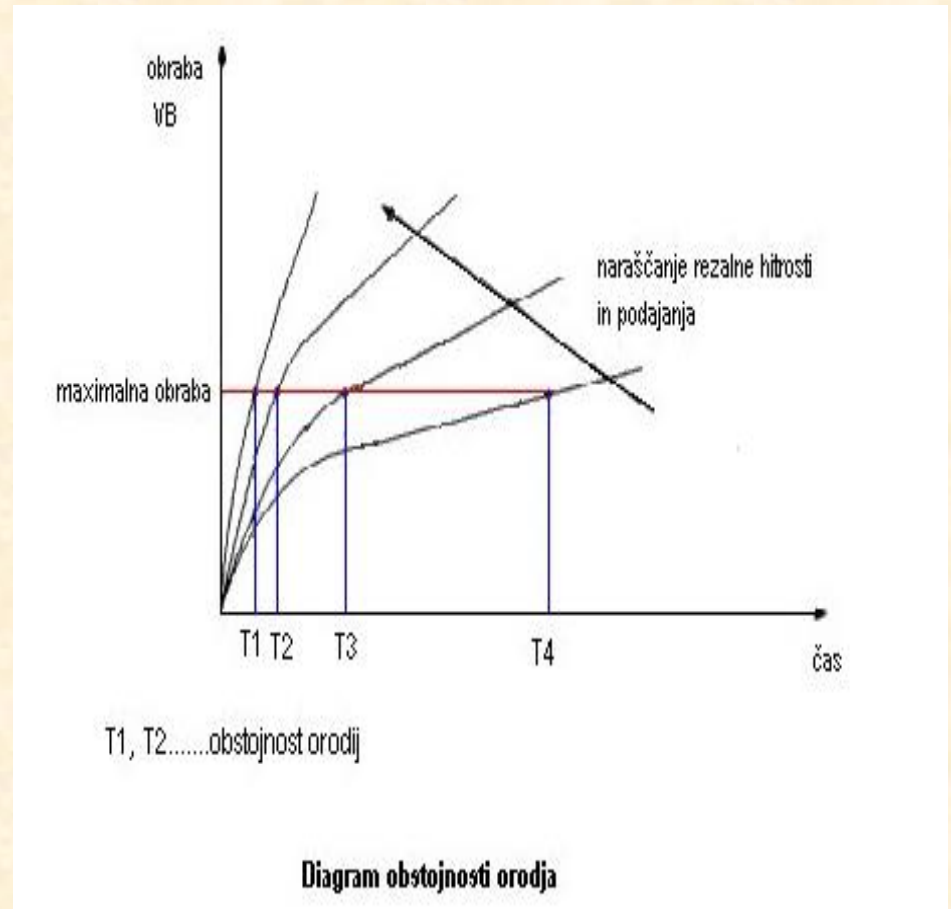
• *Hitrorezno jeklo HSS in rezalna keramika*

1. Lom orodja ali
2.  $VB = 0,3 \text{ mm}$  (če je VB enakomerna v področju B) ali
3.  $VB_{Max} = 0,6 \text{ mm}$ , če je VB neenakomerna v področju B.



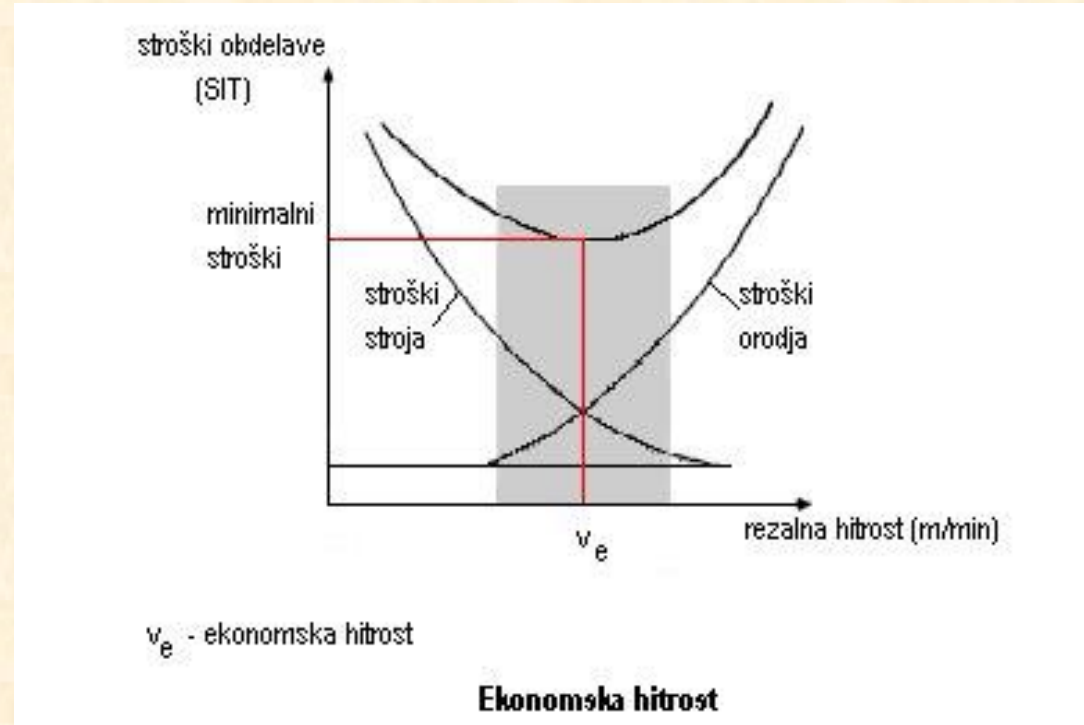
# OBSTOJNOST ORODJA IN IZBIRA USTREZNE HITROSTI

Orodje je za delo sposobno tako dolgo, dokler ne pride do loma ali kake druge oblike popolne obrabe in delo z njim ni več smotno. **Obstojnost orodja lahko definiramo kot čas učinkovitega dela orodja, v katerem je prišlo do takšne obrabe, da nadaljnje delo ni več mogoče.**



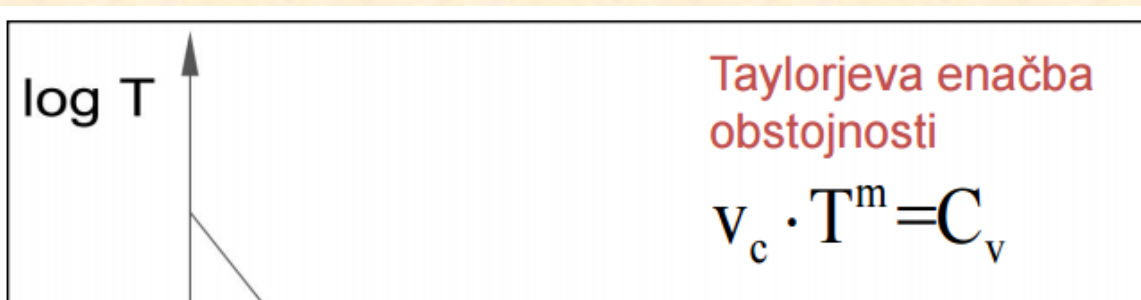
# OBSTOJNOST ORODJA IN IZBIRA USTREZNE HITROSTI

Kolikor hitreje delamo, toliko večji so stroški za brušenje in zamenjavo orodja, saj je obraba večja; nižji pa so pri tem stroški za stroj, saj naredimo več izdelkov. Presek obeh krivulj nam da *ekonomsko hitrost*.



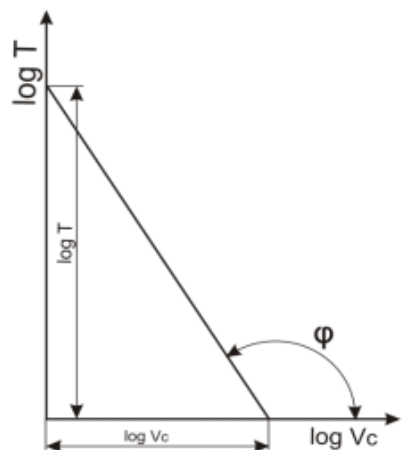
# TAYLORJEVA ENAČBA OBSTOJNOSTI

Obstojnost orodja je odvisna je od velikega števila faktorjev, največji vpliv pa ima **materiala orodja in obdelovanca in rezalna hitrost**. Diagram, ki kaže odvisnost obstojnosti orodja T od rezalne hitrosti je prikazan na spodnji sliki:



Taylorjeva enačba  
obstojnosti

$$v_c \cdot T^m = C_v$$



$$\log T = \log C + \tan \varphi \cdot \log v_c$$

T.....čas obstojnost orodja (min)

v<sub>c</sub>.....rezalna hitrost (m/min)

m.....eksponent obstojnosti

Odvisen je od:

- materiala obdelovanca
- materiala in geometrije orodja
- orodja
- hladilnega sredstva

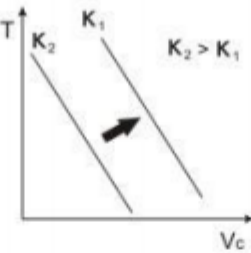
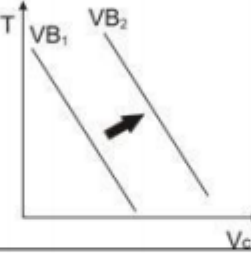
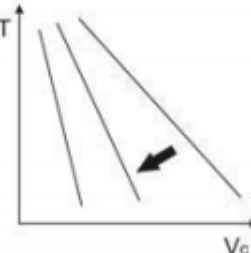
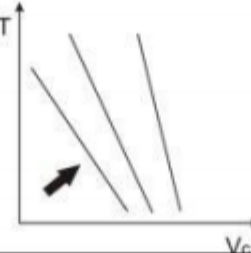
C<sub>v</sub>..... konstanta - rezalna hitrost, pri kateri bi bila obstojnost T=1

Odvisna od:

- podajanja
- globine rezanja
- deloma pa tudi od obdelovanca in orodja

# VPLIVI NA PREMICO OBSTOJNOSTI

| VELIČINA                                       |  | Vpliv na obstojnost   |
|--|--|---|
| Povečanje globine rezanja<br>$a_1 < a_2 < a_3$ |  | Zmanjšanje obstojnosti v kolikor se globina rezanja povečuje. Povečanje globine je omejeno in povezano z materialom obdelovanca, obliko rezalnih ploščic, stabilnosti procesa,...   |
| Povečanje podajanja<br>$f_1 < f_2 < f_3$       |  | Povečanje podajalne hitrosti zmanjšuje obstojnost orodja. Maksimalno podajanje je omejeno z hrapavostjo površine, tvorjenjem odrezkov na rezalnem orodju,...  |
| Uporaba hladilno mazalnega sredstva            |  | Hladilno mazalno sredstvo povečuje obstojnost orodja. Zlasti je uporaba HMT smotrna pri procesih, kjer se ustvarjajo visoke temperature, kjer se lahko pojavijo temperaturne razpoke, plastična deformacija, nalepek na cepilni ploskvi,... |

|   |  |   |
|---|--|---|
| <p>Zmanjšanje nastavnega kota<br/> <math>\kappa_2 &gt; \kappa_1</math></p>    |    | <p>Zmanjšanje nastavnega kota pozitivno vpliva na obstojnost orodja. Obraba rezalnega roba se porazdeli na daljši rezalni rob. Minimalni nastavni kot je odvisen od oblike obdelovanca in omejen s stabilnostjo procesa</p> |
| <p>Zvišanje dovoljenega kriterija obrabe<br/> <math>VB_1 &lt; VB_2</math></p> |    | <p>Orodju podaljšujemo življenjsko dobo. S tem varnost procesa pada, saj se povečuje možnost loma rezalne konice.</p>   |
| <p>Slabša obdelovalnost materiala</p>   |    | <p>Material obdelovanca vpliva na lego in naklon premic obstojnosti. Velik naklon pomeni odločilen vpliv toplote na obstojnost. Rezalno hitrost lahko spreminjamo le znotraj ozkih meja.</p>                                |
| <p>Boljši obrabno obstojen material orodja</p>                                |  | <p>Boljši rezalni material ima večjo obstojnost. Zelo obrabno obstojno orodje dovoljuje višje rezalne hitrosti in/ali obstojnosti.</p>  |

## **Zapis obstojnosti orodja:**

**Zapis obstojnosti orodja:**

**Vc60=120m/min**

**Zapis pomeni, da ima orodje  
obstojnost 60 min če bo rezalo z  
rezalni hitrostjo 120m/min.**

*maksimalna hitrosti* -  $V_{60}$  . To je tista rezalna hitrost, ki nam da v času 60 minut predpisano maksimalno obrabo in orodje ni več sposobno delati. V tem primeru pomeni 60 minut obstojnost orodja, in ta čas je standardiziran. Poleg 60 min poznamo še čas obstojnosti 240 in 480 minut.

# METODE MERJENJA OBRABE

Metode merjenja obrabe delimo na:

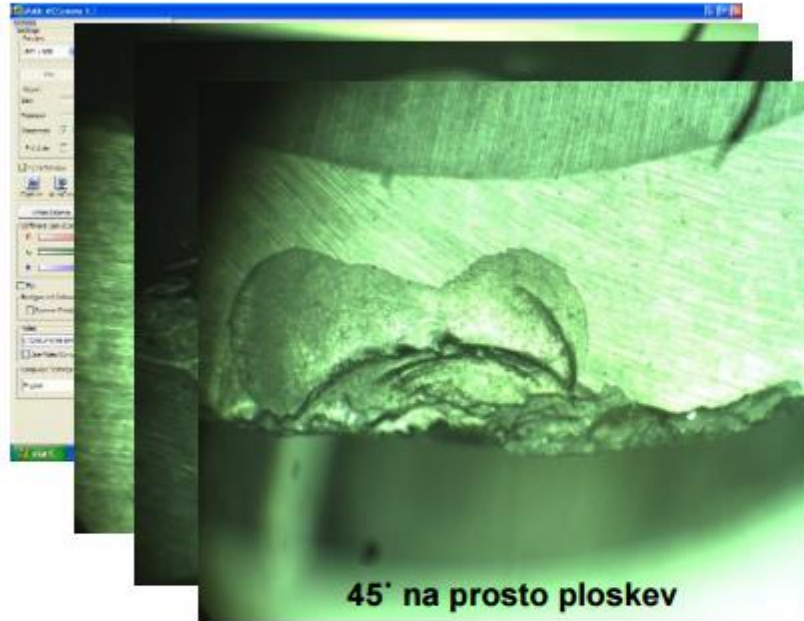
## 1. Neposredne:

- orodjarskih ter elektronskih mikroskop,
- različne izvedbe računalniškega vida ter
- dotične metodami.

## 2. Posredne:

- analiza signalov akustične emisije,
- merjenje vibracij,
- spremljanjem rezalnih sil in posledično momentov glavnih vreten.

# Orodjarski mikroskop



Izmerimo lahko: VB, KB, KM, KF

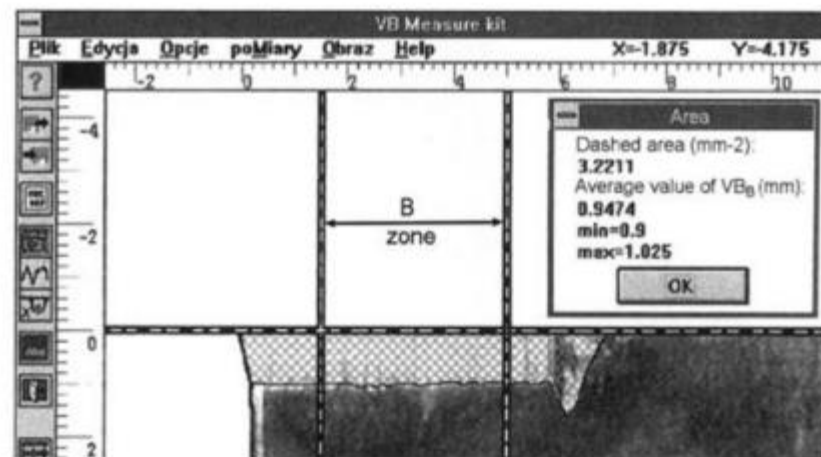
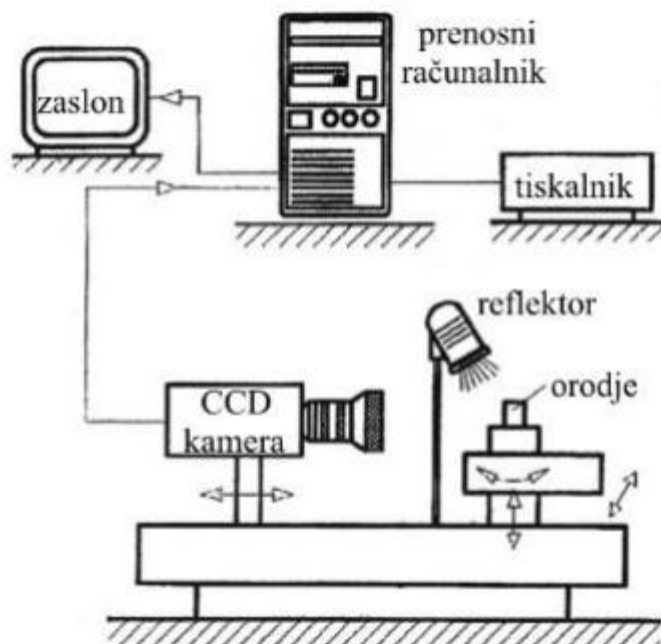
Slabosti metode:

- subjektivni nivo merjenja,
- ni mogoče meriti globine kotanje KT (3D obrabe),
- orodje je potrebno izpeti iz obdelovalnega stroja.





## CCD kamera



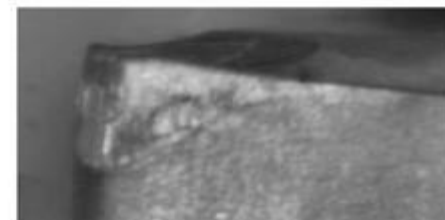
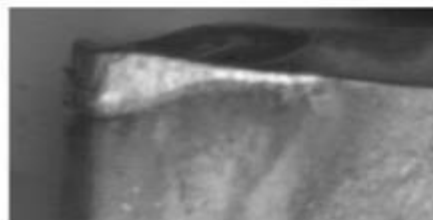
Izmerimo lahko: VB, KB, KM, KF

Prednosti metode:

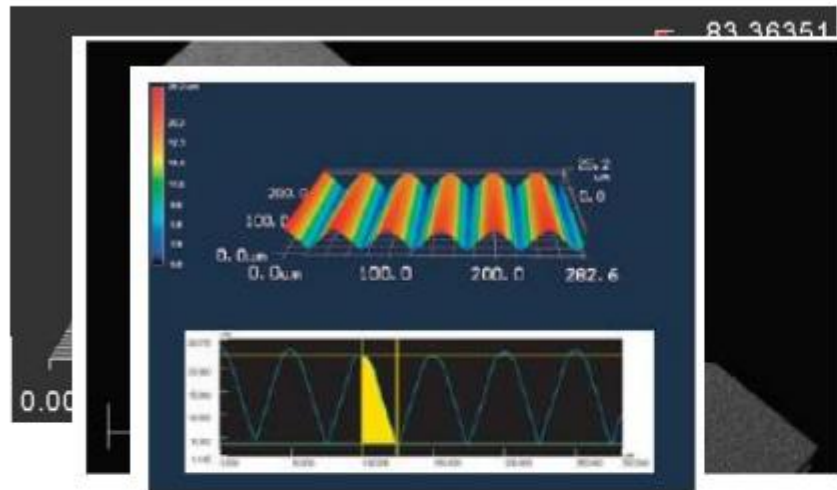
- digitalni zajem slike

Slabosti metode:

- ni mogoče meriti globine kotanje KT (3D obrabe).



# Interferometer



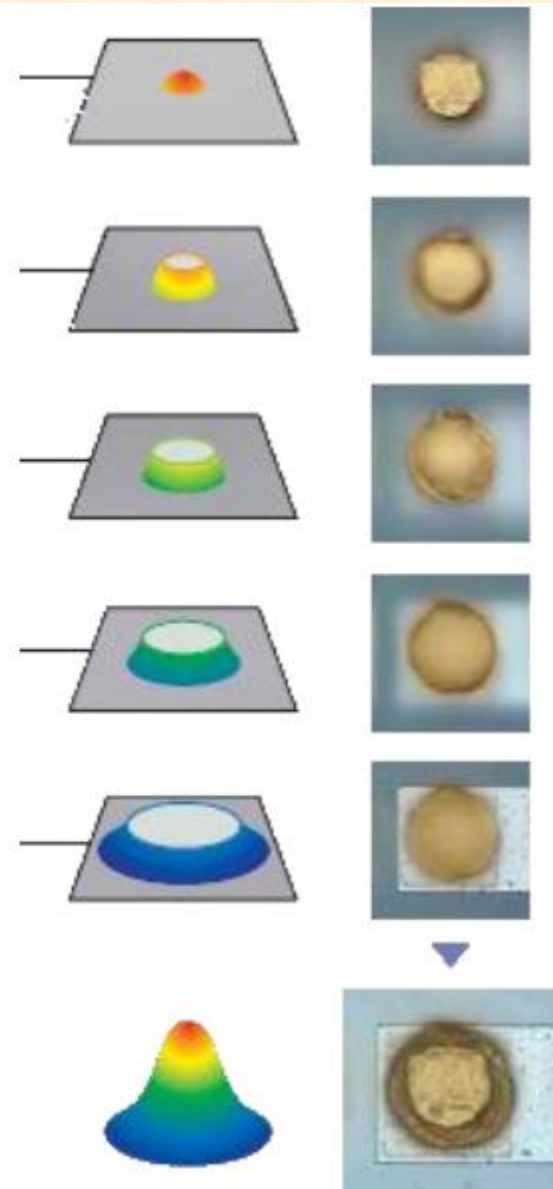
Izmerimo lahko: KT, VB, KB, KM, KF

Prednosti metode:

- zelo natančen 3D popis površine.

Slabosti metode:

- orodje je potrebno izpeti iz obdelovalnega stroja,
- visoka cena.



## Optična triangulacija

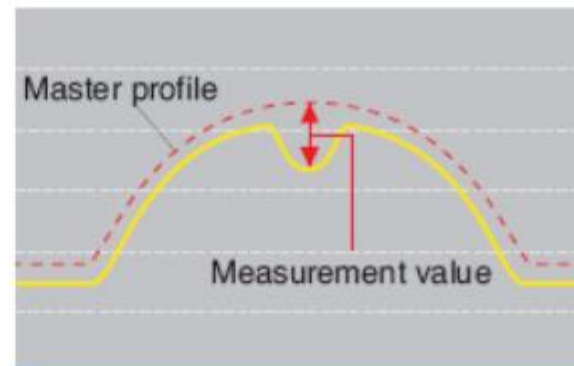
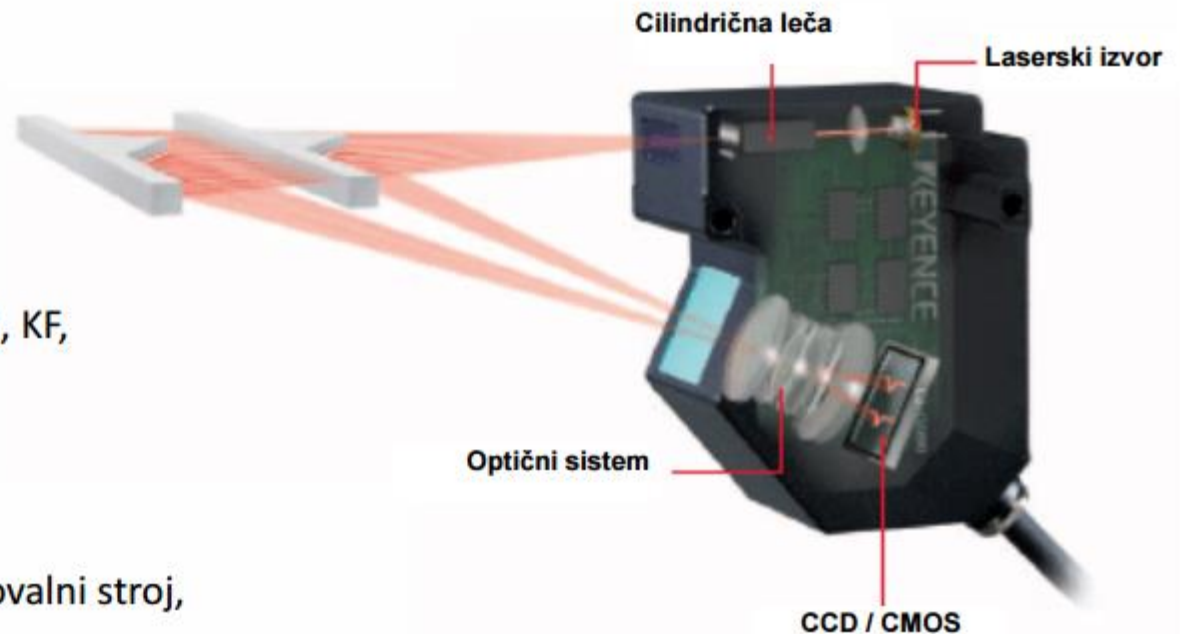
Izmerimo lahko: KT, VB, KB, KM, KF,  
geometrijo rezalne ploščice.

Prednosti metode:

- 3D popis površine obrabe,
- možnost montaže na obdelovalni stroj,
- sprotno merjenje obrabe,
- natančnost v razmerju z območjem.

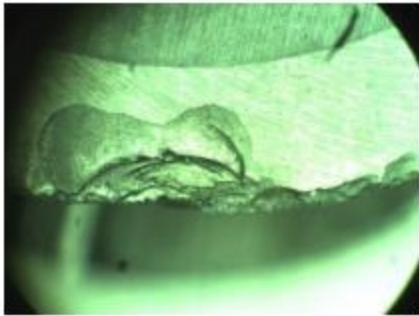
Slabost:

- odbojnost materiala.



## Primer merjenja 3D obrabe z pomočjo laserske triangulacije

2D obraba cepilne in  
proste ploskve



3D obraba rezalnega roba\*

