



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA

Predmet: **Osnovi mašinskih tehnologija**

Nastavnik: *Prof. dr Marin Gostimirović*



TEHNOLOGIJA OBRADE SKIDANJEM MATERIJALA

Novi Sad, šk. 2014/2015. god.

TEHNOLOGIJA OBRADRE REZANJEM

Uvod

- ★ *Tehnologija obrade rezanjem* datira iz Kamenog doba
- ★ Pri izradi prvih naprava (kretanja) i alata (rezná geometrija) korišćeni su *principi poluge i klina*, čija se osnova i danas koristi pri izradi najsavremenijih obradnih sistema.
- ★ Odlučujući uticaj na intenzivan *razvoj tehnologije obrade rezanjem* imao je period industrijske revolucije od druge polovine XVIII veka (pronalazak parne mašine, J. Watt 1766. godine).

Upravo u tom periodu su izrađene i *prve industrijske mašine* za obradu rezanjem.

- ★ XV vek - bušilice za topovske cevi; J. Wilkinson 1775. - prvi strug; do kraja XIX veka – razvoj svih klasičnih mašina za obradu rezanjem.
- ★ Krajem XIX i početkom XX veka F.W. Taylor sprovodi prva sistematska istraživanja procesa obrade rezanjem
- ★ Od 1952. (J. Parsons) razvoj računarski numerički upravljanih alatnih mašina

TEHNOLOGIJA OBRADRE REZANJEM

Mesto i značaj obrade rezanjem

- ★ Ključno mesto u savremenoj proizvodnji, pre svega zbog sve strožijih zahteva u pogledu fleksibilnosti i kvaliteta obrade.

Osnovne prednosti tehnologije obrade:

- visoki stepen prilagodljivosti raznim oblicima proizvodnje;
- mogućnost postizanja visoke tačnosti i kvaliteta obrade;
- izvođenje niza zahvata na istom obradnom sistemu;
- visoka produktivnost i ekonomičnost kod maloserijske proizvodnje;
- sposobnost obrade teško obradljivih materijala;
- mogućnost obrade makro, mikro i složenih delova;
- primena visokog stepena automatizacije i integracije obradnih sistema itd.

Osnovni nedostaci tehnologije obrade rezanjem su:

- generisanje veće količine strugotine;
- značajno vreme neposredne pripreme proizvodnje;
- moguće promene stanja površinskog sloja materijala obratka;
- prisutni troškovi pripreme, zamene i trošenja alata i sl

TEHNOLOGIJA OBRADRE REZANJEM

Klasifikacija postupaka obrade rezanjem

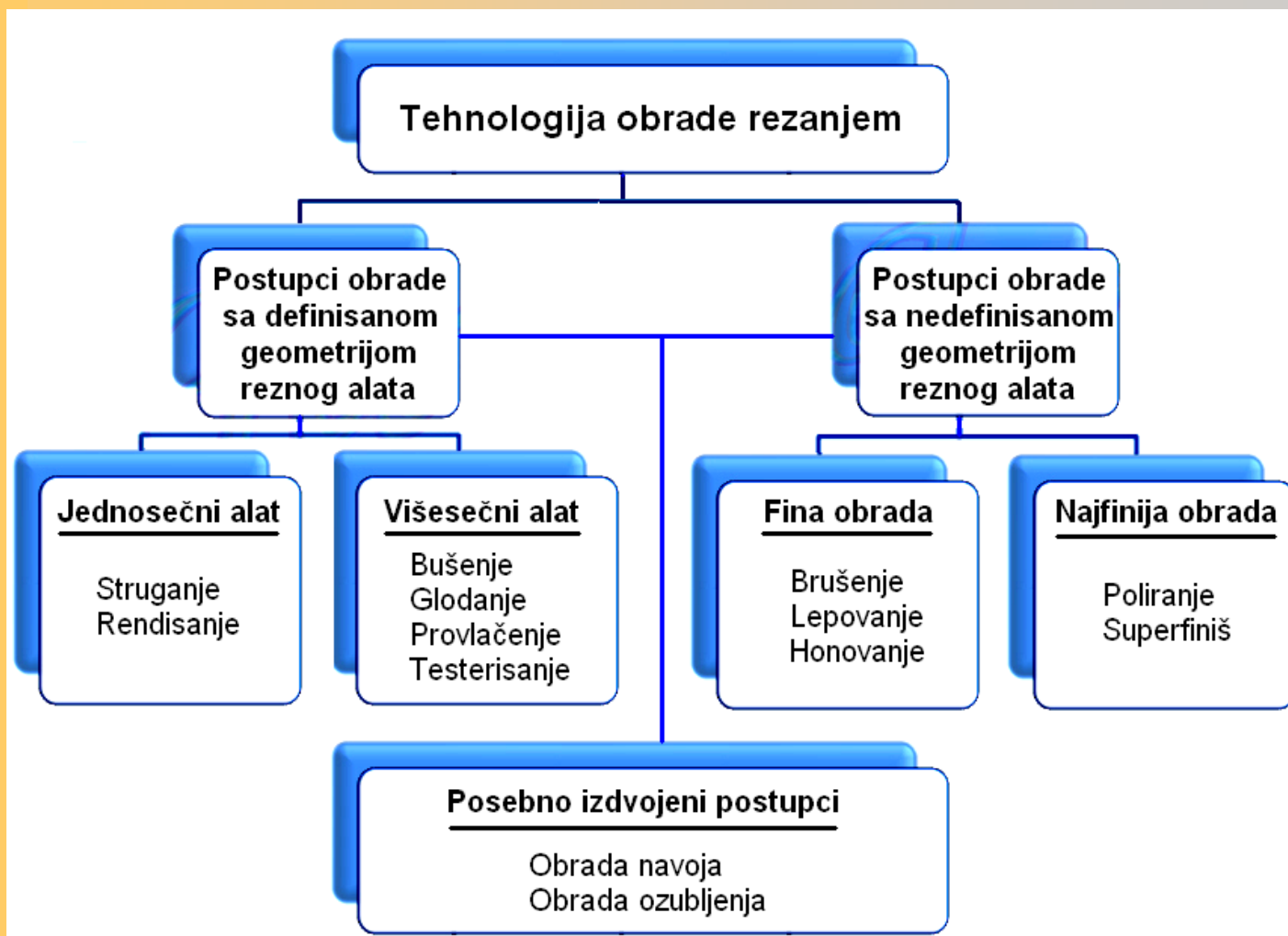
- ★ **Postupci obrade rezanjem** odlikuju se identičnim mehanizmom skidanja materijala, a međusobno se razlikuju po geometrijskom obliku alata, kinematici kretanja pri obradi, metodi oblikovanja površina i sl.

Mnogobrojne **podele** postupaka obrade rezanjem su:

- ✓ metode rezanja alatima sa *definisanom* i *nedefinisanom* geometrijom sečiva;
- ✓ metode rezanja *jednosečnim* ili *višesečnim* alatima;
- ✓ postupci obrade sa glavnim *kružnim* ili *pravolinijskim* kretanjem;
- ✓ metode *grube* i *fine* obrade;
- ✓ postupci obrade *makro*, *mikro* i *nano* dimenzija;
- ✓ postupci obrade *rotacionih*, *prizmatičnih* ili *složenih* površina itd

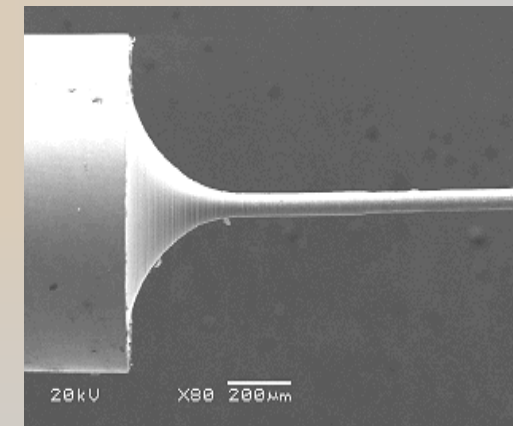
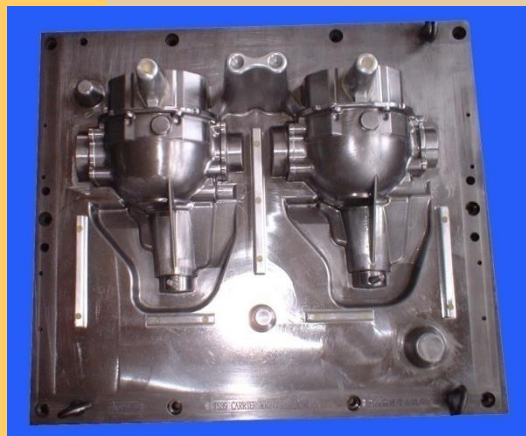
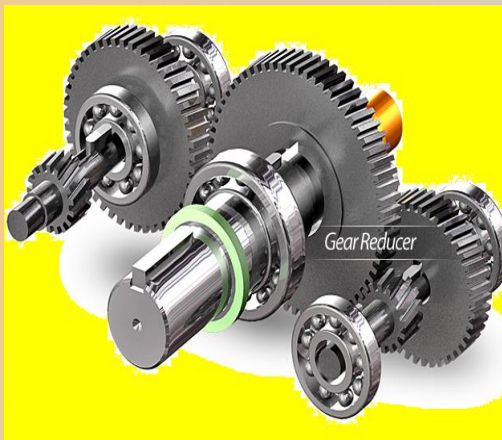
TEHNOLOGIJA OBRADRE REZANJEM

Osnovna klasifikacija postupaka obrade rezanjem



TEHNOLOGIJA OBRADJE REZANJEM

Primena tehnologije obrade rezanjem



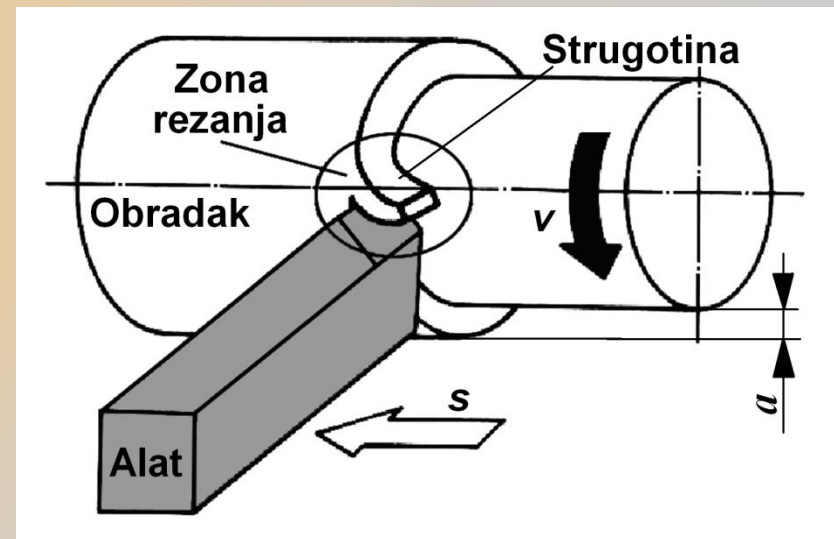
Koristi se za obradu gotovo svih vrsta materijala, finalnih delova i komponenti, alata, dotrajalih delova, mikroelemenata i sl.

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Mehanizam rezanja

- ★ Oblikovanje proizvoda se sastoji u **uklanjanju viška materijala** sa predmeta obrade.
- ★ **Proces obrade rezanjem** se ostvaruje **posredstvom sile i reznog alata** znatno veće tvrdoće od materijala predmeta obrade.
- ★ Skinuti sloj materijala sa predmeta obrade naziva se **strugotina**
- ★ Proces skidanja materijala odvija se u vrlo uskom prostoru koji se naziva **zona rezanja**.
- ★ U tom prostoru nastaje niz fizičko-hemijskih procesa i **prpratnih pojava**.



OBRADNI SISTEM

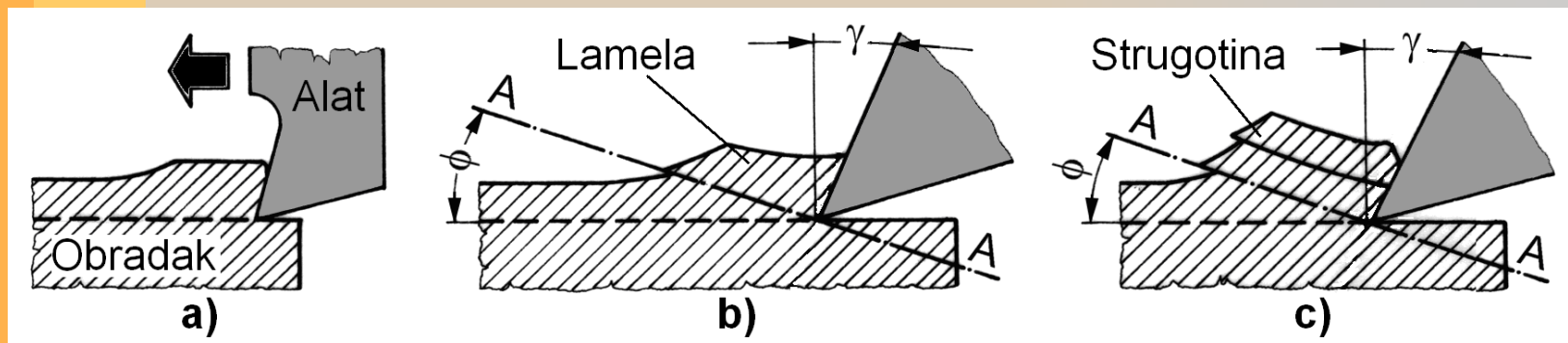
Osnove obrade rezanjem

Proces obrazovanja strugotine

- ★ Složeni prostorni **proces obrazovanja strugotine** obuhvata: *primarnu, sekundarnu i tercijalnu zonu deformacije*.

Jednostavni model sa jednom ravni smicanja A-A određenom uglom smicanja ϕ

- ★ U *prvoj fazi* vrši se **elastično i plastično sabijanje** materijala ispred grudne površine alata.
- ★ U *drugoj fazi* kad napon u materijalu dostigne jačinu materijala na kidanje nastaje **razdvajanje (smicanje) sabijenog dela** materijala u ravni A-A ispred sečiva alata.
- ★ U *trećoj fazi* dolazi do **sukcesivnog ponavljanja sabijanja i smicanja** materijala čime se obrazuje odgovarajuća strugotina koja klizi uz grudnu površinu alata.



OBRADNI SISTEM

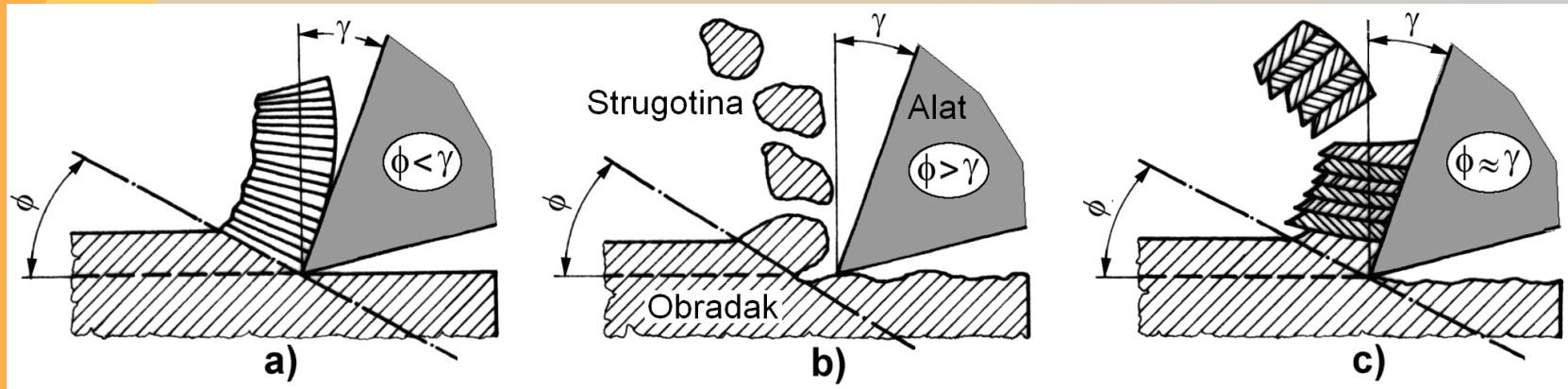
Osnove obrade rezanjem

Osnovne vrste strugotine

- ★ Zavisno od odnosa ugla smicanja ϕ i grudnog ugla alata γ mogu nastati tri osnovna oblika strugotine: *trakasta*, *kidana* i *rezana*.

Vrste strugotine pri rezanju, osim od odnosa uglova ϕ i γ , **zavisi** i od

- *Materijala obratka* (kod krutih materijala (sivi liv, obojeni metali i dr.) nastaje kidana strugotina, a kod plastičnih materijala (npr. čelici) trakasta strugotina)
- *Brzine rezanja* (kod manjih brzina rezanja dobija kidana strugotina i obrnuto)
- *Dubine rezanja i pomaka* (male vrednosti daju trakastu strugotinu i obrnuto)



OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Značaj vrste strugotine

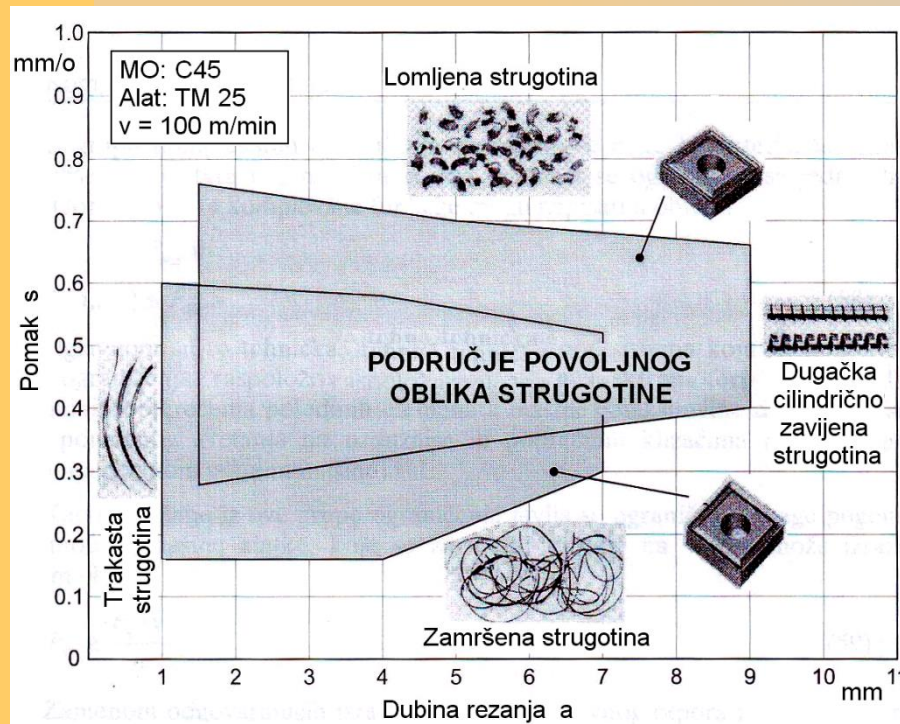
- ★ Pitanje vrste strugotine je izuzetno važno sa stanovišta *hrapavost obrađene površine* i *odvođenja strugotine iz zone rezanja*.
- ★ Kod *trakaste strugotine* nastaje glatka obrađena površina, ali je izrazito nepovoljno njeno odvođenje iz zone rezanja. *Kidana strugotina* prouzrokuje veliku hrapavost površine, ali se veoma lako odstranjuje iz zone rezanja.
- ★ Razlikuju se *povoljni oblici strugotine* (rezana, lomljena, lamelarna, kratka i sl.) i *nepovoljni oblici strugotine* (trakasta, kontinualna, dugačka, zamršena i sl.), kao i niz drugih *prelaznih oblika* (kidana, zavojna, spiralna, drobljena i sl.).
- ★ Pitanje dobijanja povoljnih oblika strugotine postaje *jako značajno kod automatskih mašina* alatki gde nema poslužioca tokom samog procesa
- ★ Zbog prirode rezanja problem stvaranja nepovoljnih oblika strugotine prisutan samo kod obrade *struganjem i bušenjem*

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Upravljanje oblikom strugotine

- ★ Izborom odgovarajuće geometrije alata i elemenata režima obrade
- ★ Primenom izvedenog lomača na grudnoj površini alata ili postavljanjem dodatnog lomača na rezu pločicu (plansko lomljenje strugotine).



OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Mehanika rezanja

- ★ Mehanička sila kojom alat deluje na predmet obrade u procesu rezanja se definiše kao *sila rezanja*.
- ★ Kako materijal pruža otpor prodiranju alata, nastaje *otpor rezanja*.
- ★ *Sile i otpori rezanja* su jednaki po vrednosti, imaju isti pravac, a suprotan smer delovanja.
- ★ Poznavanje zakonitosti sila rezanja ima veliki značaj u obradnim procesima jer iste *iskazuju karakter stanja i ponašanja procesa* rezanja.

Identifikacijom sila rezanja moguće je sprovesti:

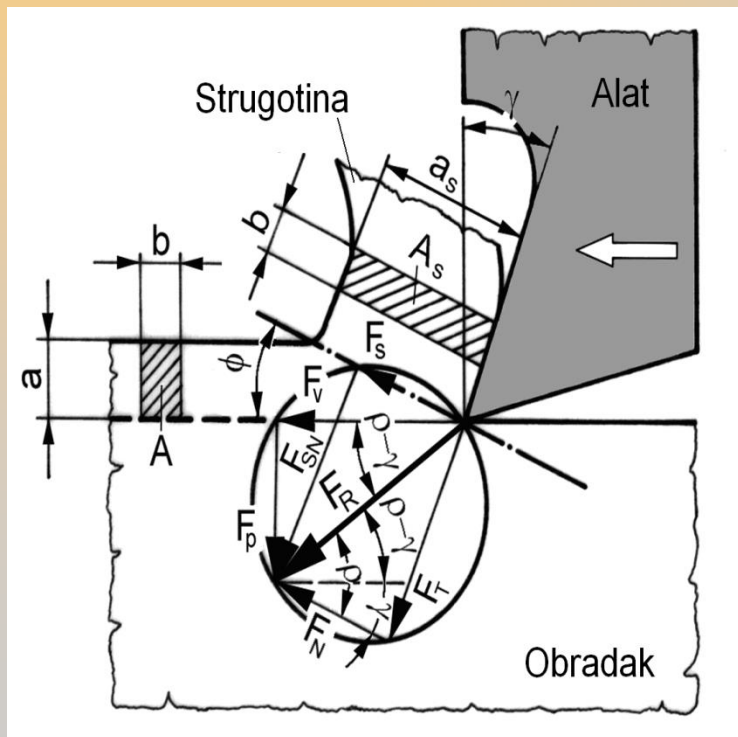
- ✓ *racionalno konstruisanje i eksploatisanje elemenata obradnih sistema;*
- ✓ *proračun snage rezanja;*
- ✓ *izbor merodavnih elemenata režima obrade;*
- ✓ *proveru moguće tačnosti obrade;*
- ✓ *optimizaciju i upravljanje procesa obrade i dr*

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Sile rezanja

- ★ Slučaj ortogonalnog rezanja (M. E. Merchant) i razlaganje rezultujuće sile rezanja na više pravaca, tj. komponenata



F_R - rezultujuća sila rezanja
 F_V - glavna sila rezanja
 F_P - sila prodiranja
 F_T - sila trenja
 F_N - normalna sila
 F_S - sila smicanja
 F_{SN} - normalna sila smicanja

γ - grudni ugao alata
 ρ - ugao trenja
 ϕ - ugao smicanja
 a - debljina reznog sloja
 b - širina reznog sloja
 a_s - debljina strugotine
 A - površina režućeg sloja
 A_s - presek strugotine

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Glavna sila rezanja

- ★ **Glavna sila rezanja** F_v ima najveći značaj pri obradi rezanjem.
- ★ Pošto se poklapa sa pravcem brzine rezanja koristi se **pri određivanju snage glavnog kretanja**, kao i pri niz drugih analiza.
- ★ Druge komponente, najčešće se izražavaju preko glavne sile rezanja
- ★ Za određivanje glavne sile rezanja koristi se veliki broj jednačina koncipirane na teoretskim preporukama ili eksperimentalnim ispitivanjima
- ★ **Osnovnu jednačina** za određivanje glavne sile rezanja 1927. godine razvio je M. Kronenberg

$$F_v = k_v \cdot A$$

k_v - specifični otpor rezanja koji prvenstveno zavisi od vrste materijala obratka
 $A=a \cdot b$ - površina poprečnog preseka režućeg sloja (a - dubina rezanja; b - širina režućeg sloja).

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Snaga rezanja

- ★ Pri određivanju potrebne snage za savladavanje otpora rezanja uzima se u obzir samo **snaga potrebna za savladavanje glavnog otpora rezanja**, jer se snaga otpora prodiranja i pomoćnog kretanja (zbog malih brzina) može zanemariti.
- ★ **Snaga rezanja** može se odrediti pomoću jednačine

$$P_v = F_v \cdot v$$

- ★ **Snaga pogonskog elektromotora obradnog sistema**, kada se uključi snaga gubitaka u prenosnim elementima (otpori trenja)

$$P_M = \frac{F_v \cdot v}{\eta}$$

Osnove obrade rezanjem

Termodinamika rezanja

- ★ Usled plastične **deformacije** materijala obratka i trenja kontaktnih površina, razvija se u zoni rezanja velika količina toplotne energije.
- ★ U procesu rezanja, skoro celokupna dovedena mehanička energija W se transformiše u ***toplotnu energiju***

$$Q \approx W = F_v \cdot v \cdot t$$

- ★ Intenzivan razvoj toplotne energije dovodi do **visoke temperature** koja može štetno da deluje na obradak i alat.

Značaj izučavanja *termodinamike rezanja*:

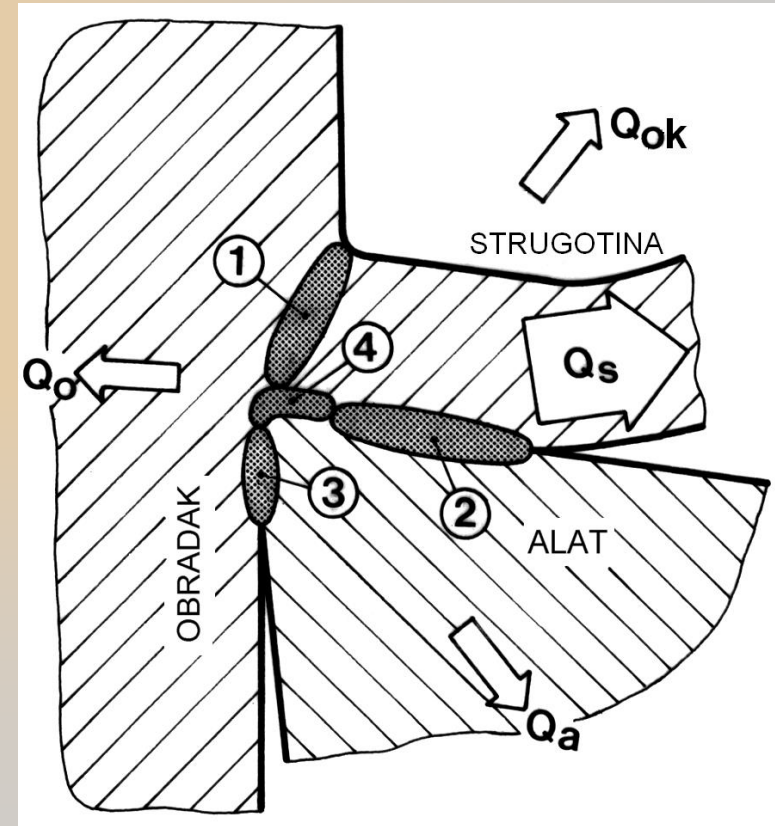
- *istraživanja raznih pojava koje se javljaju u procesu rezanja;*
- *upravljanja tačnošću izrade i kvalitetom obrađene površine;*
- *poboljšanja radne sposobnosti alata;*
- *optimizacije obradnih procesa itd*

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Toplotna energija rezanja

- ★ Pretvaranje mehaničke energije u toplotnu se odvija u zoni smicanja ①, razdvajanja ④, kontakta alata i strugotine ②, kao i leđne površine alata i obratka ③
- ★ Najveći deo generisane toplote je posledica **plastične deformacije sloja** materijala obratka (60÷80 %). Sledi deo toplote koji nastaje zbog **trenje strugotine** po grudnoj površini (10÷30 %).
- ★ Od navedenih izvora se **toplotna energija odvodi** provođenjem, zračenjem i konvekcijom i to preko strugotine Q_s i okoline Q_{ok} (75÷85 %), alata Q_a (5÷10 %) i obratka Q_o (10÷20 %).

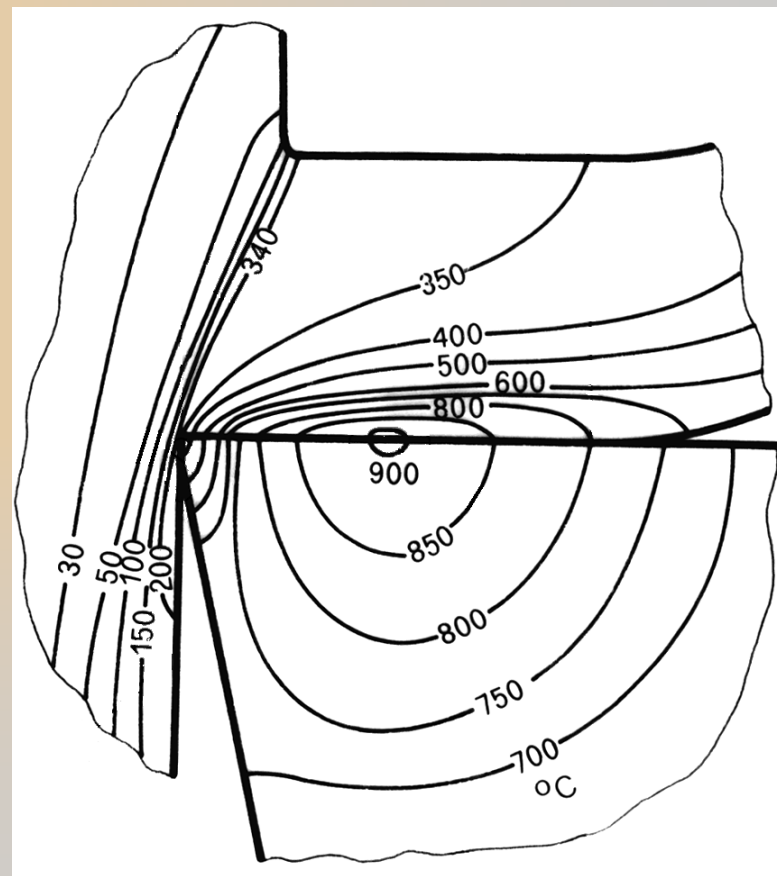


OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Temperatura rezanja

- ★ Kao rezultat delovanja toplotne energije, obrazuje se u obratku, alatu i strugotini **temperatursko polje** koje se menja sve dok se ne uspostavi ravnoteža između razvijene i odvedene količine toplote
- ★ U zavisnosti od cilja koji se želi postići, određuju se prevashodno tri **karakteristične temperature** pri obradi rezanjem
 - ✓ *Maksimalna temperatura*
 - ✓ *Lokalna temperatura*
 - ✓ *Srednja temperatura rezanja*
- ★ Za **određivanje temperatura rezanja** u užoj i široj zoni rezanja i elemenata obradnog sistema u celini, postoji veći broj različitih metoda.



OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

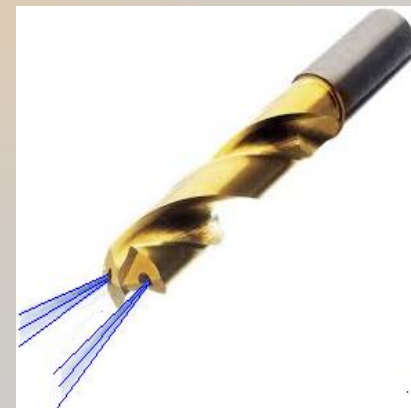
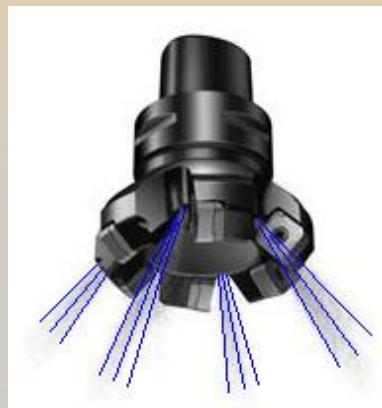
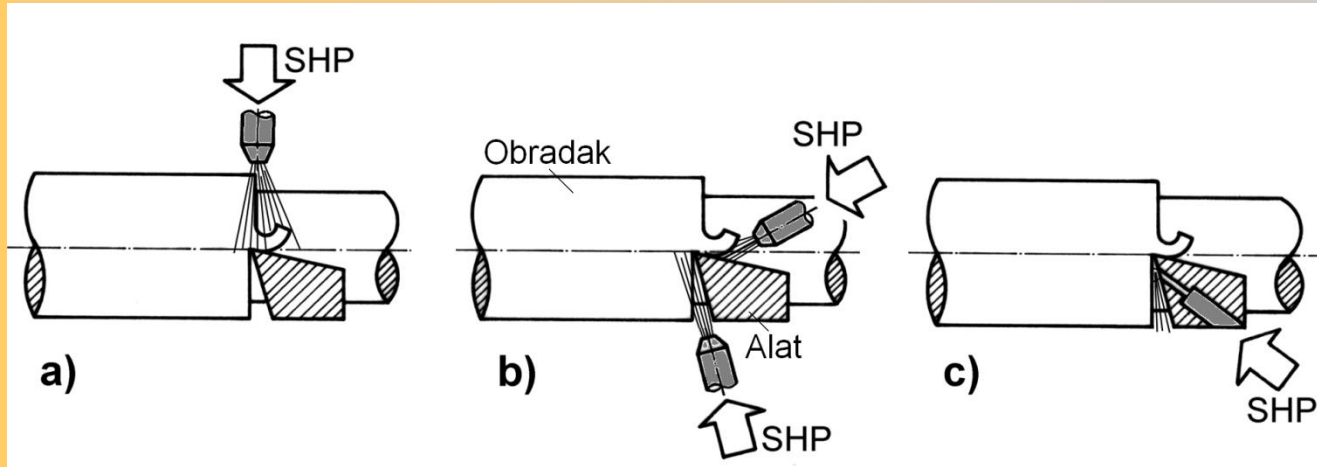
Sredstvo za hlađenje i podmazivanje

- ★ U zonu rezanja, zbog visoke temperature, po pravilu se dovodi ***sredstvo za hlađenje i podmazivanje*** (SHP). U primeni je obrada bez SHP (obrada na suvo) .
- ★ **Osnovni zahtevi SHP:** *hlađenje alata i obratka; podmazivanje kliznih površina na alatu; ispiranje produkata obrade i sl.*
- ★ **Dodatni uslovi SHP:** *da nije štetno po ljudsko zdravlje; da se lako razgrađuje; da ne dimi i penuša pri obradi; da nije korozivno; da je prijatnog mirisa itd*
- ★ SPH se mogu razvrstati u tri osnovne grupe:
 - Ulja za rezanje** ➤ Dobijaju se kao derivati nafte. Odlikuju se time što dobro podmazuju, ali lošije hlade (provlačenje, izrada ozubljenja i sl.).
 - Emulzije** ➤ Vodeni rastvori vodorastvorljivih sredstava (ulje, soli) sa vodom u različitim odnosima. Koriste se gde je primarno hlađenje i ispiranje (npr. visokobrzinska obrada).
 - Sintetička sredstva** ➤ *Organska i neorganska hemijska jedinjenja* dugotrajnih karakteristika i povećanog efekta hlađenja i podmazivanja. Osnovni nedostatak da imaju visoku cenu koštanja.
 - Gasna sredstva** ➤ *Gasovi pod pritiskom*, od kojih se najčešće koriste: *vazduh pod visokim pritiskom, inertni gasovi i ugljendioksid*. Ugljendioksid hladi i do $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Načini dovoda SPH

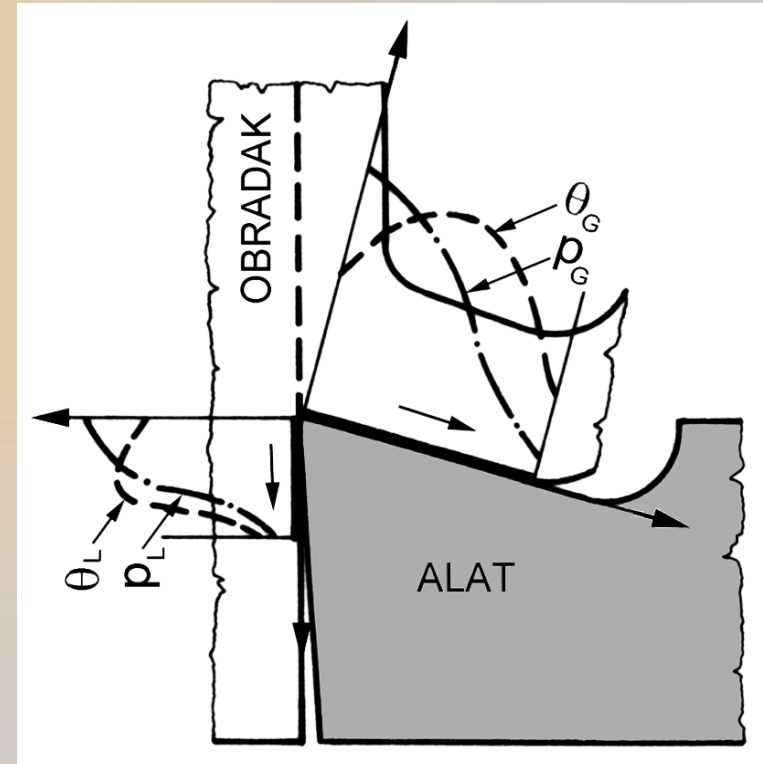


OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Tribologija rezanja

- ★ Proces rezanja predstavlja **tribomehanički sistem**, čiju strukturu čine: *rezni alat*, *obradak* i *SPH*.
- ★ **Tribološki skup** obuhvata proučavanje procesa trenja u zoni kontaktnih površina, tj. **habanje reznih elemenata alata**
- ★ **Habanje alata** se odvija neprekidno, u manjem ili većem obimu, zavisno od uslova obrade.
- ★ Intenzitet i karakter habanja alata direktno **utiče na karakteristike stanja procesa** i izlazne efekte obradnog procesa.
- ★ Habanje reznih elemenata alata je **posledica delovanja** intenzivnog pritiska i temperature na grudnoj i leđnoj površini.



OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Mehanizme habanja alata

- ❖ *abrazivno habanje* (posledica mehaničkog klizanja obratka po alatu);
- ❖ *adheziono habanje* (posledica uzajamne interakcije materijala obratka i alata);
- ❖ *difuziono habanje* (posledica rastvaranja i mešanja materijala alata i obratka);
- ❖ *oksidaciono habanje* (posledica hemijskih reakcija na površinama alata) i
- ❖ *krzanje i plastična deformacija vrha alata* (naglo oštećenje sečiva).

OBRADNI SISTEM

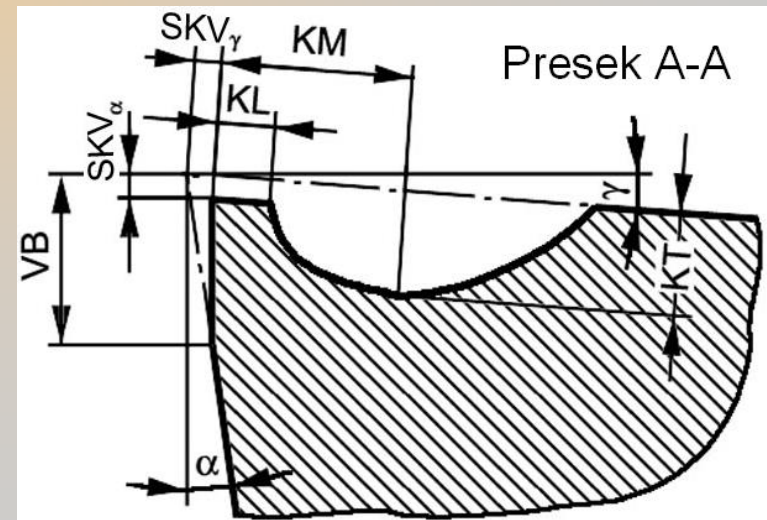
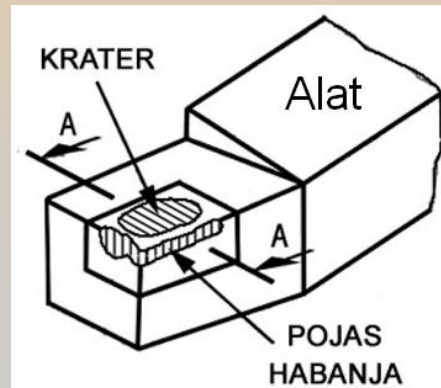
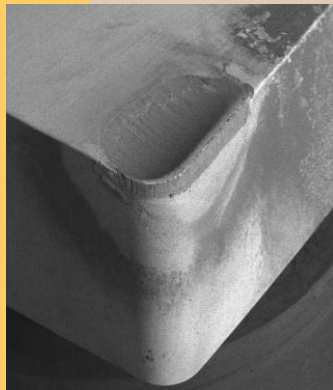
Osnove obrade rezanjem

Parametri habanja alata

- ★ Habanje reznog alata se manifestuje u vidu zona habanja alata.
- ★ Zone habanja alata se razlikuju po obliku i lokaciji, a javljaju se u **dva osnovna oblika**: *pojas habanja* na leđnoj i *krater* na grudnoj površini alata

Opšte prihvaćeni linijski **parametri habanja alata**

- VB – srednja širina pojasa habanja;
- KM – odstojanje sredine kratera od stvarnog sečiva alata;
- KT – najveća dubina kratera;
- KL – širina ruba kratera i
- SKV – skraćenje sečiva alata.



OBRADNI SISTEM

Osnove obrade rezanjem

Postojanost alata

- ★ **Postojanost alata** definiše efektivno vreme rada alata do njegovog zatupljenja.
- ★ Postojanost alata se može izraziti u funkciji habanja alata, a određuje se preko *kriterijuma zatupljenja alata*.
- ★ Momenat pojave nagle promene vrednosti parametara habanja alata proglašava se *optimalnim kriterijumom*.
- ★ Preporučene vrednosti parametara habanja alata koje se koriste kao *kriterijum za određivanje postojanosti alata* (pojasa habanja *VB*: *brzorezni čelik* 0,3÷1 mm; *tvrdi metal* 0,2÷0,5 mm i *reзна keramika* 0,1÷0,3 mm)
- ★ Za usvojeni kriterijum zatupljenja alata $VB = \text{const}$, ako se prethodno odrede krive habanja pri različitim brzinama rezanja, može se odrediti zavisnost brzine rezanja v od postojanosti alata T , tzv. *Taylor-ova jednačina*

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

m i C_v - konstante koje zavise od uslova obrade (materijala obratka i alata)