

VISOKA POSLOVNO-TEHNIČKA ŠKOLA
STRUKOVNIIH STUDIJA U UŽICU

OBRADA DEFORMISANJEM

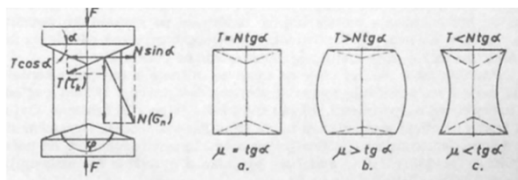
Prof. dr Predrag M. Drobniak dipl.inž.maš.

KONTAKTNO TRENJE

- Prosesi obrade plastičnim deformisanjem odvijaju se u uslovima kontakta metala koji se deformiše sa alatom u zoni deformisanja.
- Pri tome metal klizi po dodirnim površinama alata, usled čega nastaju sile **kontaktnog trenja**, koje otežavaju ovo klizanje.
- Trenje pri plastičnom deformisanju se bitno razlikuje od trenja klizanja u mašinskim sklopovima.
- U konstruktivnim elementima mašina pritisak između dodirnih površina je relativno mali i u njima se javljaju **elastične deformacije**.

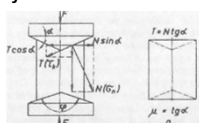
- Kod plastičnog deformisanja površina **alata se deformiše elastično**, a **obradak** koji se obrađuje deformiše se **plastično**.
- Na veličinu gubitaka usled trenja pri plastičnom deformisanju utiče niz faktora, od kojih su najvažniji:
 - Vrsta tehnološkog procesa.
 - Vrsta materijala koji se obrađuje.
 - Kvalitet površine alata.
 - Kontaktna površina radnog predmeta.
 - Temperatura deformisanja.
 - Brzina deformisanja.
 - Vrste maziva.

- Jedna od najraširenijih metoda za ispitivanje koeficijenta kontaktnog trenja je sabijanje cilindričnog uzorka sa konusnim utiskačima.
- Metodu je postavio S. T. Gubkin.

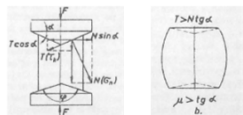


- Ukoliko se sabijanje vrši silom F , tada se u pravcu normale na površinu, nagnutu pod uglom α , javlja normalni otpor N , odnosno normalni napon σ_n .
- Usled koeficijenta trenja μ između površina alata i predmeta javlja se sila trenja T , odnosno tangencijalni napon τ_k . Po zakonu Kulona sila trenja se može izraziti obrascem:
- $T = \mu N$.

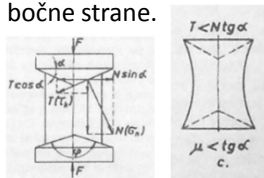
- Zavisno od odnosa horizontalnih komponentata sila N i T , mogu da nastupe 3 slučaja:
- 1. Horizontalna komponenta sile trenja jednaka je horizontalnoj komponenti normalnog otpora.
- $T \cos \alpha = N \sin \alpha$
- U ovom slučaju cilindrični uzorak zadržava svoj cilindrični oblik i nakon sabijanja.



- 2. Horizontalna komponenta sile trenja veća je od horizontalne komponente normalnog otpora.
- $T \cos \alpha > N \sin \alpha$
- Sile trenja na čeonim površinama predmeta zadržavaju radijalno tečenje slojeva materijala bližih alatu.
- Zbog toga se cilindrični probni uzorak deformiše sabijanjem u oblik bureta sa ispupčenim bočnim stranama.



- 3. Horizontalna komponenta sile trenja manja je od horizontalne komponente normalnog otpora.
- $T \cos \alpha < N \sin \alpha$,
- U ovom slučaju probni uzorak ima nakon deformisanja udubljene bočne strane.



- U proseku se može računati da se koeficijent kontaktnog trenja kod obrade plastičnim deformisanjem kreće u granicama:
- Za vruću obradu: $\mu = 0,4-0,5$.
 - Za hladnu obradu bez mazanja: $\mu = 0,2-0,3$.
 - Za hladnu obradu sa mazanjem: $\mu = 0,4-0,5$.

- Po hipotezi najveće deformacione energije utrošene na promenu oblika tangencijalni napon τ_k ne može premašiti vrednost napona tečenja.
- To znači da trenje može na kontaktnim površinama izazvati pojavu tangencijalnog napona τ_k koji se kreće u granicama:

- $\tau_k = \mu \sigma_n \leq 0,5 \beta k; \quad \tau_{\max} = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)$

- β – koeficijent u intervalu od 1- 1,15

- k - specifični otpor deformisanja

- Analiza tehnološkog procesa obrade deformisanjem dovodi do tri granična slučaja primene prethodnog obrasca:
- 1. Normalni napon manji od specifičnog deformacionog otpora:
- $\sigma_n < \beta k$, sledi $\tau_k = \mu \sigma_n$
- Navedeni obrazac predstavlja, zakon Kulonovog trenja primenjen na obradu deformisanjem.
- Važi za izvlačenje, valjanje sa malim stepenom deformacije, duboko izvlačenje sa malom promenom debljine materijala, sužavanje, proširivanje, provlačenje limenih i cevni delova (materijal obratka kliza po kontaktnim površinama alata bez lepljenja).

- 2. Kada tangencijalni napon ne dostiže svoju maksimalnu vrednost na kontaktnim površinama:
- $\tau_k < 0,5 \beta k$, sledi $\tau_k = \mu \beta k$
- Ovaj uslov znači da na delu kontaktnih površina dolazi do klizanja metala, a delom do lepljenja uz alat, kao npr. kod sabijanja u hladnom stanju, kovanja u kalupima u hladnom stanju sa i bez mazanja, valjanja tankih limova sa velikim stepenom deformacije, vrućeg kovanja u kalupima legura od lakih metala sa efektivnim mazanjem itd.

- 3. Ukoliko na najvećem delu kontaktnih površina tangencijalni naponi dostižu svoju maksimalnu vrednost:
- $\tau_k = 0,5 \beta k$, sledi $\sigma_n > \beta k$
- Navedeni slučajevi se odnose na kovanje i presovanje u kalupima sa ili bez maziva, sabijanje u vrućem stanju i sl.
- U ovom slučaju oblast lepljenja metala uz alat rasprostranjena je po celoj dodirnoj površini, tako da klizanja površinskih slojeva nema, a deformisanje se vrši usled klizanja unutrašnjih slojeva metala jednog u odnosu na drugi.
- U ovom slučaju $\mu \leq 0,5$.

OBRADA RAZDVAJANJEM MATERIJALA - OBRADA ODSECANJEM

- Odsecanje materijala razdvajanjem bez skidanja strugotine spada u područje obrade deformacijom.
- Odsecanje se može vršiti noževima različitih oblika, na specijalnim mašinama za odsecanje, to jest makazama ili alatom na presama.
- Pod dejstvom spoljašnjih sila pogonskih mehanizama mašina, u materijalu se javljaju naprezanja koja prevazilaze čvrstoću materijala, tako da dolazi do razdvajanja istog.

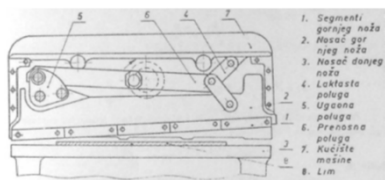
- Bez obzira da li se na makazama odsecaju trake, komadi ili platine isti ne predstavljaju finalni proizvod, već početni materijal za dalju preradu.
- Zbog toga obrada odsecanjem spada u pripremne radove, pa se često u tehnološkim procesima označava kao priprema materijala.

● Obrada odsecanjem može se izvoditi na:

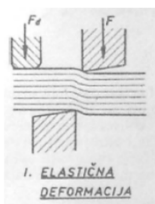
- Pravim paralelnim noževima
- Pravim nagnutim noževima
- Kružnim noževima
- Sa vibrirajućim noževima

ODSECANJE PRAVIM PARALELNIM NOŽEVIMA

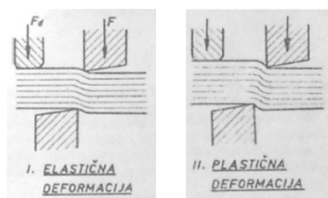
● Na slici je prikazana jednostavna shema odsecanja lima pomoću makaza sa ravnim paralelnim noževima, pri čemu se lim pritiskuje oštricama paralelnih noževa.



- U toku procesa odsecanja lima na makazama mogu se uočiti tri faze.
- U prvoj fazi, pod dejstvom sile odsecanja F , naprezanje u materijalu ne prelazi napon na granici elastičnosti ($\tau < \tau_e$) – faza elastičnih deformacija.
- Da hi se sprečilo pomeranje lima, lim se pridržava dejstvom sile F_d .



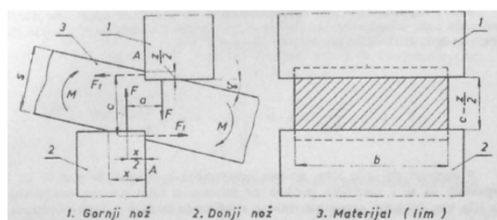
- U drugoj fazi ili fazi plastičnih deformacija, naprezanje u materijalu je veće od napona na granici tečenja, ali manje od jačine (čvrstoće) materijala na smicanje ($\tau_v < \tau < \tau_m$).



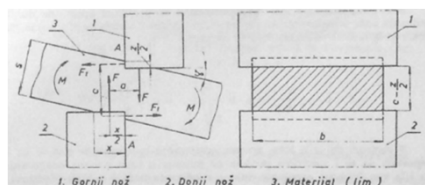
- U trećoj fazi naprezanje u materijalu dostiže vrednost koja odgovara jačini (čvrstoći) materijala na smicanje ($\tau = \tau_m$).
- Početak prekida, to jest razdvajanja jednog dela materijala od drugog nastaje u momentu pojave prve prskotine ispred rezne ivice noža.



- Ova faza se naziva faza prekida materijala.
- Početak prekida materijala zavisi od vrste i debljine materijala.
- Što je materijal tvrdi i deblji, pre će doći do pojave prve prskotine, odnosno prekida.
- Da bi se mogla odrediti **sila** potrebna za odsecanje materijala, posmatračemo proces deformacije materijala u zahvatu noževa.

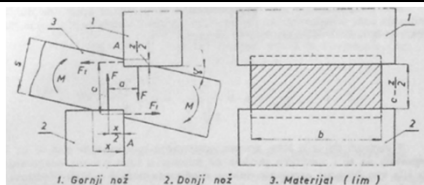


- Materijal pravougaonog preseka (širine b i debljine s).
- Ravan A-A, koja prolazi kroz rezne ivice oba noža - ravan odsecanja.
- U početku procesa odsecanja, pri dodiru noža sa materijalom, nastaje sabijanje materijala.



- Kada noževi prodru u materijal na neku dubinu z - **apsolutna dubina prodiranja noža**, počinje proces smicanja ili proces samog odsecanja.
- Na određenoj dubini prodiranja noža sila odsecanja F , ne leži u ravni smicanja A-A, nego na izvesnom rastojanju od iste.

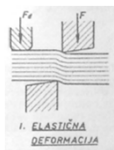
- Ako se period elastičnog deformisanja zanemari, može se zaključiti da će noževi najpre prodirati u materijal sa obe strane za iznos $z/2$, vršeći samo plastično deformisanje.
- U fazi plastičnog deformisanja noževi će svojom grudnom površinom formirati površinu naleganja na materijal širine x .
- Ako se pretpostavi da specifični pritisak noža deluje ravnomerno na kontaktnoj površini materijala, rezultujuće dejstvo noževa na materijal biće na polovini ove širine ($x/2$) tako da akciona deformaciona sila F gornjeg i reakciona sila F donjeg noža deluju na međusobnom rastojanju a .



- Na taj način sile čine spreg sila veličine $M = F \times a$.
- Ovaj spreg teži da zakrene materijal u vertikalnoj ravni u pravcu naznačene strelice.
- Prodiranjem noževa u materijal, pre početka smicanja po celoj površini razdvajanja javlja se bočni pritisak noževa na materijal izražen silama F_t a koje deluju na rastojanju c i čine spreg suprotan od prethodnog sprega.

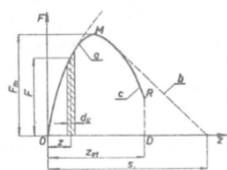
- Materijal će se zakretati sve dotle dok se dva navedena momenta ne izjednače, tj. dok ne bude $F \times a = F_t \times c$
- gde je:
- a - krak para sila F
- c - krak para sila F_t .
- Pretpostavlja se da je specifični pritisak na površinama $x \times b$ i $z/2 \times b$ isti, tj.:
- $p = \frac{F}{xb} = \frac{F_t}{\frac{z}{2}b}$ ili $F_t = F \frac{z}{2x} = F \tan \gamma$

- Ugao zakretanja materijala zavisi od apsolutne dubine prodiranja noža u materijal, pred početak smicanja materijala po celom preseku.
- Da bi se smanjio ugao γ , može da se primeni odsecanje sa pridržavanjem lima, na taj način što se dodatnim mehanizmom za pridržavanje, materijal pritiskuje uz donji nož.
- Uređaj za pridržavanje lima deluje na materijal sa dodatnom silom F_d .



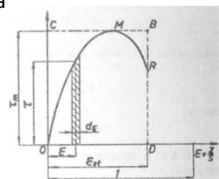
- Sila odsecanja će rasti proporcionalno sa porastom apsolutne dubine prodiranja noža u materijal.
- Ako se specifični pritisak označi sa p , a širina materijala sa b , tada se sila može izraziti:
- $$F = p \times b \times x = p \times b \times \sqrt{\frac{z}{2s}};$$
- Obzirom da je u toku procesa odsecanja $b = \text{const}$ i ako se pretpostavi da se i specifični pritisak ne menja u toku procesa odsecanja, tada je sila funkcija apsolutne dubine prodiranja noža:
- $F = F(z)$, što predstavlja jednačinu parabole.

- Sila odsecanja će rasti sve dotle dok ne dostigne silu smicanja, što znači do momenta dok ne započne smicanje, odnosno razdvajanje materijala.
- Maksimalna vrednost sile (tačka M) se dobija iz uslova da je:
- $$F = p \times b \times x = \left(\frac{s}{\cos \gamma} - z \right) \tau_m b,$$
- τ_m - jačina materijala na smicanje
- U momentu tačke M, započinje smicanje materijala i nakon toga sila opada (deo b).



SI.36 SILA ODSECANJA KAO
FUNKCIJA APSOLUTNE
DUBINE PROD. NOŽA

- Međutim, ako se posmatra zavisnost napona smicanja τ od relativne dubine prodiranja noža ϵ tada se može uočiti da nakon postignutog maksimuma τ_m , i napon smicanja opada sa daljim porastom ϵ tj. z .
- Zbog toga se stvarni tok opadanja sile odsecanja biti brži.
- z_{ot} - apsolutna dubina odsecanja
- ϵ_{ot} - relativna dubina odsecanja



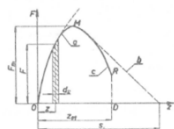
- Sila odsecanja na makazama sa ravnim paralelnim noževima određuje se po obrascu:
- $F = \tau \times A$ [N]
 - τ – napon smicanja
 - A – površina odsecanja; $A=b \times s$ (šir, \times deblj.) [mm^2]
- Napon smicanja τ se određuje iz dijagrama $\tau = \tau(\epsilon)$, koji se daje za različite metale.
- Pri projektovanju tehnološkog procesa merodavna je najveća sila odsecanja:
- $F = F_{max} = \tau_m \times A$ [N];
- τ_m – čvrstoća materijala na smicanje

- Na ovaj način proračunata sila odsecanja se povećava za 20-40 % zbog:
 - otupljivanja reznih ivica noževa,
 - povećanja zazora f između noževa,
 - neravnomernosti debljine materijala koji se odseca,
 - ostalih eksploatacionih faktora.
- Tako je stvarna sila odsecanja:
- $F_{st} = 1,3 F_{max} = 1,3 \tau_m \times A$;
- Bočne sile koje deluju na noževe:
- $F_t = F_{max} \times \tan \gamma$;
 - γ - ugao zakretanja materijala, koji se odseca;

- Vrednost ugla γ u praktičnoj primeni u proseku se usvaja:
 - Za odsecanje bez držača lima $\gamma = 10-20^\circ$ i $F_t = (0,18-0,36) F$;
 - Za odsecanje sa držačem lima $\gamma = 5-10^\circ$ i $F_t = (0,09-0,18) F$;

Elementarni deformacioni rad odsecanja

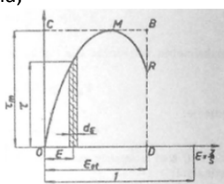
- Elementarni deformacioni rad odsecanja iznosi:
- $dW = Fdz$
- Ukupni deformacioni rad odsecanja predstavlja površinu ispod krive $F=F(z)$ tj. integral:
- $W = \int_0^z F dz$
- Pošto je $F = \tau A$ i $dz = s d\epsilon$, onda je
- $W = \int_0^{\epsilon_{ot}} \tau A s d\epsilon$ [Nmm]



- Gde je:
- $a = \int_0^{\epsilon_{ot}} \tau d\epsilon$ - specifični deformacioni rad, tj. rad koji se troši na jediničnu zapreminu.
- Ukupan rad se može izraziti:
- $W = a \times A \times s$ [Nmm]
- Za različite materijale različite su i krive $\tau = \tau(\epsilon)$.
- Ukoliko ne posedujemo krivu zavisnosti $\tau = \tau(\epsilon)$, deformacioni rad se može približno odrediti prema A. Celikovu po izrazu:

$W = K n \epsilon_{ot} \sigma_m s A$ [Nmm], gde je:

- K – koeficijent odnosa čvrstoće materijala na smicanje i zatezanje $\frac{\tau_m}{\sigma_m} \approx (0,7-0,8)$;
- n – koeficijent odnosa specifičnog deformacionog rada OMRDO i maksimalne vrednosti istog OCMBRDO $\approx (0,75-0,85)$;
- ϵ_{ot} – maksimalna relativna dubuna odsecanja;
- σ_m – zatezna čvrstoća materijala;
- s – debljina materijala;
- A – površina odsecanja.

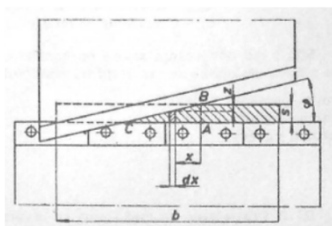


- Na osnovu srednjih vrednosti K i n dobijamo:
- $W = 0,6 \epsilon_{ot} \sigma_m s A$ [Nmm]
- Vrednost najveće relativne dubine prodiranja noža ili relativna dubina odsecanja se za većinu metala može izraziti kao funkcija jediničnog relativnog izduženja tj.
- $\epsilon_{ot} = (1,2-1,6)\delta$

ODSECANJE NA PRAVIM NAGNUTIM NOŽEVIMA

- Makaze sa ravnim nagnutim noževima se upotrebljavaju za odsecanje materijala sa relativno malom debljinom u odnosu na njihovu širinu.
- Primenom ove vrste makaza postiže se smanjenje sile odsecanja, uz adekvatno povećanje hoda noževa.
- Pri prodiranju noža u materijal, nema otpora celog preseka, nego samo dela preseka.

- U toku procesa odsecanja ovaj deo se može predstaviti trouglom ABC.
- Ako se u tom trouglu posmatra samo elementarna površina sa širinom dx , koja se nalazi na rastojanju x od tačke A, tada je elementarna sila koja deluje na tu površinu:
- $dF = \tau S dx$



- Relativna dubina prodiranja noža na tom mestu je:

- $\xi = \frac{z}{s} = \frac{x \tan \varphi}{s}$

- gde je:

- φ - ugao između noževa,

- s - debljina materijala.

- Diferencijalom gornjeg izraza i izjednačavanjem sa silom odsecanja, pa redukcijom integrala, dobijamo:

- $F = n K \sigma_m \epsilon_{ot} \frac{s^2}{\tan \varphi} \approx 0,6 \sigma_m \epsilon_{ot} \frac{s^2}{\tan \varphi} [N]$

- $n, K, \sigma_m, \epsilon_{ot}$, isto značenje kao kod definicije rada.

- Navedeni obrazac važi ukoliko je ispunjen uslov da je:

- $\tan \varphi > \frac{s}{b}$

- Sila odsecanja na pravim nagnutim noževima ne zavisi samo od čvrstoće materijala (σ_m i τ_m), nego i od njegovih plastičnih osobina, tj. sa povećanjem ϵ_{ot} raste i sila odsecanja.

- Da bi se sprečilo klizanje lima u toku procesa odsecanja, usled čega bi došlo do bočnog potiskivanja istog bez odsecanja, mora biti ispunjen uslov da je:

- $\varphi < \rho_1 + \rho_2$ gde su:

- $\rho_1 + \rho_2$ - uglovi trenja između gornjeg i donjeg noža i gornje/donje površine materijala.

- Noževi sa nagibom od $\varphi = 2^\circ \div 6^\circ$ svrstavaju se u paralelne;

- Noževi sa nagibom od $\varphi = 7^\circ \div 12^\circ$ ubrajaju se u nagnute.

- Ukoliko se radi sa uglom nagiba $\varphi > 12^\circ$, tada makaze moraju biti snabdevene uređajem za pridržavanje lima.
